

---

# NATUURKUNDE IN HET VOORTGEZET ONDERWIJS

- Een interdisciplinair onderzoek naar de verbetering van voortgezet natuurkundeonderwijs -

Robert Tolenaars – 3407888

**Cursus:** Eindwerkstuk LAS

**Begeleid door:** dr. Ria van der Lecq

Delft, 25 maart 2012

**Liberal Arts & Sciences**

---



**Universiteit Utrecht**

## INHOUDSOPGAVE

<b>1. INLEIDING</b> .....	<b>2</b>
<b>2. HET HUIDIGE VOORGEZET ONDERWIJS KRITISCH BESCHOUWD</b> .....	<b>4</b>
<b>3. DISCIPLINAIRE INZICHTEN</b> .....	<b>7</b>
3.1 - FILOSOFIE EN GESCHIEDENIS VAN DE NATUURWETENSCHAP .....	7
3.1.1 - <i>FILOSOFIE VAN DE NATUURWETENSCHAP: WAT IS WETENSCHAP?</i> .....	7
3.1.2 - <i>GESCHIEDENIS VAN DE NATUURWETENSCHAP: WAT IS WETENSCHAP?</i> .....	9
3.1.3 - <i>ROL VAN FILOSOFIE EN GESCHIEDENIS IN HET NATUURKUNDEONDERWIJS</i> .....	10
3.1.4 - <i>DISCIPLINAIRE CONCLUSIE</i> .....	11
3.2 - FILOSOFIE VAN HET ONDERWIJS.....	13
3.2.1 - <i>DISCIPLINAIRE CONCLUSIE</i> .....	15
3.3 - GESCHIEDENIS VAN HET ONDERWIJS.....	16
3.3.1 - <i>DISCIPLINAIRE CONCLUSIE</i> .....	17
3.4 - ONDERWIJSKUNDE.....	18
3.4.1 - <i>PERSPECTIEVEN OP HET ONDERWIJS</i> .....	18
3.4.2 - <i>NATUURKUNDEONDERWIJS</i> .....	20
3.4.3 - <i>DISCIPLINAIRE CONCLUSIE</i> .....	23
<b>4. WAT IS GOED VOORTGEZET NATUURKUNDEONDERWIJS?</b> .....	<b>25</b>
4.1 - GEVONDEN CRITERIA.....	25
4.2 - CONFLICT EN GEMEENSCHAPPELIJKE BASIS .....	27
4.2.1 - <i>WAT IS NATUURWETENSCHAP?</i> .....	27
4.2.2 - <i>PERSPECTIEVEN OP HET ONDERWIJS.</i> .....	27
4.2.3 - <i>VAN BELEID NAAR BELANG</i> .....	27
4.3 - INTEGRATIE .....	29
4.3.1 - <i>BELANG VAN VOORGEZET NATUURKUNDEONDERWIJS</i> .....	29
4.3.2 - <i>BEELD VAN DE NATUURKUNDE</i> .....	31
4.3.3 - <i>CRITERIA VOOR GOED NATUURKUNDEONDERWIJS</i> .....	31
4.3.4 - <i>ADVIES VOOR HET VOORTGEZET NATUURKUNDEONDERWIJS</i> .....	33
<b>5. CONCLUSIE</b> .....	<b>35</b>
<b>6. REFERENTIES</b> .....	<b>38</b>
<b>APPENDIX I - ANALYSE EINDTERMEN NATUURKUNDE HAVO EN VWO</b> .....	<b>40</b>
<b>APPENDIX II - PROBLEMATIEK VOLGENS NINA IN NATUURKUNDE LEEFT</b> .....	<b>46</b>

## 1. INLEIDING

Nederland is een rijk en welvarend land in verhouding tot de rest van de wereld en lijkt de economische crisis relatief goed te doorstaan. Maar deze positie is volgens het laatste rapport van het *Innovatie Platform*, uitgegeven op 19 april 2010, niet vanzelfsprekend.<sup>1</sup>

Het rapport meldt: ‘de noodzaak om nu de koers van de Nederlandse economie te veranderen is onder druk van de economische crisis en mondiale trends als globalisering, energietransitie en vergrijzing urgenter dan ooit.’<sup>2</sup> Om de concurrentiekracht van Nederland te verbeteren, pleit het rapport ervoor om Nederland in de top vijf van duurzame kenniseconomieën te brengen. Op dit moment heeft ons land de tiende plaats in de GCI (*Global Competitiveness Index*), zie fig. 1.<sup>3</sup> Eén van de vijf knelpunten die het rapport aanwijst, is ‘te weinig focus en regie in onderwijs en onderzoek. Er zijn ook zorgen over de kwaliteit van onderwijs.’<sup>4</sup> Het rapport heeft kamerbrede steun gekregen en wordt breed gedragen: ‘Wij zijn niet de enigen die de urgentie voor verandering zien. In samenspraak met honderden mensen en vertegenwoordigers van diverse instellingen, bedrijven en instituties hebben wij de noodzaak voor veranderingen getest en onze toekomstvisie voor Nederland in de komende 10 jaar ontwikkeld.’<sup>3</sup>

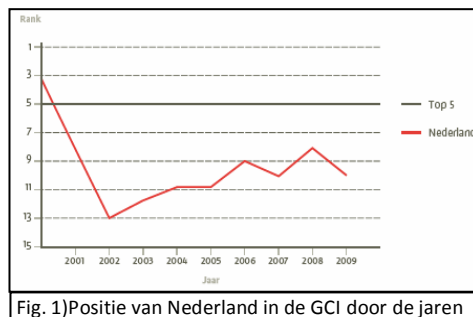


Fig. 1) Positie van Nederland in de GCI door de jaren

Er zijn zorgen over de kwaliteit van het onderwijs, maar om de kwaliteit van iets te kunnen bepalen, moet bekend zijn wat het belang (Eng: *purpose*) en doel (Eng: *goal*) ervan is. Van daaruit is het mogelijk een praktisch inzicht te krijgen in de mogelijkheden voor verbetering. Met de belangrijke rol die het voortgezet onderwijs en de exacte wetenschappen hebben in dit geheel en mijn natuurkundige achtergrond in het achterhoofd, in combinatie met de beperkte tijd en ruimte, wil ik dit probleem beperken tot natuurkunde in de bovenbouw van havo en vwo en daarvoor de vraag onderzoeken:

### *Wat is goed voortgezet natuurkundeonderwijs?*

Een belangrijk document met betrekking tot dit vraagstuk is de notie *natuurkunde leeft*, op basis waarvan het natuurkundeonderwijs in 2011 een verandering zal ondergaan. Dit visiedocument is in 2006 uitgegeven door de commissie *vernieuwing natuurkundeonderwijs havo/vwo* (NiNa). Het formuleert en beargumenteert uitgangspunten voor examenprogramma's voor havo en vwo en de uitwerking daarvan in een curriculum.<sup>5</sup> Het gaat in op de vraag waarom vernieuwing van het natuurkundeonderwijs in havo en vwo gewenst is, en tot welke uitgangspunten voor een ontwerp dat leidt. De resultaten van deze vernieuwing moeten in 2015 leiden tot het volgende:

In 2015 komen leerlingen van havo en vwo die natuurkunde waarderen als een uitdagend vak dat door docenten met plezier wordt gegeven en jongeren motiveert te kiezen voor een exacte studie. Ze hebben natuurkunde geleerd in een context waarin aspecten van hedendaagse natuur- en sterrenkunde beoefend als wetenschap of beroep een rol spelen. De samenhang met de scheikunde, biologie en wiskunde is hun bijgebracht door gemotiveerde, enthousiaste leraren die veel ruimte voor eigen inbreng in het programma hebben. In het flexibele lesprogramma is veel nadruk gelegd op activiteiten: ‘leren door doen’ is effectiever dan ‘leren door luisteren’.

We zullen de bevindingen en adviezen van *natuurkunde leeft* vergelijken met de bevindingen en adviezen die uit dit onderzoek naar voren komen.

Traditioneel is de vraag ‘wat is goed natuurkundeonderwijs?’ vooral bekeken vanuit en beantwoord met de onderwijskunde; de wetenschap die onderwijs wil beschrijven, begrijpen en verklaren, om van daaruit het onderwijssysteem te verbeteren. Onderwijskunde maakt vooral gebruik van de sociale wetenschappen pedagogiek, psychologie en sociologie. Hoewel belangrijke inzichten door deze disciplines verkregen zijn, is er nog geen bevredigend antwoord op het vraagstuk gekomen; immers, de kwaliteit van het onderwijs blijft een reden tot zorg. Ook het visie document van NiNa is ontwikkeld vanuit een onderwijskundig perspectief. Maar, is het niet vreemd dat wanneer we een antwoord zoeken op de vraag wat is goed *natuurkunde* onderwijs, we

<sup>1</sup>Innovatie Platform, *Economische agenda*, 3.

<sup>2</sup>Ibidem, 10.

<sup>3</sup>Ibidem, 14.

<sup>4</sup>Ibidem, 7.

<sup>5</sup>NiNa, *Natuurkunde leeft*, 9.

dit zoeken bij psychologie, sociologie, didactiek en pedagogiek? Zeker, via die weg zijn belangrijke vragen en inzichten te vinden. Daarbij komt dat natuurkundeonderwijs geen studieobject is van de natuurkunde. Hoe kan natuurkunde dan ooit op een wetenschappelijk verantwoorde wijze wat zeggen over natuurkundeonderwijs? Mijn antwoord is: via de disciplines *geschiedenis* en *filosofie van de natuurwetenschap* gecombineerd met de *geschiedenis* en *filosofie van het onderwijs*. Via deze weg kunnen nieuwe inzichten worden verkregen in het vraagstuk: wat is goed natuurkundeonderwijs?

Als antwoord op de vraag zullen we op zoek gaan naar criteria voor goed onderwijs in het algemeen en voor goed natuurkunde onderwijs specifiek. Deze criteria worden gevonden door deelvragen te formuleren voor elk van deze disciplines en geven directe mogelijke antwoord op de vraag 'wat is goed natuurkunde onderwijs?' Maar we kunnen niet zomaar uit deze lijst van criteria een aantal criteria kiezen. Om een onderbouwde keuze te kunnen maken is het nodig om helderheid te hebben over het belang van natuurkundeonderwijs, want zonder belang weten we niet *waarom* we iets doen en is het niet mogelijk een keuze te maken. Het belang van natuurkundeonderwijs kan op vele manieren worden ingevuld. Hoe dit ingevuld wordt is een beleidskwestie. Het hierboven genoemde doel voor Nederland is het meest heldere doel van waaruit beleid omtrent natuurkundeonderwijs gevormd kan worden, naast het algemene doel van havo en vwo als deel van het voortgezet onderwijs, wat we in het volgende hoofdstuk zullen behandelen. Vanuit deze beleidskeuzes is het mogelijk het belang van het voortgezet natuurkundeonderwijs op te stellen. Met ***geschiedenis van het onderwijs*** gaan we op zoek naar welk onderwijsbeleid heeft geleid tot een bloeiende kenniseconomie en welk beleid heeft geleid tot het verval ervan, zodat we ook het doel om Nederland tot de top vijf van de GCI te laten behoren kunnen vertalen naar beleid voor natuurkundeonderwijs. Uit het opgestelde belang vervolgens, volgt wat voor beeld leerlingen zouden moeten ontwikkelen van de natuurkunde tijdens het voortgezet onderwijs. Kenmerkend voor de ***filosofie van de natuurwetenschap*** is de zoektocht naar de aard van de wetenschap: wat is wetenschap en wat is niet wetenschap? Hoewel op deze vraag geen sluitend antwoord te geven is, zijn er vele inzichten gegenereerd. ***Geschiedenis van de natuurwetenschap*** is niet op zoek naar hoe de wetenschap zou moeten werken, maar bekijkt hoe deze in het verleden was. Beide disciplines geven verschillende beelden van de natuurwetenschap. Vanuit deze twee beelden kan, op basis van het ontwikkelde belang, een beeld opgesteld worden dat leerlingen zouden moeten ontwikkelen tijdens het natuurkundeonderwijs. Dit beeld kan vergeleken worden met het beeld wat leerlingen ontwikkelen tijdens het huidige natuurkundeonderwijs. Op deze wijze kunnen we analyseren of het huidige natuurkundeonderwijs het gewenste effect heeft of niet. Wanneer dit niet het geval is, is het belangrijk dat we een idee krijgen van de manier waarop de filosofie en geschiedenis van de natuurwetenschap bij kunnen dragen aan de ontwikkeling van dit beeld. Daarom stellen we vanuit deze disciplines ook de vraag welke rol de geschiedenis en de filosofie van de natuurwetenschap kunnen spelen in het voortgezet natuurkunde onderwijs. Ook kunnen we het gevonden beeld vergelijken met het NiNa document om verder inzicht te krijgen in het vraagstuk. Vanuit ***filosofie van het onderwijs*** stellen we de vragen: wat is goed onderwijs en heeft natuurkundeonderwijs een plek hierin? Dit leidt direct tot criteria. Naast deze vier disciplines wil ik de **onderwijskunde** plaatsen. Als eerste kunnen de perspectieven en antwoorden van de onderwijskunde vergeleken en geïntegreerd worden met de antwoorden van de andere vier disciplines om een completer antwoord te kunnen geven op de onderzoeksvraag. Daarnaast stelt dit ons ook in staat om met de perspectieven en antwoorden die de onderwijskunde ons biedt het huidige natuurkunde onderwijs en het visie document van de Nina te bekijken. We bekijken een aantal invloedrijke perspectieven van de onderwijskunde en behandelen we de volgende drie deelvragen: om te beginnen, wat zijn belangrijke problemen in het huidige natuurkunde onderwijs en wat zijn mogelijke oplossingen ervan? Dan de vraag: hoe kunnen we leerlingen interesseren voor natuurkunde tijdens het inleidend natuurkunde onderwijs? Als laatste de vraag: kan wetenschapsfilosofisch en historisch materiaal een rol spelen in het inleidend natuurkunde onderwijs? De antwoorden op de deelvragen van de vijf disciplines zijn te vinden in de disciplinaire conclusies. In hoofdstuk 4 integreren we deze inzichten tot een antwoord op de vraag: wat is goed voortgezet natuurkundeonderwijs? Dit leidt tot het belang van natuurkundeonderwijs, een beeld van de natuurkunde wat leerlingen tijdens dit onderwijs zouden moeten ontwikkelen naar aanleiding van het belang en een lijst met criteria voor goed natuurkundeonderwijs. In de conclusie vergelijken we dit geheel met het huidige natuurkundeonderwijs en de adviezen van *natuurkunde leeft*.

## 2. HET HUIDIGE VOORGEZET ONDERWIJS KRITISCH BESCHOUWD

*Om aanwijzingen te vinden van waaruit de problematiek omtrent het huidige natuurkundeonderwijs ontstaat, bekijken we als eerste het belang en doel van het natuurkundeonderwijs. Het belang geeft antwoord op de vraag ‘waarom’, het doel is ontstaan vanuit het belang en beschrijft de gewenste uitkomst. We bekijken ook de plaats van natuurkunde onderwijs binnen het voortgezet onderwijs. Vervolgens nemen we de lijst met eindtermen, het doel van het vak natuurkunde wat het curriculum vormt, onder de loep om te zien wat het gevolg is ervan. We sluiten dit hoofdstuk af met een vergelijking tussen de bevindingen tot dan toe met de bevindingen van NiNa in natuurkunde leeft.*

Het belang van het voortgezet onderwijs is mensen uitzicht geven om een zelfstandig leven te kunnen leiden in onze maatschappij. Deze invulling van het belang van het voortgezet onderwijs is vertaald naar het volgende doel: iedereen, met uitzondering van een groep jongeren die beperkt zijn in hun cognitieve mogelijkheden, heeft voor hun 23<sup>e</sup> levensjaar een startkwalificatie.<sup>6</sup> Het havo en vwo diploma is een startkwalificatie. Binnen het onderwijssysteem is natuurkunde een vak waarmee leerlingen in aanraking kunnen komen. Hoewel ik geen exact eenduidig doel heb kunnen vinden van het huidige vak natuurkunde, kunnen we in het algemeen stellen en vanuit het doel van het voortgezet onderwijs afleiden dat het doel van het vak natuurkunde het doorgeven is van natuurkundige kennis en vaardigheden aan leerlingen, zodat zij dit kunnen gebruiken in hun leven van nu en later. Welke kennis en vaardigheden een leerling moet hebben is per opleidingsoort exact gedefinieerd aan de hand van een lijst met eindtermen.<sup>7</sup> Dit laatste geeft een helder doel: dit is wat de leerling moet kunnen en weten wanneer deze het vak natuurkunde heeft afgerond. Echter, het belang, of het “waarom” van dit doel heb ik nergens terug kunnen vinden. Ook de relatie tussen het belang en doel van het voortgezet onderwijs en het belang en doel van het *huidige* vak natuurkunde is niet gevonden.

Het belang van het huidige curriculum is niet duidelijk, dit is het eerste probleem dat opgelost moet worden. Het onduidelijk zijn of zelfs ontbreken van de relatie tussen het belang en doel van het voortgezet onderwijs en het belang en doel van het vak natuurkunde is het tweede probleem dat opgelost moet worden, omdat natuurkundeonderwijs slechts ‘goed’ is in relatie tot het geheel waar het deel van uitmaakt. Daarvoor moet het belang en doel van het natuurkundeonderwijs duidelijk zijn, en in harmonie zijn met belang en doel van het voortgezet onderwijs.

Het curriculum is zo belangrijk, omdat de docent vanuit het onderwijssysteem in zijn lessen mag doen wat hij wil qua vorm en inhoud, maar aan het einde van de rit bepaalt de lijst van eindtermen wat zijn leerlingen moeten kunnen. We kunnen ons voorstellen dat dit in grote mate, zo niet volledig, bepalend is voor welke stof er behandeld wordt in de jaren waarin een leerling het vak volgt. Dit wordt onderkend door Nina.<sup>8</sup>

De lijst van eindtermen is dus van grote invloed op hoe de lessen eruit zien, wat jongeren er leren en welk beeld zij krijgen van de natuurkunde. Hiermee bepaalt de lijst met eindtermen voor een belangrijk deel of we te maken hebben met goed of slecht natuurkundeonderwijs. Daarom wil ik de lijsten bespreken en een vergelijking maken tussen havo en vwo; die immers tot een ander type vervolgopleiding of -traject moeten leiden, wat zichtbaar zou moeten zijn in het einddoel (zie appendix I voor een uitgebreide analyse). Het volgende valt op: het domein van havo dat kennisvorming, toepassing van kennis en de invloed van wetenschap en techniek omvat (domein A2) is geen onderdeel van de vwo eindtermen en daarmee geen doel van het vwo natuurkundeonderwijs.<sup>7</sup> Misschien dat er van de vwo-leerling verwacht wordt dat deze zich dit zelf eigen maakt, maar dit lijkt me een onredelijke verwachting. Alleen domein A1 omvat vaardigheden. De overige vier domeinen van havo en vwo omvatten natuurkundige kennis die de leerling moet kennen. Hiermee resulteert zelfs het behalen van 100% van de eindtermen niet in het behalen van het doel van het huidige vak natuurkunde: het doorgeven van natuurkundige kennis en vaardigheden aan leerlingen, zodat zij dit later kunnen gebruiken in hun leven. De oorzaak hiervan zit in het laatste deel van het doel. In de volgende alinea bekijken we waardoor dit komt.

De eindtermen bevatten allen, op de domeinen A en B2 van zowel havo als vwo na, formules. Naast de eindtermen die een grote invloed hebben op de inhoud van het vak natuurkunde is er het eindexamen. De leerlingen mogen tijdens hun examens de binas meenemen. Daarin staan, in principe, alle “formules” die beschreven staan in de eindtermen. Het examen bestaat dus voor een groot deel uit het kunnen vinden van de

<sup>6</sup> <http://www.minocw.nl/vo/249/Leerplicht-en-startkwalificatie.html>, geraadpleegd op 12-02-2011.

<sup>7</sup> Zie appendix I.

<sup>8</sup> Nina, *Natuurkunde Leeft*, pg. 51.

juiste formule op basis van bepaalde informatie. Een formule is een in letters of cijfers uitgedrukte waarde, of een geijkte uitdrukking bij een bepaalde handelingen. Oftewel, het is iets wat vast is, en wat een waarde geeft van iets als je het goed invult. Daar het eindexamen wordt beschouwd als het belangrijkste onderdeel waar het vak natuurkunde op voorbereidt, heeft dit een grote invloed op de inhoud van de lessen. Het kunnen vinden en toepassen van formules is daarmee een belangrijk onderdeel van de lessen en dus het vak natuurkunde. Maar, hoewel het op zich een nuttige vaardigheid is, is dit slechts een klein aspect van natuurkunde. Daarnaast is het de vraag of dit een vaardigheid is die dusdanig belangrijk is dat meer dan twee derde van de eindtermen bestaat uit “formules.” In ieder geval leidt deze vaardigheid niet tot het gebruik van natuurkunde in het dagelijks leven, omdat dagelijkse problemen in het leven van nu, maar ook niet in dat van later op deze wijze worden aangeboden.

De inhoud van de kennis gerelateerde domeinen van havo en vwo is vergelijkbaar, hoewel vwo op bepaalde gebieden verdieping heeft en een aantal eindtermen extra. In de eindtermen worden geen duidelijke wetenschappelijke of beroepsgerichte doelen gesteld. Ook is het onduidelijk waarom er gekozen is voor deze structurering van de eindtermen en niet een structurering aan de hand van de verschillende vakgebieden, die, zeker in het geval van havo, al nagenoeg aanwezig is (afgezien van domein A).<sup>7</sup> Een structurering op basis van vakgebied of theorie zou leerlingen inzicht geven in de wetenschap natuurkunde; wat immers de terminologie is die door de natuurkundige gebruikt wordt. Waarom vervolgens de inhoud van de domeinen C, D en E tussen havo en vwo door elkaar zijn gehaald, terwijl gelijke onderwerpen behandeld worden is mij een raadsel. Er kan zelfs verwarring ontstaan bij bepaalde keuzes die gemaakt zijn. Er worden verbanden geïmpliceerd die niet expliciet worden gemaakt, maar als een soort waarheid worden aangenomen. Daarbij worden andere, even belangrijke verbanden achterwege gelaten, zonder dat hier een verantwoording voor wordt gegeven.<sup>9</sup> Als een leerling niet op de hoogte wordt gesteld van deze onderlinge verbanden, hoe moet deze dan natuurkunde gaan begrijpen, laat staan toepassen in het dagelijkse leven? Er ontbreekt dus een focus op zowel beroeps- als wetenschappelijk gericht vervolgonderwijs of beroepskeuze bij, respectievelijk, havo en het vwo en de gekozen structurering is op verschillende manieren verwarrend.

De noodzaak voor deze eindtermen komt voort uit de behoefte aan een waardevol diploma. We hebben gezien dat het beeld van natuurkunde, een aanbieder van onbetwistbare absolute waarheid gevat in formules, waarvan de algemene structuur en onderlinge verbanden onduidelijk is, ontstaat door de combinatie van de inhoud en structuur van de eindtermen en de grote invloed van toetsing en het eindexamen. De vraag is of dit opweegt tegen de zelfs meest positieve uitkomst van het voortgezet natuurkundeonderwijs: een leerling voldoet aan de eindtermen. Deze vraag kunnen we pas voorzichtig en voorlopig beantwoorden, wanneer we een beeld hebben van eventuele andere mogelijkheden. Dit is een van de doelen van het komende hoofdstuk.

Samenvattend kampt het huidige voortgezet natuurkundeonderwijs met de volgende problemen. Als eerste resulteert het behalen van alle eindtermen niet in het behalen van het doel van het huidige vak natuurkunde. Dit komt door de focus op toetsbare kennis en de structurering van de domeinen. Ook is de gekozen structurering op verschillende manieren verwarrend. Ten tweede is het belang van het huidige vak natuurkunde onduidelijk en als laatste is de relatie die het vak natuurkunde heeft tot het belang en doel van het voortgezet onderwijs waar het deel van uitmaakt niet helder. Dit kan niet anders dan leiden tot een chaotisch en onduidelijk beleid en invulling van de inhoud en vorm omtrent het vak natuurkunde. Deze conclusie ligt in dezelfde lijn als die gemaakt wordt in het laatste rapport van het innovatieplatform: er is te weinig focus en regie in onderwijs en er zijn zorgen over de kwaliteit van onderwijs. Dit is een dusdanig probleem dat het één van de vijf knelpunten is om in de top vijf van duurzame kenniseconomieën te komen. De resultaten die in deze alinea samengevat zijn expliciteren mogelijke oorzaken van dit probleem.

<sup>9</sup> Een voorbeeld hiervan: de naamkeuze van domein E van vwo is golven en straling. Een golf is een verstoring die zich met een bepaalde snelheid voortbeweegt en die in de tijd kan veranderen. Straling is energie in de vorm van deeltjes of golven met een bepaalde snelheid. Op het schaalniveau van de fenomenen die binnen dit domein behandeld worden, is er fundamenteel geen verschil tussen een deeltje en een golf. Radioactiviteit wordt meestal beschouwd als een stroom deeltjes. Ultraviolet straling meestal als een golf. Het domein zou dus ‘golven, deeltjes en straling’ kunnen heten. Het domein is dan gestructureerd op fenomeen, hintend op het verband tussen deze drie fenomenen. Echter, ultraviolet is een frequentiegebied in het elektromagnetisch spectrum. Er is dus net zoveel voor te zeggen om een deel van dit domein, de eindtermen in kwestie, te plaatsen bij elektromagnetisme. Ook licht is deel van het elektromagnetisch spectrum. Bij havo wordt een groot deel van de stof die behandeld wordt in domein E van het vwo, golven en straling, behandeld in domein C, licht en geluid. Voor deze keuze is net zo veel te zeggen. Maar de naam licht en geluid, opnieuw een domeinstructurering aan de hand van fenomenen (waartussen een bepaalde overeenkomst is), is wat vreemd gekozen omdat geluid niet terugkomt in de eindtermen binnen dit domein.

De laatste belangrijke vinding, die nog niet genoemd is in de hier bovenstaande samenvatting, is dat er noch op het havo, nog op het vwo een beroepsmatige- of wetenschappelijke focus is. Dit is mogelijk een knelpunt voor het gewenst functioneren van het huidige natuurkundeonderwijs, maar dit is niet te beantwoorden zonder een helder antwoord op de werkelijke oorzaak die hierboven is aangekaart; i.e. als dit een knelpunt is, is dit een gevolg van een onduidelijke en onstabiele basis: geen heldere definities van en interne harmonie tussen het belang en doel van het natuurkundeonderwijs en geen harmonie met belang en doel van het voortgezet onderwijs. Zonder een duidelijke en stabiele basis kunnen we niet verwachten dat er goed natuurkunde onderwijs is.

In *natuurkunde leeft* worden er een aantal oorzaken van de problematiek in het huidige natuurkundeonderwijs aangewezen als antwoord op de vraag waarom vernieuwing van het natuurkundeonderwijs in havo en vwo gewenst is. De notie bestaat uit drie hoofdstukken en hoofdstuk 1 behandelt de hiervoor genoemde vraag. Volgens NiNa zijn de overladenheid van het huidige programma en het negatieve imago van het vak natuurkunde belangrijke problemen.<sup>10</sup> Ook wordt gesteld dat de inhoud van het vak in essentie nog hetzelfde is als het was in de jaren zestig. Dit resulteert in een groeiende spanning tussen de schoolvakken en hedendaagse natuurwetenschap, aldus Nina.<sup>11</sup> Ook wordt er volgens NiNa geen onderscheid gemaakt tussen wetenschap als menselijke activiteit en wetenschap als canon van kennis die door deze activiteit tot stand is gekomen en komt.<sup>12</sup> Verder hebben veel leerlingen moeite om concepten en formules in verband te brengen met de waarneembare wereld en missen wiskundige basisvaardigheden die cruciaal zijn voor natuurkunde (voor de complete lijst, zie appendix II).<sup>13</sup> Wanneer we deze punten bekijken zien we dat dit symptomen van het probleem zijn, geen oorzaken, op een gelijke wijze als het hierboven genoemde mogelijke knelpunt over het ontbreken van een beroepsmatige- of wetenschappelijke focus.

Daarnaast is het, hoewel er mogelijk belangrijke knelpunten aangewezen worden, niet mogelijk om rationele keuzes te maken omtrent de invulling van het curriculum aan de hand van de door NiNa aangewezen problemen; i.e. welke onderwerpen (o.a. wiskundige vaardigheden, technisch ontwerpen, de ontwikkelde kennis, of het wetenschappelijk proces) zijn van absoluut en welke zijn van minder belang? Dit is noodzakelijk omdat er maar een beperkte hoeveelheid tijd beschikbaar is en is deel van het antwoord op de vraag: wat is goed voortgezet natuurkundeonderwijs?

---

<sup>10</sup> Nina, *Natuurkunde Leeft*, pg. 18.

<sup>11</sup> Ibidem, pg. 18-19.

<sup>12</sup> Ibidem, pg. 23-24.

<sup>13</sup> Ibidem, pg. 77-78.

### 3. DISCIPLINAIRE INZICHTEN

*Het doel van dit hoofdstuk is om inzichten te vergaren waarmee we een meer omvattend antwoord kunnen krijgen op de vraag: wat is goed natuurkundeonderwijs? In dit hoofdstuk behandel ik inzichten van de disciplines: filosofie en geschiedenis van de natuurwetenschap, filosofie en geschiedenis van het onderwijs en onderwijskunde. In de twee voorlaatste alinea's van hoofdstuk 1 werd de manier behandeld waarop deze disciplines bijdragen aan een antwoord op deze vraag. Dit hoofdstuk bestaat uit vier paragrafen. Elke paragraaf begint met een korte beschrijving van het disciplinaire perspectief en formulering van de deelvragen. Vervolgens beantwoorden we de deelvragen. Elke paragraaf eindigt met een disciplinaire conclusie waarin we onder andere de gevonden criteria voor goed natuurkundeonderwijs noemen.*

#### 3.1 - FILOSOFIE EN GESCHIEDENIS VAN DE NATUURWETENSCHAP

*In deze paragraaf behandelen we de vraag wat is wetenschap vanuit de filosofie en geschiedenis van de natuurwetenschap. In het volgende hoofdstuk bekijken we waarom de inzichten van deze disciplines conflicteren en zoeken we een gemeenschappelijke basis waarmee we dit verschil kunnen begrijpen en hoe dit alles bij kan dragen aan een goed natuurkundeonderwijs. Daarnaast stellen we vanuit deze disciplines ook de vraag welke rol zij kunnen spelen in het voortgezet natuurkunde onderwijs.*

##### 3.1.1 - FILOSOFIE VAN DE NATUURWETENSCHAP: WAT IS WETENSCHAP?

*De filosofie van de natuurwetenschap kan ons inzicht geven in de vraag: wat is wetenschap? Deze discipline probeert het antwoord op de vraag te benaderen door het vinden van een ideaalbeeld. De filosofie van de natuurwetenschap heeft geen sluitend antwoord op deze vraag gevonden, maar wel vele inzichten gegenereerd. In deze paragraaf behandelen we drie zeer invloedrijke filosofieën met betrekking tot de vraag 'wat is wetenschap', ontwikkeld door Popper, Kuhn en Lakatos.*

Het bijzondere aan Poppers filosofie is dat dit de eerste was die niet uitging van justificatie.<sup>14</sup> Het artikel *conjectures and refutations*, geschreven door Popper, is gebruikt om inzicht te krijgen in de hoofdlijn van zijn ideeën. Popper noemde zijn filosofie kritisch rationalisme. In het kort zegt deze: de enige factor die invloed heeft op de wetenschappelijkheid van een theorie is of deze falsificeerbaar is. Een theorie is falsificeerbaar wanneer er een hypothese uit te af te leiden is die de theorie kan weerleggen. Het maakt dus niet uit of een theorie waar of acceptabel is, hoe exact of meetbaar, of hoe belangrijk de inzichten zijn die de theorie bevat. Dat theorieën als de Marxistische interpretatie van de geschiedenis, Freuds psychoanalyse of de racistische interpretatie van de geschiedenis op dat moment als wetenschappelijk werden geaccepteerd, kwam door de manier waarop het label "wetenschappelijk" in deze dagen gegeven werd: door verificatie. Bij verificatie gaat het erom iets te bewijzen, de waarheid van een uitspraak aan te tonen; vaak met behulp van inductief en deductief redeneren. Popper zag geloof en ideologie in deze theorieën, niet wetenschap. De bezigheid van een wetenschapper is het proberen te falsificeren van een theorie, door hypothesen op te stellen die a priori stellen welke waarneming de theorie zal weerleggen.<sup>15</sup>

Poppers filosofie is bekritiseerd door een groot aantal mensen. Er zijn een aantal problemen met een criterium voor wetenschap dat puur gebaseerd is op falsificatie, waarvan de volgende de belangrijkste is. Veel wetenschappelijke theorieën zijn niet falsificeerbaar, omdat ze niet toetsbaar zijn in isolatie. Alleen door andere theorieën te gebruiken, kan een dergelijke theorie getoetst en dus gefalsificeerd worden. Het staat de wetenschapper in kwestie dus vrij om de, wellicht minder belangrijke, theorie af te wijzen die gebruikt wordt om de theorie te testen. Zo zal een steen die plotsteling omhoogvalt, niet de theorie van zwaartekracht falsificeren. Wetenschappers zullen niet plotseling massaal op zoek gaan waarom stenen in de andere gevallen naar beneden vielen. In plaats daarvan zal er alles aan gedaan worden om deze anomalie te verklaren. Dit lijkt ons wellicht niet vreemd, want de theorie van zwaartekracht klopt, toch? Maar hier is juist het probleem, we kunnen nooit zeker weten of een theorie juist is. Dus wat een wetenschapper in een dergelijk geval doet is de theorie beschermen van weerleggen en dit is onwetenschappelijk gedrag volgens Popper. De wetenschappelijke methode zou niet bevooroordeeld zijn en beide opties in gelijke mate beschouwen. Dit is

<sup>14</sup> Bartley, *Rationality versus the Theory of Rationality*, section IX.

<sup>15</sup> Popper, *Conjectures and Refutations*, 3-10.



niet wat er in de praktijk gebeurt. Kuhn en Lakatos hebben deze kwestie benoemd en hebben een manier gezocht om een filosofie op te stellen die dit in acht zou nemen.

Thomas Kuhn introduceerde geschiedenis en sociologie in deze kwestie. Kuhn zegt dat Poppers verklaring niet overeenkomt met de geschiedenis van de wetenschap. Wetenschap is meer dan falsificeren en testen. Wanneer we naar de geschiedenis kijken, zegt Kuhn, zien we geen lineaire opstapeling van kennis, maar periodieke revoluties. Kuhn noemde deze revoluties paradigmaverschuivingen. In een paradigma-verschuiving is er een plotselinge verandering in de concepten, aannames, waarden en praktijken binnen een discipline. Een dergelijke periode noemt Kuhn *revolutionaire wetenschap*. Paradigmaverschuivingen zijn tussen een *voorwetenschappelijke* periode en *normale wetenschap*, of tussen twee periodes van normale wetenschap. Een voorwetenschappelijke periode is een periode waarin er geen consensus heerst binnen de gemeenschap van wetenschappers over een paradigma. Normale wetenschap is een periode waarin er een gevestigd paradigma heerst. In deze periodes is er een traditie van puzzel oplossen; wetenschappers proberen het paradigma uit te breiden en te verbeteren door het oplossen van onderzoekspuzzels. Dit zijn constructieve pogingen om een theorie te herzien. Dergelijke puzzels ontstaan door waarnemingen die nog niet door de theorie verklaard worden of waarnemingen die de theorie tegenspreken; anomalieën. In dergelijke periodes is het niet het corpus van gevestigde wetenschappelijke theorieën dat in twijfel wordt getrokken, maar de vaardigheid van de wetenschapper die uitgedaagd wordt. Oplossingen worden dus gezocht in het corpus. Dit leidt tot de dagelijkse activiteit van wetenschappers in een periode van normale wetenschap, welke relatief routine zijn. Wanneer de anomalieën opstapelen en zelfs de groepsleden die als meest briljant worden gezien herhaaldelijk te kort schieten, kan er een kritiek punt bereikt worden. In dit geval is de grondslag van de discipline in nood en begint een periode van revolutionaire wetenschap. Het zijn alleen deze periodes, wanneer wetenschappers zich gedragen zoals Popper beschrijft, vertelt Kuhn. Na deze periode zal er een nieuw paradigma ontstaan dat zowel de fenomenen beschrijft die het oude paradigma beschreef als de anomalieën. Kuhn zet Poppers wereld op zijn kop door te stellen dat het juist het ontstaan van een periode van normale wetenschap is - een periode wanneer er een traditie is van puzzel oplossen, een periode van een gevestigd paradigma dat niet in twijfel wordt getrokken en het stoppen met kritische beschouwing - die de overgang naar wetenschap kenmerkt.<sup>16</sup> Kuhn heeft ook betoogd dat er een fundamentele incommensurabiliteit is tussen twee paradigma's. Dit wil zeggen dat het niet mogelijk is iets uit paradigma A te begrijpen met behulp van de terminologie van paradigma B.<sup>17</sup>

De laatste filosoof die we bekijken is Imre Lakatos. Lakatos ziet een aantal belangrijke inzichten en problemen in de filosofieën opgesteld door Popper en Kuhn. Het maakt volgens Lakatos niet uit hoeveel mensen een bepaalde uitspraak geloven, of hoe sterk ze erin geloven. Het maakt ook niet uit hoe geloofwaardig een uitspraak is, of hoeveel mensen hem begrijpen. Een theorie kan wetenschappelijk zeer waardevol zijn, ook al gelooft of begrijpt niemand hem. De objectieve wetenschappelijke waarde van een theorie ligt buiten de menselijke geest die hem gecreëerd heeft.<sup>18</sup> Maar, alle theorieën zijn even onwaarschijnlijk, zoals Popper heeft aangetoond.<sup>19</sup> Lakatos stemt in met Popper dat het niet triviale verificatie (waar justificatie op gebaseerd is) van een theorie is die hem kenmerkt als wetenschappelijk, er zijn immers duizenden van dergelijke verificaties te bedenken. Zo is het geen succes voor Newtoniaanse mechanica dat stenen naar beneden vallen wanneer ze losgelaten worden. Lakatos is het eens met Kuhn, dat het kenmerk van wetenschap niet te vinden is in de falsificeerbaarheid van een theorie, daar alle theorieën groeien in een zee van anomalieën. Ook is wetenschap veel meer dan een triviaal proces van vallen en opstaan (Eng: *trial and error*). Maar hij wil ook niet accepteren dat wetenschappelijke revolutie op een bepaald niveau een irrationele verandering van inclinatie is.

Lakatos stelt een methodologie van onderzoeksprogramma's voor om de kracht van beide denkwijzen te behouden en de problemen ervan op te lossen. Het onderzoeksprogramma is de typerende eenheid waarin we belangrijke wetenschappelijke prestaties kunnen beschrijven, niet de geïsoleerde hypothese. Lakatos gebruikt klassieke mechanica om het concept uit te leggen. Klassieke mechanica is niet eenvoudig een set van vier stellingen: de drie wetten van Newton en de wet van zwaartekracht. Deze zijn de harde kern van het onderzoeksprogramma. Deze harde kern wordt hardnekkig beschermd door een beschermende gordel van

<sup>16</sup> Kuhn, *Criticism and the Growth of Knowledge*, 11-19.

<sup>17</sup> Kuhn, *Objectivity, Value Judgment, and Theory Choice*, 320-339.

<sup>18</sup> Lakatos, *Philosophical Papers*, 20-21.

<sup>19</sup> Popper *Logic of Discovery*, 363-367.

assisterende hypothesen. Belangrijker nog, het programma beschikt over een heuristiek, een krachtig probleemoplossend mechanisme dat ondersteund wordt door geavanceerde wiskundige technieken, waarmee anomalieën uit de weg geruimd of zelfs omgezet worden tot validatie van het onderzoeksprogramma (zie fig. 1). Alle onderzoeksprogramma's, in elk stadium van ontwikkeling, hebben onopgeloste anomalieën. In deze zin worden dus alle theorieën gefalsificeerd ont- en verworpen.<sup>20</sup>

Met behulp van de methodologie van onderzoeksprogramma's kunnen we een wetenschappelijk programma onderscheiden van een niet wetenschappelijke door te kijken naar de resultaten van het programma in kwestie. Een wetenschappelijk onderzoeksprogramma leidt tot de ontdekking van nieuwe feiten, of zelfs feiten die worden tegengesproken door een voorgaand of rivaliserend onderzoeksprogramma. In dit geval hebben we te maken met een onderzoeksprogramma dat progressief is. Volgens Lakatos zijn het de



Figuur 1) Structuur van een wetenschappelijk onderzoeksprogramma zoals Lakatos voorstelt.

dramatische, onverwachte, verbluffende voorspellingen die tellen; zelfs een paar van dergelijke uitkomsten zijn voldoende om de balans om te laten slaan. Niet- of pseudowetenschappelijke programma's zijn degeneratief: hypothesen en theorieën worden alleen opgesteld om bekende feiten te accommoderen. Vanuit deze filosofie ontstaan wetenschappelijke revoluties wanneer er twee rivaliserende onderzoeksprogramma's zijn, waarbij de nieuwe progressief wordt en de gevestigde degeneratief. Verder wordt een theorie niet opzij geschoven, voordat er een betere is (ook in het geval van falsificatie) en is kritiek constructief (het weerlegt een programma niet).

### 3.1.2 - GESCHIEDENIS VAN DE NATUURWETENSCHAP: WAT IS WETENSCHAP?

*Geschiedenis van de natuurwetenschap kan ons inzicht geven in de vraag: hoe werkt de natuurwetenschap? Het bekijkt hoe de wetenschap in het verleden geopereerd heeft.*

Op de vraag 'hoe werkt de natuurwetenschap' worden een aantal belangrijke inzichten gegeven door de historicus Bert Theunissen in zijn boek *'Diesels droom en Donders' bril. Hoe wetenschap werkt'*. Hoewel het boek zelf geen wetenschappelijke publicatie betreft, zijn de inzichten en beweringen die in het boek gepresenteerd worden, gestoeld op een groot scala aan onderzoek (voor de lijst van publicaties verwijs ik de lezer naar *'Diesels droom en Donders' bril'*).

In elk van de negen hoofdstukken, de inleiding en conclusie daargelaten, bespreekt Theunissen een casus die ons een deel van het antwoord laat zien. De verbazingwekkende stelling die Theunissen maakt, is dat er geen wetenschappelijke methode bestaat als onfeilbare methode om de natuur te doorgronden. Hij zegt: lang hebben mensen gedacht dat wetenschap tijdloos was: mensen veranderen, maar wetenschap zal altijd zijn wat ze is. Dit idee is achterhaald. Wetenschap is deel van onze cultuur, wanneer de natuur verandert, verandert wetenschap ook.<sup>21</sup> Dit zijn de belangrijkste twee inzichten met betrekking tot onze onderzoeksvraag.

In hoofdstuk 10 laat Theunissen zien dat wetenschappelijke theorieën niet in een vacuüm ontstaan, maar de stempel dragen van de cultuur waarin ze gevormd zijn. Cultuur en wetenschap zijn subtiel en nauw met elkaar verweven. Omdat wetenschap deel is van een cultuur, beïnvloedt wetenschap op haar beurt ook weer de cultuur. Dit is een interactie die plaats vindt in een oneindige verscheidenheid.<sup>22</sup>

Nu volgt een kort overzicht van de andere inzichten. Wetenschap en het doen van ontdekkingen is een creatief proces waarin velen betrokken zijn en waarbij een groot deel afhankelijk is van toeval. Het concept 'ontdekking' is misleidend in de zin dat er een moment van ontdekking, plaats van ontdekking en een ontdekker zou zijn. Zonder creativiteit is er geen wetenschap en creativiteit kent geen regels. Waarneming leidt niet automatisch tot kennis. Waarnemingen krijgen pas hun betekenis in een theoretisch raamwerk. Bij het doen van experimenten komt een grote hoeveelheid vakmanschap kijken. Experimenten worden niet beoordeeld in isolatie, maar in relatie tot bestaande kennis. Er is geen procedure waarmee een experiment op

<sup>20</sup> Lakatos, *Philosophical Papers*, 21-24.

<sup>21</sup> Theunissen, *Diesels droom*, 22.

<sup>22</sup> Ibidem, 145-146.

waarde beoordeeld kan worden. Onderzoekresultaten zijn niet eenduidig. Wetenschappelijke kennis is het resultaat van een discussie, niet de vaststelling van feiten die onbetwistbaar zijn. Het hangt af van iemands sentimenten ten opzichte van een theoretische stelling of onderzoekresultaten overtuigend bewijs zijn voor of tegen een dergelijke stelling. Zowel voor de vaardigheden van een onderzoeker als een theoretische stelling geldt, dat om te bepalen of de stelling wel of niet plausibel is, een betrouwbaar experiment nodig is. Maar om te bepalen of er sprake is van een betrouwbaar experiment, is a priori kennis van de uitkomst van het experiment nodig. Hoe onzekerder een theoretische stelling, des te moeilijker is het om te bepalen of een experiment te vertrouwen is.

Theunissen concludeert dat een recept dat met zekerheid leidt tot de waarheid niet gevonden kon worden in de voorbeelden vanuit de geschiedenis die bekeken zijn in zijn boek. Het wetenschappelijke proces is te onvoorspelbaar om gevangen te worden in een kookboek-achtig recept.<sup>23</sup> Er bestaat niet zoiets als een onfeilbare wetenschappelijke methode. Sterker nog, de manier waarop wij onze dagelijkse problemen oplossen, verschilt niet essentieel van de manier waarop wetenschappers hun problemen oplossen. De zogenaamde wetenschappelijke methode is niets meer dan een mooie naam voor het feilbare oplossingsvermogen dat iedereen heeft. Dit gezegd hebbende, stelt Theunissen wel dat er verschil is tussen dagelijks aanrommelen en wetenschappelijk onderzoek. Een wetenschapper is een expert, een specialist, die het beantwoorden van vraagstukken van de natuur tot zijn beroep heeft gemaakt. Hij heeft een gerichte training gevolgd en door zijn ervaringen kent hij de kneepjes van het vak.<sup>24</sup>

### 3.1.3 - ROL VAN FILOSOFIE EN GESCHIEDENIS IN HET NATUURKUNDEONDERWIJS

*In deze paragraaf bekijken we hoe de kennis van geschiedenis en filosofie van de natuurwetenschap gebruikt kan worden binnen het natuurkundeonderwijs. Dit valt uiteen in de kwestie welke rol zij kunnen spelen en op welke manier ze dit kunnen.*

Hoe kunnen de inzichten vanuit de geschiedenis en filosofie van de natuurwetenschap gebruikt worden in het onderwijs? Fabio Bevilacqua en Enrico Gianetto geven inzicht in deze vraag in het artikel *the history of physics and European physics education*. Zij maken deel uit van een vakgroep filosofen, geschiedkundigen en sociologen van de natuurwetenschappen die werken aan een benadering van natuurkundeonderwijs welke gebaseerd is op de feitelijke praktijken van natuurkundig onderzoek.<sup>25</sup> Voor de stelling dat natuurkundeonderwijs gebaseerd zou moeten zijn op de feitelijke praktijken van natuurkundig onderzoek voeren zij drie argumenten aan: al in 1972 is gesteld, door de *MIT System Dynamics Group* en in 1979 verder onderbouwd door het rapport *No Limits to learning*, dat de postindustriële behoefte van constante innovatie conflicteert met de heersende conservatieve benadering van onderwijs.<sup>63</sup> Als tweede, werd, met het ontstaan van de theoretische fysica als vakgebied, de scheiding tussen de geestes- en natuurwetenschap als steeds minder relevant beschouwd door natuurkundigen die zich bezighielden met debatten omtrent grondslagen.<sup>61</sup> En als laatste, ondanks de nadruk op unificatie in de discipline zelf, is traditioneel natuurkundeonderwijs nog steeds gebaseerd op de hiërarchie van de vakgebieden mechanica, elektromagnetisme, thermodynamica, relativiteit, kwantummechanica, etc.<sup>26</sup> De principes van kwantitatieve correspondentie binnen en tussen deze theorieën maskeren de conceptuele veranderingen die hebben plaatsgevonden. Om dit aan leerlingen te laten zien, vereist inzicht in de complexe interactie tussen verschillende disciplines, waaronder de onderwijskunde, de filosofie, geschiedenis en sociologie van de natuurwetenschap aldus Bevilacqua en Gianetto. Zij benadrukken dat natuurkunde, net zoals elke andere menselijke activiteit, een geschiedenis heeft en dat deze geschiedenis een nieuwe manier kan geven om de discipline te bekijken.<sup>59</sup> Natuurkundeonderwijs zou niet alleen gericht moeten zijn op technische training, maar zou ook de culturele aspecten van de wetenschappelijke praktijk moeten benadrukken; waarden en technische aspecten zijn intrinsiek met elkaar verweven in de praktijk van het onderzoek. Natuurkunde als onderdeel van natuurwetenschappelijk onderwijs zou haar oude rol van 'Bildung' weer moeten verkrijgen en zo een van de voornaamste pijlers van het moderne onderwijs zijn.

Op basis van filosofische beschouwingen heeft de groep een vierdelig raamwerk ontworpen van waaruit natuurkunde bekeken kan worden, anders dan de hiërarchie van de vakgebieden: de principes van regulatie, de

<sup>23</sup> Ibidem, 147.

<sup>24</sup> Ibidem, 151.

<sup>25</sup> Ibidem, 235.

<sup>26</sup> Bevilacqua, *history of physics and European physics education*, 238.

conceptuele modellen, het mathematisch formalisme en de experimentele resultaten.<sup>27</sup> De principes van regulatie geven aan hoe wetenschap bedreven zou moeten worden en de conceptuele modellen zijn de natuurkundige theorieën. Een aantal voorbeelden van regulatieve principes hebben we gezien in paragraaf 3.1.2. Dit raamwerk kan gebruikt worden binnen het onderwijs om een meer volledig begrip te krijgen van de natuurkunde, in plaats van een bijna complete focus op de conceptuele modellen die in het huidige natuurkunde onderwijs bijna het gehele curriculum in beslag nemen en welke een absolute waarheid te lijken te vertegenwoordigen.<sup>28</sup>

De motivaties voor het gebruik van de geschiedenis en filosofie van de natuurkunde kunnen volgens de groep driedig zijn. Als eerste zijn er de “kritische” motivaties. Deze motivaties berusten op de maatschappelijke behoefte naar geïnformeerde burgers betreffende de rol en aanwending van de natuurwetenschap in onze huidige maatschappij. Dan zijn er de “utilitarische” motivaties. Deze vallen uiteen in vier groepen. Als eerste de behoefte om aan een grotere groep leerlingen les te geven waarbij de geschiedenis van de natuurwetenschap gebruikt kan worden om de inhoud te vereenvoudigen betreffende mathematisch formalisme. Ten tweede is er de zorg over het afnemend aantal natuurkundestudenten op alle niveaus. Geschiedenis van de natuurwetenschap kan gebruikt worden in een poging het onderwijs te verbeteren. Het derde punt dat gegeven wordt, is het aanpakken van misconcepties van leerlingen. De laatste van de utilitarische motivaties is de behoefte aan professionals die innovatie begrijpen.<sup>29</sup> Door leerlingen te laten zien hoe groei en verandering in het verleden heeft plaatsgevonden, kunnen zij voorbereid worden om om te gaan met continue verandering en innovatie in zowel de wetenschap als hun leven.<sup>30</sup> Tenslotte zijn er *proper educational* motivaties, wat de onderzoekers ook wel Bildung noemen. Deze kunnen we beschouwen als de behoefte om de culturele kloof tussen de wetenschap en de maatschappij te overbruggen en om het interdisciplinaire karakter en de culturele aspecten van wetenschap te benadrukken in plaats van alleen de technische.<sup>66</sup>

### 3.1.4 - DISCIPLINAIRE CONCLUSIE

Paragraaf 3.1.1 behandelde de vraag wat wetenschap is. De volgende inzichten zijn gegenereerd met betrekking tot dit vraagstuk:

*Popper:*

1. Om te bepalen of we te maken hebben met wetenschap, maakt het niet uit of een theorie waar of acceptabel is, hoe exact of meetbaar deze is, of hoe belangrijk de inzichten zijn die de theorie bevat.
2. Alle theorieën zijn even onwaarschijnlijk.
3. Of een theorie wel of niet wetenschappelijk is, hangt af of deze wel of niet falsificeerbaar is.
4. Verificatie van een theorie zegt niets over de wetenschappelijke waarde ervan.
5. De bezigheid van een wetenschapper is het proberen te falsificeren van een theorie, door hypotheses op te stellen die a priori stellen welke waarneming de theorie zal weerleggen.

*Kuhn:*

6. Het kenmerk van wetenschap is niet te vinden in falsificatie. Wetenschap is meer dan falsificeren en testen.
7. Het is het ontstaan van een periode van normale wetenschap - een periode wanneer er een traditie is van puzzel oplossen, een periode van een gevestigd paradigma dat niet in twijfel wordt getrokken en het stoppen met kritische beschouwing – na een periode van revolutie, die de overgang naar wetenschap kenmerkt.

*Lakatos:*

8. Een theorie kan wetenschappelijk zeer waardevol zijn, ook al gelooft of begrijpt niemand hem.
9. Het maakt niet uit hoeveel mensen een bepaalde uitspraak geloven, of hoe sterk ze erin geloven. Het maakt ook niet uit hoe geloofwaardig een uitspraak is, of hoeveel mensen hem begrijpen.
10. De objectieve wetenschappelijke waarde van een theorie ligt buiten de menselijke geest die hem gecreëerd heeft.

<sup>27</sup> Ibidem, 239.

<sup>28</sup> Zie hoofdstuk 2

<sup>29</sup> Ibidem, 241.

<sup>30</sup> Ibidem, 240.

11. Een wetenschappelijk onderzoeksprogramma is te onderscheiden van een niet wetenschappelijke door te kijken naar de resultaten van het programma in kwestie. Een wetenschappelijk onderzoeksprogramma is progressief. Niet of pseudowetenschappelijke programma's zijn degeneratief.
12. Een theorie wordt niet opzij geschoven voordat er een betere is, ook in het geval van falsificatie. Daarbij is kritiek op een theorie constructief.

De tweede paragraaf behandelde het geschiedkundige perspectief op de vraag, wat is wetenschap, nl. hoe heeft wetenschap gewerkt in het verleden? Het antwoord hierop is samen te vatten in de volgende stellingen:

1. Wetenschap is deel van onze cultuur, wanneer de cultuur verandert, verandert de wetenschap en haar inzichten ook:
  - a. Wetenschappelijke theorieën ontstaan niet in een vacuüm, maar zijn intrinsiek verweven met de cultuur waarin ze gevormd zijn.
  - b. Experimenten worden niet beoordeeld in isolatie, maar in relatie tot bestaande kennis.
  - c. Wetenschappelijke kennis is het resultaat van een discussie, niet de vaststelling van feiten die onbetwistbaar zijn. Het hangt af van iemands sentimenten ten opzichte van een theoretische stelling of onderzoeksresultaten overtuigend bewijs zijn voor of tegen een dergelijke stelling.
2. De wetenschappelijke methode als onfeilbare methode om de natuur te doorgronden bestaat niet:
  - a. Wetenschap en het doen van ontdekkingen is een creatief proces waarin velen betrokken zijn en waarbij een groot deel afhankelijk is van toeval.
  - b. Bij het doen van experimenten komt een grote hoeveelheid vakmanschap kijken.
  - c. Experimenten worden niet beoordeeld in isolatie, maar in relatie tot bestaande kennis.
  - d. Er is geen procedure waarmee een experiment op waarde beoordeeld kan worden.
  - e. Onderzoeksresultaten zijn niet eenduidig.
  - f. Wetenschappelijke kennis is het resultaat van een discussie, niet de vaststelling van feiten die onbetwistbaar zijn. Het hangt af van iemands sentimenten ten opzichte van een theoretische stelling of onderzoeksresultaten overtuigend bewijs zijn voor of tegen een dergelijke stelling.
  - g. Zowel voor de vaardigheden van een onderzoeker als een theoretische stelling geldt, dat om te bepalen of het wel of niet plausibel is een betrouwbaar experiment nodig is. Maar om te bepalen of er sprake is van een betrouwbaar experiment, is a priori kennis van de uitkomst van het experiment nodig.
  - h. Hoe onzekerder een theoretische stelling, des te moeilijker is het om te bepalen of een experiment te vertrouwen is.
  - i. Het concept 'ontdekking' is misleidend in de zin dat er een moment van ontdekking, plaats van ontdekking en een ontdekker zou zijn.
  - j. Zonder creativiteit is er geen wetenschap en creativiteit kent geen regels.

In de derde paragraaf stelden we de vraag welke rol filosofie en geschiedenis van de natuurwetenschap kunnen spelen in het natuurkundeonderwijs en hoe deze zijn toe te passen binnen het natuurkundeonderwijs. Er werden drie categorieën aangedragen voor het gebruik van inzichten uit de filosofie en geschiedenis van de natuurwetenschap in het natuurkundeonderwijs: kritische, utilitarische en *proper educational* motivaties. Hier zien we de verschillende rollen die geschiedenis van de natuurwetenschap kan spelen in het voortgezet onderwijs. Een manier waarop dit mogelijk is, is door te werken vanuit het volgende raamwerk: de principes van regulatie, de conceptuele modellen, het mathematisch formalisme en de experimentele resultaten. Dit leidt tot een natuurkundeonderwijs wat, in ieder geval, voldoet aan de eisen voor goed natuurkundeonderwijs die gesteld worden door Bevilacqua en Gianetto, goed natuurwetenschappelijk onderwijs:

1. is gebaseerd op de feitelijke praktijken van natuurkundig onderzoek.
  - a. de processen, in plaats van op de resultaten van wetenschap.
  - b. op wetenschappelijke debatten, in plaats van dogmatisme.
  - c. op innovatieve manieren waarop je een probleem kunt definiëren in plaats van hoe een technische oplossing te geven op een van te voren gedefinieerd probleem.
2. overbruggt de culturele kloof tussen de wetenschap en de maatschappij en benadrukt het interdisciplinaire karakter en de culturele aspecten van wetenschap in plaats van alleen de technische;
3. draagt bij in de ontwikkeling van professionals die innovatie begrijpen.

4. draagt bij aan de ontwikkeling van geïnformeerde burgers betreffende de rol en aanwending van de natuurwetenschap in onze huidige maatschappij; dit is een van de redenen waarom misconcepties aangepakt moeten worden.

### 3.2 - FILOSOFIE VAN HET ONDERWIJS

*De filosofie van het onderwijs kan ons inzicht geven in de vraag: wat is goed onderwijs? Deze discipline probeert het antwoord op de vraag te benaderen door het vinden van een ideaalbeeld. Er is geen overeenstemming over dit ideaalbeeld. Vanuit de toenaderingen van het ideaalbeeld van onderwijs probeert zij door kritische reflectie, met de resultaten uit de onderwijspraktijk in ogenschouw genomen, te komen tot praktische adviezen voor het onderwijs. Inzichten in deze vraag leiden tot de vraag of natuurkundeonderwijs überhaupt een plek heeft in het voortgezet onderwijs en zo ja, welke. Ook deze vraag behandelen we vanuit de filosofie van het onderwijs.*

Wat is goed onderwijs? Om deze vraag te beantwoorden is het handig wanneer we een overzicht hebben van mogelijke antwoorden op deze vraag. Professor Harry Brighouse doet precies dit in het hoofdstuk2 van *the Oxford Handbook of Philosophy of Education*, getiteld *Moral and Political aims of Education*. Brighouse stelt voor om de doelstellingen van onderwijs in drie categorieën in te delen: werkelijke-doelstellingen (oorspronkelijk: aims-goals), distributieve doelstellingen en beperkingen. Werkelijke-doelstellingen benoemen de doelen van onderwijs in de zin dat ze gebaseerd zijn op de idealen van hoe een opgeleid persoon zou moeten zijn en identificeren de waardes die ten grondslag liggen aan deze idealen. Distributieve doelstellingen geven aan hoe onderwijskansen verdeeld zouden moeten zijn. Deze laten we voor wat het zijn, omdat deze categorie doelstellingen niet direct van betrekking is op de onderzoeksvraag van deze scriptie. Beperkingen legt Brighouse als volgt uit: stel, mensen zijn het geheel eens over de doelen en distributie van het onderwijs, dan zou er nog steeds onenigheid kunnen zijn in hoeverre het toelaatbaar is dat de overheid aan de wensen van ouders voorbij gaat om deze doelstellingen te behalen en in hoeverre scholen dwang mogen gebruiken om leerlingen aan te zetten tot schoolwerk.<sup>31</sup>

Brighouse draagt de volgende vijf werkelijke-doelstellingen aan, met de opmerking dat er onder onderwijsfilosofen geen overeenstemming is over deze doelstellingen: persoonlijke autonomie, het vermogen om bij te dragen aan het sociaal en economisch leven, persoonlijke voldoening, democratische bekwaamheid en vermogen tot samenwerken. Deze doelstellingen kunnen op vele manieren gecombineerd worden en er zal altijd een afweging zijn tussen de verschillende werkelijke-doelstellingen. Dit komt ontstaat door de keuze van distributie, de keuze van onderwijsfocus. Een andere belangrijke factor is de gelimiteerde tijd. De werkelijke-doelstellingen zijn dus gewogen ten opzichte van elkaar en worden op deze manier geïntegreerd tot een nieuw geheel.<sup>32</sup>

Het bezielende idee achter de eerste doelstelling is het idee dat, wil een persoon een gelukkig leven leiden, deze een manier van leven moet vinden die past bij zijn of haar persoonlijkheid. Denk hier bijvoorbeeld aan de keuze van religie, keuze van beroep en het ontdekken van seksuele geaardheid. Een autonoom persoon is reflectief en geeft gehoor aan rede, of dit nu zijn eigen welzijn of die van een ander aangaat.<sup>33</sup> Het vermogen om bij te dragen aan het sociale en economische leven is in onze kapitalistische economie een noodzakelijkheid, omdat kapitalistische economieën een grote waarde hechten aan economische onafhankelijkheid.

Geld zou echter niet de enige beloning van werk moeten zijn. Iemand zou ook voldoening en waardering moeten kunnen vinden in zijn (on)betaalde bezigheden. Mensen zouden daarom een zo groot mogelijke vrijheid moeten hebben in hun baankeuzes. Dit ondersteunt onderwijs dat mensen in staat stelt om de kans te hebben op werk waarin ze voldoening kunnen vinden en gedijen en ze tegelijkertijd het relatieve belang van werk ten opzichte van andere activiteiten kunnen beoordelen.<sup>34</sup> Persoonlijke voldoening ligt ten grondslag aan de vorige twee doelstellingen. Volgens Brighouse zou een school zichzelf verplicht moeten stellen om leerlingen te ondersteunen om gelukkige en florerende levens te leiden over de lange termijn. Kinderen in onze maatschappij zullen barrières tegenkomen die overwonnen moeten worden om een gelukkig en florerend leven te leiden. Het is zeer moeilijk voor ouders, zelfs als ze welwillend zijn en goed kunnen beoordelen wat in

<sup>31</sup> Brighouse, *Oxford Handbook*, 35-36.

<sup>32</sup> Ibidem, pg. 45

<sup>33</sup> Ibidem, 36-37.

<sup>34</sup> Ibidem 37-39.

het belang is voor hun kind, om een kind hierop volledig voor te bereiden. We weten dat materiële en financiële rijkdom niet gelukkig maakt. Armoede, zelfs relatief ondervonden armoede, maakt ongelukkig en begrenst aanzienlijk het vermogen om te floreren. Inkomen helpt mensen om meer zekerheid en controle te hebben over hun leven, maar alleen tot een bepaald punt. Verder inkomen maakt iemand niet gelukkiger, zeker als dit hen weghoudt van vrienden en familie. Het hebben van nauwe banden met familie en vrienden correleert met ondervonden welzijn. Iets anders dat nauw samenhangt met persoonlijke voldoening is de beoefening van vaardigheden die een uitdaging kunnen bieden, zelfs als ze er niet goed in zijn. In dat laatste geval worden vaak hobby's gevonden. Dit kan zo ver gaan dat mensen daarin de zin van hun leven vinden.<sup>35</sup>

Democratische bekwaamheid wil zeggen dat iemand in staat is democratische instellingen te gebruiken om hun belangen te behartigen en tegelijkertijd de legitieme belangen van anderen te herkennen. De hiervoor benodigde kennis en vaardigheden zijn talrijk en afhankelijk van context.<sup>36</sup>

De laatste werkelijke-doelstelling is het vermogen tot samenwerken. Volgens Brighthouse is samenwerking niet iets dat we vanzelf leren, zeker omdat conflict en competitie zo aanwezig zijn in onze economie en maatschappij. De meeste mensen zullen een beter leven hebben als ze in staat of zelfs geneigd zijn om met anderen samen te werken en hen als gelijke te zien, zegt Brighthouse. Hij adviseert dat samenwerken wordt aangemoedigd en geoefend vanaf zeer jonge leeftijd.<sup>37</sup>

De laatste categorie doelstellingen zijn de beperkingen. Dit zijn beperkingen op wat er gedaan mag worden om de gekozen en opgestelde doelstellingen van de vorige twee categorieën na te jagen. Het gaat hier niet om pragmatische beperkingen, zoals de beperking dat het onmogelijk is alle doelstellingen in te voeren. Brighthouse doelt hier op grenzen die we moreel gezien niet zouden mogen overschrijden. Hij onderscheidt twee beperkingen: ouders- en leerling gecentreerde beperkingen. De eerste zijn niet van belang voor dit onderzoek. De leerling gecentreerde beperkingen zijn in het belang voor de jongere die het onderwijs geniet. Alle doelstellingen in de eerste twee categorieën gaan over hoe het kind later zou moeten zijn. Het volwassen-inwording deel van een kind is echter slechts een klein deel. De kindertijd en jeugd zijn een belangrijk deel van iemands leven. De kwaliteit hiervan is belangrijk, los van de gevolgen ervan op het volwassen deel van ons leven. Brighthouse vertelt dat filosofen nog weinig werk hebben verricht in onderzoek naar de manieren waarop de leerling gecentreerde beperkingen de werkelijke en distributieve doelstellingen limiteren, ondanks dat geen van hen het belang van deze periode van ons leven ontkent.<sup>38</sup>

De vraag is of, en vervolgens hoe, natuurkunde bij kan dragen aan elk van deze doelstellingen. Machold behandelt deze kwestie. Hoewel een criticus van het huidige natuurkundeonderwijs, geeft hij een positief antwoord op deze vraag, maar verlegt wel het doel van dit onderwijs wanneer we het vergelijken met de eindtermen van het huidige voortgezet natuurkundeonderwijs.

Over de disfunctionaliteit van het huidige natuurkundeonderwijs zegt Machold het volgende. Natuurkundeonderwijs in termen van het wiskundige beschrijven van problemen is te vroeg. Leerlingen hebben geen zicht op het oorspronkelijke probleem dat de bijhorende wiskunde noodzakelijk maakte. Omdat ze dit probleem niet zien, zijn ze ook niet geïnteresseerd in de oplossing ervan.<sup>39</sup> Een van de motivaties voor natuurkundeonderwijs is dat leerlingen met kennis van de natuurkunde later in hun leven beter onze gemechaniseerde wereld kunnen hanteren; bijvoorbeeld we besparen brandstof als we de thermostaat lager zetten, een voertuig heeft een langere remweg op een vochtig of ijzig wegdek. Maar Machold geeft aan dat het leeuwendeel van deze kennis opgedaan is buiten de schoolbanken, niet erin. Een ander aspect van het hanteren van de gemechaniseerde wereld is het omgaan met technische instrumenten in ons dagelijks leven. Drie voorbeelden die hij aandraagt om duidelijk te maken dat natuurkunde op school hiervoor niet belangrijk is, zijn: het besturen van een auto zonder dat we het proces onder de motorkap begrijpen, het meereizen in een vliegtuig zonder dat we kennis hoeven te hebben van de technische systemen ervan en het gebruik van televisie, telefoon en internet zonder dat we weten hoe we deze data ontvangen. Het komt volgens Machold hier op neer: wanneer we een elektrisch fornuis gebruiken, willen we dat het heet wordt. We vragen ons niet af waarom de bedrading niet heet wordt en gaat branden. Het punt dat hij hiermee maakt, is dat we succesvol

<sup>35</sup> Ibidem 39-40.

<sup>36</sup> Ibidem, 40.

<sup>37</sup> Ibidem, 41.

<sup>38</sup> Ibidem, 47-48.

<sup>39</sup> Machold, *Is Physics Worth Teaching?*, 301.

gebruik maken van een groot aantal technische apparaten, zonder te weten hoe het werkt. Het is zelfs onmogelijk om het te begrijpen, omdat de werking ervan erg gecompliceerd is. Veel leerlingen en volwassenen zijn gewend om natuurkundige problemen in het dagelijks leven op te lossen met hun eigen concepten - schijnbaar heel succesvol. Deze leerlingen zijn niet geïnteresseerd in wetenschappelijke concepten aangeboden vanuit het natuurkundeonderwijs.<sup>40</sup> Men zou kunnen concluderen dat natuurkundeonderwijs overbodig is, maar dit gaat volgens Machold te ver.

De redenen om natuurkundeonderwijs is aan te bieden binnen het voortgezet onderwijs zijn volgens Machold drieledig:

1. de vervanging van, mogelijk foute en bijna altijd vage, dagelijkse concepten door exacte natuurkundige concepten,
2. het leren en begrijpen van strategieën die gebruikt worden door professionals in de natuurkunde,
3. het bevatten van de fundamentele wetten van de natuur.<sup>41</sup>

Het belang van natuurkunde onderwijs is niet hoofdzakelijk het verkrijgen van kennis, maar het verkrijgen van cognitieve vaardigheden die toegepast kunnen worden in andere delen van het leven. Dit valt uiteen in het verkrijgen van een fundamenteel begrip van de natuurkunde, de vorming van opbouwende concepten en de ontwikkeling van intellectuele onafhankelijkheid.<sup>42</sup>

### 3.2.1 - DISCIPLINAIRE CONCLUSIE

Vanuit deze paragraaf kunnen de volgende criteria opgesteld worden. Volgens *Brighouse*, goed voortgezet onderwijs:

1. Is onderwijs dat bijdraagt aan de persoonlijke autonomie.
2. Is onderwijs dat iemand het vermogen geeft bij te dragen aan het sociaal en economisch leven.
3. Is onderwijs dat bijdraagt aan iemands vermogen voor persoonlijke voldoening. Een school zou zichzelf verplicht moeten stellen om leerlingen te ondersteunen om gelukkige en florerende levens te leiden over de lange termijn.
4. Moet leiden tot democratische bekwaamheid.
5. Geeft iemand het vermogen tot samenwerken.
6. Richt zich op (of minstens, houdt rekening met) de mens van dit moment. De kindertijd en jeugd zijn een belangrijk deel van iemands leven. De kwaliteit hiervan is belangrijk, los van de gevolgen ervan op het volwassen deel van ons leven.

Hierbij moeten we ons wel realiseren dat het onmogelijk is om al deze criteria in te voeren. Zij kunnen op vele manieren gecombineerd worden. Er zullen dus altijd keuzes gemaakt moeten worden; de criteria zijn gewogen ten opzichte van elkaar en worden geïntegreerd tot een nieuw geheel.

Machold richtte zich direct op het voortgezet natuurkundeonderwijs. Volgens Machold kan het verkrijgen van kennis waarmee we onze gemechaniseerde wereld kunnen begrijpen of gebruiken niet het doel van voortgezet natuurkunde onderwijs zijn, omdat leerlingen, respectievelijk, de noodzakelijke kennis voornamelijk buiten de schoolbanken opdoen en zij gebruik kunnen maken van een groot aantal technische apparaten zonder te weten hoe deze werken. Dit doel kan leerlingen om deze twee redenen niet motiveren en heeft disfunctioneel natuurkundeonderwijs als gevolg. De volgende criteria zijn af te leiden. Goed voortgezet natuurkundeonderwijs:

7. stelt de beschrijving van natuurkundige problemen in termen van wiskunde uit tot het moment dat leerlingen inzien wat het probleem is dat de bijhorende wiskunde noodzakelijk maakt.
8. zorgt ervoor dat leerlingen hun dagelijkse concepten, waarmee zij natuurkundige problemen uit hun dagelijks leven oplossen, vervangen door natuurkundige concepten.
9. zorgt ervoor dat leerlingen de strategieën leren kennen en begrijpen die gebruikt worden door professionals in de natuurkunde.
10. zorgt ervoor dat leerlingen de fundamentele wetten van de natuur bevatten.
11. is gericht op het verkrijgen van cognitieve vaardigheden die toegepast kunnen worden in andere delen van het leven. Deze vaardigheden zijn het verkrijgen van een fundamenteel begrip van de natuurkunde, de vorming van opbouwende concepten en de ontwikkeling van intellectuele onafhankelijkheid.

<sup>40</sup> Ibidem, 301-302.

<sup>41</sup> Ibidem, 302.

<sup>42</sup> Ibidem, 309-310.



### 3.3 - GESCHIEDENIS VAN HET ONDERWIJS

*Met de geschiedenis van het onderwijs kunnen we een beeld krijgen van het gevolg een bepaald onderwijsbeleid in het verleden. In hoofdstuk 1 stelden we dat deze discipline inzicht kon geven in welk onderwijsbeleid heeft geleid tot een bloeiende kenniseconomie en welk beleid heeft geleid tot het verval ervan. Daarvoor bekijken we de vraag: wat is het resultaat van een bepaald beleid van onderwijs op de maatschappij en dan specifiek de wetenschappelijke en technologische staat van een natie?*

Op deze vraag geeft André Klukhuhn ons zicht in hoofdstuk VIII.5 van zijn boek 'Alle mensen heten Janus.' Het boek is een literatuurstudie die bouwt op een verscheidenheid aan filosofische en geschiedkundige bronnen.<sup>43</sup> De kern van Klukhuhns boodschap is dat 'de dienstbaarheid aan de "praktische belangen" een verstrooiend effect op de wetenschappen zou hebben (...).' Klukhuhn schrijft:

'niet in de laatste plaats omdat iedere vorm van niet onmiddellijk verhandelbare kennis, vooral uit de mens- en geesteswetenschappen, daarmee op de tocht is komen te staan. De in economische kringen gestelde voorwaarde dat kennis iets moet zijn waaraan je ook iets hebt, in die zin dat er ook wat aan verdiend moet kunnen worden, leidt zo vanzelf tot een cultuur waarin we de rozen en orchideeën kunnen wegdoen, en alleen de knollen en rapen behouden zullen worden.'

Om zijn bewering te kunnen onderbouwen, put hij uit de wetenschapsgeschiedenis van de laatste paar honderd jaar, waarin de universiteiten in opkomst zijn gekomen.<sup>44</sup>

In het tweede deel van het hoofdstuk presenteert Klukhuhn een achttal bronnen, waarvan vijf onderzoeken die het aannemelijk maken wat de link is tussen de wetenschappelijke en technologische bloei van een land en de uitgangspunten van het onderwijs en onderzoek. We richten ons hier op het onderwijs en laten onderzoek voor wat het is. Klukhuhn draagt aan dat, binnen 65 naar de veranderingen van de Grandes Écoles 'wetenschap en techniek in Frankrijk (...) zo ver achtergebleven [waren] bij de rest van Europa, dat de Fransen de oorlog met het Duitsland van de Humboldt-universiteiten in 1870 kansloos verloren.'<sup>44</sup> De Grandes Écoles mocht zich alleen nog richten op dat wat concreet toepasbaar was in de maatschappij. Wat Klukhuhn niet noemt, is dat de gehele focus van natuurwetenschappelijk onderzoek in deze jaren verschoof van Frankrijk naar Engeland en Duitsland.<sup>45</sup> Naast deze situatie draagt Klukhuhn een voorbeeld aan van een vergelijkbare situatie in de V.S.<sup>46</sup>

In vergelijking hiermee presenteert Klukhuhn de veranderingen in het onderwijs die gemaakt zijn tussen 1808 en 1810 door Wilhelm von Humboldt via het Pruisische ministerie van Wetenschap en Onderwijs. Humboldt baseerde zijn onderwijsstelsel op het begrip "Bildung". Dit omvat 'algemene ontplooiing van alle menselijke vermogens en dus niet alleen de verwerving van kennis maar ook het vermogen tot moreel en esthetisch oordelen en rechtvaardig handelen.' In 1863 voerde Johan Thorbecke ook in Nederland een vernieuwing van onderwijs in: de Wet op het Middelbaar onderwijs. Deze is gebaseerd op de visie van het Duitse stelsel van Humboldt. In de toelichting op de wet werd gesteld:

'De minister heeft te regt het Duitse stelsel gekozen, dat ook bij vroegere gelegenheden in de kamer de meeste voorstanders heeft gevonden. Van de invoering van het Franse stelsel zou toch algemene verlaging van het wetenschappelijke peil het gevolg zijn; ene verlaging, die op de praktische maatschappelijke belangen zelve, waarvan hier sprake is, allernadeeligst zou werken.'<sup>47</sup>

De historicus Bastiaan Willink linkt de invoer van Thorbeckes wet met de bloeiperiode van Nederland die hij bij voorkeur 'de Tweede Gouden Eeuw' noemt, door de opvallende gelijkenis met de culturele, wetenschappelijke en economische bloeiperiode van 200 jaar daarvoor.<sup>48</sup>

We hebben gezien dat Bildung het uitgangspunt is van Humboldt bij de vernieuwing van het Duitse onderwijssysteem. Het woord *Bildung* is afkomstig van het woord *Bild*: afbeelding. Johann Gottfried von Herder, die deze term introduceerde, baseerde zich op een thema in de Christelijke mystiek: het worden van *imago dei*, het beeld van God, als doel van de mens.<sup>49</sup> Het pedagogische aspect van Bildung kan herleid worden

<sup>43</sup> Klukhuhn, *Alle mensen heten Janus*, 846 (nr. 121 tot 136).

<sup>44</sup> Ibidem, 636-637.

<sup>45</sup> Dongen, J. van, in: *2<sup>e</sup> college in de cursus 'Geschiedenis van de Moderne Natuurwetenschap'* (2010).

<sup>46</sup> Klukhuhn, *Alle mensen heten Janus*, 641.

<sup>47</sup> Willink, *De Tweede Gouden Eeuw*, 39.

<sup>48</sup> Vincent van Gogh en Piet Mondriaan tegenover Rembrandt van Rijn en Johannes Vermeer; Van 't Hoff, Zeeman en Lorentz tegenover Christiaan Huygens en Simon Stevin, Shell, Philips en Unilever tegenover de Oost- en West-Indische Compagnieën.

<sup>49</sup> Liedman, *Lesson for Life*, 328.

tot het Griekse *paideia*,<sup>50</sup> een systeem van onderwijs uit de Griekse oudheid waarin studenten een gedegen culturele opleiding kregen. In *paideia* kwamen onderwerpen als gymnastiek, grammatica, retoriek, muziek, geografie, natuurlijke historie en filosofie.<sup>51</sup> Dit proces van onderwijs moest mensen brengen naar hun ware vorm.<sup>52</sup>

Voor Humboldt is *Bildung* de ontwikkeling van de eigen potenties door onderwijs. Het leidt tot voldoening en diversiteit binnen een gemeenschap.<sup>53</sup> Humboldt ziet *Bildung* als een doel van de mens.<sup>54</sup> Hij gaat zelfs zo ver om te stellen dat 'de hoogste en meest harmonieuze *Bildung* van de mens naar een volkomen en samenhangend geheel' zijn ware doel is. Voor een dergelijke ontwikkeling is vrijheid de belangrijkste voorwaarde. Maar daarnaast is er een andere noodzakelijkheid, welke nauw gerelateerd is aan vrijheid: verscheidenheid van situaties. Zelfs de meest vrije en onafhankelijke mens wordt beperkt in zijn ontwikkeling door eenzijdigheid. Voor Humboldt kan *Bildung* dus geen privéaangelegenheid zijn. Alleen wanneer het individu in harmonie is met zichzelf en de wereld buiten hem, is er sprake van een *gebildet* mens.<sup>55</sup> Individuele vrijheid en verscheidenheid in mogelijkheden van onderwijs zijn dus vereisten voor processen van *Bildung*. Dergelijke processen zijn open met betrekking tot de toekomst. Dit wil zeggen dat het onbekende en onzekere karakter van de toekomst en het nooit voltooid zijn van menselijke *Bildung* bepalende elementen zijn van *Bildung*. Het is belangrijk dat deze onzekerheden niet gemaskeerd worden met illusies van zekerheid.<sup>56</sup> De beperking van de invloed van de staat is een voorwaarde voor de ontwikkeling van de diversiteit van haar burgers. Dit relateert tot de eerste voorwaarde, de voorwaarde van vrijheid, van hierboven. Beperking van de staat wordt nog belangrijker wanneer we beseffen dat deze niet in staat is om naar behoren te voorzien in de complexiteit van het sociaal leven, wat relateert tot de tweede voorwaarde: verscheidenheid. De staat moet dus zijn verlangen om de gemeenschap te vormen naar zijn visie beperken. Volgens Humboldt is de staat er niet om zichzelf in stand te houden, maar om het welzijn van zijn burgers te waarborgen. Humboldt stelde dat dit in de moderne samenleving dit niet langer behaald kan worden door gemeenschappelijke doelstellingen die aan de maatschappij als geheel opgelegd worden. In plaats daarvan moeten mensen voorzien worden in de mogelijkheid om hun eigen streven vorm te geven en te realiseren. Het is de taak van de staat om de condities te waarborgen die hiervoor nodig zijn. Het is de taak van het individu om te bepalen wie hij is en wat hij wil.<sup>57</sup>

Om dit te realiseren ontwikkelde Humboldt een systeem van onderwijs. In de nota *Der königsberger und der litauische Schulplan*, geschreven in 1809, zet hij het systeem uiteen. Hij geeft daar een bewijs, op filosofische wijze, dat er slechts drie educatieve fasen mogelijk zijn: basis, middelbaar en hoger.<sup>58</sup> Deze structuur zien we vandaag de dag nog steeds terug in ons onderwijssysteem. Het was voor Humboldt belangrijk dat alle kinderen toegang hadden tot onderwijs. Op het middelbaar onderwijs zouden leerlingen geen gedetailleerde modellen van de maatschappij of instanties aangeboden krijgen, maar slechts 'waarlijk menselijke modellen.' Want, zo stelde Humboldt, wanneer er specifieke educatieve doelstellingen gesteld zouden worden of wanneer men probeerde kennis door te geven die nodig was voor de toekomst van de leerling, in plaats van te richten op 'de belangrijkste intellectuele stromingen', zou het hele proces 'onzuiver' worden. Een dergelijk onzuiver proces zou niet kunnen leiden tot 'volledige mensen' of 'volledige burgers in de verschillende sociale klassen.'<sup>59</sup> De onderwerpen van het middelbaar onderwijs kregen als uitgangspunt de 'klassieke vorm': gymnastiek klassen, ethische opvoeding (kunst en muziek) en de didactische leer (talen (Duits, Grieks en Latijn), geschiedenis met een beetje natuurlijke historie en wiskunde). Het *leren leren* was voor Humboldt belangrijk. Hier is de stof slechts hulpmiddel voor de eigenlijke ontwikkeling.<sup>59</sup>

### 3.3.1 - DISCIPLINAIRE CONCLUSIE

De kern van Klukhuhns stelling, toegepast op onze onderzoeksvraag en gecombineerd met de stelling dat de Wet op het Middelbaar Onderwijs ten tijde van het tweede kabinet Thorbecke oorzaak is van de tweede gouden eeuw, is dat dienstbaarheid van het voortgezet natuurwetenschappelijk onderwijs aan de praktische

<sup>50</sup> Ibidem, 327-328.

<sup>51</sup> <http://www.britannica.com/EBchecked/topic/438425/paideia>, geraadpleegd op 05-02-2012.

<sup>52</sup> Jaeger, *Paideia*, xxiii.

<sup>53</sup> Wulf, *Perfecting the individual*, 243.

<sup>54</sup> Ibidem, 245.

<sup>55</sup> Nordenbo, *Bildung and the thinking of Bildung*, 348

<sup>56</sup> Wulf, *Perfecting the individual*, 248.

<sup>57</sup> Ibidem, 244

<sup>58</sup> Liedman, *Lesson for Life*, 328.

<sup>59</sup> Humboldt, *Der königsberger und der litauische Schulplan*, 268.

belangen van een maatschappij, dit wil zeggen het op korte termijn economisch profijtelijk onderwijs in opdracht van overheid en bedrijfsleven, schadelijk is voor de culturele, wetenschappelijke en economische bloei van een land. Ook zijn de volgende criteria af te leiden:

1. Goed natuurkunde onderwijs staat in het teken van Bildung.

We hebben gekeken naar de oorsprong van Bildung, wat Humboldt verstond onder dit concept en hoe hij dit vertaalde naar een onderwijssysteem. In essentie is de Bildung van het individu de ontwikkeling van zijn eigen potenties door onderwijs. De aangeboden stof is "slechts" een middel voor deze ontwikkeling. Individuele vrijheid en verscheidenheid in mogelijkheden van onderwijs zijn vereisten voor processen van Bildung. Er kan pas sprake zijn van een *gebildet* mens wanneer het individu in harmonie is met zichzelf en de wereld buiten hem. Volgens Humboldt moet de staat zijn verlangen om de gemeenschap te vormen naar zijn visie beperken. In plaats daarvan moet deze de condities waarborgen die nodig zijn om zijn burgers te voorzien in de mogelijkheid om hun eigen streven vorm te geven en te realiseren. Het is belangrijk dat het onbekende en onzekere karakter van de toekomst en het nooit voltooid zijn van menselijke Bildung niet gemaskeerd worden met illusies van zekerheid. De volgende criteria zijn af te leiden, wanneer onderwijs gebaseerd wordt op Humboldts principes van Bildung:

2. Er worden geen specifieke educatieve doelstellingen geformuleerd die stellen welke specifieke kennis en vaardigheden leerlingen volgens de visie van de staat nodig hebben voor hun toekomst en die van de maatschappij.
3. Goed voortgezet onderwijs richt zich op de belangrijkste intellectuele stromingen.
4. Goed onderwijs is onderwijs waarin leerlingen *leren leren*.

### 3.4 - ONDERWIJSKUNDE

*Waar filosofie van het onderwijs top down werkt, benadert onderwijskunde de vormgeving van onderwijs bottom up. Ook onderwijskunde heeft antwoorden gegeven op de vraag 'wat is goed onderwijs?' In de eerste paragraaf bekijken we twee invloedrijke manieren van kijken waarmee een antwoord op deze vraag gegeven kan worden. We eindigen de paragraaf met een derde perspectief, waarmee deze zienswijzen genuanceerd worden en het ogenschijnlijke conflict vermindert. Onderwijskunde heeft zich ook meer specifiek beziggehouden met natuurkundeonderwijs. In de tweede paragraaf behandelen we drie deelvragen.*

#### 3.4.1 - PERSPECTIEVEN OP HET ONDERWIJS

Het voortgezet onderwijs vindt zijn oorsprong in Thorbeckes wet op het onderwijs rond 1850. De onderliggende overtuiging van het *traditionele perspectief op het onderwijs* 'is dat de wereld een objectieve en reële werkelijkheid is die voorspelbaar, maakbaar, planbaar, beheersbaar en controleerbaar is. Vanuit deze overtuiging streeft men naar efficiënt organiseren en effectief plannen en regelen en in het onderwijs in het bijzonder naar effectieve kennisoverdracht en –verwerving,' aldus Van der Bij en Van der Waals.<sup>60</sup> Het traditionele onderwijs heeft nauwe banden met de behavioristische theorie. Deze theorie beschouwt een leerling als een systeem waarvan men wil weten wat er als prikkel ingaat en wat de reactie daarvan is. De link tussen het behaviorisme en het traditionele perspectief is het positivistische uitgangspunt dat men zich enkel op waarneembare feiten moet berusten; i.e. kennis is alleen mogelijk via de wereld der verschijnselen. De rol van de leraar vanuit dit perspectief is dat 'deze er voor zorgt dat leerlingen zich begeven in activiteiten waarin ze zich uit zichzelf niet zouden begeven, inclusief, maar niet beperkt tot, het verwerven van kennis die door de leraar of het boek wordt aangereikt.'<sup>61</sup> Traditioneel onderwijs, volgens Van der Werf, pleit voor docent-gestuurd, abstract en individueel leren.<sup>62</sup> Deze vorm onderwijs wordt door Van der Werf *Het Leshuis* genoemd. Van der Werf vertelt dat de leerling hierin consumptief is<sup>63</sup> en dat het accent ligt 'op overdracht van domein specifieke theoretische en abstracte kennis en vaardigheden'.<sup>64</sup> Belangrijke gevolgtrekkingen vanuit het traditionele perspectief zijn de vormgeving van de les en het lesmateriaal en de opzet van het schoolsysteem. Een belangrijk product van het traditionele perspectief is de pedagogisch-didactische driehoek van *kennis-vaardigheden-attitudes* van waaruit het onderwijs wordt vormgegeven.

<sup>60</sup> Bij, *Ontwikkelingsagenda van de Toekomst*, 10-11.

<sup>61</sup> Van der Werf, *Leren in het Studiehuis*, 33-34.

<sup>62</sup> Ibidem, 20-23.

<sup>63</sup> Ibidem, 23.

<sup>64</sup> Ibidem, 16.

Onderwijs gebaseerd op constructivistische grondslagen pleit voor een actief, construerend, cumulatief en doelgericht leerproces.<sup>65</sup> Actief wil zeggen dat de lerende de informatie zelf verwerkt. Met construerend wordt bedoeld dat hij nieuwe informatie linkt met informatie die hij zich al had eigengemaakt. Dit is het belangrijkste aspect van de *constructivistische* leertheorie. Cumulatief wijst erop dat de andere informatie al moet bestaan. Dit wordt voorkennis genoemd. Doelgericht wil zeggen dat bekend is, zowel voor de ontwerper als de lerende, wat het doel is van de nieuwe informatie en waarvoor dit gebruikt kan worden. Een voorwaarde voor leren vanuit deze theorie bekeken, is een rijke en uitdagende leeromgeving, zo opgezet dat de ervaren discrepantie tussen de eigen kennisconstructies en de aangeboden kennis zo is, dat leren natuurlijk ontstaat.<sup>66</sup> Volgens Van der Bij en Van der Waals is de pedagogisch-didactische driehoek van *kennis-vaardigheden-attitudes* niet in overeenstemming te brengen met de constructivistische uitgangspunten. Zij stellen een andere driehoek voor die ontwikkeld is door Kok: *leerling-leerbronnen-leeromgeving*.<sup>67</sup>

Eén van de kritische klanken tegen de verandering naar het studiehuis en nog verdergaande veranderingen gebaseerd op de constructivistische grondslagen op het onderwijs komt van Van der Werf. In het artikel '*Leren in het studiehuis- consumeren, construeren of engageren?*' bericht zij dat de resultaten van de in 1999 ingevoerde verandering op het voortgezet onderwijs, bekeken in 2005, niet negatief zijn, maar ook niet positief. Minstens 10 procent van de leerlingen behaalt nog steeds geen diploma. Ongeveer 30% procent van de leerlingen behaalt een lager diploma dan ze op grond van hun capaciteiten zouden kunnen behalen en een groot deel van de leerlingen minstens met een jaar vertraging.<sup>68</sup> De meeste leerlingen hebben minder kennis en vaardigheden opgedaan dan de docenten wenselijk achten - en niet alleen zij, maar ook de leerlingen zelf, hun ouders en de docenten in de vervolgopleidingen.<sup>69</sup> Van der Werf meent dat we blij moeten zijn dat de vernieuwingen nog geen schade hebben aangericht.<sup>70</sup> Deze stelling is gestoeld op het argument dat er geen wetenschappelijke onderbouwing is voor veranderingen op basis van het constructivisme, aldus Van der Werf. Hiermee zegt van der Werf dat er geen empirische ondersteuning voor de veronderstellingen zijn die de theorie maakt waarop de veranderingen van het onderwijs gebaseerd worden. De theorie waar Van der Werf op doelt, is het sociaal constructivisme.<sup>71</sup> Voor de traditionele vorm van onderwijs draagt ze 14 artikelen aan die een vorm van onderwijs ondersteunen zoals hierboven beschreven. Uit verschillende onderzoeken blijkt dat de praktijk van het Studiehuis niet overeenkomt met wat de ontwikkelaars voor ogen hadden.<sup>72, 73, 74</sup> Dit in ogenschouw genomen, is de conclusie die Van der Werf trekt - dat we van geluk mogen spreken dat 'het nieuwe leren' nog geen schade heeft opgeleverd - in plaats van feitelijk, ideologisch. Want wanneer de feitelijke praktijk niet gebaseerd is op het constructivisme, kan er geen conclusie worden gemaakt over het effect van op het constructivisme gebaseerde vormen van onderwijs.

De andere kant van het spectrum wordt ingenomen door Van der Bij en Van der Waals, wanneer ze de volgende opmerkingen plaatsen in de paragraaf betreffende het traditionele onderwijs:

'Op de meeste middelbare scholen geven de docenten ieder hun eigen vak. Van onderlinge coördinatie is vrijwel geen sprake en ze weten vaak niet hoeveel huiswerk leerlingen in totaal op krijgen. Daarbij komt dat de samenleving steeds betere prestaties eist op gestandaardiseerde toetsen. Hierdoor zien scholen en docenten zich gedwongen de werklast verder te verzwaren en steeds meer lestijd te steken in het voorbereiden van leerlingen op die toetsen. De uitkomsten daarvan zijn immers mede bepalend voor hun positie. In deze situatie blijven er voor leerlingen twee soorten basisgedrag over: aanpassen of terugtrekken. Veel leerlingen doen het laatste. Het systeem stopt hen vervolgens in een lager soort onderwijs, waar uitdagingen veelal ontbreken.'<sup>73</sup>

Van der Werf heeft mijns inziens gelijk wanneer ze zich kritisch uitlaat over dergelijke standpunten. De werkelijkheid van het voortgezet onderwijs, een systeem met meer dan slechts enkele variabelen, dat ook nog eens buiten de grenzen van één discipline treedt, is immers veel complexer dan een simpel zwart wit

<sup>65</sup> Shuell, *The role of the student in learning from instruction*, 276-279.

<sup>66</sup> Fensham, *The content of science*, 57.

<sup>67</sup> Bij, *Ontwikkelingsagenda van de Toekomst*, 12.

<sup>68</sup> Werf, *Interne rendement van het voortgezet onderwijs*, 123-126.

<sup>69</sup> Kuiper, *Prestaties en opvattingen van leerlingen*, 33.

<sup>70</sup> Van der Werf, *Leren in het Studiehuis*, 25-26.

<sup>71</sup> Ibidem, 10.

<sup>72</sup> Bolhuis, *Toward self-directed learning*, 837-855.

<sup>73</sup> Inspectie van het onderwijs, *Tweede fase vierde jaar*, 30-32.

<sup>74</sup> Kock, *New learning and the classification of learning environments*, 141-170.

toekennen van oorzaak en gevolg. Ook is het niet zo dat het huidige schoolsysteem in alle aspecten te kort schiet, of dat er een oplossing is die alle problemen omtrent het onderwijs kan oplossen. Dan is er ook nog de claim dat er voor leerlingen twee soorten basisgedrag overblijven. Deze uitspraak is niet gestoeld op onderzoek, er wordt geen argumentatie gegeven voor de uitspraak en er worden zelfs geen definities of kenmerken gegeven van dit gedrag. Dergelijke opmerkingen in een beleidsdocument waarbij zeker de helft van de uitspraken wel gebaseerd zijn op onderzoek zijn problematisch, omdat ze een emotionele reactie uitlokken bij de lezer wat leidt tot een ideologisch innemen van een standpunt in plaats van een kritische beschouwing van de opties die er zijn.

Een andere kijk op deze kwestie wordt gegeven door Novak en Cañas in het artikel *The Theory Underlying Concept Maps and How to Construct and Use Them*. Hoewel het artikel niet direct over een van beide modellen gaat, het artikel behandelt de *concept map* als hulpmiddel in het onderwijs, brengen deze onderzoekers wel een belangrijk perspectief naar voren. Volgens de auteurs kan zowel traditioneel lesgeven door een docent als *discovery teaching methods* (onderwijsvormen in het exacte onderwijs gebaseerd op constructivistische uitgangspunten) leiden tot óf het tijdelijk en uit het hoofd leren van bepaalde feiten óf betekenisvol leren, waar een leerling de kennis zich eigen maakt, begrijpt en internaliseert. Dit laatste is waar onderwijs naar zou moeten streven, aldus Novak en Cañas. Volgens deze onderzoekers is goed georganiseerde en relevante kennis in combinatie met emotionele geëngageerdheid om deze kennis te internaliseren een voorwaarde voor betekenisvol leren. Tijdelijk en uit het hoofd leren is het gevolg van het tegenovergestelde; kennis die weinig tot niet relevant is en het ontbreken van emotionele geëngageerdheid vanuit de leerling om deze kennis te internaliseren.<sup>75</sup> Hiermee eindigen we de paragraaf. Deze gaf een zeer beperkte, doch ook kenmerkende selectie van een enorme hoeveelheid aan onderzoek, standpunten en beleidsdocumenten aangaande het (voortgezet) onderwijs.

### 3.4.2 - NATUURKUNDEONDERWIJS

*In deze paragraaf behandelen we drie deelvragen. Als eerste: wat zijn belangrijke problemen in het huidige natuurkunde onderwijs en hoe kunnen deze opgelost worden? De tweede vraag die ik wil behandelen is: hoe kunnen we leerlingen interesseren voor natuurkunde tijdens het inleidend natuurkunde onderwijs? Als laatste de vraag: kan wetenschapsfilosofisch en historisch materiaal een rol spelen in het inleidend natuurkunde onderwijs en zo ja welke?*

Sergio Rojas geeft een antwoord op de eerste vraag in een literatuurstudie getiteld '*on the learning and teaching of physics*'. Het betreft een analyse van reeds gepubliceerd werk in het onderzoek naar natuurkundeonderwijs. Het artikel is gestoeld op de notie dat voor werkelijk begrip van natuurkunde een leerling of student een cognitieve integratie moet maken van zowel conceptueel als wiskundig redeneren. In de introductie komen drie belangrijke problemen van het leren en doceren van natuurkunde naar voren. Als eerste de vraag naar effectieve onderwijsstrategie(en) die aangeven hoeveel tijd besteed moet worden aan intuïtief conceptueel redeneren en hoeveel tijd aan kwantitatieve wiskundige redenering en hoe deze aspecten vervolgens op holistische wijze met elkaar geïntegreerd kunnen worden. Het tweede probleem is het niet kunnen voldoen aan de behoefte van studenten naar leerboeken die hen een solide basis geven voor kwantitatieve wiskundige redenering in natuurkunde, wat essentieel is voor het verkrijgen van een begrip van en een gevoel voor de conceptuele kant van deze wetenschap. Als laatste lijkt er een gebrek te zijn in het aanbod voor een degelijke en coherente strategie voor probleemoplossing.<sup>76</sup>

Deze drie problemen worden gerelateerd aan het ontbreken van een consistent en samenhangend methodologisch raamwerk dat gebruikt kan worden binnen het onderwijs om op een systematische manier conceptueel en wiskundig redeneren te integreren om natuurkundige problemen beter te kunnen doorgronden en op te lossen. Het uitgangspunt voor het opstellen van een dergelijk raamwerk zijn de ideeën en concepten van de wiskundige George Poly, die het belang van een systematische strategie voor probleemoplossing voor productief denken (en: *productive thinking*), ontdekking en uitvinding onderstreepte.<sup>77</sup> Uit andere onderzoeken komt naar voren dat deze strategie de mentale processen en onbewuste vragen die experts zich stellen, omvat. Maar het blijkt, aldus Rojas, dat deze strategie door de algemeenheid van de

<sup>75</sup> Novak, *The Theory Underlying Concept Maps*, 3-6.

<sup>76</sup> Rojas, S., *On the teaching and learning of physics: A Criticism and a Systemic Approach*, 1-3.

<sup>77</sup> Poly stelt tot dit doel in zijn boek '*How to solve it*' vier stappen op: 1) begrijpen van het probleem, 2) opstellen van een plan, 3) uitvoer van het plan en 4) terugkijken.

stappen lastig is voor een leerling of student om te gebruiken.<sup>78</sup> Op basis van empirische bevindingen van een uitbreiding van deze methode naar vijf stappen, is Poly's strategie verder gedifferentieerd in zes stappen:

- 1) begrijp het probleem,
- 2) geef een kwalitatieve beschrijving van het probleem,
- 3) bedenk een plan van oplossen,
- 4) voer het plan uit,
- 5) verifieer de interne consistentie van de gebruikte vergelijkingen,
- 6) ga de uitkomst na en evalueer deze.<sup>79</sup>

Voor de onderzoeksvraag is een verder inzicht in dit model niet van belang. Rojas zegt het volgende over het voorgestelde zes-stappen plan voor het oplossen van natuurkundige problemen. Het voldoet aan de behoefte naar een consistent en samenhangend methodologisch raamwerk dat gebruikt kan worden binnen het onderwijs om op een systematische manier conceptueel en wiskundig redeneren te integreren om natuurkundige problemen beter te kunnen doorgronden en op te lossen. Uit dit voorgaande inzicht wordt duidelijk dat we wellicht vooral te maken hebben met een kookboek-achtige benadering waarmee studenten theoretische vragen kunnen beantwoorden. Toch denk ik dat de strategie meer is dan een handig stuk gereedschap waarmee studenten voorbereide sommetjes op kunnen lossen tijdens toetsen. Hier komen we op terug in het volgende hoofdstuk.

Hoe kunnen we leerlingen interesseren voor natuurkunde tijdens het inleidend natuurkunde onderwijs? Deze vraag werd onderzocht door Oon en Subramamiam door middel van een open enquête onder 166 docenten van gevarieerde achtergrond<sup>80</sup> in het voortgezet onderwijs. Het artikel beschrijft de resultaten van een onderzoek naar de ideeën van docenten binnen het voortgezet onderwijs over de manieren waarop meer leerlingen gemotiveerd kunnen worden om in het vervolgonderwijs natuurkunde te gaan studeren. De vraag die gesteld werd, is, vrij vertaald: noem één manier waarop meer leerlingen gemotiveerd kunnen worden om natuurkunde te gaan studeren aan de universiteit.<sup>81</sup> Na analyse van de data bleek dat 75% van de aanbevelingen gevat kon worden in vijf typen van antwoorden. Deze zijn:

- Herzie het schoolcurriculum, waarbij de traditionele onderwerpen vervangen worden door meer moderne onderwerpen met hedendaagse toepassingen daarvan. (24%)
- De publicatie van carrièremogelijkheden van natuurkundigen, door bijvoorbeeld natuurkundige genootschappen. (19%)
- Verbeteringen van carrièreperspectieven van een afgestudeerde natuurkundige, door bijvoorbeeld de introductie van interdisciplinaire op natuurkunde gebaseerde programma's, zoals 'Physics with finance' in 2009 aangeboden aan de *University of London*. (14%)
- Maak natuurkundeonderwijs relevant en leuk door inhoudelijke stof in de context (dagelijkse wereld van de leerling, maar ook relevantie van natuurkunde in de maatschappij, het land en de wereld) te doceren en gebruik te maken van demonstraties. (9%)
- Geef verrijgingsprogramma's om natuurkunde te promoten, zoals voordrachten van professionals en workshops. (8%)<sup>82</sup>

De meerwaarde van dit onderzoek is dat er gebruik wordt gemaakt van de inzichten en ervaringen van een groot aantal professionals die direct in contact staan met de leerling, om het probleem van te weinig natuurkundestudenten innovatief en praktisch aan te kunnen pakken. Gezamenlijk zorgen deze 166 docenten voor een groot aantal afgestudeerde leerlingen – zeker 6000 per jaar wanneer we uitgaan van een gemiddelde van 2 examenklassen per docent met 25 leerlingen elk. Oon en Subramamiam schrijven in de paragraaf die het theoretisch kader van de studie behandelt dat er een behoorlijke overeenstemming in de literatuur is over de oorzaken waarom leerlingen natuurkunde niet waarderen, omdat ze het saai en/of moeilijk vinden. Ter illustratie dragen zij twee publicaties aan. Drie andere artikelen worden aangedragen om achtereenvolgens aan te geven dat oorzaken hiervan mogelijk te vinden zijn in de wiskundige eisen die natuurkunde aan de leerling stelt, de ten opzichte van de leerling passieve lesmethoden die de natuurkundeleraars vaak gebruiken en de

<sup>78</sup> Rojas, S., *On the teaching and learning of physics: A Criticism and a Systemic Approach*, 4-5.

<sup>79</sup> Ibidem, 5-7.

<sup>80</sup> o.a. leeftijd, sekse, onderwijservaring, afstudeerrichting

<sup>81</sup> Oon, *Views of physics teachers on how to address the declining enrolment in physics*, 279.

<sup>82</sup> Ibidem, 281-286.

overlading van het curriculum. Deze onderzoeken zijn o.a. gedaan in de V.S. en de U.K. Naast de significante hoeveelheid aan ervaring en inzichten die de docenten gezamenlijk hebben, beïnvloeden de gedachten, oordelen en beslissingen van docenten het gedrag van klassen, aldus een studie uit 1983 die door de auteurs wordt aangedragen. Maar nog belangrijker is dat, volgens de resultaten van verschillende andere studies, de verwachtingen van een docent aanzienlijk de attitudes en resultaten van leerlingen kunnen beïnvloeden.<sup>103</sup>

De laatste vragen die in deze paragraaf bekeken wordt is of en hoe wetenschapsfilosofisch en historisch (WFH) materiaal gebruikt kan worden binnen het reguliere onderwijs van natuurkunde. Onderzoek naar deze vraag is gedaan door Igal Galili en Amnon Hazan. Om dit te doen hebben de twee onderzoekers een drietal groepen van experts geïnterviewd: natuurkundigen, natuurkundedocenten en wetenschapsfilosofen en -historici. In totaal zijn er 12 experts geïnterviewd door steeds dezelfde interviewer, één van de auteurs. De docenten allen ervaren in het voortgezet onderwijs en actief in onderzoek en ontwerp van onderwijs. De filosofen en historici zijn geïnteresseerd in  $\beta$ -onderwijs. De drie professoren in de natuurkunde zijn ervaren onderzoekers en onderwijzers van hun vak en oprecht geïnteresseerd in natuurkundeonderwijs. De experts werden uitgenodigd hun ideeën te delen over motivaties om WFH materiaal in het  $\beta$ -onderwijs te gebruiken en de beste manier waarop dat gedaan kan worden. Het resultaat is een aantal types van argumenten bij elk van de onderwerpen van het interview. Het zou te ver gaan om de complete analyse van de interviews hier te bekijken. In de volgende twee alinea's zullen de verschillende argumenten per onderwerp uiteengezet worden.

Eerst bekijken we de argumenten die betrekking hebben op de mogelijke motivaties om WFH materiaal in het  $\beta$ -onderwijs te gebruiken.

1. Het geven van het juiste beeld van de wetenschap,
2. bevorderen van het leerproces,
3. ontdekken dat wetenschap een beroep is,
4. relevantie en interesse,
5. noodzakelijkheid voor werkelijk begrip van de wetenschap
6. bezwaren voor het gebruik van WFH materiaal.

In het eerste argument hebben de onderzoekers twee categorieën onderscheiden: het juiste beeld in de zin dat leerlingen natuurkunde leren kennen als niet-dogmatisch, tentatief en weerlegbaar, in plaats van als aanbieder van objectieve en absolute waarheden over de wereld. De andere categorie benadrukt het menselijke (Eng: *humanistic*<sup>83</sup>) aspect van de natuurwetenschap, in de zin dat er op deze manier een brug geslagen kan worden tussen geestes- en natuurwetenschap. Het tweede argument is onderverdeeld in drie categorieën: als fictie voor de leerling, inzicht in de problemen die leerlingen tegen kunnen komen voor de docent en als aanmoediging voor de leerling om gelijksoortige conceptuele veranderingen door te maken als mensen in het verleden gedaan hebben. Het laatste argument, de bezwaren, is verdeeld in drie categorieën: afstotende werking met betrekking tot de interesse van leerlingen doordat deze stof uitheems overkomt, tijd tekort binnen een curriculum dat toch al overvol zit en argumenten van vaagheid, onnauwkeurigheid en zelfs wetenschappelijke onjuistheid van wetenschappelijke kennis uit het verleden.<sup>84</sup>

Ideeën die betrekking hadden op hoe WFH materiaal het beste in het natuurwetenschappelijk onderwijs geïmplementeerd kan worden waren vijfvoudig:

1. reproduceren van historische experimenten,
2. kennismaken met oorspronkelijke teksten,
3. verhalen en anekdotes, wanneer passend bij het idee wat de leraar wil overdragen,
4. systematische integratie van WFH materiaal in het leerprogramma,
5. en "data en namen" benadering.

<sup>83</sup> Het woord *humanistic* verschijnt als volgt in de originele tekst: 'Another argument addressed the *cultural merit* of HPS materials which, in a broad sense, combine humanistic and scientific values. Education, in their view, should reveal the real, not sterilized, picture of science, which cannot neglect humanistic aspects of the scientific enterprise. Such exposure can serve as a bridge between science and humanities, (...)' (pg. 352) Het Nederlandse woord *humanistisch* verwijst naar de filosofische stroming van het humanisme. In de laatste zin van dit citaat verwijzen de auteurs naar de link tussen de natuurwetenschap en de geesteswetenschappen (Eng: *humanities*). Omdat ze expliciet niet verwijzen naar de filosofische stroming, maar *humanistic* gebruiken om de link met de geesteswetenschappen te leggen, dekte het woord 'menselijke' naar mijn inzicht het beste de lading die de auteurs wilden overdragen.

<sup>84</sup> Galili, *Experts' Views on Using History and Philosophy of Science in the Practice of Physics Instruction*, 351-355.

### 3.4.3 - DISCIPLINAIRE CONCLUSIE

Wat we uit paragraaf 3.4.1 kunnen concluderen is dat de invoer van de tweede fase (nog) niet het gewenste effect heeft, deze niet eenduidig wordt ondersteund vanuit onderzoeksresultaten en dat er geen consensus is tussen onderzoekers of beleidsmakers over wat goed onderwijs maakt, of zelfs, wat goed onderwijs is. Vanuit de drie perspectieven die we gezien hebben kunnen de volgende criteria worden opgesteld:

*Traditioneel perspectief:*

1. Onderwijs heeft als doel overdracht van vaardigheden, kennis en attitudes.
2. Onderwijs streeft naar efficiënt organiseren, plannen en regelen met als doel effectieve kennisoverdracht en -verwerving.
3. Voor goed onderwijs is docent gestuurd, abstract en individueel leren noodzakelijk.
4. De rol van de leraar in goed onderwijs is 'er voor zorgen dat leerlingen zich begeven in activiteiten waarin ze zich uit zichzelf niet zouden begeven, inclusief, maar niet beperkt tot, het verwerven van kennis die door de leraar of het boek wordt aangereikt.
5. In goed onderwijs ligt het accent 'op overdracht van domein specifieke theoretische en abstracte kennis en vaardigheden.'

*Constructivistisch perspectief:*

6. Voor goed onderwijs is een actief, construerend, cumulatief en doelgericht leerproces noodzakelijk.
7. Een voorwaarde voor leren is een rijke en uitdagende leeromgeving, zo opgezet dat de ervaren discrepantie tussen de eigen kennisconstructies en de aangeboden kennis zo is, dat leren natuurlijk ontstaat.
8. Goed onderwijs wordt ontworpen, gericht op de leerling, de leerbronnen en de leeromgeving.

*Novak en Cañas:*

9. Goed onderwijs is onderwijs waar georganiseerde en relevante kennis wordt aangeboden en er een emotionele geëngageerdheid om deze kennis te internaliseren in de leerling wordt gecultiveerd, omdat dit leidt tot betekenisvol leren.
  - a. Goed onderwijs leidt tot betekenisvol leren: een leerling maakt zich de kennis eigen, begrijpt en internaliseert deze.
  - b. Voor betekenisvol leren is goed georganiseerde en relevante kennis in combinatie met emotionele geëngageerdheid om deze kennis te internaliseren een voorwaarde.

Ook stelden Novak en Cañas dat tijdelijk en uit het hoofd leren is het tegenovergestelde is van hetgeen tot betekenisvol leren leidt: kennis die weinig tot niet relevant is en het ontbreken van emotionele geëngageerdheid vanuit de leerling om deze kennis te internaliseren, niet van de keuze voor traditioneel of constructivistisch onderwijs an sich.

In paragraaf 3.4.2 zochten we antwoorden op drie vragen. Als eerste bekeken we wat belangrijke problemen zijn in het huidige natuurkunde onderwijs en hoe deze opgelost kunnen worden. Drie belangrijke problemen in het huidige natuurkundeonderwijs zijn het gebrek aan effectieve onderwijsstrategie(en) die aangeven hoeveel tijd besteed moet worden aan intuïtief en hoeveel aan kwantitatief redeneren en hoe deze aspecten op holistische wijze met elkaar geïntegreerd kunnen worden. Het tweede probleem is het niet kunnen voldoen aan de behoefte van studenten naar leerboeken die hen een solide basis geven voor kwantitatieve wiskundige redenering in natuurkunde. Als laatste lijkt er een gebrek te zijn in het aanbod voor een degelijke en coherente strategie voor probleemoplossing.<sup>85</sup> Deze kunnen opgelost worden door de geïntroduceerde strategie voor probleem oplossen. Uit het artikel van Rojas kan het volgende criterium afgeleid worden:

10. Goed natuurkundeonderwijs laat leerlingen kennis maken met en geeft hen de mogelijkheid om de mentale processen en onbewuste vragen die experts zich stellen eigen te maken.

Vervolgens bekeken we de vraag hoe we leerlingen kunnen interesseren voor natuurkunde tijdens het inleidend natuurkundeonderwijs. We vonden de volgende antwoorden: herzie het schoolcurriculum, maak bekend wat de carrièremogelijkheden zijn, verbeter carrièreperspectieven, maak het onderwijs relevant en geef verrijgingsprogramma's. De oorzaak dat leerlingen natuurkunde niet leuk vinden is dat zij het saai en/of moeilijk vinden. Oorzaken dat leerlingen natuurkunde saai en/of moeilijk vinden, zijn mogelijk te vinden in de wiskundige eisen die natuurkunde aan de leerling stelt, de ten opzichte van de leerling passieve lesmethoden

<sup>85</sup> Rojas, S., *On the teaching and learning of physics: A Criticism and a Systemic Approach*, 1-3.



die de natuurkundeleraren vaak gebruiken en de overlading van het curriculum. Ook kwamen we de volgende twee belangrijke stellingen tegen:

- De gedachten, oordelen en beslissingen van docenten beïnvloeden het gedrag van klassen.
- De verwachtingen van een docent kunnen aanzienlijk de attitudes en resultaten van leerlingen beïnvloeden.

De laatste kwestie die we behandelden was of filosofisch en geschiedkundig materiaal een rol kan spelen in het inleidend natuurkundeonderwijs en wat mogelijke manieren zijn waarop dit kan. De antwoorden van experts zijn in vijf categorieën gegroepeerd. Naast deze vijf mogelijke manieren waarop filosofische en geschiedkundige materialen een rol kunnen spelen, werden er ook bezwaren aangedragen welke onderverdeeld zijn drie groepen. De volgende criteria zijn op te stellen. Goed natuurkundeonderwijs:

11. geeft het juiste beeld van de wetenschap.
12. stimuleert het leerproces.
13. laat leerlingen ontdekken dat wetenschap een beroep is.
14. is relevant voor de leerling en wekt interesse.
15. geeft werkelijk begrip van de wetenschap.

Wetenschapsfilosofisch of historisch materiaal zou een belangrijke rol kunnen spelen in het te bereiken ervan.

Er zijn vijf manieren aangedragen waarop dit materiaal gebruikt kan worden:

1. reproduceren van historische experimenten,
2. kennismaken met oorspronkelijke teksten,
3. verhalen en anekdotes, wanneer passend bij het idee wat de leraar wil overdragen,
4. systematische integratie van WFH materiaal in het leerprogramma,
5. en “data en namen” benadering.

In het volgende hoofdstuk bekijken we de inzichten om een antwoord te geven op de onderzoeksvraag. Met de theorie van gemeenschappelijke basis gaan we op zoek naar een manier waarop we de inzichten als geheel kunnen bekijken en begrijpen. Dit beëindigt het disciplinaire deel van deze scriptie.

## 4. WAT IS GOED VOORTGEZET NATUURKUNDEONDERWIJS?

In dit hoofdstuk formuleren we een antwoord op de vraag met behulp van de disciplinaire inzichten. In de eerste paragraaf verzamelen we de gevonden criteria in een tabel. In de tweede paragraaf bekijken we waar er conflicten zijn en zoeken we een gemeenschappelijke basis van waaruit we deze conflicten kunnen begrijpen. In de laatste paragraaf van dit hoofdstuk integreren we de inzichten tot een nieuw geheel om een antwoord te geven op de vraag: wat is goed natuurkunde onderwijs? Voordat we hiermee starten is het belangrijk om, nu we de elementen van dit onderzoek in de vorige twee hoofdstukken hebben uitgewerkt, te zien hoe zij zich tot elkaar verhouden, waar de gebruikte disciplines een rol spelen en hoe dit alles samen komt tot een antwoord op de vraag.

Om tot een antwoord te komen op de vraag beschikken we over de volgende vier belangrijke elementen: beleid, belang, beeld van natuurkunde en criteria voor goed onderwijs.

In hoofdstuk 1 stelden we dat het **belang van natuurkundeonderwijs** op een groot aantal manieren ingevuld kan worden. Dit is bevestigd door de grote verscheidenheid aan **criteria** die we gevonden hebben vanuit de vijf disciplines die we gebruikt hebben. Een belangrijk gegeven met betrekking tot het formuleren van het belang van natuurkundeonderwijs is dat Nederland zich in 2020 tot de top vijf van duurzame kenniseconomieën wil rekenen. Dit is de eerste keuze van **beleid**. Om inzicht te krijgen in de manier waarop het onderwijs gevormd kan worden zodat het bijdraagt aan dit doel hebben we ons tot **geschiedenis van het onderwijs** gewend. Een ander belangrijk gegeven is dat het vak natuurkunde deel is van het voortgezet onderwijs. De invulling van het belang en doel van het voortgezet onderwijs is de andere beleidskwestie waar we het **belang van natuurkundeonderwijs** op moeten baseren. In hoofdstuk 2 hebben we gezien dat het belang van het voortgezet onderwijs is om mensen uitzicht geven om een zelfstandig leven te kunnen leiden in onze maatschappij, wat vertaald is naar het volgende doel: iedereen, met uitzondering van een groep jongeren die beperkt zijn in hun cognitieve mogelijkheden, heeft voor hun 23e levensjaar een startkwalificatie. Een startkwalificatie is een serieuze kans op duurzaam geschoold werk.<sup>86</sup> Het havo en vwo diploma is een startkwalificatie. In dit hoofdstuk integreren we deze drie **beleidskwesties** met behulp van de inzichten uit de **geschiedenis van het onderwijs**, **filosofie van het onderwijs** en de **onderwijskunde** tot **belang van natuurkundeonderwijs**. Vanuit het opgestelde belang van voortgezet natuurkundeonderwijs volgt welk **beeld van de natuurkunde** leerlingen zouden moeten ontwikkelen tijdens het voortgezet onderwijs. **Filosofie en geschiedenis van de natuurwetenschap** gaven ons verschillende beelden van natuurkunde. Deze inzichten laten ons zien wat de mogelijkheden zijn van het te ontwikkelen beeld van natuurkunde. Op basis van het belang van natuurkundeonderwijs en het beoogde beeld van de natuurwetenschap, wat tijdens dit onderwijs ontwikkeld moet worden, kunnen uit de lijst met **criteria voor goed natuurkundeonderwijs** criteria gekozen worden die hiermee in harmonie zijn. **Filosofie van het onderwijs** is alleen gebruikt om criteria te genereren. **Onderwijskunde** heeft ons, naast criteria voor goed (natuurkunde)onderwijs, de mogelijkheid gegeven om het huidige natuurkunde onderwijs, het visie document van de Nina en de resultaten van dit onderzoek te bekijken vanuit een gezamenlijk perspectief. Dit zullen we doen in de conclusie.

### 4.1 - GEVONDEN CRITERIA

Bij het beantwoorden van de deelvragen werden twee soorten criteria gevonden in de disciplinaire conclusies. Criteria die stellen wat goed onderwijs is en criteria die stellen wat goed natuurkunde onderwijs is, deze zijn weergegeven in, respectievelijk, tabel 4.1a en 4.1b. Het merendeel van de inzichten verschillen van elkaar, maar zijn niet direct in strijd met elkaar.

Tabel 4.1a - Criteria: Wat is goed onderwijs?
<p><i>Filosofie van het onderwijs (Brighouse) – Goed onderwijs:</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. is onderwijs dat bijdraagt aan de persoonlijke autonomie.</li> <li>2. is onderwijs dat iemand het vermogen geeft bij te dragen aan het sociaal en economisch leven.</li> <li>3. is onderwijs dat bijdraagt in iemands vermogen voor persoonlijke voldoening. Een school zou zichzelf verplicht moeten stellen om leerlingen te ondersteunen om gelukkige en florerende levens te leiden over de lange termijn.</li> <li>4. moet leiden tot democratische bekwaamheid.</li> <li>5. geeft iemand het vermogen tot samenwerken.</li> <li>6. richt zich op (of minstens, houdt rekening met) de mens van dit moment. De kindertijd en jeugd zijn een belangrijk deel van iemands leven. De kwaliteit hiervan is belangrijk, los van de gevolgen ervan op het volwassen deel van ons leven.</li> </ol>
<i>Onderwijskunde - Het traditioneel perspectief</i>

<sup>86</sup> <http://www.minocw.nl/vo/249/Leerplicht-en-startkwalificatie.html>, geraadpleegd op 12-02-2011.

<p>7. Onderwijs heeft als doel overdracht van vaardigheden, kennis en attitudes.</p> <p>8. Onderwijs streeft naar efficiënt organiseren en effectief plannen en regelen met als doel effectieve kennisoverdracht en –verwerving.</p> <p>9. Voor goed onderwijs is docent gestuurd, abstract en individueel leren noodzakelijk.</p> <p>10. De rol van de leraar in goed onderwijs is ‘er voor zorgen dat leerlingen zich begeven in activiteiten waarin ze zich uit zichzelf niet zouden begeven, inclusief, maar niet beperkt tot het verwerven van kennis die door de leraar of het boek wordt aangereikt.’</p> <p>11. In goed onderwijs ligt het accent ‘op overdracht van domein specifieke theoretische en abstracte kennis en vaardigheden.’</p>
<p><i>Onderwijskunde - Het constructivistisch perspectief</i></p> <p>12. Voor goed onderwijs is een actief, construerend, cumulatief en doelgericht leerproces noodzakelijk.</p> <p>13. Een voorwaarde voor leren is een rijke en uitdagende leeromgeving, zo opgezet dat de ervaren discrepantie tussen de eigen kennisconstructies en de aangeboden kennis zo is, dat leren natuurlijk ontstaat.</p> <p>14. Goed onderwijs wordt ontworpen, gericht op de leerling, de leerbronnen en de leeromgeving.</p>
<p><i>Onderwijskunde (Novak en Cañas) – Goed onderwijs:</i></p> <p>15. is onderwijs waar georganiseerde en relevante kennis wordt aangeboden en er een emotionele geëngageerdheid om deze kennis te internaliseren in de leerling wordt gecultiveerd, omdat dit leidt tot betekenisvol leren.</p> <p>a. Goed onderwijs leidt tot betekenisvol leren: een leerling maakt zich de kennis eigen, begrijpt en internaliseert deze.</p> <p>b. Voor betekenisvol leren is goed georganiseerde en relevante kennis in combinatie met emotionele geëngageerdheid om deze kennis te internaliseren een voorwaarde.</p>
<p><b>Tabel 4.1b - Criteria: wat is goed natuurkundeonderwijs?</b></p>
<p><i>Geschiedenis en filosofie van het onderwijs (Bevilacqua en Gianetto) – Goed natuurkundeonderwijs:</i></p> <p>1. is gebaseerd op de feitelijke praktijken van natuurkundig onderzoek:</p> <p>a. de processen, in plaats van op de resultaten van wetenschap;</p> <p>b. op wetenschappelijke debatten, in plaats van dogmatisme;</p> <p>c. op innovatieve manieren waarop je een probleem kunt definiëren in plaats van hoe een technische oplossing te geven op een van te voren gedefinieerd probleem</p> <p>2. overbruggt de culturele kloof tussen de wetenschap en de maatschappij en benadrukt het interdisciplinaire karakter en de culturele aspecten van wetenschap in plaats van alleen de technische.</p> <p>3. Goed natuurkundeonderwijs draagt bij in de ontwikkeling van professionals die innovatie begrijpen.</p> <p>4. draagt bij aan de ontwikkeling van geïnformeerde burgers betreffende de rol en aanwending van de natuurwetenschap in onze huidige maatschappij; dit is een van de redenen waarom misconcepties aangepakt moeten worden</p>
<p><i>Filosofie van het onderwijs (Machold) – Goed natuurkundeonderwijs:</i></p> <p>5. stelt de beschrijving van natuurkundige problemen in termen van wiskunde uit tot het moment dat leerlingen inzien wat het probleem is dat de bijhorende wiskunde noodzakelijk maakt.</p> <p>6. zorgt ervoor dat leerlingen hun dagelijkse concepten, waarmee zij natuurkundige problemen uit hun dagelijks leven oplossen, vervangen door natuurkundige concepten.</p> <p>7. zorgt ervoor dat leerlingen de strategieën leren kennen en begrijpen die gebruikt worden door professionals in de natuurkunde.</p> <p>8. zorgt ervoor dat leerlingen de fundamentele wetten van de natuur bevatten.</p> <p>9. is gericht op het verkrijgen van cognitieve vaardigheden die toegepast kunnen worden in andere delen van het leven. Deze vaardigheden zijn het verkrijgen van een fundamenteel begrip van de natuurkunde, de vorming van opbouwende concepten en de ontwikkeling van intellectuele onafhankelijkheid.</p>
<p><i>Geschiedenis van het onderwijs (Klukhuhn) – Goed natuurkundeonderwijs:</i></p> <p>10. draagt bij aan Bildung.</p> <p>11. Er worden geen specifieke educatieve doelstellingen geformuleerd die stellen welke specifieke kennis en vaardigheden leerlingen volgens de visie van de staat nodig hebben voor hun toekomst en die van de maatschappij.</p> <p>12. richt zich op de belangrijkste intellectuele stromingen.</p> <p>13. is onderwijs waarin leerlingen <i>leren leren</i>.</p>
<p><i>Onderwijskunde (Rojas) – Goed natuurkundeonderwijs:</i></p> <p>14. laat leerlingen kennis maken met en geeft hen de mogelijkheid om de mentale processen en onbewuste vragen die experts zich stellen eigen te maken.</p>
<p><i>Onderwijskunde (Galili en Hazan) – Goed natuurkundeonderwijs:</i></p> <p>15. geeft het juiste beeld van de wetenschap. [Twee categorieën: het juiste beeld in de zin dat leerlingen natuurkunde leren kennen als niet-dogmatisch, tentatief en weerlegbaar, in plaats van als aanbieder van objectieve en absolute waarheden over de wereld. De andere categorie benadrukt het menselijke aspect van de natuurwetenschap, in de zin dat er op deze manier een brug geslagen kan worden tussen geestes- en natuurwetenschap.]</p> <p>16. stimuleert het leerproces.</p> <p>17. laat leerlingen ontdekken dat wetenschap een beroep is.</p> <p>18. is relevant voor de leerling en wekt interesse.</p> <p>19. geeft werkelijk begrip van de wetenschap.</p>

Hieronder gaan we op zoek naar hoe we een keuze kunnen maken uit deze criteria en hoe deze zich tot elkaar verhouden

## 4.2 - CONFLICT EN GEMEENSCHAPPELIJKE BASIS

*In deze paragraaf behandelen we als eerste het conflict tussen het beeld van de natuurkunde vanuit de filosofie en geschiedenis van de natuurwetenschap met als doel dit conflict te kunnen begrijpen vanuit een gemeenschappelijke basis om hiervan gebruik te kunnen maken bij het beantwoorden van de hoofdvraag. Als laatste behandelen we hoe we met behulp van de discipline inzichten de beleidskeuzes omtrent het voortgezet onderwijs kunnen vertalen in het belang voor natuurkundeonderwijs. In 4.3 integreren we deze twee beleidsaspecten tot één geheel.*

### 4.2.1 - WAT IS NATUURWETENSCHAP?

De filosofie van de natuurwetenschap geeft een ander beeld van de natuurkunde dan de geschiedenis van de natuurwetenschap. Bij de eerste zien we een ideaal beeld, bij de laatste zien we een menselijkere onderneming. Om dit te kunnen begrijpen wil ik gebruik maken van de concepten *prescriptief* en *descriptief* die in de taalkunde gebruikt worden om twee verschillende manieren om taal te beschrijven aan te geven. De bron van dit conflict ligt niet in de concepten, theorieën of aannames die gemaakt worden, maar in hetgeen er door beide disciplines bestudeerd wordt en hoe het bestudeerd wordt, wat Repko de epistemologie noemt.<sup>87</sup> Met betrekking tot de aard van de wetenschap wil de wetenschapsgeschiedenis deze beschrijven door te kijken hoe de wetenschap in het verleden opereerde. De filosofie zoekt naar een beschrijving van haar aard via logica en denken, een beschrijving die vaak tijd en ruimte overstijgt. In dit opzicht zouden we onderscheid kunnen maken tussen een prescriptieve - hoe het zou moeten zijn - en een descriptieve - hoe het is (geweest) - benadering van de beschrijving van de wetenschap. Dit is geen dichotomie, maar veeleer een lijn tussen twee uitersten waarop verschillende geschiedkundige verslagen en filosofieën geplaatst kunnen worden. Hoewel het conflict niet lijkt te zijn opgelost, kunnen we met deze terminologie de waarde van beide benaderingen inzien. De prescriptieve criteria kunnen de leerlingen laten zien waar er in de wetenschap naar gestreefd wordt. De descriptieve inzichten kunnen de leerlingen kennis laten maken met het menselijke aspect van de wetenschap, waardoor zij het beter op waarde kunnen schatten.

### 4.2.2 - PERSPECTIEVEN OP HET ONDERWIJS.

Het tweede conflict is tussen het traditionele en constructivistische perspectief op onderwijs.<sup>88</sup> De criteria voor goed onderwijs die hieruit ontstaan spreken elkaar tegen. Maar, als we Novak en Cañas mogen geloven is het niet één van beide perspectieven op het onderwijs die zal leiden tot goed of slecht onderwijs. In plaats daarvan is het de relevantie van de kennis en emotionele geëngageerdheid van de leerling om deze kennis te internaliseren die leidt tot goed onderwijs; een onderwijs waar leerlingen zich de kennis eigen maken, internaliseren en begrijpen. Daarmee impliceren Novak en Cañas dat tijdelijk en uit het hoofd leren geen goed onderwijs is. Zij stellen dat dit het gevolg is van het tegenovergestelde van wat tot betekenisvol leren leidt: kennis die weinig tot niet relevant is en het ontbreken van emotionele geëngageerdheid vanuit de leerling om deze kennis te internaliseren, niet van de keuze voor traditioneel of constructivistisch onderwijs an sich.

De vraag is dus of een van beide perspectieven leidt tot de voorwaarden voor betekenisvol leren: relevantie van de kennis en emotionele geëngageerdheid van de leerling om deze kennis te internaliseren. In principe is dit mogelijk voor elk van de twee perspectieven. Of dit lukt of niet is in grote mate afhankelijk van de voorkeur en aard van de leerling en docent. Een andere factor die meespeelt is wat er met het onderwijs bereikt wil worden. Immers kan alleen vanuit deze beleidskwesties vastgesteld worden welke kennis relevant is. Deze beleidskwesties vertalen we in de volgende paragrafen naar het belang van natuurkundeonderwijs. Van daaruit kunnen we, gecombineerd met het perspectief van Novak en Cañas, het beste van de twee perspectieven kiezen.

### 4.2.3 - VAN BELEID NAAR BELANG

Als laatste bespreken we de drie afzonderlijke beleidskwesties en hoe we deze vertalen naar het belang van natuurkundeonderwijs. In de volgende paragraaf integreren we deze tot één geheel.

Het belang van het voortgezet onderwijs is om mensen uitzicht te geven om een zelfstandig leven te kunnen leiden in onze maatschappij. Maar dit is zo algemeen gesteld dat het betrekking zou kunnen hebben op elk van de criteria in tabel 4.1. Met deze formulering van het belang van het voortgezet onderwijs kunnen we

<sup>87</sup> Repko, *Interdisciplinary Research*, 93.

<sup>88</sup> Zie paragraaf 3.4.1 van dit document

dus nog steeds geen keuze maken uit de lijst met criteria. Om dit op te lossen hebben we actuele beleidskeuzes met betrekking tot het voortgezet onderwijs nodig die niet, of in ieder geval minder, in algemeenheden spreken wanneer het gaat om het voortgezet onderwijs. Dit is gevonden in de *kwaliteitsagenda VO 2008-2011*, door van Bijsterveldt-Vliegenthart, toen nog staatssecretaris van Onderwijs, Cultuur en Wetenschap. Met betrekking tot dit onderzoek is het volgende belangrijk. In de kwaliteitsagenda wordt gesteld dat een school 'een gemeenschap is met een gezamenlijk doel: jongeren zo goed mogelijk voorbereiden op hun toekomst.'<sup>89</sup> Het voortgezet onderwijs is van groot belang, omdat het een beslissende schakel is in de leerloopbaan van jongeren: op basis van hun ervaringen en ontwikkeling die ze hier opdoen maken leerlingen hun keuzes voor de toekomst.<sup>90</sup> De opdracht waar het voortgezet onderwijs voor staat is 'het nog meer benutten van alle talenten van leerlingen en leraren en herstel van het vertrouwen in het Nederlandse voortgezet onderwijs.' De laatste twee zijn voorwaarde voor de eerste. De focus ligt op de ontplooiing van de talenten en mogelijkheden die elke jongere heeft. Het belang van het voortgezet onderwijs is gebaseerd op de volgende ambities van Nederland:

- 'We streven ernaar dat Nederland als kennissamenleving in de absolute top van Europa en van de wereld functioneert.'
- 'We streven naar maximale kwalificatiewinst en ontplooiing van alle talenten van jongeren.'
- 'We streven naar grotere participatie van alle Nederlanders aan onze maatschappij.'
- 'We willen dat jongeren succes en plezier hebben op school, dat ze er leren wat ze in de samenleving nodig hebben.'<sup>91</sup>

Kwalificatiewinst is de toename van het aantal gediplomeerden in de beroepskolom (vmbo, mbo en hbo).<sup>92</sup> De ambities van Nederland worden in het document vertaald naar uitspraken over goed voortgezet onderwijs, die een antwoord geven op de vraag: wat is kwaliteit van het voortgezet onderwijs? De volgende hebben betrekking op de kwestie die in deze alinea behandeld wordt:

- Goed voortgezet onderwijs helpt jongeren kennis, vaardigheden en attitudes te verwerven voor hun persoonlijke ontwikkeling, maatschappelijk en beroepsmatig functioneren en succesvol functioneren in het vervolgonderwijs. Dit biedt een duurzame basis voor optimale ontwikkeling voor de individuele leerling, van de samenleving en van de (internationaal concurrerende) economie.
- Goed voortgezet onderwijs is onderwijs waar leerlingen met plezier leren.<sup>93</sup>

Samengevat is het belang van het voortgezet onderwijs om het mogelijk te maken voor een leerling om een zelfstandig leven te kunnen leiden in onze maatschappij, waarbij de focus dus ligt op de ontplooiing van de talenten en mogelijkheden die elke leerling heeft.

Nederland wil in 2020 één van de vijf meest krachtige kenniseconomieën zijn ter wereld, zoals vastgesteld door de *GCI*.<sup>94</sup> Maar wat zegt dit voor het voortgezet natuurkundeonderwijs? Om een antwoord te vinden op deze vraag maken we gebruik van de disciplinaire inzichten en tabel 4.3.

De conclusie vanuit de geschiedenis van het onderwijs was dat het op korte termijn economische belang van overheid en bedrijfsleven niet als basis kan dienen voor de ontwikkeling van natuurwetenschappelijk onderwijs ter realisatie van een bloeiende kenniseconomie. De inzichten van geschiedenis van de natuurwetenschappen zijn hiermee in harmonie: wetenschappelijke vooruitgang, innovaties en belangrijke ontdekkingen zijn niet af te dwingen. De natuurwetenschap en haar applicaties zijn onvoorspelbaar. Ook zagen we dat wetenschap en het doen van ontdekkingen een creatief proces is waarbij een groot deel afhankelijk is van toeval. Daarom is het met geen mogelijkheid vast te stellen welke natuurkundige kennis en vaardigheden nu precies nodig zijn voor de realisatie van een visie voor een land om cultureel, technologisch, wetenschappelijk en economisch op te bloeien. Dit zou dus niet de focus moeten zijn bij de ontwikkeling van natuurkundeonderwijs.

Het blijkt dat er in het verleden principes zijn gehanteerd op basis waarvan het onderwijs is vormgegeven welke hebben geleid tot een bloeiende kenniseconomie. Belangrijk voor het toekomstige Nederlandse voortgezet natuurkundeonderwijs is het principe van Bildung. Dit principe is behandeld in het tweede deel van paragraaf 3.3, geschiedenis van het onderwijs. In essentie is de Bildung van het individu de ontwikkeling van

<sup>89</sup> Ministerie van OCW, *onderwijs met ambitie*, pg 6.

<sup>90</sup> Ibidem, pg. 9.

<sup>91</sup> Ibidem, pg. 7.

<sup>92</sup> <http://taalunieversum.org/onderwijs/termen/term/608/kwalificatiewinst/>, geraadpleegd op 29-01-2012

<sup>93</sup> Ministerie van OCW, *onderwijs met ambitie*, pg 13.

<sup>94</sup> Zie pg. 3 van dit document

zijn eigen potenties door onderwijs. De aangeboden stof is “slechts” een middel voor deze ontwikkeling. Individuele vrijheid en verscheidenheid in mogelijkheden van onderwijs zijn vereisten voor processen van Bildung. Er is pas sprake van een *gebildet* mens wanneer het individu in harmonie is met zichzelf en de wereld buiten hem. Volgens Humboldt moet de staat zijn verlangen om de gemeenschap te vormen naar zijn visie beperken, wat in overeenstemming is met de inzichten uit de voorgaande alinea. In plaats daarvan moet de staat de condities waarborgen die nodig zijn om burgers de mogelijkheid te geven om hun eigen streven vorm te geven en te realiseren. Het is de taak van het individu om te bepalen wie hij is en wat hij wil. Zo zien we dat natuurkunde een vak kan zijn wat bijdraagt aan Bildung, maar niet meer dan dat; i.e. het is één van de vakken die bij kan dragen aan een *gebildet* mens. Ieder individu voor zich moet vrij kunnen kiezen wat belangrijk is om zijn eigen potenties te realiseren. Daarnaast wordt zelfs de meest vrije en onafhankelijke mens beperkt in zijn ontwikkeling door eenzijdigheid.

### 4.3 - INTEGRATIE

*In deze paragraaf integreren we de disciplinaire inzichten tot één geheel om een antwoord te geven op de vraag: wat is goed natuurkunde onderwijs? Dit antwoord wordt gegeven in de vorm van een lijst met criteria en adviezen voor het voortgezet natuurkundeonderwijs. Om te beginnen stellen we het belang van het voortgezet natuurkundeonderwijs op door integratie van het belang van natuurkundeonderwijs vanuit het doel en belang van het voortgezet onderwijs en het belang van natuurkundeonderwijs vanuit het doel voor Nederland om in 2020 tot de top 5 van de GCI te behoren. Vervolgens bekijken we, op basis van het belang van natuurkundeonderwijs en de inzichten van filosofie en geschiedenis van de natuurwetenschappen, welk beeld leerlingen zouden moeten ontwikkelen van de natuurkunde tijdens het voortgezet onderwijs. Vervolgens gebruiken we het belang en het beeld om een onderbouwde keuze te maken uit de lijst van criteria. Het hoofdstuk sluiten we af met adviezen voor het voortgezet natuurkundeonderwijs.*

#### 4.3.1 - BELANG VAN VOORGEZET NATUURKUNDEONDERWIJS

We moeten het belang van het voortgezet natuurkundeonderwijs zo formuleren dat het aan drie eisen voldoet. Als eerste moeten we met behulp van dit belang uit de lijst met criteria (tabel 4.1) de criteria voor goed natuurkundeonderwijs kunnen selecteren. Als tweede moet er uit af te leiden zijn welk beeld van de natuurkunde jongeren zouden moeten ontwikkelen tijdens hun opleiding. Als laatste moet het belang voor natuurkundeonderwijs zo opgesteld worden dat natuurkundeonderwijs bijdraagt aan a) het gestelde belang en doel van het voortgezet onderwijs en b) het voor Nederland gestelde doel om in 2020 te behoren tot de top vijf van de GCI. In deze paragraaf integreren we 4.2.2 en 4.2.3 tot één geheel.

Het doel van het voortgezet onderwijs (havo en vwo) is het behalen van een startkwalificatie, waarmee iemand een serieuze kans heeft op duurzaam geschoold werk. Het belang van het voortgezet onderwijs is om een duurzame basis te bieden voor de optimale ontwikkeling van de leerling, de samenleving en de (internationaal concurrerende) economie. De focus ligt op de ontplooiing van de talenten en mogelijkheden die elke jongere heeft. Deze focus is Bildung: Bildung van het individu is de ontwikkeling van zijn eigen potenties door onderwijs. Daarmee gaat Bildung voorbij aan het doel, maar niet aan het belang van het voortgezet onderwijs. Wanneer het gaat over wanneer er sprake is van een *gebildet* mens gaat Bildung ook voorbij aan het belang van het voortgezet onderwijs: er is pas sprake van een *gebildet* mens wanneer het individu in harmonie is met zichzelf en de wereld buiten hem. De noodzaak van deze harmonie vonden we niet terug in de formulering van het belang van het voortgezet onderwijs.<sup>95</sup> Omdat Bildung het meest omvattende en richtende concept is gebruiken we Bildung als basis, die we uitbouwen zodat ook het belang en doel van het voortgezet onderwijs opgenomen zijn.

Voordat we op de hierboven genoemde wijze het belang formuleren van het voortgezet natuurkunde onderwijs, is het belangrijk om te realiseren dat het vak natuurkunde niet meer is dan één van de vakken van het voortgezet onderwijs. Het is daarmee slechts één van de mogelijkheden om het belang van het voortgezet onderwijs te dienen en één van de onderwerpen die bijdraagt aan Bildung.

Het belang van het voortgezet natuurkundeonderwijs is het bijdragen aan de ontwikkeling van de potenties van leerlingen: de ontplooiing van de talenten en mogelijkheden die een leerling heeft. Wil het vak natuurkunde bij

<sup>95</sup> Zie 4.2.3

kunnen dragen aan Bildung, is het noodzakelijk dat het niet alleen gericht is op technische training, maar ook de culturele aspecten en het interdisciplinaire karakter van deze wetenschap behandelt.

*Individuele vrijheid* en *verscheidenheid* zijn vereisten voor processen van Bildung. We hebben te maken met inleidend onderwijs. Voordat een leerling zijn individuele vrijheid kan aanwenden met betrekking tot een focus van zijn eigen ontwikkeling moet hij weten waar zijn potenties liggen en waaruit hij kan kiezen. Daarom heeft *verscheidenheid* prioriteit boven *individuele vrijheid* op het voortgezet onderwijs. In het voortgezet natuurkundeonderwijs doen leerlingen ervaringen op met betrekking tot natuurkunde. Omdat de mens wordt beperkt in zijn ontwikkeling door eenzijdigheid is het van belang dat de leerling een zo breed mogelijk beeld aangeboden krijgt door en van de natuurkunde. Wel is het zaak dat binnen deze grenzen de individuele vrijheid tot uiting kan komen.

Bildung leidt tot voldoening en diversiteit binnen een gemeenschap; twee noodzakelijkheden voor een duurzame kenniseconomie. Maar we moeten ons wel realiseren dat processen van Bildung open zijn met betrekking tot de toekomst. Het is belangrijk dat deze onzekerheid niet gemaskeerd worden met illusies van zekerheid. Wil het onderwijs bij kunnen dragen aan een zuivere Bildung mogen er geen specifieke educatieve doelstellingen gesteld worden op basis van wat nodig is voor de toekomst van de leerling of de behoeften vanuit de maatschappij. Dit betekent dat het doel van het voortgezet onderwijs zoals dat nu staat – na het voltooien van het voortgezet onderwijs heeft iemand een serieuze kans op duurzaam geschoold werk – het proces van Bildung tegen zou kunnen werken wanneer dit vertaald wordt in educatieve doelstellingen die stellen wat er nodig is voor de toekomst van de leerling. De leerling moet zelf ontdekken of bepalen wie hij is en wat hij wil en is zelf verantwoordelijk om zijn streven vorm te geven en te realiseren. Het is niet de taak van het voortgezet onderwijs om een garantie te bieden voor de toekomst van de leerling, in plaats daarvan moet het de condities aan bieden waarbinnen de leerling dit zo goed mogelijk kan doen in een zo kort mogelijk tijdbestek, maar niet minder dan de leerling nodig heeft. Het is per leerling verschillend hoe deze ondersteund moet worden en op welke gebieden deze welke mate van vrijheid of begeleiding nodig heeft. Iedereen heeft andere potenties en die moeten op andere manieren ontwikkeld worden.

Natuurkunde kan een belangrijke rol spelen in Bildung van een leerling. Daarvoor moet de focus van het onderwijs liggen op de belangrijkste intellectuele stromingen. In dit opzicht zijn in ieder geval de volgende aspecten van de natuurkunde van belang: natuurkunde is de moeder van de exacte wetenschappen, het heeft een rijke geschiedenis, het heeft belangrijke filosofische implicaties, de link tussen abstracte wiskunde en de waarneembare wereld is in de natuurkunde het directst - wat in de experimentele kant van de natuurkunde sterk tot uiting komt, de methodes van onderzoek en de wijze van denken zijn op vele gebieden toepasbaar, de concepten uit de natuurkunde zijn de meest fundamentele concepten uit de natuur die we kennen. Dit zijn facetten van de wereld die een leerling buiten de natuurkunde om niet zomaar tegenkomt. En misschien nog wel belangrijker dan één van de afzonderlijke aspecten, deze aspecten zijn te verkennen met relatief eenvoudige natuurkunde. Ook belangrijk voor Bildung is het *leren leren*. Natuurkunde kan hier op vele manieren in bijdragen. Het vak moet zo worden vormgegeven dat natuurkunde hier maximaal in bij kan dragen op de manier die het individu in kwestie nodig heeft en aanspreekt. De stof moet waarlijk een hulpmiddel zijn voor Bildung.

Het is om twee redenen belangrijk om het vak zo dicht mogelijk bij de eigenlijke praktijk te houden. Als eerste kan Bildung geen privé aangelegenheid zijn. De eigenlijke natuurkundige praktijk van experimenteel en theoretisch onderzoek, maar ook de beroepsmatige praktijk waarbij natuurkundige principes gebruikt worden, zijn zeker geen privé aangelegenheden. Binnen het vak zijn de mogelijkheden van toepassing hiervan groot. De tweede reden is dat jongeren op basis van de ervaringen die zij op doen en ontwikkeling die zij doormaken tijdens het vak natuurkunde, als deel van het voortgezet onderwijs, als deel van hun jeugd, hun keuzes maken voor de toekomst. Willen jongeren een onderbouwde keuze maken, is het van belang dat dit gebaseerd is op de feitelijke praktijk en niet iets wat alleen binnen de muren van het voortgezet onderwijs bestaat. Het is belangrijk dit mee te nemen in de vormgeving van het vak natuurkunde.

Hierboven kwam ter sprake het vak natuurkunde een deel is van het voortgezet onderwijs, wat een deel is van de jeugd. We moeten niet vergeten dat dit een belangrijk deel is van de ontwikkeling van de mens. Wil Bildung kunnen plaatsvinden is het nodig dat jongeren met plezier en innerlijke motivatie bezig zijn met hun onderwijs en het moet afgestemd zijn op de ontwikkeling die zij op dat moment doormaken. Alleen dan kan er sprake zijn van emotionele geëngageerdheid.

### 4.3.2 - BEELD VAN DE NATUURKUNDE

In deze paragraaf leiden we af welk beeld van de natuurkunde jongeren zouden moeten ontwikkelen volgens het belang van natuurkundeonderwijs wat we in 4.3.1 opgesteld hebben. De disciplinaire inzichten, met in het bijzonder de inzichten van de geschiedenis en filosofie van de natuurwetenschap, hebben ons hiervoor mogelijkheden laten zien.

Vanuit het belang van het natuurkundeonderwijs, opgesteld in 4.3.1, kan het volgende gezegd worden over het beeld wat leerlingen moeten ontwikkelen van en door de natuurkunde tijdens het voortgezet natuurkundeonderwijs. Leerlingen ontwikkelen een zo breed mogelijk beeld van de natuurkunde. Dit om drie redenen. Als eerste wordt de mens beperkt in zijn ontwikkeling door eenzijdigheid en is verscheidenheid daarom een vereiste van Bildung. Daarnaast kan een leerling pas een keuze maken met betrekking tot zijn eigen ontwikkeling wanneer deze een beeld heeft van waaruit hij kan kiezen. Als laatste heeft iedereen andere potenties welke op verschillende wijze aangesproken worden.

Tijdens het vak natuurkunde leren leerlingen natuurkunde kennen als de moeder van de exacte wetenschappen, ze ontdekken de rijke geschiedenis en de belangrijke filosofische implicaties ervan. Leerlingen leren de technische en de culturele kant en het interdisciplinaire aspect kennen van natuurkunde. Ze ervaren de link tussen abstracte wiskunde en de waarneembare wereld tijdens experimentele en theoretische bezigheden. Leerlingen leren natuurkunde kennen zoals het er in de wetenschappelijke en/of beroepsmatige praktijk uit ziet. Ze ontdekken de methodes van onderzoek en de wijze van denken van de natuurkundige. Ze komen in aanraking met de belangrijkste concepten en theorieën uit de natuurkunde. Leerlingen leren kennen waar er in de natuurkunde naar gestreefd wordt (prescriptieve benadering vanuit de filosofie), hoe dit gedaan wordt en waarom dit gedaan wordt. Naast dit streven naar 'ideaal wetenschap' leren leerlingen ook de menselijke kant kennen van de natuurkunde zoals dit naar voren komt vanuit de geschiedenis van de natuurkunde (descriptieve benadering). Leerlingen ontwikkelen het besef dat dit niet zozeer een tegenstelling is, als wel twee uitersten waartussen een groot en rijk gebied is aan opvattingen over de natuurkunde.

Het vak wordt zo dicht mogelijk bij de wetenschappelijke en/of beroepsmatige praktijk gehouden. De enige beperking hiervan is het niveau van de natuurkunde, deze moet afgestemd zijn op de mogelijkheden die de leerlingen op dat moment hebben. Dit betekent dat leerlingen een beeld krijgen de processen in plaats van de resultaten, van de wetenschappelijke debatten in plaats van dogmatisme, en van innovatieve manieren waarop je een probleem kunt definiëren in plaats van hoe een technische oplossing te geven op een van te voren gedefinieerd probleem. Dit, samen met inzicht in de prescriptieve en descriptieve benadering van de natuurkunde, overbruggt de culturele kloof tussen de wetenschap en de maatschappij.

Dit alles kan op vele manieren gerealiseerd worden. De manier waarop dit gerealiseerd wordt is afhankelijk van de motivatie, talenten en mogelijkheden die elke leerling heeft. Het onderscheid tussen havo en vwo is in dit opzicht belangrijk, maar daarnaast zijn er ook vele vormen van onderwijs (denk o.a. aan openbaar, Dalton, Montessori) en heeft elke school en docent de juiste mate aan vrijheid om zijn onderwijs vorm te geven en af te stemmen op de leerling in kwestie.

### 4.3.3 - CRITERIA VOOR GOED NATUURKUNDEONDERWIJS

Met het belang en beeld kunnen we een keuze maken uit de lijst met criteria voor goed (natuurkunde) onderwijs die we vanuit de disciplinaire inzichten hebben opgesteld. Om te voldoen aan de eis voor Bildung dat er geen specifieke educatieve doelstellingen gesteld worden op basis van wat nodig is voor de toekomst van de leerling of de behoeften vanuit de maatschappij, maken we onderscheid tussen primaire, secundaire en tertiaire criteria. De primaire criteria voor goed natuurkundeonderwijs zijn die criteria die stellen wat natuurkundeonderwijs moet doen. Ze zijn het antwoord op de vraag: waarom geven we natuurkunde. Het antwoord op deze vraag ontstaat vanuit beleidskeuzes. De vertaling van deze beleidskeuzes met behulp van disciplinaire inzichten naar het belang van natuurkundeonderwijs is gemaakt in 4.2.3 en geïntegreerd in 4.3.1. De secundaire criteria zijn voorwaarden voor de primaire criteria die afgeleid zijn uit of gebaseerd op disciplinaire inzichten. De tertiaire criteria zijn de operationele criteria. Deze criteria behandelen de mechanieken van goed voortgezet onderwijs in het algemeen en zijn niet afhankelijk van onderwerp of beleidskeuzes. Deze zijn dus puur gericht op het technische aspect van onderwijs en zijn verder inhoudsloos. Ook geef deze categorisering de mogelijkheid op de juiste wijze te redeneren of te oordelen over de criteria van de verschillende niveaus, iets wat op dit moment in beleidsdocumenten, rapporten en ook wetenschappelijke



artikelen vaak verkeerd gaat. De “correctheid” van primaire criteria is afhankelijk van hoe goed de vertaling is van het beleid naar de vraag: waarom geven we natuurkunde. De enige manier waarop we kunnen meten of deze vertaling goed of fout is, is door te meten of het beleid wel of niet gerealiseerd wordt. Het heeft dus geen zin om te redeneren over *leren leren* als ware het een operatief (tertiair) criterium, door te beargumenteren dat *leren leren* geen goede methode is om leerlingen onderwerp x bij te brengen. De “correctheid” van de secundaire criteria is alleen afhankelijk in hoeverre deze voorwaarden inderdaad voorwaarden zijn voor en leiden tot de realisatie van de primaire criteria. Op gelijke wijze als bij het *leren leren* mag een secundair criterium niet behandeld worden als een tertiair criterium. Ook heeft het geen zin secundaire criteria te benaderen als primaire criteria, omdat secundaire criteria slechts middelen zijn voor wat het vak uiteindelijk wil bereiken. Wanneer een primair criterium veranderd wordt, is er één, tot misschien wel alle secundaire criteria die overbodig worden, hoe goed ze ook waren als secundaire criteria voor dat specifieke primaire criterium. De tertiaire criteria veranderen in zo’n geval minder snel, omdat deze niet inhoudelijk zijn. Maar, omdat de tertiaire criteria slechts te maken hebben met methodiek, zijn ze op zichzelf niet van belang. Ze kunnen nooit voorrang krijgen boven primaire of secundaire criteria, zoals van der Werf doet wanneer zij stelt dat in goed voortgezet onderwijs de leerling consumptief is<sup>96</sup> en het accent ligt ‘op overdracht van domeinspecifieke theoretische en abstracte kennis en vaardigheden.’<sup>97</sup> We kunnen dan ook alleen spreken van goede tertiaire criteria wanneer deze de leerling en docent helpen bij de realisatie van de secundaire criteria.

Met behulp van dit onderscheid en op basis van het belang van voortgezet natuurkundeonderwijs, zoals geformuleerd in 4.3.1, het beeld van natuurkunde wat leerlingen tijdens dit onderwijs zouden moeten ontwikkelen, zoals geformuleerd in 4.3.2 en tabel 4.1 waarin de criteria voor goed (natuurkunde) onderwijs vanuit de disciplinaire inzichten verzameld zijn, zijn de criteria voor goed voortgezet natuurkundeonderwijs:

<p><b>Tabel 4.2a – Primaire criteria voor goed voortgezet natuurkundeonderwijs, in volgorde van belang:</b></p> <p>Goed voortgezet natuurkundeonderwijs:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. draagt bij aan Bildung. Bildung leidt tot persoonlijke voldoening en diversiteit binnen een samenleving, twee voorwaarden voor een duurzame kenniseconomie. (<i>Humboldt + Brighouse + kwaliteitsagenda VO</i>) Afhankelijk van de potenties, interesse en mogelijkheden van een leerling leidt Bildung door natuurkundeonderwijs tot:             <ol style="list-style-type: none"> <li>a) De ontplooiing van iemands persoonlijke autonomie. (<i>Humboldt + Brighouse + kwaliteitsagenda VO</i>)</li> <li>b) het vermogen om bij te dragen aan het sociaal en economisch leven. (<i>Humboldt + Brighouse + kwaliteitsagenda VO</i>)</li> <li>c) democratische bekwaamheid (o.a. door bij te dragen aan de ontwikkeling van geïnformeerde burgers betreffende de rol en aanwending van de natuurwetenschap in onze huidige maatschappij). (<i>Humboldt + Brighouse + Bevilacqua en Gianetto</i>)</li> <li>d) het vermogen tot samenwerken. (<i>Humboldt + Brighouse + kwaliteitsagenda VO</i>)</li> <li>e) Intellectuele onafhankelijkheid (<i>Machold</i>)</li> </ol> </li> <li>2. In (...) leren leerlingen leren. (<i>Humboldt + kwaliteitsagenda VO</i>)</li> <li>3. In (...) zijn jongeren met plezier en innerlijke motivatie bezig met hun onderwijs. (<i>Brighouse + kwaliteitsagenda VO</i>)</li> </ol>
<p><b>Tabel 4.2b – Secundaire criteria voor goed voortgezet natuurkundeonderwijs, in volgorde van belang:</b></p> <p>Goed voortgezet natuurkundeonderwijs:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. In (...) is de stof een hulpmiddel voor Bildung. (<i>Humboldt</i>)</li> <li>2. biedt de leerling een zo breed mogelijk beeld aan door en van de natuurkunde. (<i>Humboldt toegepast</i>)</li> <li>3. In (...) komt individuele vrijheid tot uiting. De belangrijkste beperking van individuele vrijheid is verscheidenheid. (<i>Humboldt + Humboldt toegepast</i>)</li> <li>4. is gericht op technische training en behandelt de culturele aspecten en het interdisciplinaire karakter van deze wetenschap. De prescriptieve criteria (filosofie van de natuurwetenschap) kunnen de leerlingen laten zien waar er in de wetenschap naar gestreefd wordt. De descriptieve inzichten (geschiedenis van de natuurwetenschap) kunnen de leerlingen kennis laten maken met het menselijke aspect van de wetenschap. (<i>Bevilacqua en Gianetto + inzichten van filosofie en geschiedenis van de natuurwetenschap toegepast + Oon en Subramamiam</i>)</li> <li>5. stimuleert het leerproces en laat expliciet aan de leerling zien hoe zijn leerproces is vormgegeven zodat hij dit toe kan passen in zijn toekomstige leren. (<i>Galili en Hazan</i>)</li> <li>6. wordt zo dicht mogelijk bij de eigenlijke wetenschappelijke en/of beroepsmatige praktijk gehouden. (<i>Humboldt toegepast + Galili en Hazan + Oon en Subramamiam</i>)</li> <li>7. is afgestemd op de ontwikkeling die jongeren op dat moment doormaken. (<i>Brighouse + kwaliteitsagenda VO + Oon en Subramamiam</i>)</li> <li>8. De focus van (...) ligt op de belangrijkste intellectuele stromingen. (<i>Humboldt</i>) Leerlingen:             <ol style="list-style-type: none"> <li>a) komen in aanraking met de belangrijkste concepten en theorieën uit de natuurkunde. (<i>Machold</i>)</li> <li>b) ervaren de relatie tussen wiskunde en natuurkunde, maar stelt de beschrijving van natuurkundige problemen in termen van wiskunde uit tot het moment dat leerlingen inzien wat het probleem is dat de bijhorende wiskunde</li> </ol> </li> </ol>

<sup>96</sup> Van der Werf, *Leren in het Studiehuis*, 23.

<sup>97</sup> Ibidem, pg. 16.

<p>noodzakelijk maakt. (4.3.2 + Machold)</p> <p>c) komen in aanraking met de strategieën die gebruikt worden door professionals in de natuurkunde. (Machold)</p> <p>d) laat leerlingen kennis maken met en geeft hen de mogelijkheid om de mentale processen en onbewuste vragen die experts zich stellen eigen te maken. (Rojas)</p> <p>e) ontdekken waar er in de natuurkunde naar gestreefd wordt, hoe dit gedaan wordt en waarom dit gedaan wordt (prescriptieve benadering) – denk hier aan de ideeën van Popper, Kuhn en Lakatos. (Galili en Hazan + inzichten van filosofie en geschiedenis van de natuurwetenschap toegepast)</p> <p>f) ontdekken het menselijke aspect van de natuurkunde (descriptieve benadering) – Denk hier aan de inzichten die Theunissen presenteert. (Galili en Hazan + inzichten van filosofie en geschiedenis van de natuurwetenschap toegepast)</p> <p>g) ontwikkelen het besef dat de prescriptieve en descriptieve benadering van de natuurkunde geen tegenstelling is, als wel twee uitersten waartussen een groot en rijk gebied is aan opvattingen over de natuurkunde.</p> <p>Zo leren leerlingen natuurkunde kennen als leren kennen als niet-dogmatisch, tentatief en weerlegbaar en wordt er een brug geslagen tussen de verschillende exacte wetenschappen, maar ook tussen de geestes- en natuurwetenschap.</p> <p>9. Goed natuurkundeonderwijs zorgt ervoor dat leerlingen hun dagelijkse concepten, waarmee zij natuurkundige problemen uit hun dagelijks leven oplossen, vervangen door natuurkundige concepten. (Machold + Bevilacqua en Gianetto)</p>
---

**Tabel 4.2 – Tertiaire criteria voor goed voortgezet natuurkundeonderwijs, in volgorde van belang:**

<p>Goed voortgezet natuurkundeonderwijs:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. is onderwijs waar georganiseerde en relevante kennis wordt aangeboden en er een emotionele geëngageerdheid om deze kennis te internaliseren in de leerling wordt gecultiveerd, omdat dit leidt tot betekenisvol leren.       <ol style="list-style-type: none"> <li>a) Goed onderwijs leidt tot betekenisvol leren: een leerling maakt zich de kennis eigen, begrijpt en internaliseert deze.</li> <li>b) Voor betekenisvol leren is goed georganiseerde en relevante kennis in combinatie met emotionele geëngageerdheid om deze kennis te internaliseren een voorwaarde. (Novak en Cañas + Galili en Hazan)</li> </ol> </li> <li>2. De rol van het onderwijs en de leraar is ervoor zorgen dat leerlingen zich begeven in activiteiten waarin ze zich uit zichzelf niet zouden begeven, inclusief, maar niet beperkt tot het verwerven van kennis die door de leraar of het boek wordt aangereikt. (Van der Werf, traditionele perspectief)</li> <li>3. Een voorwaarde voor leren is een rijke en uitdagende leeromgeving, zo opgezet dat de ervaren discrepantie tussen de eigen kennisconstructies en de aangeboden kennis zo is, dat leren natuurlijk ontstaat. (Van der Bij en van der Waals, constructivistische perspectief)</li> </ol>
--

#### 4.3.4 - ADVIES VOOR HET VOORTGEZET NATUURKUNDEONDERWIJS

*De criteria die opgesteld zijn in 4.3.3 zijn de criteria voor ontwerp van voortgezet natuurkundeonderwijs. Dit zijn de eisen voor het vak natuurkunde op het voortgezet onderwijs, van waaruit het vormgegeven kan worden. Eén van de belangrijkste elementen van het ontwerp voor het vak natuurkunde is het curriculum, waarin feitelijk het doel wordt vastgesteld van het vak natuurkunde. Dit ontwerpproces en opstellen van het curriculum staat buiten dit onderzoek. Toch zijn er nog wel een aantal adviezen die gegeven kunnen worden voor het ontwerp-proces vanuit de disciplinaire inzichten. Dit is het doel van deze paragraaf.*

In het tweede deel van paragraaf 3.4 hebben we de kwestie behandeld hoe we leerlingen kunnen interesseren voor natuurkunde tijdens het inleidend natuurkundeonderwijs. Met betrekking tot het voortgezet natuurkundeonderwijs kwam naar voren dat belangrijke oorzaken dat leerlingen natuurkunde niet leuk vinden, omdat zij aangeven het saai en/of moeilijk te vinden. Oorzaken daarvoor zijn mogelijk te vinden in de wiskundige eisen die natuurkunde aan de leerling stelt, de ten opzichte van de leerling passieve lesmethoden die de natuurkundeleraren vaak gebruiken en de overlading van het curriculum. Dit zijn drie punten van aandacht die meegenomen moeten worden in het ontwerpproces.

Naast deze drie aandachtspunten kwamen er ook vijf adviezen naar voren om leerlingen te interesseren voor natuurkunde tijdens het inleidend natuurkundeonderwijs. Deze zijn, toegepast op het belang, beeld en criteria die we hierboven hebben opgesteld:

- Herzie het schoolcurriculum, waarbij de onderwerpen zowel bij de leraar als leerling tot de verbeelding spreken en aansluiting vinden.
- Maak leerlingen bekend met de carrièremogelijkheden van natuurkundigen
- Verbeter carrièreperspectieven van een afgestudeerde natuurkundige, door bijvoorbeeld de introductie van interdisciplinaire op natuurkunde gebaseerde programma's, zoals *Physics with finance*.
- Maak natuurkundeonderwijs relevant en leuk door inhoudelijke stof in context te doceren en gebruik te maken van demonstraties.
- Geef verrijkingprogramma's om natuurkunde te promoten, zoals voordrachten van professionals en workshops.

De laatste vraag die gesteld werd om door de onderwijskunde beantwoord te worden was of wetenschapsfilosofisch en historisch (WFH) materiaal een rol spelen kan in het inleidend natuurkunde onderwijs en zo ja welke. Hieruit zijn een drietal vormen van advies voort gekomen. De eerste is dat, met betrekking tot het bevorderen van het leerproces, WFH materiaal gebruikt kan worden als fictie voor de leerling, het kan inzicht geven voor de docent in de problemen die leerlingen tegen kunnen komen en het kan gebruikt worden als aanmoediging voor de leerling om gelijksoortige conceptuele veranderingen door te maken als mensen in het verleden gedaan hebben. De tweede vorm van advies zijn punten van aandacht voor het gebruik van WFH materiaal in het natuurkundeonderwijs. Deze problemen zullen moeten worden overwonnen of ontweken. Deze zijn de mogelijke afstotende werking van WFH materiaal met betrekking tot de interesse van leerlingen doordat deze stof uitheems overkomt, tijd tekort binnen een curriculum dat toch al overvol zit en argumenten van vaagheid, onnauwkeurigheid en zelfs wetenschappelijke onjuistheid van wetenschappelijke kennis uit het verleden. De laatste vorm van advies zijn mogelijke manieren waarop WFH materiaal gebruikt kan worden bij het geven van het juiste beeld van de wetenschap, het stimuleren van het leerproces, leerlingen laten ontdekken dat wetenschap een beroep is, werkelijk begrip geven van de wetenschap en het wekken van interesse en relevantie voor de leerling. Degenen die in harmonie zijn met het door ons opgestelde belang zijn het reproduceren van historische experimenten, kennismaken met oorspronkelijke teksten, geven van verhalen en anekdotes wanneer passend bij het idee wat de leraar wil overdragen en systematische integratie van filosofie en geschiedenis in het leerprogramma,

Een belangrijke vinding van dit onderzoek is het criterium van verscheidenheid voor de ontwikkeling van een duurzame kenniseconomie. De inzichten van de filosofie en geschiedenis van de natuurwetenschap die in 3.1.1 en 3.1.2 behandeld zijn kunnen direct gebruikt worden bij het ontwerp van het vak natuurkunde. Dit zou resulteren in de systematische integratie van filosofie en geschiedenis in het leerprogramma. Hoe deze verwerkt worden en op welke wijze leerlingen met deze inzichten in aanraking komen kan pas in een uitvoerig onderzoek en ontwerpproces vormgegeven worden. De ideeën die in deze twee paragrafen besproken en in 3.1.4 samengevat zijn laten echter wel zien dat de inzichten van geschiedenis en filosofie in de natuurwetenschap niet genegeerd mogen worden in de opzet van het voortgezet natuurkundeonderwijs wanneer dit gebaseerd wordt op het beleid omtrent het voortgezet onderwijs zoals besproken in de notie *kwaliteitsagenda VO 2008-2011* en het doel van Nederland om in 2020 tot de top 5 kenniseconomieën ter wereld te behoren.

Er zijn twee belangrijke gereedschappen gevonden om de in 4.3.3 opgestelde criteria te verwezenlijken. Als eerste het raamwerk van waaruit een meer volledig natuurkundeonderwijs kan opereren: de principes van regulatie, de conceptuele modellen, het mathematisch formalisme en de experimentele resultaten.<sup>98</sup> Dit op inzichten vanuit de filosofie en geschiedenis van de natuurwetenschap gebaseerde raamwerk is een belangrijk alternatief voor het tot nu toe gehanteerde raamwerk van de verschillende vakgebieden. Het tweede gereedschap is de strategie voor probleemoplossing van Rojas.<sup>99</sup> Deze strategie is opgesteld om drie problemen in het natuurkundeonderwijs aan te pakken. Deze strategie zou een belangrijke vaardigheid kunnen zijn die leerlingen zich eigen kunnen maken en welke wellicht ook toepasbaar is buiten de natuurkunde. Een belangrijke eigenschap van de door Rojas opgestelde strategie is dat de leerling het probleem alleen hoeft te begrijpen. De leerling hoeft zelf geen probleem te vinden of er kritisch over na te denken. De strategie gaat ervan uit dat er een probleem is, gegeven dit probleem, gebruik de strategie. Afhankelijk van het doel dat voor een vorm van onderwijs gekozen wordt, kan het belangrijk zijn dat de leerling deze eigenschap leert kennen en de beperking ervan in gaat zien.

Als laatste zijn er de twee stellingen, gepresenteerd door Oon en Subramaniam vanuit verschillende onderzoeken, dat de gedachten, oordelen en beslissingen van docenten het gedrag beïnvloeden van klassen en dat de verwachtingen van een docent aanzienlijk de attitudes en resultaten van leerlingen kunnen beïnvloeden. Dit ondersteunt het idee dat gepresenteerd wordt in de *Kwaliteitsagenda VO 2008-2011*, dat goede leraren essentieel zijn voor het behalen van de beleidsdoelstellingen. Onderwijs is mensenwerk.<sup>100</sup> Uiteindelijk ligt de kwaliteit van het onderwijs voor een leerling in de hand van de docent van welke hij het onderwijs ontvangt, op wat voor manier dit ook moge zijn. Het ontwerpen van onderwijs vanuit een overkoepelende organisatie als de overheid moet altijd in dit licht gezien worden.

<sup>98</sup> Zie pg. 11 en 12 van dit document.

<sup>99</sup> Zie pg. 21 en 22 van dit document.

<sup>100</sup> Ministerie van OCW, *onderwijs met ambitie*, pg 15.

## 5. CONCLUSIE

Wat is goed voortgezet natuurkundeonderwijs? Deze vraag is zo belangrijk, omdat de positie van Nederland als kenniseconomie, en daarmee zijn welvarendheid, niet vanzelfsprekend is. Eén van de vijf knelpunten om deze positie te behouden is te weinig regie en focus in onderwijs. Ook zijn er zorgen over de kwaliteit van het onderwijs. Om de kwaliteit van iets vast te kunnen stellen, zo hebben we gezien, moet bekend zijn wat het belang en doel ervan is. Van daaruit is het mogelijk om praktisch inzicht te krijgen in de mogelijkheden voor verbetering. Vanuit een helder geformuleerd belang en doel waarin werkelijke beslissingen gemaakt worden krijgt het onderwijs focus en is het mogelijk om de juiste regie aan te bieden. Hoe het belang ingevuld wordt is een beleidskwestie. Deze invulling van deze kwestie is gevonden in het beleid omtrent het voortgezet onderwijs en het doel voor Nederland om in 2020 tot de top vijf van de *Global Competitiveness Index* te behoren, waarmee het mogelijk is onze positie als rijk en welvarend land te behouden.

We hebben gezien dat het belang van het voortgezet natuurkundeonderwijs van dit moment niet helder is. Ook is de relatie van het vak natuurkunde met het belang en doel van het voortgezet onderwijs, waar het een deel van is, niet helder. Zonder helderheid in deze kwesties is er geen basis waarop een concreet en onderbouwd doel geformuleerd kan worden. Concrete stappen van praktische, structurele en constructieve verbetering zijn zonder deze basis en zonder een concreet doel moeilijk, zo niet onmogelijk, te realiseren. Resultaten van onderzoek duiden op dit probleem wanneer ze concluderen dat de huidige situatie niet verbeterd of verslechterd is ten opzichte van de situatie van voor de tweede fase, desondanks deze grote, maar ook vele kleine vernieuwingen aan het onderwijs. Zonder een helder geformuleerd belang dat aangeeft waarom het natuurkundeonderwijs gegeven wordt is het niet mogelijk goed natuurkundeonderwijs te realiseren en zijn de resultaten van het onderwijs overgeleverd aan ongericht proces van trial-and-error. Dit kan Nederland zich niet veroorloven.

Om hieraan gehoor te geven heeft dit onderzoek de vertaling gemaakt van het beleid voor het voortgezet onderwijs en het doel voor Nederland om tot de top vijf van de *GCI* te behoren naar een belang voor voortgezet natuurkundeonderwijs. Dit belang is geformuleerd met behulp van betreffende beleidsdocumenten en inzichten van de geschiedenis van het onderwijs, filosofie van het onderwijs en de onderwijskunde. Het belang van het voortgezet natuurkundeonderwijs is het bijdragen aan de ontwikkeling van de potenties van leerlingen: de ontplooiing van de talenten en mogelijkheden die een leerling heeft, ook wel *Bildung* genoemd. We hebben de vereisten en voorwaarden voor dit proces behandeld en hoe natuurkunde hieraan bij kan dragen. Belangrijk om hier afzonderlijk te noemen is dat specifieke educatieve doelstellingen op basis van wat nodig is voor de toekomst van de leerling of de behoeften vanuit de maatschappij *Bildung* tegenwerken. Dit betekent dat het huidige doel van het voortgezet onderwijs, het behalen van een startkwalificatie, in disharmonie is met het beleid omtrent de *GCI*.

Met behulp van de inzichten vanuit de geschiedenis en filosofie van de natuurwetenschap is, op basis van het ontwikkelde belang, een beeld opgesteld wat leerlingen zouden moeten ontwikkelen tijdens het natuurkundeonderwijs. Vanuit het opgestelde belang komt naar voren dat het bovenal belangrijk is dat leerlingen een zo breed mogelijk beeld ontwikkelen van en over de natuurkunde. In de betreffende paragraaf hebben we de drie redenen gezien waarom dit belangrijk is en wat leerlingen hiervoor kunnen leren kennen van en over de natuurkunde.

Vanuit elk van de vijf gebruikte disciplines zijn criteria gegenereerd voor goed (natuurkunde) onderwijs. Het merendeel van deze inzichten verschillen van elkaar, zo zagen we, maar zijn niet direct in strijd. Op basis van het opgestelde belang en beeld hebben we uit de lijst met criteria de criteria voor goed voortgezet natuurkundeonderwijs vast kunnen stellen in volgorde van belang. Een zeer belangrijk onderscheid wat gemaakt is in dat proces is tussen primaire, secundaire en tertiaire criteria. De eerste categorie heeft direct betrekking op het belang, de tweede categorie zijn voorwaarden voor realisatie van het belang en de laatste categorie heeft betrekking op de mechanieken van onderwijs. Dit onderscheid moest gemaakt worden om te kunnen voldoen aan de vereisten voor *Bildung*. Maar veel belangrijker nog geeft het de mogelijkheid om op de juiste wijze te redeneren of te oordelen over de criteria van de verschillende niveaus, iets wat op dit moment in beleidsdocumenten, rapporten en ook wetenschappelijke artikelen vaak miscommunicatie en problemen veroorzaakt. Dit onderscheid heeft ons in staat gesteld de disciplinaire inzichten en de voorwaarden vanuit het voor Nederland vastgestelde beleid te integreren tot één lijst waarin het duidelijk is wat de onderlinge verhoudingen zijn tussen deze criteria.

De opgestelde lijst met criteria zijn de eisen voor ontwerp van het vak natuurkunde binnen het voortgezet onderwijs. Eén van de belangrijkste elementen van dit ontwerp is het examenprogramma, waarin feitelijk het doel wordt vastgesteld van het vak natuurkunde. Hoewel dit ontwerpproces buiten dit onderzoek staat, was het wel mogelijk om vanuit de disciplinaire inzichten adviezen te geven voor dit ontwerpproces. Zo hebben we drie aandachtspunten gezien om te vermijden dat leerlingen natuurkunde saai en moeilijk zullen vinden, vijf adviezen om leerlingen te interesseren voor natuurkundeonderwijs tijdens de lessen, acht argumenten waarvoor en vier manieren waarop wetenschapsfilosofisch en -historisch materiaal gebruikt kan worden en welke problemen hierbij vermeden moeten worden. Ook hebben we twee belangrijke gereedschappen gezien om de opgestelde criteria te kunnen verwezenlijken: een raamwerk van waaruit natuurkunde bekeken en ontworpen kan worden, die het tot nu toe gebruikte raamwerk van de vakgebieden vervangt en een strategie voor probleem oplossen.

In hoofdstuk 2 hebben we gezien dat op basis van de huidige eindtermen leerlingen natuurkunde leren kennen als aanbieder van onbetwistbare en absolute waarheid gevat in formules, waarvan de algemene structuur en onderlinge verbanden tussen verschillende concepten en theorieën niet duidelijk is. Dit beeld ontstaat door de combinatie van de inhoud en structuur van de eindtermen en de grote invloed van toetsing en eindexamen. We stelden de vraag of dit opweegt tegen de zelfs meest positieve uitkomst van het voortgezet natuurkundeonderwijs: een leerling voldoet aan de eindtermen. Op basis van de keuzes van beleid die we gezien hebben, de vertaling ervan naar het belang en de mogelijkheden van welk beeld leerlingen kunnen ontwikkelen van natuurkunde tijdens het natuurkundeonderwijs is het antwoord nee, dit weegt niet op tegen de problemen die erdoor ontstaan. Wanneer we de lijst met eindtermen<sup>101</sup> in het licht houden van de opgestelde criteria voor goed natuurkundeonderwijs<sup>102</sup> zien we dat er slechts enkele secundaire criteria zijn waaraan voldaan wordt. In dit opzicht is het dus niet vreemd dat het huidige natuurkundeonderwijs niet het gewenste effect heeft. Hoewel het Nederlandse onderwijssysteem in essentie nog steeds gebaseerd is op het systeem van Humboldt, welke Bildung tot gevolg moest hebben, is de inhoud en de vormgeving van het vak natuurkunde dat niet. Daarnaast zijn er, hoewel Humboldt een goed gefundeerd en krachtig systeem heeft ontworpen, vele inzichten ontwikkeld die er in de 19<sup>e</sup> eeuw niet waren welke de ideeën van Humboldt kunnen aanvullen.

Vanuit de onderwijskunde zagen we twee perspectieven op het onderwijs. Vanuit deze perspectieven is het onderwijs vormgegeven. Het huidige natuurkundeonderwijs is voor een groot deel nog gebaseerd op het traditionele perspectief. Met vernieuwingen is er steeds meer te zien van het constructivistische perspectief in het onderwijs. Ook *natuurkunde leeft* van de commissie NiNa, op basis waarvan een fundamentele verandering van het vak natuurkunde gemaakt moet worden, zal hieraan bijdragen.<sup>103</sup> We hebben echter gezien dat geen van deze perspectieven ons kan vertellen wat de inhoud van het vak natuurkunde zou moeten zijn. Vanuit deze perspectieven kunnen tertiaire (operatieve) criteria en gereedschappen voor onderwijs ontstaan, maar geen primaire of secundaire. Hier moet een hele andere benadering voor gekozen worden. Dit is een belangrijk probleem wat tot nu toe nog niet structureel is aangepakt. Ook *natuurkunde leeft* biedt geen oplossing aan voor dit probleem, waardoor het Nederland niet meer resultaat kan garanderen dan vernieuwingen van het voortgezet natuurkundeonderwijs uit het verleden.

Voordat we verder gaan met de bespreking van *natuurkunde leeft* is het belangrijk om op te merken dat in dat document uitgangspunten voor examenprogramma's voor havo en vwo en uitwerkingen daarvan in een curriculum geformuleerd en beargumenteerd worden.<sup>104</sup> Dit onderzoek heeft zich alleen beziggehouden met het opstellen van uitgangspunten (belang, beeld, criteria en advies) op basis waarvan het vak natuurkunde vormgegeven kan worden. Het opstellen van uitgangspunten voor examenprogramma's en uitwerkingen daarvan in een curriculum is een deel van deze verdere vormgeving. De notie gaat dus veel verder dan dit onderzoek in de stadia van het ontwerpproces. Het is de visie, waarmee dat document begint, en hoofdstuk 1 die overlap hebben met dit onderzoek. Daarom zullen we ons daarop concentreren. Daarnaast bestaat

<sup>101</sup> Zie appendix I

<sup>102</sup> Zie tabel 4.2 in paragraaf 4.3.3

<sup>103</sup> Er zijn vele aspecten te vinden van het constructivistische perspectief. Eén vierde van het document behandelt hoe contexten, (kern)concepten en centrale ideeën een rol spelen in de examenprogramma's en hoe van daaruit een raamwerk voor de examenprogramma's en curricula opgezet kan worden en ook in hoofdstuk 3, welke één derde van het document beslaat, de invloed van constructivistische ideeën zichtbaar.

<sup>104</sup> NiNa, *natuurkunde leeft*, pg. 9.

*natuurkunde leeft* nog uit twee andere hoofdstukken.<sup>105</sup> Hoofdstuk 1 behandelt de vraag waarom vernieuwing van het natuurkundeonderwijs nodig is en tot welke uitgangspunten voor een ontwerp dat leidt.

We hebben gezien dat het geen oplossing biedt voor twee belangrijke problemen van het huidige voortgezet natuurkundeonderwijs: onduidelijkheid van het belang en onduidelijkheid in de relatie van het vak met het beleid omtrent het voortgezet onderwijs. Ook geeft het geen vertaling voor het beleid omtrent de *GCI* naar de invulling van het vak natuurkunde, hoewel het wel aangeeft dat natuurkunde een belangrijke rol zal moeten spelen in de realisatie van Nederlands doelen als kenniseconomie. Daarmee is het belangrijkste punt van kritiek op *natuurkunde leeft* dat het het natuurkundeonderwijs niet de helderheid en focus geeft het nodig heeft om zijn problemen op te lossen en naar behoren bij te kunnen dragen aan het beleid omtrent het voortgezet onderwijs en Nederlands positie als kenniseconomie.

Een belangrijke factor in dit probleem is dat er ook in dat document geen solide basis wordt opgezet van waaruit werkelijke beslissingen gemaakt kunnen worden omtrent het natuurkundeonderwijs. De uitgangspunten voor het examenprogramma worden direct opgesteld vanuit de problematiek van natuurkundeonderwijs die in hoofdstuk 1 wordt aangedragen als motivatie voor vernieuwing van het natuurkundeonderwijs. In hoofdstuk 2 van dit document zagen we dat deze knelpunten waarschijnlijk alleen de symptomen zijn van de werkelijke oorzaak van de problematiek omtrent het natuurkundeonderwijs: het missen van een concrete, gefundeerde logische basis waarop en waarmee het vak natuurkunde vormgegeven kan worden en er concrete stappen van praktische, structurele en constructieve verbetering mogelijk zijn. Hoewel er in de notie een aantal belangrijke ideeën omtrent de inhoud en onderwijskundige mogelijkheden voor de invulling van het vak natuurkunde te vinden zijn, geeft het geen antwoord op de werkelijke problematiek: het vak natuurkunde functioneert niet naar behoren. Een belangrijk gevolg hiervan is dat het niet mogelijk om rationale keuzes te maken omtrent de invulling van het curriculum aan de hand van de door NiNa aangewezen problemen; i.e. welke onderwerpen (o.a. wiskundige vaardigheden, technisch ontwerpen, de ontwikkelde kennis, of het wetenschappelijk proces) zijn van absoluut en welke zijn van minder belang? Dit is noodzakelijk omdat er maar een beperkte hoeveelheid tijd beschikbaar is. Een potentieel fundament op basis waarvan dit wel mogelijk is, wordt in dit document aangeboden.<sup>106</sup>

---

<sup>105</sup> Deze behandelen, respectievelijk, de keuzes die de commissie maakt in de opzet van de examenprogramma's en de adviezen met betrekking tot hoe de examenprogramma's uitgewerkt kunnen worden in curricula.

<sup>106</sup> Zie paragraaf 4.3.

## 6. REFERENTIES

*(De bronnen zijn geannoteerd volgens de onderzoeksgids van de faculteit Letteren.)*

Alford, J., 'Book Reviews - Critical Lessons: what our schools should teach', *The Australian Educational Researcher* 37 Issue 2 (2010).

Bartley, W.W., 'Rationality versus the Theory of Rationality', in Bunge: *The Critical Approach to Science and Philosophy* section IX (1964).

Bevilacqua, F., E. Gianetto, 'the history of physics and European physics education', *Science and Education* 5 (1996).

Bij, T. v.d., J. v.d. Waals, 'Ontwikkelingsagenda van de Toekomst' (Enschede 2007).

Bolhuis, S., M.J.M. Voeten, 'Toward self-directed learning in secondary schools: what do teachers do?', *Teacher and Teacher Education* 17 (2001).

Brighouse, H., *The Oxford handbook of Philosophy of Education* (New York, 2009).

Commissie Vernieuwing Natuurkundeonderwijs havo/vwo, *Natuurkunde leeft - Visie op het vak natuurkunde in havo en vwo* (2006).

Curd, M., J.A. Cover, *Philosophy of science; the central issues* (New York 1998).

Feinstein, N., 'The Books - Critical Lessons: What Our Schools Should Teach', *Science Education* (2006).

Fensham, P.J., R.F. Gunstone, R.T. White, *The content of science: a constructivist approach to its teaching and learning* (Bristol 1994).

Galili, I., A. Hazan, 'Experts' Views on Using History and Philosophy of Science in the Practice of Physics Instruction', *Science & Education* 10 (2001).

Humboldt, F.W.C.K.F., 'Der königsberger und der litauische Schulplan', in *Wilhelm von Humboldts Gesammelte Schriften* Vol. 13, DI 1 (Berlijn 1920).

Jaeger, W., *Paideia: The Ideals of Greek Culture*, vertaalt door Gilbert Highet (Oxford, 1945).

De Kock, A., P. Slegers, M.J.M. Voeten, 'New learning and the classification of learning environments in secondary education', *Review of Educational Research* 74 Issue 2 (2004).

Innovatie Platform, 'Nederland 2020: terug in de top 5 - De economische agenda: Innovatief, Internationaal, Involverend' (2010)

Inspectie van het onderwijs, *Tweede fase vierde jaar: een overzicht van de stand van zaken vier jaar na invoering van de tweede fase havo/vwo* (Utrecht 2003).

Klukhuhn, A., *Alle mensen heten Janus - het verbond tussen filosofie, wetenschap, kunst en godsdienst* (Amsterdam 2008).

Kuhn, T.S., 'Criticism and the Growth of Knowledge', in Curd: *Philosophy of science; the central issues* (1970).

Kuhn, T.S. 'Objectivity, Value Judgment, and Theory Choice', in *The Essential Tension: Selected Studies in Scientific Tradition and Change* (Chicago 1977).

Kuyper, H., M.P.C. van der Werf, *Prestaties en opvattingen van leerlingen in de derde klas van het voortgezet onderwijs* (Groningen 2005).

Lakatos, I., 'Philosophical Papers', in Curd: *Philosophy of science; the central issues* (1973).

- Liedman, S.E., 'A lesson for life', *Studies in Philosophy and Education* 21 (2002).
- Machold, D.K., 'Is Physics Worth Teaching?', *Science & Education* 1 (1992).
- McLean, D.A., *Kraus' Recreation and Leisure in Modern Society* (London 2011).
- Miller, J.J., 'Review - Critical Lessons: What Our Schools Should Teach', *British Journal of Educational Studies*, (2009).
- Ministerie van OCW, *Onderwijs met ambitie – samen werken aan kwaliteit in het voortgezet onderwijs, kwaliteitsagenda 2008-2011* (Kamerstuk 04-07-2008). Te vinden op <http://www.rijksoverheid.nl/documenten-en-publicaties/kamerstukken/2008/07/04/onderwijs-met-ambitie.html>.
- Noddings, N., *Critical Lessons - What Our Schools Might Teach But Do Not* (New York 2006).
- Nordenbo, S.E., 'Bildung and the thinking of Bildung', *Journal of Philosophy of Education*, 36 Issue 3 (2002).
- Novak, J.D., A.J. Cañas, 'The Theory Underlying Concept Maps and How to Construct and Use Them', *Technical Report IHMC* (Florida 2006, rev. 2008).
- Oon, P.T., R. Subramaniam, 'Views of physics teachers on how to address the declining enrolment in physics at the university level', *Research in Science & Technological Education* 28 Issue 3 (2010).
- Osanloo, A., 'Book Review – Critical Lessons: What Our Schools Should Teach', *Journal of Philosophy of Education* 42 Issue 2 (2008).
- Popper, K.R. 'Conjectures and Refutations', *Curd: Philosophy of science; the central issues* (1963).
- Popper, K.R., *The Logic of Discovery* (New York 1959).
- Repko, A.F. *Interdisciplinary Research - Process and Theorie* (London 2008).
- Rojas, S. 'On the teaching and learning of physics: A Criticism and a Systemic Approach', *Physics Education* (2008).
- Ruenzel, D., 'Book Review – Critical Lessons: What Our Schools Should Teach', *Teachers Magazine* 18 Issue 1 (2006).
- Shuell, T.J., 'The role of the student in learning from instruction', *Contemporary Educational Psychology* 13 Issue 2 (1988).
- Theunissen, B., *Diesels droom en Donders' bril* (Amsterdam 2004).
- Van der Werf, M.P.C., 'LEREN IN HET STUDIEHUIS - consumeren, construeren of engageren?', (2005). (Op <http://irs.ub.rug.nl/ppn/274713284>, geraadpleegd op 23-04-2011)
- Van der Werf, M.P.C., M.J. Lubbers, H. Kuyper, 'Het interne rendement van het voortgezet onderwijs' (Groningen 2003).
- Willink, B., *De Tweede Gouden Eeuw, Nederland en de Nobelprijzen voor natuurwetenschappen 1870-1940* (Amsterdam, 1998).
- Wulf, C., 'Perfecting the Individual: Wilhelm von Humboldt's concept of anthropology, Bildung and mimesis', *Educational Philosophy and Theory* 35 Issue 2 (2003).
- Zimmer, J.E., 'Critical Lessons: What Our Schools Should Teach, reviewed', *Journal of Adolescent & Adult Literacy* 50 (2006).



## APPENDIX I - ANALYSE EINDTERMEN NATUURKUNDE HAVO EN VWO

In de onderstaande tabellen vindt u de eindtermen van natuurkunde op het voortgezet onderwijs. De examenprogramma's zijn opgedeeld in exameneenheden. Elke exameneenheid kan bestaan uit één of meerdere eindtermen. Deze tabel is een samenvoeging van de examenprogramma's van de betreffende vakken. De programma's zijn te vinden op de website van het CvE.<sup>107</sup> De exameneenheden voor havo en vwo zijn opgedeeld in vijf domeinen. Domein A1 is gelijk voor havo en vwo. Domein A2 staat niet in het programma van vwo. De inhoud van domeinen B, C, D en E zijn vergelijkbaar, maar de domeinen van vwo ten opzichte van havo zijn gemengd. Om dit geheel beter te kunnen vergelijken heb ik een kleurencode toegevoegd. Ik ben hier uitgegaan van de domeinen van havo, en heb de exameneenheden van vwo toegevoegd aan deze domeinen. Het oorspronkelijke domein van vwo staat nog wel voor de naam van de exameneenheid. Hieronder volgt een bespreking van het eerste deel, het eerste deel van de tabel en vervolgens een reflectie er op. Dit wordt herhaald bij het tweede deel.

Zowel havo als vwo kennen één vak natuurkunde. De eindtermen van deze twee vakken zijn opgedeeld de domeinen A t/m E. Domein A zijn vaardigheden. A1 zijn algemene vaardigheden en A2 analyse van en reflectie op natuurwetenschap en techniek. A2 is niet opgenomen in het examenprogramma van het vwo. Het tweede domein in de tabel (licht rood), domein B voor zowel havo als vwo, gaat over elektriciteit en magnetisme. Electromagnetisme is een vakgebied binnen de natuurkunde. Het is één van de vier fundamentele krachten zoals op dit moment beschreven in de natuurkunde. Elektriciteit en magnetisme zijn twee verschijningsvormen van deze fundamentele kracht. Voor havo heet dit domein '*elektrische processen*' en voor vwo '*elektriciteit en magnetisme*'. Het derde domein in de tabel (licht blauw), domein C van havo en drie van de vier onderdelen van domein E van het vwo, valt binnen optica. De optica houdt zich bezig met de beschrijving en verklaring van licht en is een vakgebied van de natuurkunde. Het domein C van havo heet '*licht en geluid*'. Geluid wordt niet expliciet genoemd in de eindtermen, hoewel geluid drukgolven in een medium zijn en dus te beschrijven zijn met de wiskunde die wordt behandeld in sub domein C2. Domein E van vwo heet '*golven en straling*'. Straling is energie in de vorm van deeltjes of golven met een bepaalde snelheid. Een golf is een verstoring die zich met een bepaalde snelheid voortbeweegt en die in de tijd kan veranderen.

Op het schaalniveau waar de onderwerpen in dit domein onder vallen, is er fundamenteel geen verschil tussen een deeltje of golf. Het vierde domein in de tabel (licht oranje), domein D van havo en C van vwo, valt binnen de (klassieke) mechanica. Dit is het vakgebied van natuurkunde dat zich bezighoudt met de beschrijving van beweging van en krachten op macroscopische objecten en hun gedrag als functie van deze invloeden. Domein D van havo heet kracht en beweging. Domein C van vwo heet mechanica. Het laatste domein in de tabel (lichtgroen), domein E van havo en domein D samen met onderdeel E4 van vwo, is deels thermodynamica en deels deeltjesfysica. Thermodynamica is het vakgebied van natuurkunde dat het effect van de interactie van zeer grote aantallen deeltjes beschrijft en bestudeert op macroscopisch niveau. Deeltjesfysica (of hoge-energie fysica) beschrijft en bestudeert subatomaire deeltjes, de oorsprong van materie en straling. Domein E van havo heet '*materie en energie*'. Domein D van vwo heet '*warmteleer*' en domein E '*golven en straling*'.

Examineenheid met eindtermen	H a v o	v w o
------------------------------	------------------	-------------

<sup>107</sup> Zie, voor de examenprogramma's van het vmbo, havo en vwo achtereenvolgens:

[http://www.examenblad.nl/9336000/1/j9vvhinitagymgn\\_m7mvh57gltp77x8\\_n11vga6k854m5p9/vh1jd0ibqv7/f=/bestand.pdf](http://www.examenblad.nl/9336000/1/j9vvhinitagymgn_m7mvh57gltp77x8_n11vga6k854m5p9/vh1jd0ibqv7/f=/bestand.pdf),

[http://www.examenblad.nl/9336000/1/j9vvhinitagymgn\\_m7mvh57gltp77x8\\_n11vga6k854m5p9/vh1jdzdf5xu/f=/bestand.pdf](http://www.examenblad.nl/9336000/1/j9vvhinitagymgn_m7mvh57gltp77x8_n11vga6k854m5p9/vh1jdzdf5xu/f=/bestand.pdf).

[http://www.examenblad.nl/9336000/1/j9vvhinitagymgn\\_m7mvh57gltp77x8\\_n11vg41h1h4i9qd/vhksaensrzoif=/bestand.pdf](http://www.examenblad.nl/9336000/1/j9vvhinitagymgn_m7mvh57gltp77x8_n11vg41h1h4i9qd/vhksaensrzoif=/bestand.pdf) en

[http://www.examenblad.nl/9336000/1/j9vvhinitagymgn\\_m7mvh57gltp77x8\\_n11vg41h1h4i9qe/vhksagpn73yk/f=/bestand.pdf](http://www.examenblad.nl/9336000/1/j9vvhinitagymgn_m7mvh57gltp77x8_n11vg41h1h4i9qe/vhksagpn73yk/f=/bestand.pdf).

		o	
<b>Subdomein A1-1 (havo &amp; vwo): Taalvaardigheden</b>			
-De kandidaat kan adequaat schriftelijk en mondeling communiceren over natuurwetenschappelijke onderwerpen.			
	X	X	
<b>Subdomein A1-2 (havo &amp; vwo): Reken-/wiskundige vaardigheden</b>			
-De kandidaat kan een aantal voor het vak relevante reken-/wiskundige vaardigheden toepassen om natuurwetenschappelijke problemen op te lossen.			
	X	X	
<b>Subdomein A1-3 (havo &amp; vwo): Informatievaardigheden</b>			
-De kandidaat kan, mede met behulp van ICT, informatie selecteren, verwerken, beoordelen en presenteren.			
	X	X	
<b>Subdomein A1-4 (havo &amp; vwo): Technisch-instrumentele vaardigheden</b>			
-De kandidaat kan op een verantwoorde manier omgaan met voor het vak relevante organismen en stoffen, instrumenten, apparaten en ICT toepassingen.			
	X	X	
<b>Subdomein A1-5 (havo &amp; vwo): Ontwerpvaardigheden</b>			
-De kandidaat kan een technisch ontwerp voorbereiden, uitvoeren, testen en evalueren.			
	X	X	
<b>Subdomein A1-6 (havo &amp; vwo): Onderzoekvaardigheden</b>			
-De kandidaat kan een natuurwetenschappelijk onderzoek voorbereiden, uitvoeren, de verzamelde onderzoeksresultaten verwerken en hieruit conclusies trekken.			
	X	X	
<b>Subdomein A1-7 (havo &amp; vwo): Maatschappij, studie en beroep</b>			
-De kandidaat kan toepassingen en effecten van natuurwetenschappen en techniek in verschillende maatschappelijke situaties herkennen en benoemen. Tevens kan hij een verband leggen tussen de praktijk van verschillende beroepen en de eigen kennis, vaardigheden en attitude.			
	X	X	
<b>Subdomein A2-1 (havo): Kennisvorming</b>			
-De kandidaat kan weergeven hoe natuurwetenschappelijke kennis ontstaat, welke vragen natuurwetenschappelijke onderzoekers kunnen stellen en hoe ze aan betrouwbare antwoorden komen.			
	X		
<b>Subdomein A2-2 (havo): Toepassing van kennis</b>			
-De kandidaat kan analyseren hoe natuurwetenschappelijke en technische kennis wordt toegepast en kan reflecteren op de wisselwerking tussen natuurwetenschap, techniek en samenleving.			
	X		
<b>Subdomein A2-3 (havo): De invloed van natuurwetenschap en techniek</b>			
-De kandidaat kan oordelen over de betrouwbaarheid van toegepaste natuurwetenschappelijke kennis en zich een eigen mening over maatschappelijk natuurwetenschappelijke vraagstukken vormen.			
	X		
<b>E&amp;M</b>	<b>Subdomein B1 (havo): Elektriciteit</b>		
-De kandidaat kan toepassingen van het gebruik van elektriciteit beschrijven, de bijbehorende schakelingen en de onderdelen daarvan analyseren en de volgende formules toepassen:			
$I = \frac{Q}{t}, U = IR, U = U_1 + U_2 + \dots, R_v = R_1 + R_2 + \dots, I = I_1 + I_2 + \dots,$ $\frac{1}{R_v} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots, R = \rho \frac{\ell}{A}, P = \frac{E}{t}, P = UI, P = I^2 R.$			
	X		
<b>E&amp;M</b>	<b>Subdomein B1 (vwo): Elektrische stroom</b>		
De kandidaat kan elektrische schakelingen ontwerpen en analyseren en de volgende formules toepassen:			
$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t}, U = IR, U = U_1 + U_2 + \dots, R_v = R_1 + R_2 + \dots, I = I_1 + I_2 + \dots,$ $\frac{1}{R_v} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots, R = \rho \frac{\ell}{A}, P = \frac{\Delta E}{\Delta t}, P = UI.$			
			X
<b>E&amp;M</b>	<b>Subdomein B2 (havo): Regelsystemen en signaalverwerking</b>		
-De kandidaat kan een geautomatiseerd systeem ontwerpen en de werking van de componenten beschrijven.			
	X		
<b>E&amp;M</b>	<b>Subdomein B2 (vwo): Signaalverwerking</b>		
-De kandidaat kan een geautomatiseerd systeem ontwerpen en de werking van de componenten beschrijven.			
			X
<b>E&amp;M</b>	<b>Subdomein B3 (havo): Elektromagnetisme</b>		
-De kandidaat kan elektromagnetische verschijnselen verklaren en ten minste de volgende formules toepassen:			
	X		

	$F_L = BI\ell$ , $\eta = \frac{P_{\text{nuttig}}}{P_{\text{in}}} \cdot 100\%$ .		
<b>E&amp;M</b>	<b>Subdomein B3 (vwo): Elektromagnetisme</b>		
	De kandidaat kan elektrische en magnetische velden beschrijven, elektromagnetische verschijnselen verklaren en analyseren en de volgende formules toepassen: $F_{\text{el}} = qE$ , $\Delta E_k = qU$ , $F_L = BI\ell$ , $F_L = Bqv$ , $B = \mu_0 \frac{NI}{\ell}$ .		X
<b>E&amp;M</b>	<b>Subdomein B4 (havo): Opwekking en transport van elektrische energie</b>		
	-De kandidaat kan de opwekking en het transport van elektrische energie en de werking van de benodigde onderdelen uitleggen en ten minste de volgende formules toepassen: $\frac{U_p}{U_s} = \frac{N_p}{N_s}$ , $P_p = P_s$ .	X	
<b>E&amp;M</b>	<b>Subdomein B4 (vwo): Inductie en wisselstromen</b>		
	-De kandidaat kan het principe van elektromagnetische inductie toepassen, het gedrag van wisselspanningen en –stromen beschrijven en analyseren en ten minste de volgende formules toepassen: $\Phi = B_n A$ , $U_{\text{ind}} = N \frac{ \Delta\Phi }{\Delta t}$ , $\frac{U_p}{U_s} = \frac{N_p}{N_s}$ , $P_p = P_s$ , $U(t) = U_{\text{max}} \sin(2\pi ft)$ , $I(t) = I_{\text{max}} \sin(2\pi ft)$ , $U_{\text{eff}} = \frac{1}{2}\sqrt{2} U_{\text{max}}$ , $I_{\text{eff}} = \frac{1}{2}\sqrt{2} I_{\text{max}}$ , $\eta = \frac{P_{\text{nuttig}}}{P_{\text{in}}} \cdot 100\%$ .		X
<b>Optica</b>	<b>Subdomein C1 (havo): Licht</b>		
	-De kandidaat kan de eigenschappen van licht analyseren en toepassen op technieken om beelden vast te leggen en de volgende formules toepassen: $\frac{\sin i}{\sin r} = n$ , $\sin g = \frac{1}{n}$ , $S = \frac{1}{f}$ , $\frac{1}{f} = \frac{1}{b} + \frac{1}{v}$ , $N = \left  \frac{b}{v} \right  = \frac{\text{beeldgrootte}}{\text{voorwerp-grootte}}$ .	X	
<b>Optica</b>	<b>Subdomein E2 (vwo): Licht</b>		
	-De kandidaat kan de eigenschappen van licht en toepassingen daarvan beschrijven en analyseren en de volgende formules toepassen: $\frac{\sin i}{\sin r} = n$ , $\sin g = \frac{1}{n}$ , $S = \frac{1}{f}$ , $\frac{1}{f} = \frac{1}{b} + \frac{1}{v}$ , $N = \left  \frac{b}{v} \right  = \frac{\text{beeldgrootte}}{\text{voorwerp-grootte}}$ , $f = \frac{c}{\lambda}$ , $\sin \alpha = \frac{n\lambda}{d}$ ( $n=1, 2, \dots$ ).		X
<b>Optica</b>	<b>Subdomein E3 (vwo): Elektromagnetisch spectrum</b>		
	De kandidaat kan het elektromagnetisch spectrum en toepassingen daarvan beschrijven, absorptie en emissie van licht in verband brengen met de spectraallijnen van atomen, het foto-elektrisch effect en de golf-deeltjes dualiteit toelichten en ten minste de volgende formule toepassen: $E = hf = h \frac{c}{\lambda}$ , $\Delta E = hf$ .		X
<b>Optica</b>	<b>Subdomein C2 (havo): Trillingen en golven</b>		
	-De kandidaat kan het elektromagnetisch spectrum en de eigenschappen van trillingen en golven beschrijven en toepassen op resonantie- en interferentieverschijnselen en de volgende formules toepassen: $f = \frac{1}{T}$ , $\lambda = vT$ , $v = f\lambda$ , $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{C}}$ , $T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g}}$ , $\ell = n \cdot \frac{1}{2}\lambda$ ( $n=1, 2, \dots$ ), $\ell = (2n-1) \cdot \frac{1}{4}\lambda$ ( $n=1, 2, \dots$ ).	X	
<b>Optica</b>	<b>Subdomein E1 (vwo): Trilling en golf</b>		
	-De kandidaat kan golf- en trillingsverschijnselen beschrijven en analyseren, resonantie- en interferentieverschijnselen verklaren en de volgende formules toepassen: $f = \frac{1}{T}$ , $u(t) = A \sin(2\pi ft)$ , $v_{\text{max}} = \frac{2\pi A}{T}$ , $\Delta\varphi = \frac{\Delta t}{T}$ , $F_v = -Cu$ , $E_{\text{max}} = \frac{1}{2}CA^2 = \frac{1}{2}mv_{\text{max}}^2$ , $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{C}}$ , $T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g}}$ , $\lambda = vT$ , $\Delta\varphi = \frac{\Delta x}{\lambda}$ , $\ell = n \cdot \frac{1}{2}\lambda$ ( $n=1, 2, \dots$ ), $\ell = (2n-1) \cdot \frac{1}{4}\lambda$ ( $n=1, 2, \dots$ ).		X
<b>Mechanica</b>	<b>Subdomein D1 (havo): Beweging</b>		

-De kandidaat kan bewegingen beschrijven en analyseren en de volgende formules toepassen: $s(t) = vt$ , $v_{\text{gem}} = \frac{\Delta s}{\Delta t}$ , $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$ , $s(t) = \frac{1}{2}at^2$ , $v = \frac{2\pi r}{T}$ .		X	
<b>Mechanica</b>	<b>Subdomein C1 (vwo): Rechthoekige beweging</b>		
-De kandidaat kan rechtlijnige bewegingen beschrijven en analyseren en ten minste de volgende formules toepassen: $v_{\text{gem}} = \frac{\Delta x}{\Delta t}$ , $s(t) = vt$ , $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$ , $s(t) = \frac{1}{2}at^2$ .			X
<b>Mechanica</b>	<b>Subdomein C4 (vwo): Kromlijnige beweging</b>		
-De kandidaat kan de kenmerken van een eenparige cirkelbaan beschrijven en de daarbij optredende krachten analyseren, de beweging van voorwerpen in een gravitatieveld beschrijven en modelleren en de volgende formules toepassen: $x(t) = v_x t$ en $y(t) = \frac{1}{2}gt^2$ , $s(t) = \varphi(t)r$ met $\varphi(t)$ in rad, $\varphi(t) = \omega t$ , $\omega = \frac{2\pi}{T}$ , $v = \omega r$ , $a_{\text{mpz}} = \frac{v^2}{r} = \omega^2 r$ , $F_{\text{mpz}} = \frac{mv^2}{r} = m\omega^2 r$ , $F_g = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$ .			X
<b>Mechanica</b>	<b>Subdomein D2 (havo): Kracht, arbeid en energie</b>		
-De kandidaat kan krachten weergeven als vectoren en bij systemen in rust of eenparige beweging de eerste wet van Newton toepassen. Tevens kan hij de tweede en derde wet van Newton, de relaties tussen de begrippen kracht, arbeid en vermogen, de wet van behoud van energie en de volgende formules toepassen: $F_z = mg$ , $m = \rho V$ , $F_{\text{res}} = ma$ , $E_z = mgh$ , $E_k = \frac{1}{2}mv^2$ , $W = Fs$ , $W_{\text{tot}} = \Delta E_k$ , $P = \frac{\Delta E}{\Delta t}$ , $P = \frac{W}{t}$ , $P = Fv$ , $\eta = \frac{E_{\text{nuttig}}}{E_{\text{in}}} \cdot 100\%$ , $\eta = \frac{P_{\text{nuttig}}}{P_{\text{in}}} \cdot 100\%$ , $\eta = \frac{W_{\text{uit}}}{E_{\text{in}}} \cdot 100\%$ .		X	
<b>Mechanica</b>	<b>Subdomein C2 (vwo): Kracht en moment</b>		
De kandidaat kan krachten weergeven als vectoren en de eerste, tweede en derde wet van Newton en de volgende formules toepassen: $\sum \vec{F} = m\vec{a}$ , $F_z = mg$ , $M = Fr$ , $F_{\text{veer}} = Cu$ .			X
<b>Mechanica</b>	<b>Subdomein C3 (vwo): Arbeid en energie</b>		
De kandidaat kan het begrip arbeid bij energieomzettingen en de wet van behoud van energie toepassen, het rendement van energieomzettingen bepalen en de volgende formules toepassen: $W = Fs \cos \alpha$ , $W_{\text{tot}} = \Delta E_k$ , $P = \frac{\Delta E}{t} = \frac{W}{t} = Fv$ , $E_k = \frac{1}{2}mv^2$ , $E_z = mgh$ , $E_{\text{veer}} = \frac{1}{2}Cu^2$ , $\eta = \frac{W_{\text{uit}}}{E_{\text{in}}} \cdot 100\%$ .			X
<b>Thermodynamica &amp; (Deeltjesfysica)</b>	<b>Subdomein E1 (havo): Materie en energie</b>		
-De kandidaat kan eigenschappen van materie en energie beschrijven en met behulp van modellen verklaren en ten minste de volgende formules toepassen: $Q = cm\Delta T$ , $Q = C\Delta T$ .		X	
<b>Thermodynamica &amp; (Deeltjesfysica)</b>	<b>Subdomein D2 (vwo): Thermische processen</b>		
-De kandidaat kan de hoeveelheid warmte berekenen die bij verwarming en afkoeling tussen systemen wordt uitgewisseld, de vormen van energietransport bij warmte beschrijven en ten minste de volgende formules toepassen $Q = cm\Delta T$ , $Q = C\Delta T$ , $\eta = \frac{P_{\text{nuttig}}}{P_{\text{in}}} \cdot 100\%$ .			X
<b>Thermodynamica &amp; (Deeltjesfysica)</b>	<b>Subdomein D1 (vwo): Gas en vloeistof</b>		
-De kandidaat kan macroscopische verschijnselen verklaren aan de hand van de eigenschappen en wisselwerking van moleculen en de algemene gaswet en ten minste de volgende formules toepassen: $p = \frac{F}{A}$ , $T_{\text{kelvin}} = T_{\text{celsius}} + 273,15$ , $\frac{pV}{T} = nR = \text{constant}$ .			X
<b>(Thermodynamica)</b>	<b>Subdomein E2 (havo): Straling en gezondheid</b>		

<b>&amp; Deeltjesfysica</b>			
-De kandidaat kan eigenschappen en ontstaan van ioniserende straling beschrijven, toepassingen daarvan verklaren en de effecten beschrijven van ioniserende straling op mens en milieu. Daarnaast kan hij de energieproductie in een kerncentrale beschrijven en de volgende formule toepassen: $A = N + Z, H = QD, D = \frac{E_{\text{abs}}}{m}, E = mc^2.$		X	
<b>(Thermodynamica) &amp; Deeltjesfysica</b>	<b>Subdomein E4 (vwo): Radioactiviteit</b>		
-De kandidaat kan eigenschappen en ontstaan van ioniserende straling beschrijven, toepassingen daarvan verklaren en de effecten beschrijven van ioniserende straling op mens en milieu. Daarnaast kan hij kernreacties beschrijven, de werking van een kerncentrale bespreken en ten minste de volgende formules toepassen: $A = N + Z, N(t) = N(0)\left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T}}, A(t) = \frac{-\Delta N(t)}{\Delta t}, I(x) = I(0)\left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{x}{\lambda}}, E = mc^2.$			X

Domein A2 is geen onderdeel van de vwo eindtermen. Misschien dat er van de vwo-leerling verwacht wordt dat deze dit domein zelf eigen maakt, maar dit lijkt me een onredelijke verwachting. Het domein behandelt de aard van de natuurkunde als wetenschap en de interacties tussen wetenschap, techniek en de maatschappij. Dergelijke kennis stelt iemand onder andere in staat om een mening te vormen als burger over de wetenschap en om zich actief op te kunnen stellen als het gaat om beleidskwesties. Dit is slechts één voorbeeld van het nut van dergelijke kennis. Wanneer we kijken naar de functie van het voortgezet onderwijs en vwo specifiek, is dit een zorgelijke zaak.

Het is mij onduidelijk waarom er gekozen is voor deze domeinen en niet een structurering aan de hand van de verschillende vakgebieden die, zeker in het geval van de eindtermen van havo, al nagenoeg aanwezig is (afgezien van domein A). Andere structureringen zijn natuurlijk ook mogelijk; bijvoorbeeld historisch, of op basis van theorie. Een historische structurering schept meteen een context waarin lessen worden gegeven, waardoor ze wat minder theoretisch worden. Een structurering op basis van vakgebied of theorie geeft leerlingen inzicht in de wetenschap natuurkunde. Dit is immers de terminologie die door natuurkundigen gebruikt wordt. Het voordeel van de gekozen structurering is mij niet duidelijk. Waarom vervolgens de domeinen C, D en E tussen havo en vwo door elkaar zijn gehaald, terwijl ze gelijke onderwerpen behandelen is mij een raadsel; i.e. ik heb geen reden kunnen vinden. Er kan zelfs verwarring ontstaan bij bepaalde keuzes die gemaakt zijn. Bijvoorbeeld de naamkeuze van domein E van vwo, 'golven en straling'. Een golf is een verstoring die zich met een bepaalde snelheid voortbeweegt en die in de tijd kan veranderen. Straling is energie in de vorm van deeltjes of golven met een bepaalde snelheid. Op het schaalniveau (zeer klein) van de fenomenen die binnen dit domein behandeld worden, is er fundamenteel geen verschil tussen een deeltje en een golf. Radioactiviteit wordt meestal beschouwd als een stroom deeltjes. Ultraviolet straling meestal als een golf. Het domein zou dus 'golven, deeltjes en straling' kunnen heten. Het domein is dan gestructureerd op fenomenen, hintend op het verband tussen deze drie fenomenen. Echter, ultraviolet is een frequentiegebied in het elektromagnetisch spectrum. Er is dus net zoveel voor te zeggen om een deel van dit domein te plaatsen bij elektromagnetisme. Ook licht is deel van het elektromagnetisch spectrum. Bij havo wordt een groot deel van de stof die behandeld wordt in domein E van het vwo, 'golven en straling', behandeld in domein C, 'licht en geluid'. Voor deze keuze is net zo veel te zeggen. Maar de naam licht en geluid, opnieuw een domeinstrukturering aan de hand van fenomenen (waartussen een bepaalde overeenkomst is), is wat vreemd gekozen omdat geluid niet terugkomt in de eindtermen binnen dit domein. Ik heb de inhoud onder *optica* geplaatst, omdat dit het vakgebied is waar natuurkundigen deze stof gewoonlijk onder plaatsen. Als een leerling hier niet van op de hoogte wordt gesteld, hoe moet deze dan natuurkunde gaan begrijpen?

Dit brengt mij op het volgende punt: formules. Ik schrok van de hoeveelheid formules die leerlingen behandeld krijgen. Als eerste de woordkeuze *formule*. Een formule is, volgens de Van Dale 1) een in letters of cijfers uitgedrukte waarde, of 2) een geijkte uitdrukking bij bepaalde handelingen. Oftewel, het is iets wat vast is en wat een waarde geeft van iets als je hem goed invult. De uitdrukkingen zijn inderdaad wetmatigheden, uitgedrukt in de wiskunde, die het gedrag van een aantal variabelen ten opzichte van elkaar definiëren. Elke variabele wordt vervolgens gelinkt aan een eigenschap van een object in de fysieke wereld. Het zijn in dit opzicht dus ook formules. Een betere benaming voor deze wiskundige uitdrukkingen is, denk ik, *vergelijking*. Dit benadrukt dat het 'slechts' uitdrukkingen zijn waarvoor geldt dat wat links van (=) staat exact hetzelfde is wat rechts van dit teken staat. We zijn eigenschappen van de fysieke wereld aan het vergelijken en op zoek naar een wiskundige samenvatting van bepaalde interacties van een systeem (gedefinieerd door de variabelen in de

vergelijking) onder alle condities die mogelijk zijn binnen de definities van het systeem en de vergelijking. Van de ene kant zijn het niets meer of minder dan samenvattingen van het door ons waargenomen gedrag van een artificieel en afgesloten systeem waaraan wij gemeten hebben, een experiment. Van de andere kant zal een formule altijd gebaseerd zijn op een model van hoe de wereld in elkaar zit. Een dergelijk model is een fictief product van de menselijke geest en zal nooit een absoluut waarheidsgehalte bezitten. De leerlingen mogen tijdens hun examens de binas meenemen. Daarin staan, in principe, alle formules die beschreven staan in de eindtermen. Het tentamen bestaat dus voor een groot deel uit het kunnen vinden van de juiste formule op basis van bepaalde informatie. Dit is op zich een nuttige vaardigheid, maar of dit echt natuurkunde is... Daarnaast is het de vraag of dit een vaardigheid is die dusdanig belangrijk is dat één derde tot de helft van de eindtermen bestaan uit vergelijkingen.

## APPENDIX II - PROBLEMATIEK VOLGENS NINA IN *NATUURKUNDE LEEFT*

*Zoals gesteld in het document natuurkunde leeft, uitgebracht in 2006 door de commissie vernieuwing natuurkundeonderwijs havo/vwo. Deze resultaten zijn afgeleid uit hoofdstuk 1 en appendix V van het document. Er wordt geen heldere lijst met problematiek gegeven.*

1. De overladenheid van het huidige programma beperkt de ruimte voor leerlingen met verschillende interesses of leerstijlen verschillende accenten in het onderwijs aan te brengen.<sup>10</sup>
2. De overladenheid van het huidige programma beperkt de ruimte van docenten om hun inhoudelijke passie voor het vak over te brengen.<sup>108</sup>
3. De invoering van het studiehuis heeft ertoe geleid dat door het afgenomen aantal lessen minder tijd is voor practicumactiviteiten. Hierdoor kan in de lessen de praktische kant van de natuurwetenschap niet voldoende worden benut als motiverend didactisch element.<sup>10</sup>
4. Het lesprogramma natuurkunde in de natuurprofielen NG en NT heeft een negatieve imago [die ontstaat doordat] in het algemeen het vak de leerlingen geen uitdagend beeld [geeft] van de natuurkunde en de beroepsperspectieven na een natuurwetenschappelijke en technologische opleiding. Dit manifesteert zich onder andere in het ontbreken van actuele contexten in de eindtermen van havo en vwo.<sup>10</sup>
5. In essentie is de inhoud van de huidige natuurwetenschappelijke schoolvakken nog dezelfde als in de jaren zestig, [wat wil zeggen dat]:
  - a) De nadruk ligt op het vak als mono-disciplinaire wetenschap, op het leren van een aantal feiten, zonder een duidelijke samenhang met de leefwereld van de leerlingen en de andere natuurwetenschappelijke vakken. [Daarbij komt dat] nieuwe ontwikkelingen en toepassingen steeds meer op grensgebieden tussen de monodisciplines [te vinden zijn].
  - b) Het huidige natuurkundeprogramma is voornamelijk gestoeld op de kennis van de natuurkunde zoals die al bestond aan het einde van de negentiende en de eerste helft van de twintigste eeuw.
  - c) De gebruikelijke benadering van het schoolvak is die vanuit de historie. Gewoonlijk wordt eerst de mechanica van Newton behandeld en daarna volgen vaak elektriciteit en optica. De moderne schoolnatuurkunde stopt met kernenergie en straling (behalve op een zestigtal scholen dat deelneemt aan het experimenteerproject 'Moderne Natuurkunde'). Veelal ontbreekt daardoor in de schoolstof de inspiratie die uitgaat van de belangrijke en nieuwe uitdagingen van het vakgebied in de 21e eeuw.

Het resultaat is een groeiende spanning tussen de schoolvakken en hedendaagse natuurwetenschap zoals leerlingen die leren kennen uit hun eigen ervaring (onder andere via de media).<sup>109</sup>
6. Voor veel leerlingen bestaat de natuurkunde uit de leerboeken uit een verzameling feiten en stelligheden waar niet meer over te discussiëren valt; de natuurkunde als vakgebied lijkt grotendeels af, de belangrijkste natuurwetten zijn, vaak lang geleden, al ontdekt. Het is voor leerlingen moeilijk te zien wat nog de uitdaging kan zijn. De huidige manier van onderwijs geven in de natuur-wetenschappelijke vakken laat hier kansen liggen. Cruciaal is een onderscheid te maken tussen wetenschap als menselijke activiteit en wetenschap als canon van kennis die door deze activiteit tot stand is gekomen en komt. De traditie in het natuurwetenschappelijk onderwijs is om het product van wetenschap voorrang te geven boven het proces; om geaccepteerde kennis te stellen boven kennis-in-wording; om het antwoord te stellen boven de vraag.<sup>110</sup>
7. In het overladen en versnipperd examenprogramma van nu is er naast de reguliere leerstof te weinig tijd voor (technisch ontwerpen). Ontwerpproblemen kennen geen unieke oplossingen. Het gaat om het zoeken naar het beste alternatief uit meer mogelijke uitwerkingen. Leerlingen moeten daarom in staat zijn alternatieve uitwerkingen voor een gegeven ontwerpprobleem te verzinnen. Om deze uitwerkingen op hun effectiviteit te kunnen beoordelen, is kennis van materialen en constructies nodig. Aan deze behoefte kan de natuurkunde een bijdrage leveren.<sup>111</sup>
8. Wiskundige basisvaardigheden zijn nodig als het gaat om het analyseren en representeren van gegevens, het modelleren van verschijnselen en het berekenen van constructies. Het beheersen van deze elementaire wiskundige inzichten en vaardigheden is voor leerlingen in het VO een essentiële voorwaarde voor het succesvol volgen van de N-profielen en voor een goede aansluiting met de vervolgstudies. De beheersing van de wiskundige basisvaardigheden is ook een noodzakelijke voorwaarde voor de ontwikkeling van het abstractievermogen dat nodig is om natuurkundige verschijnselen op een wiskundige en kwantitatieve manier te beschrijven. Veel natuurkundige redeneringen berusten op

<sup>108</sup> Nina, *Natuurkunde Leeft*, pg. 18.

<sup>109</sup> Ibidem, pg. 18-19.

<sup>110</sup> Ibidem, pg. 23-24.

<sup>111</sup> Ibidem, pg. 26.

wiskundige inzichten. Het gaat dan om inzicht in de betekenis van de vorm van een grafiek, van omzetten van kwalitatieve verbanden in kwantitatieve wiskundige vergelijkingen, en het vermogen om modellen te ontwikkelen die een verklaring kunnen geven voor fysische verschijnselen. Voor veel van de diepere natuurkundige concepten geldt dat er een wiskundige abstractie aan ten grondslag ligt die leerlingen op één of ander manier moeten leren hanteren.

De constatering is dat huidige wiskunde- en natuurkunde programma's op havo en vwo hiervoor een onvoldoende basis bieden.<sup>112</sup>

9. Veel leerlingen hebben moeite om concepten en formules in verband te brengen met de waarneembare wereld en zien formules als rekenvoorschriften. Het gevolg is dat een deel van de leerlingen de natuurkunde lessen moeilijk vindt, en soms ook het nut ervan niet inziet.<sup>113</sup>

---

<sup>112</sup> Ibidem, pg. 77.

<sup>113</sup> Ibidem, pg. 78.