

# Het ontwerpen van probleemgestuurd natuurkundeonderwijs in een 3-havoklas

**F.H.C. (Frank) van Loenhout**

ECB – natuurkunde

Juli 2023

Dr. H.K.E. (Kirsten) Stadermann

Dr. Ir. H.J. (Henk) Pol



# 1 Samenvatting

Dit verslag beschrijft het ontwerponderzoek dat ik heb uitgevoerd voor het vak Onderzoek van Onderwijs. Het doel van dit onderzoek was om een ontwerp te maken voor een lessenserie die gebruikmaakt van probleemgestuurd natuurkundeonderwijs. Deze PGO-module moest geschikt zijn voor leerlingen binnen het voortgezet onderwijs. Naast een persoonlijke interesse in de werkvorm ligt aan dit ontwerponderzoek ook een praktijkprobleem ten grondslag. Een van de klassen (3 havo) die ik les heb gegeven tijdens mijn stage is lastig te motiveren voor het vak natuurkunde. Op één leerling na kiest geen van hen het vak in de bovenbouw en een aanzienlijk deel weet al dat het afstroomt naar het vmbo. Het gebruik van PGO is hiervoor een mogelijke oplossing om de motivatie van leerlingen te verhogen.

Probleemgestuurd onderwijs (PGO) is een vorm van onderwijs waarin leerlingen groepsgewijs werken aan de ontwikkeling van (vakspecifieke) vaardigheden en/of schoolse kennis kunnen toepassen binnen de context van een probleem. Dit probleem is op het eerste oog niet duidelijk geformuleerd, waardoor leerlingen in staat zijn zelf leerdoelen te formuleren. Deze leerdoelen werken ze dan met hun groepje zelfstandig uit, onder begeleiding van een docent. Om een dergelijke PGO-lessenserie of -module te organiseren heb ik eerst een theoretisch kader opgebouwd waarin aandacht was voor de herkomst en definitie van deze werkvorm: hoe is PGO opgebouwd, hoe leren leerlingen, wat voor begeleiding komt erbij kijken en welke effecten op bijvoorbeeld motivatie van leerlingen worden er in de literatuur beschreven?

Na dit theoretische onderzoek heb ik een verkennend gesprek gehouden met de vakdocent op de school over de wensen en eisen die hij aan een PGO-module stelt. Deze eisen, samen met de *lessons learned* uit de literatuur, vormen het programma van eisen. Aan de hand van een ontwerpmodel en deze eisen heb ik vervolgens de lessenserie ontworpen. Voor deze lessenserie zijn drie lessen van zestig minuten uitgetrokken, en het ontworpen materiaal bestaat uit lesmateriaal over probleemoplossen, een PGO-probleem met aanvullend materiaal en een rubriek om leerlingwerk te beoordelen. Al het materiaal is aan het programma van eisen getoetst en door drie natuurkundedocenten gereviewd.

Deze module is daarna getest in de 3-havoklas. Leerlingen hebben de serie onder mijn leiding en in nauwe samenwerking met hun vakdocent doorlopen en daarna met behulp van een enquête en een interview gewaardeerd. Ook de vakdocent is om een schriftelijke reactie gevraagd, en samen met mijn eigen observaties uit de les vormt dit de basis voor een evaluatie. Uit de evaluatie bleek dat leerlingen in het gemiddelde plezier hadden met de werkvorm: vooral het samenwerken en de praktische insteek beviel ze. De mate waarin ze zelf vonden dat ze de vooraf gestelde leerdoelen eigengemaakt hadden verschilde, maar de beoordeling van hun werk laats zien dat de meerderheid van de doelen daadwerkelijk bereikt is. Het verslag sluit af met een uitgebreidere conclusie en discussie waarin ook aanbevelingen en verbeteringen worden gepresenteerd.

## 2 Inleiding

### 2.1 Kennismaking met de school en het praktijkprobleem

Deze onderzoeksopdracht zal plaatsvinden op het Bonhoeffer College in Enschede, locatie Bruggertstraat. Deze locatie biedt aan ongeveer 1350 leerlingen havo- en vwo-onderwijs (inclusief gymnasium en atheneum) voor alle jaarlagen. Daarnaast biedt de school Technasium en Business School<sup>1</sup> aan. Leerlingen kunnen elk jaar voor een stroming kiezen (Technasium, Business School of regulier onderwijs) en daarmee wil de school het leren van de leerling maken (“Leren is van jezelf”).

Binnen de school wordt vanaf klas 3 natuurkunde aangeboden als verplicht vak. Aan een van de twee 3-havoklassen heb ik in mijn stage voor de lerarenopleiding zelf lesgegeven. Zowel de vakdocent als ik vonden het een uitdaging om de leerlingen bij het vak te betrekken, omdat een groot deel van de leerlingen hun motivatie en betrokkenheid verloren lijkt te zijn. Deze problemen zijn deels vakoverstijgend maar ook vakspecifiek. Halverwege schooljaar 2022-2023 werd duidelijk dat een groot deel van de leerlingen eind van het jaar zou afstromen. Deels heeft de afstroom al plaatsgevonden: waar aan het begin van het jaar de klas nog bestond uit 31 leerlingen is dat aantal voorafgaand aan dit onderzoek verlaagd naar 28. Daarnaast is er slechts één leerling die natuurkunde wil kiezen in de bovenbouw.

### 2.2 De uitdaging en het doel van dit onderzoek

Het doel van dit onderzoek is om een lesmodule te ontwerpen die gebruikt kan worden om de motivatie van de klas voor het vak natuurkunde te verhogen. Er zijn meerdere mogelijkheden om leerlingen te motiveren, maar binnen dit onderzoek heb ik voor de inzet van Probleem Gestuurd Onderwijs (PGO) gekozen. Dit heb ik gedaan om drie redenen. De eerste is persoonlijk: ik heb zelf ervaring opgedaan met de werkvorm (zowel als student als begeleider) en ik ben erg op de werkvorm gesteld. De andere twee zijn objectiever. PGO maakt gebruik van verschillende aspecten die leerlingen over het algemeen leuker vinden dan directe instructie – zoals samenwerken – en het biedt ruimte om verder te kijken dan alleen het schoolvak omdat het gebruikt kan worden om algemene vaardigheden te trainen. Als bijkomstigheid past de werkvorm ook bij het motto van de school: binnen PGO kunnen leerlingen (deels) zelf hun leerdoelen bepalen, en daarmee wordt leren meer van hen.

Het specifieke ontwerpdoel voor dit onderzoek luidt dan als volgt: ontwerp een module die gebruikmaakt van PGO en die in te zetten is in de natuurkundelessen van de 3-havoklas. Hiertoe moet eerst een aantal deelvragen beantwoord worden:

1. Wat is de definitie van PGO?
2. Hoe ontwerp je PGO?
3. Welke eisen kunnen aan het ontwerp gesteld worden?
4. Wat is het verwachte effect van PGO op de klas?

Op basis van het antwoord op deze deelvragen wordt een PGO-module ontworpen die daarna in de klas uitgeprobeerd wordt. Op basis van observaties in de klas, een enquête en interview met leerlingen en regelmatig overleg met de vakdocent wordt daarna bepaald welke aanbevelingen en veranderingen er zijn voor het ontwerp en in welke mate het ontwerp aan het ontwerpdoel voldoet.

---

<sup>1</sup> Business School is een stroming die op deze school gekozen kan worden, net zoals Technasium. Het is gericht op leerlingen kennis laten maken met ondernemen.

### 2.3 Leeswijzer

Dit verslag beschrijft het proces en de resultaten van het onderzoek. In hoofdstuk 3 zal ik een theoretisch kader opbouwen, waarbinnen PGO gedefinieerd wordt. Ik kijk specifiek naar het ontstaan van de werkvorm en de ontwikkeling van de bijbehorende filosofie, het leerproces dat leerlingen ondergaan en hoe dat leerproces begeleid dient te worden. Daarnaast besteed ik aandacht aan onderzoek naar de effectiviteit van PGO en het effect op de motivatie van leerlingen.

In hoofdstuk 4 maken we nader kennis met de school, de klas en de docent met als doel om de context, randvoorwaarden en de behoeftes kenbaar te maken. Op basis hiervan wordt een programma van eisen opgesteld, die op basis van *lessons learned* uit de literatuur zal worden aangevuld. Daarnaast zullen in dit hoofdstuk de leerdoelen gedefinieerd worden waar de vakdocent en ik de leerlingen aan willen laten werken.

Hoofdstuk 5 biedt inzicht in de methode van en de uitwerking van het ontwerp. Hier beschrijf ik tot in detail hoe ik het PGO-probleem voor de module geconstrueerd heb en welke keuzes ik daarin heb gemaakt. Daarnaast beschrijf ik hoe ik de conceptversie aan de ontwerpeisen heb getoetst. Tot slot bespreek ik wat collega-natuurkundedocenten van het ontwerp vonden.

De implementatie van de module beschrijf ik in hoofdstuk 6: ik leg uit hoe de module is verlopen en de manier waarop data is verzameld. Deze zullen bestaan uit observaties in de les, een enquête die door leerlingen wordt ingevuld en een interview met een deel van de leerlingen. Daarnaast biedt de vakdocent middels een korte schriftelijke toelichting inzicht in hoe hij de module heeft ervaren.

In hoofdstuk 7 zal ik op basis van de data een algemene conclusie trekken over de bruikbaarheid van deze module, maar belangrijk nog: er zal aandacht zijn om verbeterpunten en aanbevelingen te definiëren en toe te lichten. Op basis van deze analyse kan de module in de toekomst verbeterd worden en hopelijk opnieuw worden ingezet.

# Inhoudsopgave

1	Samenvatting.....	3
2	Inleiding.....	4
2.1	Kennismaking met de school en het praktijkprobleem .....	4
2.2	De uitdaging en het doel van dit onderzoek .....	4
2.3	Leeswijzer .....	5
3	Probleemgestuurd onderwijs.....	8
3.1	Het PGO-probleem .....	9
3.2	Ontwerpen van PGO-problemen.....	10
3.3	Het leerproces van PGO .....	11
3.4	Begeleiding van het leerproces .....	13
3.5	Het effect en implementatie van PGO .....	14
4	Ontwerpeisen en leerdoelen .....	17
4.1	Context, behoeftes en randvoorwaarden .....	17
4.2	Leerdoelen .....	18
4.2.1	Ontwikkeling van vaardigheden.....	18
4.2.2	Vakinhoudelijke leerdoelen.....	20
4.3	Ontwerpeisen op basis van de literatuur .....	22
4.3.1	De probleemstelling.....	22
4.3.2	Motivatie .....	22
4.3.3	Harde en zachte scaffolding.....	22
4.3.4	Implementatie .....	23
4.3.5	Samenvatting .....	23
5	Ontwerpen van PGO.....	25
5.1	Methode .....	25
5.2	Indeling van de module .....	26
5.3	Ontwerpen van het probleem .....	27
5.4	Beschrijving van het ontwerp .....	40
5.5	Review van het ontwerp.....	41
5.5.1	Review leerlingmateriaal aan de hand van de eisen .....	41
5.5.2	Review door docenten.....	42
6	Implementatie van het ontwerp .....	44
6.1	Lesverloop.....	44
6.2	Evaluatie door leerlingen.....	45
6.2.1	Enquête.....	45
6.2.2	Interview met leerlingen.....	47
6.3	Evaluatie van de vakdocent .....	48
7	Discussie en conclusie.....	49
7.1	Discussie.....	49
7.2	Conclusie .....	51
8	Bibliografie .....	53
9	Bijlagen .....	54
9.1	Leerlingmateriaal.....	54
9.1.1	Mail van Marijke.....	54

9.1.2	Gegevensbladen van windmolen en zonnepaneel .....	55
9.1.3	Nieuwsartikel .....	56
9.2	Lesmateriaal.....	58
9.2.1	Rubriek .....	58
9.2.2	Powerpoint introductieles .....	59
9.2.3	Stappenplan probleemoplossen .....	65
9.2.4	Uitwerking oefenopgave .....	66
9.3	Evaluatiemateriaal.....	67
9.3.1	Verslagen lesverloop .....	67
9.3.2	Leerlingenquête.....	71
9.3.3	Resultaten leerlingenquête .....	72

## 3 Probleemgestuurd onderwijs

De wortels van probleemgestuurd onderwijs (PGO) liggen in Canada, op de medische faculteit van de McMaster University (Neville, Norman, & White, 2019), (Raine, 2019). Ergens halverwege de jaren zestig is daar de eerste lesmodule opgezet die gebruikt maakte van PGO: kleine groepjes studenten gingen aan de slag met 'zorgvuldig geformuleerde' problemen onder begeleiding van een begeleider, met als secundaire aanvulling een aantal colleges (Neville, Norman, & White, 2019). Een dergelijke aanpak is overgewaaid naar andere universiteiten, zoals de medische faculteit van de Universiteit Maastricht en die van Newcastle in Australië (Raine, 2019). Zodra de aanpak aan andere universiteiten verder geïmplementeerd werd, ontstond er discussie over de achterliggende filosofie van PGO: moeten studenten hun vaardigheden in klinisch probleemoplossen verbeteren of moeten ze de kennis die ze hebben leren toepassen op praktijksituaties?

Een aantal jaar nadat McMaster PGO introduceerde, werd het debat over deze filosofie publiek. Howard Barrows (destijds van McMaster) was aanhanger van het perspectief over probleemoplossen en Henk Schmidt (destijds van de universiteit van Maastricht) van het toepassen van kennis. Dit debat leidde onder andere binnen McMaster tot verder onderzoek: Barrows, vergezeld door verschillende collega's, concludeerde bijna een decennium later dat klinische expertise inderdaad niet (alleen maar) schuilt in het proces van probleemoplossen. Volgens Neville et al. betekende dit dat Schmidt daarmee uiteindelijk het debat won, met als gevolg dat zijn beschrijving van het PGO-proces dat studenten doorlopen (zie **Kader 1**) in bijna elk werk (deels) te herkennen is.

1. Leg onduidelijke begrippen of termen aan elkaar uit of zoek ze zonnodig op.
2. Definieer het probleem/de problemen: ga na welke in het probleem beschreven verschijnselen besproken moeten worden.
3. Brainstorm: inventariseer kort en krachtig ieders eerste ideeën die een verklaring kunnen bieden voor de verschijnselen.
4. Voeg mogelijk samenhangende ideeën samen tot een cluster, diep vervolgens deze clusters uit. Probeer op basis van wat je al weet of meent te weten verklaringen te geven voor de onderzoeken verschijnselen.
5. Spreek af wat je gaat bestuderen: bepaal wat je niet weet, vaag weet, wat tegenstrijdige meningen zijn. Maak vragen op basis waarvan je nader onderzoek kunt gaan doen.
6. Zelfstudie: raadpleeg bronnen als boeken, tijdschriftartikelen, videomateriaal, docenten.
7. Rapporteer: bespreek met elkaar wat je gevonden hebt, probeer hoofd- en bijzaken te scheiden, breng structuur aan in je informatie, pas zo nodig eens je nieuw verworven kennis toe op de probleemtaak om te controleren of je nu beter in staat bent de verschijnselen te verklaren.

*Kader 1 Het PGO-proces dat studenten doorlopen. Uit: (Moust & Schmidt, 1991).*

Ondanks dit alles is er echter nooit een eenduidige visie ontwikkeld op hoe PGO ingericht moet worden. Integendeel, het lijkt juist zeer flexibel: McMaster heeft de manier waarop het PGO inzet in zijn curriculum 4 keer gewijzigd sinds de jaren 70. Daarnaast is PGO nu een wijdverbreide werkvorm die op veel universiteiten en hogescholen gebruikt wordt, ook buiten het medische domein. Tussen de verschillende gedocumenteerde onderzoeken naar PGO bestaat variatie in de manier waarop PGO wordt ingevuld, maar een aantal zaken lijkt karakteristiek voor de werkvorm (vertaald uit (Schmidt, Rotgans, & Yew, 2011)):



1. Problemen vormen de aanleiding voor het leren
2. Studenten werken een deel van hun tijd samen in kleine groepjes
3. Leren vindt plaats onder leiding van een begeleider
4. Het aantal colleges is gelimiteerd
5. Studenten initiëren het leren
6. In het curriculum is zelfstudietijd opgenomen

### 3.1 Het PGO-probleem

De kern van PGO is het probleem of het vraagstuk waar leerlingen aan gaan werken: dit vormt de basis en de aanzet van hun leerproces. Over het algemeen moet een goed PGO-probleem voldoen aan een aantal eisen (op basis van en vertaald uit (Schmidt, Rotgans, & Yew, 2011), (Wijnia, Loyens, & Derous, 2011), (Hmelo-Silver, 2004)). Een PGO-probleem moet:

- Authentiek zijn
- Aangepast worden aan de voorkennis van de studenten
- Discussie ontlokken
- Leiden tot definitie van leerdoelen
- Slecht gestructureerd zijn<sup>2</sup>
- Een open einde hebben
- Op te knippen zijn in kleinere problemen

#### Een zomerse vakantiedag

Je vertoef met je familie in een vakantiebungalow op de Veluwe. Vandaag ga je met z'n allen fietsen door bos en heide. Het is een warme en vochtige zomerdag. In de namiddag vormen zich donkere hoge wolken aan de einder. Iedereen klaagt over zwoel, drukkend weer. Plotseling schieten in de verte lichtflitsen door de lucht, gevolgd door donderslagen. Een paar minuten later begint het hevig te regenen. Wanneer je jongere broertje beschutting zoekt onder een bosje bomen trekt je vader hem het vrije veld in.

*Kader 2: Een voorbeeld van een probleemtaak die geschikt is voor het voortgezet onderwijs. Overgenomen uit (Moust & Schmidt, 1991).*

In **Kader 2** is een voorbeeld te vinden van een PGO-probleem dat geschikt zou zijn voor het voortgezet onderwijs. Op basis van deze probleembeschrijving moeten leerlingen zelf hun leerdoelen bepalen. Voorbeelden hiervan zijn bijvoorbeeld hoe bliksem ontstaat, waarom dat het dondert en waarom het gevaarlijk is om onder een boom te schuilen. Op basis hiervan zal het groepje gaan brainstormen: heeft het te maken met elektriciteit? Hoe komt die elektriciteit in de wolken? Bliksem zoekt altijd het hoogste punt, dus hoe komt het van de boom in je lichaam? Wat is donder eigenlijk? Dit leidt tot thema's die ze kunnen gaan onderzoeken: hoe ontstaat elektriciteit in de wolken, ontstaat donder door luchtverplaatsing en hoe kun je je beschermen tegen onweer? Hierna start de zelfstudiefase waarin ze daadwerkelijk antwoorden gaan zoeken op hun vragen en afsluitend delen ze hun bevindingen met andere groepjes en een begeleider (Moust & Schmidt, 1991).

<sup>2</sup> Met 'slecht gestructureerd' wordt hier bedoeld dat de problemen zodanig geformuleerd zijn, dat op één oogopslag niet duidelijk is wát het probleem nu precies is en welke oplossing wellicht voor handen ligt. De problemen moeten flexibel zijn in de zin dat studenten er hun eigen leerdoelen uit kunnen halen.

### 3.2 Ontwerpen van PGO-problemen

Zoals eerder beschreven, is er een aantal eisen gesteld aan een PGO-probleem. Naast deze eisenlijst is er ook een ontwerpmodel gecreëerd door Hung. Het werk van Hung bestaat uit 9 stappen en een ontwerpmodel (Hung, The 9-step problem design process for problem-based learning: application of the 3C3R model, 2009). Dit model noemt Hung het 3C3R-model en het maakt onderscheid tussen *core components* (hierna: kerncomponenten) en *processing components* (hierna: procescomponenten). Onder kerncomponenten vallen de inhoud, context en de verbanden tussen de inhoud (*content, context, connection: 3C*). Onder procescomponenten vallen onderzoek, redeneren en reflecteren (*research, reasoning, reflecting: 3R*). Deze componenten worden gedefinieerd in 9 stappen en binnen deze stappen worden zowel de losse componenten als de connectie tussen de componenten expliciet behandeld. Deze stappen zijn te vinden in **Kader 3**. Elke stap wordt hieronder verder toegelicht.

#### The 9-step process of designing 3C3R in PBL problems

- Step 1: Set goals and objectives
- Step 2: Conduct content/task analysis
- Step 3: Analyze context specification
- Step 4: Select/generate PBL problem
- Step 5: Conduct PBL problem affordance analysis
- Step 6: Conduct correspondence analysis
- Step 7: Conduct calibration processes
- Step 8: Construct reflection component
- Step 9: Examine inter-supporting relationships of 3C3R components

*Kader 3: de 9 stappen in het 3C3R-ontwerpproces, uit (Hung, The 9-step problem design process for problem-based learning: application of the 3C3R model, 2009)*

Bij stap 1 worden de doelen van het vak/het curriculum gedefinieerd. Hierbij maakt Hung onderscheid tussen drie aspecten: domein-specifieke leerdoelen, probleemoplossingsvaardigheden en leerdoelen met betrekking tot zelfsturend leren. Bij het bepalen van de doelen met betrekking tot probleemoplossingsvaardigheden en zelfsturend vermogen gaat het vooral om het niveau waarop leerlingen hiermee aan de slag moeten: wat van leerlingen wordt gevraagd moet overeenkomen met wat ze – gebaseerd op hun capaciteiten en potentieel – kunnen leveren.

In stap 2 worden deze doelen vervolgens verder uiteengezet in een analyse. Per leerdoel wordt de inhoud ingedeeld in vier categorieën: *concepts* (kernideeën binnen het domein) *principles* (regels en relaties tussen concepts), *procedures* (werkwijze en/of methodes die binnen het domein terugkomen) en *factual* (feiten met betrekking tot concepts). Hung geeft voorbeelden bij deze categorieën: “the concept of  $\pi$  is the ratio of the circumference of a circle to its diameter, and the factual knowledge of  $\pi$  is that its value is 3.14159265”. Een ander voorbeeld dat gebruikt wordt om procedures te duiden, is: “solving a math word problem requires procedural knowledge of basic mathematical operations”.

Stap 3 omvat alle informatie die van belang kan zijn, maar die moet volgen uit de context van het probleem in plaats van de leerdoelen. Dit speelt vooral een rol op het moment dat het probleem moet worden ontworpen voor een specifieke professie. Denk hierbij aan het medische domein (waar heeft de patiënt allemaal last van en wat zou er gebeurd kunnen zijn), of tijdens het ontwerpen van een casus voor een opleiding van reddingswerkers in een rampgebied (hoe zijn de weersomstandigheden, welke voertuigen staan er ter beschikking). Volgens Hung is

deze *context specific information* voor een K-12<sup>3</sup> curriculum over het algemeen niet relevant.

Bij stap 4 worden mogelijke problemen verzameld. Selectiecriteria die hierbij gebruikt kunnen worden, zijn de relevantie voor leerlingen in het kader van hun vervolgcarière, persoonlijke interesse van leerlingen of zaken die in hun eigen omgeving spelen. Deze mogelijk problemen moeten real life zijn. Als er binnen de context van stap 1 tot stap 4 geen bruikbare problemen bestaan, dan kunnen desnoods bestaande problemen naar de context aangepast worden.

Stap 5 en stap 6 richten zich op de bruikbaarheid van de mogelijke problemen uit de vorige stap. In stap 5 wordt elk probleem tot in detail uitgewerkt. Deze oefening legt alle stappen bloot die nodig zijn om het probleem op te lossen en vormt de basis voor stap 6. In stap 6 wordt het resultaat van deze uitwerking gebruikt om 3 vragen te beantwoorden: 1) kan er binnen dit probleem aan de leerdoelen worden gewerkt, 2) komt de benodigde kennis die nodig is voor het oplossen van het probleem overeen met die in de leerdoelen en 3) is de contextuele informatie in de vraagstelling afdoende voor het oplossen van het probleem?

In stap 7 worden er op basis van stap 6 aanpassingen gedaan aan de vraagstelling of het probleem om deze aan de leerdoelen te laten voldoen. Dit gebeurt op 4 vlakken: inhoudelijk, contextueel, onderzoek en redenerenatie. Stap 8 en 9 bouwen de laatste pijlers van het 3C3R-model in: respectievelijk wordt naar reflectie en connectie gekeken. Of er in het ontwerp van het probleem genoeg rekening gehouden wordt met reflectie en het soort reflectie (formatief of summatief) wordt in stap 8 geanalyseerd. Stap 9 focust zich op de onderlinge connectie tussen de 6 pijlers van het 3C3R-model. Als dit niet het geval is, wordt de vraag een laatste keer aangepast.

### 3.3 Het leerproces van PGO

Zoals eerder beschreven in dit hoofdstuk heeft Schmidt een belangrijk aandeel gehad in de definitie van de filosofie achter PGO. Hij heeft echter ook onderzoek gedaan naar het leerproces dat studenten doorlopen als ze aan PGO werken. In een artikel uit 2011 (Schmidt, Rotgans, & Yew, 2011) introduceert hij twee hypothesen op basis van de cognitieve psychologie.

Als eerste stelt de *activation-elaboration* hypothese dat studenten met PGO beter leren omdat ze hun voorkennis activeren aan de hand van het probleem. Tijdens de groepsdiscussie vormt zich een hypothese of een beeld waarmee het probleem verklaard kan worden. Naarmate ze meer leren over het onderwerp ontwikkelt dit beeld zich en zo wordt het steeds makkelijker om hiaten in hun beeld of preconcepten te identificeren: hierdoor leren de studenten beter.

De tweede hypothese, die van *situational interest*, stelt dat het probleem interesse aanwakkert bij de studenten die hen motiveert en drijft om een antwoord te zoeken in de literatuur totdat hun 'honger voor informatie' gestild is. Dit zou zorgen voor meer concentratie, aandacht en een bereidheid om te leren. Uit deze hypothesen volgen de karakteristieken: het probleem is bepalend, omdat dit voorkennis moet activeren en interesse aan moet aanwakkeren. Het werken in groepen zorgt voor het vormen

<sup>3</sup> K-12 ("K-through-12" is een onderwijssysteem dat onder andere in de VS gebruikt wordt. K1 t/m K4 refereren die overeenkomen met de Nederlandse groep 3-6. K5 t/m K9 groep 7 t/m de onderbouw van de middelbare school. Vanaf K10 zouden we in Nederland van de bovenbouw spreken en K12 is het examenjaar op de middelbare school (uitgaande van een havo/vwo-school)

en ontwikkelen van het mentale model en het identificeren van leerdoelen. Tijdens dit proces zijn de studenten dus aan zet: ze initiëren hun eigen leren.

Ghani et al. (Ghani, Rahim, Yusoff, & Hadie, 2021) hebben gezocht naar effectief leergedrag van studenten die met PGO werken. Op basis van een literatuurstudie hebben ze concrete activiteiten onderverdeeld in thema's: *intrinsic empowerment* (leergedrag dat het behalen van leerdoelen faciliteert), *entrustment* (rollen die effectief leren kunnen bevorderen, zoals de rol van assessor of die van docent) en *functional skills* (essentiële vaardigheden waarmee onafhankelijk geleerd kan worden). De resultaten van hun onderzoek staan in **Tabel 1**. Dit levert een brede inblik in de houding die leerlingen kunnen of moeten aannemen tijdens de werkvorm die gebruikt kan worden bij het ontwerpen van een PGO-module.

Intrinsic empowerment			
Proactive	Being organized	Being diligent	Resourceful
<ul style="list-style-type: none"> <li>Analyze problems and learning needs</li> <li>Seek guidance</li> <li>Integrate subjects from different disciplines</li> <li>Incorporate hands on activities</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Organize PBL team by assigning roles</li> <li>Organize discussed ideas or learning needs</li> <li>Prioritize ideas or learning needs</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Consistent in self-study</li> <li>Keep track with plans</li> <li>Responsible in completing the task</li> <li>Responsible in understanding the learning materials</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Use various resources</li> <li>Appraise the resources</li> <li>Use evidence-based resources</li> <li>Paraphrase the resources</li> </ul>
Entrustment			
Student as assessor	Student as teacher	Give feedback	Receive feedback
<ul style="list-style-type: none"> <li>Evaluate individual performance</li> <li>Evaluate group performance</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Prepare teaching materials</li> <li>Use various learning styles</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Give feedback on individual task</li> <li>Give feedback on group learning process</li> <li>Prepare feedback questions beforehand</li> <li>Suggest measures for future improvement</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Clarify feedback</li> <li>Request feedback from peers and teachers</li> </ul>
Functional skills			
Time management	Digital proficiency	Data management	Collaborative skill
<ul style="list-style-type: none"> <li>Create learning schedule</li> <li>Set up deadline for each task</li> <li>Prioritize work for each task</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Use digital devices</li> <li>Use digital tools</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Collect data</li> <li>Analyze data</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Discuss professionally</li> <li>Learn from each other</li> </ul>

**Tabel 1:** Effectief leergedrag tijdens PGO, samengevoegd uit (Ghani, Rahim, Yusoff, & Hadie, 2021)

### 3.4 Begeleiding van het leerproces

De laatste karakteristiek van PGO is tot nu toch nog niet in dit verslag belicht, omdat de begeleider in een ideale situatie niet noodzakelijk is voor het doorlopen van het PGO-proces. Voor het zover is zal hij of zij echter een actieve rol moeten spelen in het PGO-proces. De begeleider moet samenwerken faciliteren en activeren, kwaliteit van leren waarborgen en ingrijpen wanneer nodig (Schmidt, Rotgans, & Yew, 2011). Een vaardigheid die veel terugkomt in de literatuur is scaffolding. Het woord staat symbool voor de tijdelijke hulp die lerende krijgt die op zijn of haar niveau wordt aangeboden. Het doel is om uiteindelijk op te bouwen naar een situatie waarin de lerende zelfstandig kan werken: op dat moment is scaffolding overbodig (Ast, Loor, & Spijkerboer, 2019). Schmidt et al. geven aan dat er onderscheid te maken is tussen harde en zachte scaffolding: zachte scaffolding is de flexibele ondersteuning van een begeleider, en harde scaffolding omvat structurele ondersteuning, bijvoorbeeld het gebruik van een werkblad. Ze concluderen op basis van hun literatuuronderzoek dat harde scaffolding ondergeschikt is aan zachte scaffolding. Harde scaffolding verhoogt echter wel de prestaties van leerlingen als er slechts in beperkte mate zachte scaffolding beschikbaar is (Simons & Klein, 2007).



*Figuur 1: De vaardigheden voor een docent als coach van het leerproces, uit (Woudt-Mittendorff & Visscher-Voerman, 2019)*

Het bieden van ondersteuning zoals scaffolding is een van de vier vaardigheden van een coachende docent die Woudt-Mittendorff en Visscher-Voerman beschrijven (Woudt-Mittendorff & Visscher-Voerman, 2019). De andere drie vaardigheden zijn vragen stellen, feedback geven en een veilige leeromgeving creëren (zie **Figuur 1**). De andere drie vaardigheden worden in hun werk nader toegelicht:

- Het creëren van een veilige leeromgeving is belangrijk omdat dit ruimte biedt aan studenten om vragen te stellen, maar ook om beelden met elkaar te delen en met elkaar te discussiëren. Daarnaast is het een voorwaarde voor de mogelijkheid om fouten te maken en deze te herstellen, zonder directe consequenties. Het maken van fouten is een cruciaal onderdeel van het leerproces. Belangrijk gedrag voor een coachende docent is onder andere integer, positief, waarderend en respectvol;
- Vragen stellen is belangrijk, en dan specifiek vragen gericht op reflectie, zelfsturing en kritisch denken. Hiermee activeren docenten het leerproces, ook op diepere lagen: zo kunnen docenten door een vragende benadering de groep of een individuele leerling helpen zicht te krijgen in de mate waarin ze bepaalde inhoudelijke concepten beheersen, welke (nieuwe) doelen ze zouden willen formuleren en wat er nog voor nodig is om doelen te bereiken;
- Feedback geven is een effectief hulpmiddel om studenten te ondersteunen. Dit kan op verschillende niveaus (Voerman, 2021): taak- en productniveau, procesniveau, zelfregulatie niveau en zelfniveau. Naast de verschillende

niveaus zijn er ook verschillende manieren waarop feedback gegeven kan worden. Voor effectieve coaching is het belangrijk om vragen en directieve feedback af te wisselen in een verhouding 3:1.

### 3.5 Het effect en implementatie van PGO

Ter afsluiting van dit hoofdstuk worden nog wat praktische zaken met betrekking tot PGO geïntroduceerd, samen met het verwachte effect dat de werkvorm op leerlingen lijkt te hebben.

Over het algemeen wordt PGO gezien als een werkvorm die de motivatie van leerlingen verhoogd. Wijnia et al (Wijnia, Loyens, & Derous, 2011) hebben een lijst van motiverende factoren van PGO opgesteld en in een overzichtsstudie gekeken naar het effect van PGO-onderwijs op de motivatie van bachelorstudenten en hun vermogen om zelfregulerend te leren. Daarna hebben ze met een focusgroep de motivatieaspecten van PGO besproken. Geheel in strijd met hun hypothese hebben ze moeten concluderen dat de studenten die PGO-onderwijs hebben gevolgd, niet hoger scoorden op intrinsieke motivatie dan de studenten die traditionele colleges hebben gevolgd. De PGO-studenten scoorde wel hoger op *perceived competence*<sup>4</sup> dan de college-studenten.

Uit de interviews met de focusgroep bleek dat er wel degelijk aspecten waren die de motivatie van studenten verhoogt, maar dat er ook aspecten zijn die demotiverend werken. Studenten gaven aan dat ze samenwerken het meest motiverende aspect vonden, specifiek de sociale interactie. De sociale controle en gedeelde verantwoordelijkheid binnen de groep leverde “druk” op om te studeren. De keerzijde van die medaille is dat een disfunctionele PGO-groep zeer demotiverend werkt. Het meest demotiverende aspect dat studenten aandroegen waren de ‘controlerende factoren’ zoals verplichte aanwezigheid en onzekerheid over de literatuur die ze konden vinden. Specifiek eerstejaarsstudenten gaven aan liever verplichte literatuur te krijgen dan alles zelf te moeten zoeken. Een samenvatting van de resultaten uit dit onderzoek staat in **Tabel 2**.

Motiverende aspecten van PGO volgens studenten		
Aspect	Positief effect op motivatie	Negatief effect op motivatie
Begeleiders	Experts die enthousiast zijn	Begeleiders die blijven vragen naar zaken die al afgedaan zijn, begeleiders die geen duidelijkheid geven maar naar literatuur verwijzen of begeleiders die te veel scaffolding toepassen
Probleem	Stimulerende problemen en problemen die veel discussie oproepen	Discrepancie tussen gevonden literatuur en het probleem
Samenwerking	Sociale interactie, sociale controle	Studenten die meeliften op anderen of die zich niet voorbereiden
Zelfregulering		Onzekerheid over de gevonden literatuur
Overig		Verplichte aanwezigheid

**Tabel 2:** Aspecten van PGO die effect hebben op de motivatie van studenten (vertaald en op basis van (Wijnia, Loyens, & Derous, 2011)).

<sup>4</sup> Hiermee doelen Wijnia op de eigen inschatting van de competenties ten aanzien van het vak: dit is gemeten met de *Perceived Competence Scale (PCS)*. Zie de publicatie voor meer informatie.



De vraag is echter hoe de conclusies van Wijnia et al. geïnterpreteerd moeten worden. De data suggereren dat studenten in een PGO-curriculum niet meer gemotiveerd zijn dan leerlingen in een traditioneel curriculum, maar er zijn wel degelijk aspecten die de motivatie verhogen. Daarnaast – maar niet gerelateerd aan motivatie – scoren PGO-studenten hoger als het gaat om hun waargenomen competentie, hun affectieve strategieën (tijdsplanningen maken, concentratie, etc.) en doelstrategieën (omgaan met examens en faalangst). Dit onderzoek lijkt dus vooral in kaart gebracht te hebben hoe met deze aspecten moet worden omgegaan om motivatie zo hoog mogelijk te houden en welke factoren daarin een rol spelen.

De vraag hoe onderzoek naar het effect of de effectiviteit van PGO moet worden geïnterpreteerd komt vaker aan de orde, zo ook in het werk van Wilder (Wilder, 2015) en Hung (Hung, Theory to reality: a few issues in implementing problem-based learning, 2011). Wilder onderzocht het effect van PGO op middelbare scholen middels een systematische review en Hung heeft onderzoek gedaan naar verschillende meta-analyses over de effectiviteit van PGO. Beide auteurs rapporteren wisselende resultaten tussen onderzoeken, waarbij Hung expliciet tot de conclusie komt dat de bestudeerde analyses geen eenduidig antwoord konden formuleren op onderzoeksvragen over de effectiviteit van PGO. Sterker nog: vaak waren conclusies van verschillende studies tegenstrijdig.

Zowel Wilder als Hung geven aan te vermoeden dat de wisselende resultaten tussen studies vooral te maken heeft met de verscheidenheid in implementatie van PGO-onderwijs. De manier waarop studenten kennis eigen maken en de doelen die de docenten hebben bij het gebruik van PGO zijn voorbeelden van factoren die invloed hebben op de effectiviteit. In zekere zin trekken Wijnia et al. trekken dezelfde conclusie: PGO heeft veel elementen die studenten als motiverend beschouwen (en die daarmee effectiviteit verhogen) maar de voorwaarde om dit tot uiting te laten komen, ligt in de manier waarop PGO wordt geïmplementeerd. Het effect van het PGO-probleem in de effectiviteit van de werkvorm mag hierbij zeker niet onderschat worden. Omdat leerlingen in staat moeten zijn zelf hun leerdoelen te definiëren, kan het voorkomen dat ze andere leerdoelen definiëren dan die de docent heeft opgesteld. Dolmans et al. (Dolmans, Gijselaers, Schmidt, & Meer, 1993) hebben hier onderzoek naar gedaan, en vonden dat in drie studies met eenzelfde doelgroep slechts 64% van de vooraf opgestelde leerdoelen door studenten behandeld werd. Van de leerdoelen die studenten zelf hadden opgesteld, werd achteraf de helft maar als waardevol ingeschat door de docenten.

In het werk van Wijnia gaat het dan specifiek om de juiste balans tussen motiverende en demotiverende (regulerende) aspecten. Hung trekt deze analyse breder en identificeert twee aspecten van de implementatie waarmee rekening gehouden dient te worden.

- *Human factors*: het gedrag dat studenten en begeleiders laten zien tijdens PGO beïnvloed het leerproces en daarmee het resultaat dat studenten behalen;
- *Resources and workload*: PGO is van nature een intensieve werkvorm omdat er veel beroep wordt gedaan op de zelfstudie die studenten moeten ondernemen om een antwoord op hun vraag te kunnen vinden. Er wordt ook een groot beroep gedaan op de begeleider: het opstellen van goede PGO-problemen kost tijd en daarnaast zijn er vaak meer groepen om te begeleiden dan begeleiders, wat de werkdruk verhoogt. Voor zowel de studenten als de begeleider geldt dat de werkdruk een factor is die effect heeft op het gedrag dat ze vertonen tijdens het PGO-proces.

Op basis hiervan heeft Hung een lijst opgesteld met aandachtspunten om dergelijke problemen op te lossen of te voorkomen. Hieronder vallen aandachtspunten met betrekking tot de documentatie van onderzoek naar PGO, maar ook punten die in de praktijk aandacht verdienen. De lijst hieronder beperkt zich tot de laatste categorie:

- Kies de juiste methode om de leerdoelen te meten
- Stel verwachtingen bij op basis van de doelgroep
- Leer leerlingen wat de PGO-filosofie en het bijbehorende proces inhoudt
- Gebruik PGO systematisch in een K-12-omgeving
- Bied de juiste scaffolding aan
- Motiveer leerlingen om verantwoordelijk en actief te leren
- Ontwerp een degelijk PGO-curriculum met effectieve problemen



## 4 Ontwerpeisen en leerdoelen

Om het ontwerp van de PGO-module succesvol te maken is niet alleen een theoretisch kader van probleemgestuurd onderwijs van belang. Hoewel dit kader een degelijke basis vormt, moet er maatwerk geleverd gaan worden. Veel van de studies over PGO zijn gericht op of uitgevoerd in het hoger onderwijs: daar liggen immers ook de wortels van deze werkvorm. Een vertaalslag naar het voortgezet onderwijs komt veel minder voor in de literatuur, laat staan een vertaalslag naar een onderbouwklas in ons Nederlandse havo-onderwijs. Duidelijke ontwerpeisen zijn daarom randvoorwaardelijk voor een succesvolle PGO-module.

Om deze eisen op te kunnen tekenen is uiteraard gebruik gemaakt van het theoretische kader dat in het vorige hoofdstuk geschetst is: een deel van de ontwerpeisen komt voor uit de literatuur en het PGO-probleem voor de lessenmodule ontwerp ik op basis van het ontwerpmodel van Hung. Omdat de doelgroep echter zo specifiek is, is er ook veel tijd en aandacht gestoken in de behoeftes van de vakdocent van de klas: niemand weet immers beter hoe de klas ervoor staat op natuurkundig vlak dan hun docent. Het eerste deel van dit hoofdstuk zullen de context, behoeftes en de randvoorwaarden van de school besproken worden. Daarna worden in overleg met de vakdocent de leerdoelen voor de leerlingen gedefinieerd. Tot slot wordt er teruggeblikt op de *lessons learned* op basis van het theoretisch kader. Een definitieve lijst van de ontwerpdoelen is te vinden in **Tabel 4**.

### 4.1 Context, behoeftes en randvoorwaarden

Ter oriëntatie op de leerdoelen van de PGO-module is overlegd met de vakdocent van de klas. Een van de belangrijkste vragen in dat overleg is de vraag waar ook Barrows en Schmidt over debatteerden: wat is het doel van deze PGO-module? Een helder beeld van wat de vakdocent wil bereiken is een belangrijk fundament voor het ontwerp. Uit het oriëntatiegesprek is gebleken dat de docent in dit geval waarde hecht aan het toepassen van kennis, maar hij omarmt de ontwikkeling van (vakoverstijgende) vaardigheden ook zeker. De ontwikkeling van vaardigheden mag zelfs nadruk krijgen binnen de module. De reden hiervoor ligt vooral in het feit dat er ook leerlingen in de klas zitten die hun betrokkenheid met het vak en daarmee de bijbehorende kennis misschien wel zijn verloren omdat ze het niet gaan kiezen in de bovenbouw, dus voor hen is het toepassen van natuurkundige kennis waarschijnlijk minder tot niet betekenisvol. Algemene vaardigheden die niet (alleen) bij natuurkunde horen zijn daarmee een betekenisvoller alternatief. Daarnaast wordt deze module in de laatste periode van het schooljaar 2022/2023 uitgevoerd en is er in de eerste periodes van dit jaar al voldoende aandacht geweest aan de toepassing van vakinhoudelijke kennis.

De specifieke vaardigheden die als leerdoel geïntegreerd kunnen worden, lopen uiteen. Om een keuze te maken is de lijst van vaardigheden in de examensyllabus aangehouden (College voor Toetsen en Examens, 2021). Een deel hiervan is 'vakoverstijgend' en sommigen zelfs 'profieloverstijgend', wat de ontwikkeling van deze vaardigheden ook nuttig kan maken voor de leerlingen die geen natuurkunde kiezen. Onder de vakoverstijgende vaardigheden vallen 'ontwerpen' en 'waarderen en oordelen' en onder de profieloverstijgende vaardigheden zijn 'communiceren' en 'reflecteren op leren' opgenomen. Natuurlijk staat het de docent ook vrij om zelf vaardigheden in te brengen, zoals een van de 21e-eeuwse vaardigheden beschreven door Thijs et al. (Thijs, Fisser, & Hoeven, 2014).

Op basis van het gesprek met de docent heb ik gekozen om de vaardigheden die verwerkt gaan worden in de lesmodule te beperken tot twee. Deze beperking is voornamelijk een gevolg van de beperkte tijd die beschikbaar is voor de uitvoering van de module: er zijn drie lessen van 60 minuten beschikbaar gesteld. De keuze van de vaardigheden is vooral gebaseerd op de ervaring van de docent met de klas en zijn inschatting van het beheersingsniveau van de leerlingen met betrekking tot deze vaardigheden. Omdat er binnen het vak tot nu toe weinig aandacht is geweest voor het (schriftelijk) communiceren van informatie, bijvoorbeeld na een praktische opdracht, is de vaardigheid 'communiceren' er een die zal worden opgenomen in het ontwerp. De vaardigheid 'waarderen en oordelen' zal tevens opgenomen worden, omdat de docent hier een grote maatschappelijke waarde aan toekent binnen het onderwerp wat hij nu met de klas behandelt: de leerlingen leren momenteel over elektriciteit en nu klimaatverandering en de rol van de energietransitie centraal staat, is de vaardigheid om hierover te kunnen oordelen en specifieke informatie juist te waarderen belangrijk. Tot slot stelt de docent het verder ontwikkelen van de vaardigheid om met Excel te werken op prijs als bijvangst van deze leerdoelen.

Tot slot is er nog een aantal praktische zaken die naar voren kwam in het gesprek: de klas heeft les op dinsdag van 10:35-11:35 (direct na een pauze) en op woensdag van 11:35-12:35 (direct voor een pauze). Daarnaast is het niet mogelijk om een bonuspunten voor de toets toe te kennen op basis van deze module, maar het is wel mogelijk om het als praktische opdracht (PO) voor een cijfer mee te laten tellen. Deze eisen heb ik direct opgenomen in **Tabel 4**.

## 4.2 Leerdoelen

Naast het feit dat de leerlingen hun vaardigheden moeten kunnen ontwikkelen op het gebied van communicatie en waarderen en oordelen, bestaat er ook een vakinhoudelijke context waarin deze PGO-module plaats zal vinden. Deze paragraaf zal ingaan op zowel de leerdoelen met betrekking tot de vaardigheden als deze vakinhoudelijke inhoud.

### 4.2.1 Ontwikkeling van vaardigheden

#### Communiceren

De vaardigheid communiceren is als algemene vaardigheid (profieloverstijgend) in het examenprogramma natuurkunde voor de havo opgenomen (College voor Toetsen en Examens, 2021). De specificatie die hierbij hoort, is dat de leerling adequaat schriftelijk, mondeling en digitaal in het publieke domein kan communiceren over onderwerpen uit het desbetreffende vakgebied. Dit is een breed en weinig concreet leerdoel. De SLO heeft communiceren als 21e-eeuwse vaardigheid opgenomen en uitgebreider beschreven: in het werk van Thijs et al. is deze vaardigheid verder gedefinieerd en gespecificeerd met kennis en houdingen. Ze beschrijven de vaardigheid communiceren daar als volgt: "Het gaat bij communiceren om het *effectief en efficiënt overbrengen en ontvangen van een boodschap*." De verdere specificatie van de vaardigheid is te vinden in **Kader 4**.

Leerdoel 1: Leerlingen kunnen schriftelijk informatie uitwisselen met anderen

**Communiceren**

Het gaat bij communiceren om het effectief en efficiënt overbrengen en ontvangen van een boodschap.

Meer specifiek gaat het om het:

- doelgericht kunnen uitwisselen van informatie met anderen (spreken, luisteren, de kern van een boodschap herkennen, effectief verwoorden, duidelijk zijn, ruis voorkomen);
- kunnen omgaan met verschillende communicatieve situaties (gesprekken, presentaties, debatten, etc.) en het kennen van de gesprekstechnieken, -regels en sociale conventies bij elke situatie;
- kunnen omgaan met verschillende communicatiemiddelen (teksten, films) en het hanteren van verschillende strategieën daarbij;
- hebben van inzicht in de mogelijkheden die ICT biedt om effectief te communiceren.

*Kader 4: de specificatie die hoort bij de vaardigheid communiceren, uit (Thijs, Fisser, & Hoeven, 2014).*

*Aanpassing aan de context, behoeftes en randvoorwaarden*

Omdat de module slechts drie lessen zal bestrijken en omdat leerlingen in de derde klas nog niet alle facetten hoeven te verwerken, is ervoor gekozen om slechts de eerste van de specificaties als leerdoel op te nemen in deze module: leerlingen kunnen doelgericht informatie uitwisselen met anderen. Om kunnen gaan met verschillende vormen van communicatie is welleswaar belangrijk, maar er is geen ruimte in deze module om de verschillende vormen aan bod te laten komen. Dit geldt ook voor de verschillende communicatiemiddelen: het aanbieden van de strategieën en leerlingen hiermee laten oefenen kost simpelweg te veel tijd. Hoewel het gebruik van ICT wenselijk is (specifiek het gebruik van Excel) heeft dit niet te maken met de wijze van communicatie. Daarom is ervoor gekozen om deze specificaties niet op te nemen. Om aan te sluiten bij de behoefte van de vakdocent is ervoor gekozen om het uiteindelijke leerdoel voor deze module te specificeren naar: leerlingen kunnen schriftelijk informatie uitwisselen met anderen.

**Waarderen en oordelen**

Net als bij de vaardigheid communiceren is er een examenspecificatie opgesteld voor waarderen en oordelen. In dit geval is deze echter uitgebreider dan bij communiceren het geval is. De volledige specificatie is te vinden in **Kader 5**.

*Aanpassing aan de context, behoeftes en randvoorwaarden*

Wederom moet er een keuze gemaakt worden met betrekking tot de omvang van dit leerdoel. Omdat de vakdocent in het overleg specifiek sprak over de verscheidenheid aan artikelen, *fake-news* en allerlei meningen lijkt specificatie 1 een kansrijk leerdoel. Dit leerdoel is daarnaast ook goed in te passen in de context van PGO vanwege de zelfstudie die leerlingen zullen moeten ondernemen om tot een oplossing te komen. Daarom is ervoor gekozen om deze specificatie als leerdoel op te nemen bij de vaardigheid waarderen en oordelen.

Leerdoel 2: Leerlingen kunnen een beargumenteerd oordeel geven over een situatie waarin natuurwetenschappelijke kennis een belangrijke rol speelt, dan wel een beargumenteerde keuze maken tussen alternatieven bij vraagstukken van natuurwetenschappelijke aard

**Waarderen en oordelen**

De kandidaat kan in contexten een beargumenteerd oordeel geven over een situatie in de natuur of een technische toepassing, en daarin onderscheid maken tussen wetenschappelijke argumenten, normatieve maatschappelijke overwegingen en persoonlijke opvattingen.

*Specificatie:*

De kandidaat kan:

1. Een beargumenteerd oordeel geven over een situatie waarin natuurwetenschappelijke kennis een belangrijke rol speelt, dan wel een beargumenteerde keuze maken tussen alternatieven bij vraagstukken van natuurwetenschappelijke aard;
2. onderscheid maken tussen wetenschappelijke argumenten, normatieve maatschappelijke overwegingen en persoonlijke opvattingen;
3. feiten met bronnen verantwoorden;
4. de betrouwbaarheid beoordelen van informatie en de waarde daarvan vaststellen voor de beantwoording van het betreffende vraagstuk.

Kader 5: Omschrijving van de exameneis waarderen en oordelen, uit (College voor Toetsen en Examen, 2021)

**4.2.2 Vakinhoudelijke leerdoelen**

Voor de specifieke definitie van 'leerstof' die de leerlingen over het onderwerp elektriciteit behandelen is wederom gekeken naar de examensyllabus (zie **Kader 6**). Uit deze specificatie is een selectie gemaakt van leerdoelen die minimaal terug moeten komen in het werk van leerlingen. Hierbij is vooral gekozen voor 'natuurkunde in de echte wereld'. Zo is specificatie 2 – over het analyseren van stroomkringen – gekozen. Op deze manier kunnen leerlingen aan de gang met deze vaardigheid in een context die hopelijk nieuw is en afwijkt van de standaardoefeningen. Het doel hierachter is om de leerstof betekenisvoller te maken voor de leerlingen, zoals beschreven in (Ast, Loor, & Spijkerboer, 2019). Specificatie 4 is deels gekozen om dezelfde reden, maar vooral omdat het aansluit bij de context die de vakdocent heeft aangedragen: klimaatverandering en de rol van energietransitie. Voor beide leerdoelen geldt dat ze worden beperkt tot wat in de lessen is behandeld: leerlingen hoeven zich immers nog niet de hele exameneis eigen te maken.

*Aanpassing aan de context, behoeftes en randvoorwaarden*

Zoals eerder beschreven mag de ontwikkeling van vaardigheden een zwaardere weging krijgen in deze module dan de toepassing van vakinhoudelijke kennis. Dat neemt echter niet weg dat ze wel degelijk een belangrijke rol spelen in de module en het daarbij horende ontwerp. Deze rol zal echter minder betrekking hebben op de leerdoelen van de module maar vooral in de context van de PGO-problemen: de problemen waar de leerlingen aan gaan werken moeten immers ergens over gaan en ze moeten aansluiten bij hun voorkennis. De keuzevrijheid in deze concepten leent zich er bij uitstek voor om concepten te kiezen die leerlingen doorgaans lastig vinden, of waarover in het algemeen veel preconcepten over bestaan. Door in groepen en onder begeleiding zelf deze concepten verder te onderzoeken, kunnen leerlingdenkbeelden worden aangescherpt of verbeterd. Een voorbeeld van een dergelijk concept is dat de stroom in een stroomkring verbruikt wordt of dat de begrippen *spanning*, *stroom* en *energie* niet goed van elkaar worden onderscheiden of zelfs hetzelfde betekenen (Kortland, Mooldijk, & Poorthuis, 2017). Een vakinhoudelijk leerdoel op basis hiervan zou als volgt gedefinieerd kunnen worden: leerlingen onderzoeken een of meerdere preconcepten binnen het onderwerp.

Hoewel deze PGO-module hiervoor gebruikt kan worden en dat preconcepten aanpakken belangrijk is, komt in het gesprek met de vakdocent wel de vraag op of dit past bij het niveau van de leerlingen en de beschikbare tijd. Leerlingen hebben 60 tot ongeveer 90 minuten om aan de hand van hun probleem de hierboven genoemde vaardigheden te trainen. De docent ziet liever dat de vakinhoudelijke kennis die nodig is om de vraag op te lossen, pragmatischer wordt gebruikt. Dat wil zeggen dat de leerlingen vakinhoudelijk minder uitgedaagd (hoeven) te worden. Dit zou zich als volgt kunnen uiten: als leerlingen een probleem gepresenteerd krijgen dat op te delen is in brokjes die ze herkennen, dan is de verwachting dat ze op basis hiervan een taakverdeling kunnen maken en uitvoeren om deze brokjes vervolgens te analyseren en uit te werken. Het maken van deze afspraken doet beroep op de vaardigheid om mondeling met elkaar te kunnen communiceren. Is het probleem ingewikkelder dan is de vertaalslag naar concrete brokjes lastiger: leerlingen zullen onderling langer moeten sparren over de leervraag en – belangrijker nog – hun leerbehoefte. Pas als de leerbehoefte duidelijk is, kan er een taakverdeling gemaakt worden.

### Leerdoel 3: Leerlingen kunnen de leerstof over elektriciteit toepassen op een situatie uit het echte leven

In beide gevallen moeten leerlingen zelf hun leervraag formuleren en op basis daarvan een taakverdeling maken. De laatste optie – een relatief ingewikkelde vraag die meer uitnodigt om zelf leerdoelen te stellen – legt hier meer de nadruk op en sluit daardoor beter aan bij de kern van PGO. Om die reden zou het daarmee de voorkeur genieten. Een kritisch verschil tussen PGO en deze lesmodule is echter dat er in PGO vaak meer tijd beschikbaar is voor leerlingen om aan het probleem te werken: deze tijd is er nu niet. Daarnaast zijn leerlingen die een PGO-curriculum onderwezen krijgen vaak verder in hun ontwikkeling (Schmidt, Rotgans, & Yew, 2011) dan leerlingen in 3 havo waardoor onder andere hun zelfsturend vermogen – wat noodzakelijk is om zelf leerdoelen te stellen – groter is. Om beter aan te sluiten bij het niveau van de leerlingen is daarom voor de eerste optie gekozen: een pragmatische invulling van de vakinhoudelijke leerdoelen in plaats van een invulling die zich met preconcepten bezighoudt. Dat levert het derde en laatste leerdoel op voor deze module: leerlingen kunnen de leerstof over elektriciteit toepassen op een situatie uit het echte leven.

#### Gebruik van elektriciteit

De kandidaat kan opwekking, transport en toepassing van elektriciteit beschrijven en analyseren aan de hand van fysische begrippen.

#### Specificatie:

De kandidaat kan:

1. Het verschijnsel elektrische stroom uitleggen als verplaatsing van lading ten gevolge van een aangelegde spanning;
2. Stroomkringen analyseren en daarbij voor serie- en parallelschakelingen van weerstanden berekeningen maken over spanning, stroomsterkte, weerstand en geleidbaarheid;
3. Het vermogen en het rendement van energieomzettingen in een elektrische stroomkring analyseren;
4. De energieomzetting bij verschillende opwekkingsvormen van elektriciteit beschrijven, en deze opwekkingsvormen van elektriciteit beschrijven, en deze opwekkingsvormen vergelijken ten aanzien van duurzaamheid en energiedichtheid;
5. Verschillende vormen van transport en opslag van elektriciteit beschrijven.

**Kader 6:** Omschrijving van de leerdoelen m.b.t. Subdomein G1: Gebruik van elektriciteit. Gebaseerd op: (College voor Toetsen en Examen, 2021). Verdere inhoud van de leerdoelen is weggelaten, evenals voetnoten.



### 4.3 Ontwerpeisen op basis van de literatuur

#### 4.3.1 De probleemstelling

In de paragraaf **Het PGO-probleem** wordt een lijst gepresenteerd van de eisen die in de onderzochte literatuur worden gesteld aan een PGO-probleem. Er is echter voor gekozen niet al deze eisen mee te nemen in het ontwerp van de PGO-module. De belangrijkste reden daarvoor is dat de geraadpleegde literatuur zich vooral met hoger onderwijs (wo) bezighoudt, en in beperkte mate met het voortgezet onderwijs. Het is aan te nemen dat vo-leerlingen de vaardigheden waar deze PGO-module zich op baseert in mindere mate eigengemaakt hebben dan wo-leerlingen: vooral op het zelfsturend vermogen kan pas in het vervolgonderwijs veelvuldig beroep gedaan worden: als gevolg daarvan worden de klassen groter en de informatie talrijker. Deze aanname wordt deels onderschreven door Schmidt et al: "It appears that students become more self-directed as the years of study progress" (Schmidt, Rotgans, & Yew, 2011). Daarnaast is de beschikbare tijd in een wo-setting vaak groter dan op het vo: studenten hebben langere collegetijden en minder vakken dan leerlingen, die veel vakken en korte lessen kennen (in ieder geval op deze school).

Omdat het zelfsturend vermogen van 3-havoleerlingen kleiner is dan die van studenten in het hoger onderwijs, hebben we ervoor gekozen om de eis *een PGO-probleem moet slecht gestructureerd zijn* te laten vervallen: op die manier is het makkelijker voor leerlingen om een weg naar een antwoord te vinden waardoor meer tijd overblijft om die weg daadwerkelijk te bewandelen. De resterende ontwerpeisen blijven staan, te weten dat het probleem authentiek moet zijn, aangepast moet worden aan de voorkennis van de leerlingen, discussie moet ontlokken, de leerlingen in staat stelt eigen leerdoelen te formuleren, een open einde moet hebben en op te knippen zijn in kleinere problemen.

#### 4.3.2 Motivatie

Om de motivatie van leerlingen hoog te houden, moet volgens het werk van Wijnia et al. o.a. zo min mogelijk onduidelijkheid bestaan bij de leerlingen over welke literatuur ze kunnen gebruiken. Dit kan op verschillende manieren bewerkstelligd worden: er kan bijvoorbeeld gekozen worden voor één vast (verplicht) boek dat leerlingen toegewezen krijgen, of er kan een literatuurlijst worden aangeboden. Het nadeel van één vast boek aanbieden kan zijn dat vaardigheid om te waarderen en oordelen in mindere mate wordt ontwikkeld. Ik heb besloten een compromis te sluiten: er zal een beperkte literatuurlijst worden verstrekt bij het probleem. Op die manier moeten leerlingen hun informatie nog wel selecteren waardoor ze informatie moeten beoordelen en waarderen, maar door de mogelijke literatuur te beperken tot een aantal (minder dan vijf) bruikbare bronnen raken ze minder snel gedemotiveerd.

#### 4.3.3 Harde en zachte scaffolding

De docent kan twee soorten scaffolding bieden aan de leerlingen die hij of zij begeleidt. Harde scaffolding in de vorm van hints of deelvragen kunnen meegegeven worden met de opdracht. Deze vorm van scaffolding kan opgelegd worden aan de leerlingen, of naar eigen inzicht beschikbaar gesteld worden. De tweede vorm van scaffolding is zachte scaffolding: de flexibele begeleiding die de docent de leerlingen kan bieden door rond te lopen, te luisteren en vragen te stellen. Omdat deze vorm van scaffolding gegeven wordt aan een specifieke groep leerlingen, is hierbij een zekere mate van maatwerk vereist van de docent. Dit maakt zachte scaffolding – in tegenstelling tot harde scaffolding – arbeidsintensief. De klas waarin deze module getest zal worden, bestaat uit ongeveer 30 leerlingen en 1 docent. Het is niet mogelijk

om alleen zachte scaffolding in te bouwen, omdat de werkdruk op de docent dan te hoog zal worden: daarom moet er voldoende harde scaffolding in de PGO-module ingebouwd worden. Dit zal als ontwerpeis meegenomen worden in de ontwerpfase.

Dit roept de vraag op of deze harde scaffolding een verplicht of vrijblijvend karakter moet hebben. Simons & Klein hebben in hun werk onderzoek gedaan naar het effect van optionele harde scaffolding en verplichte harde scaffolding op onder de ervaring van leerlingen. Een interpretatie van hun resultaten is te vinden in **Tabel 3**. Op basis hiervan lijkt vooral dat leerlingen met verplichte harde scaffolding minder autonomie ervaren dan de groep die vrijwillig harde scaffolding kon gebruiken. Ze waren wel sterker van mening dat ze voldoende tijd hadden en dat ze op hun eigen manier naar bewijs hebben gezocht op antwoorden. Hier moet wel bij vermeld worden dat de verschillen klein zijn, maar informatie over de significantie is niet bekend. Omdat er binnen deze module voor gekozen is überhaupt minder beroep te doen op het zelfsturend vermogen van leerlingen, is ervoor gekozen de harde scaffolding in de module verplicht te maken. Dit ligt het best in lijn met de geïnterpreteerde resultaten van Simons & Klein.

***Tabel 3:** Leerlingen uit het werk van Simons & Klein hebben een project uitgevoerd in drie groepen. Eén groep kreeg zachte scaffolding, één groep verplichte harde scaffolding en één groep vrijwillige zachte scaffolding. In een enquête na afloop hebben leerlingen hun mening gegeven over een project door middel van schaalvragen. De tabel hieronder presenteert de verschillen en overeenkomsten tussen de mening van leerlingen uit de groep met verplichte- en vrijwillige harde scaffolding, op basis van de resultaten van (Simons & Klein, 2007).*

Leerlingen met verplichte harde scaffolding waren het gemiddeld meer eens met de stelling dat	Leerlingen met verplichte harde scaffolding waren het gemiddeld minders eens met de stelling dat	Beide groepen vonden dat ze
Genoeg tijd hadden om het project te voltooien	Ze veel geleerd hebben van hun project	De informatie konden vinden die ze nodig hadden
Hun groep bewijs heeft gezocht om hun antwoorden te onderbouwen	Dat ze antwoorden op hun vragen konden vinden door onderzoek	Genoeg hulp en advies kregen
Hun groep hun eigen manier heeft gebruikt om onderzoek te doen	Dat er veel mogelijke oplossingen waren die ze hadden kunnen uitwerken	Het leuk zouden vinden om nog een keer aan een dergelijk project te werken

#### 4.3.4 Implementatie

Volgens Hung (2011) zijn er ook een aantal zaken waarmee rekening gehouden dient te worden zodra de module daadwerkelijk wordt geïmplementeerd. Hieronder vallen onder andere dat leerlingen moeten leren wat de PGO-filosofie en het bijbehorende proces inhoudt: dit helpt ze met de transitie van directe instructie naar PGO. Hier volgt de volgende ontwerpeis uit: in de module moet ook begripvorming over PGO opgenomen worden. Hung noemt nog een aantal andere zaken die relevant zijn maar die reeds zijn opgenomen in andere ontwerpeisen, zoals scaffolding en de kwaliteit van het probleem waar leerlingen aan werken.

#### 4.3.5 Samenvatting

Dit hoofdstuk heeft de (keuze in) ontwerpeisen en leerdoelen voor de PGO-module uiteengezet. Op basis hiervan kan een lijst worden opgesteld met alle zaken waaraan de module zal moeten voldoen. Deze lijst is te vinden in **Tabel 4**.

*Tabel 4: De ontwerpeisen waaraan de PGO-module moet voldoen. De kolom 'herkomst' verwijst naar de oorsprong van de ontwerpeis. 'S' staat voor school. 'L' voor literatuur.*

Nummer	Ontwerpeis	Herkomst
1	De lessenserie bestaat uit maximaal 3 lessen van 60 minuten	S
2	Het probleem waaraan leerlingen werken, moet authentiek zijn	L
3	Het probleem waaraan leerlingen werken, moet aangepast zijn aan de voorkennis van leerlingen	L
4	Het probleem waaraan leerlingen werken, moet discussie ontlokken	L
5	Het probleem waaraan leerlingen werken, moet leerlingen in staat stellen eigen leerdoelen te formuleren	L
6	Het probleem waaraan leerlingen werken, moet een open einde hebben	L
7	Het probleem waaraan leerlingen werken, moet op te knippen zijn in kleinere problemen	L
8	Bij het probleem moeten maximaal 5 bronnen geleverd worden die leerlingen kunnen gebruiken om het probleem op te lossen	L/S
9	Bij het probleem moet verplichte harde scaffolding aangeleverd worden	L
10	In de module moet aandacht zijn voor de filosofie achter PGO en het bijbehorende proces	L
11	Leerlingen moeten tijdens het uitvoeren van de module zo veel mogelijk zachte scaffolding krijgen	L
12	Leerlingen moeten tijdens de module gericht schriftelijk informatie uitwisselen met anderen	L/S
13	Leerlingen moeten tijdens de module een beargumenteerd oordeel geven over een situatie waarin natuurwetenschappelijke kennis een rol speelt, dan wel een beargumenteerde keuze maken tussen alternatieven bij vraagstukken van natuurwetenschappelijke aard	S
14	Leerlingen moeten tijdens de module stroomkringen analyseren	S
15	Leerlingen moeten tijdens de module energieomzetting bij verschillende opwekkingsvormen van elektriciteit beschrijven, en deze opwekkingsvormen vergelijken ten aanzien van duurzaamheid en energiedichtheid	S
16	Het werk van leerlingen moet met een cijfer beoordeeld kunnen worden	S

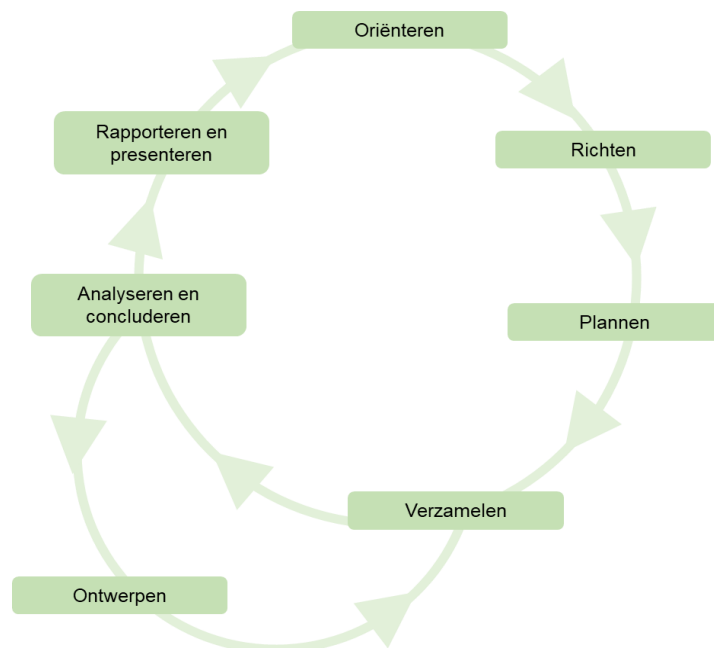


## 5 Ontwerpen van PGO

Het ontwerpen van een PGO-module heeft veel voeten in de aarde, omdat PGO niet alleen veel vraagt van de leerlingen die ermee gaan werken, maar ook van de docent die ze begeleidt. Een korte terugblik op het vorige hoofdstuk toont aan hoe intensief het ontwerpproces kan zijn. Allereerst moet er een probleem ontworpen worden waar de leerlingen aan kunnen werken, dat voldoet aan alle eisen. Daarnaast moet er bij het probleem een selectie aan documenten aangeleverd worden die gezocht dan wel ontworpen moeten worden. Tot slot moet bij het probleem voldoende harde scaffolding beschikbaar zijn voor leerlingen. Nadat het leerlingmateriaal ontworpen is, moet er nog een (deel van een) les ontworpen worden waarin de filosofie achter PGO uitgelegd wordt aan de leerlingen en er moet een beoordelingsmethode gecreëerd worden om de leerlingen een cijfer voor hun werk te kunnen geven.

Dit hoofdstuk zal het ontwerpproces van de module bespreken. De gebruikte methode zal eerst kort worden toegelicht. Vervolgens wordt de indeling van de beschikbare lessen besproken. Hierna is er ruim aandacht voor het ontwerp van het PGO-probleem, omdat dit de kern van de werkvorm is en de effectiviteit van de werkvorm er sterk mee samenhangt. Tot slot zal het uiteindelijke ontwerp gepresenteerd worden, waarbij ontwerpkeuzes kort worden toegelicht. Het hoofdstuk wordt afgesloten met een review over het ontwerp.

### 5.1 Methode



*Figuur 2: De ontwerpcyclus voor een ontwerpdracht, uit (Donk & Lanen, 2022)*

Normaliter wordt er bij een ontwerpdracht gewerkt met een ontwerpcyclus (Donk & Lanen, 2022). Deze cyclus is te zien in **Figuur 2**. De stappen oriënteren (oriënteren op het praktijkprobleem), richten (richten van de onderzoeksvraag), plannen (plannen van het onderzoek), verzamelen (van informatie uit literatuur) en analyseren en concluderen (het opstellen van het programma van eisen) zijn reeds (impliciet) doorlopen. De volgende stap is ontwerpen.

Zoals te zien in de cyclus volgt uit het ontwerp weer een verzameling: deze verzameling van data zal plaatsvinden tijdens de implementatie van de module (zie het volgende hoofdstuk). Deze data zal geanalyseerd worden, waarna er conclusies getrokken kunnen worden over het ontwerp. Normaliter volgt hierna een aanpassing van het ontwerp en een nieuwe implementatie. Dit proces herhaalt zich net zolang tot het ontwerp aan alle eisen voldoet en het praktijkprobleem oplost. Hierna wordt het onderzoek gerapporteerd en gepresenteerd.

Omdat de tijd voor het ontwerp en de uitvoering ervan beperkt is, is ervoor gekozen deze cyclus slechts éénmaal te doorlopen. De module die in dit hoofdstuk ontworpen gaat worden, zal daarmee een prototype worden en de implementatie een try-out. Het onderzoek zal daarna echter wel verlopen aan de hand van **Figuur 2**. Eventuele aanpassingen en aanbevelingen moeten helaas bewaard worden voor vervolgonderzoek.

## 5.2 Indeling van de module

De PGO-module die ontworpen wordt, moet binnen drie lessen van 60 minuten uit te voeren zijn. Binnen deze lessen moet leerlingen geïnstrueerd worden, moeten ze daadwerkelijk met de stof aan de slag en het PGO-proces doorlopen (inclusief de zelfstudie) en er moet geëvalueerd worden op de al dan niet behaalde leerdoelen en de module in het algemeen.

Uit het gesprek met de vakdocent kwam naar voren dat de leerlingen niet bekend zijn met of gewend zijn aan PGO. De eerste les zal daarom vooral besteed worden aan de introductie van de module en PGO (ontwerpeis 10). Deze introductie bevat minimaal de volgende onderdelen:

- Wat is PGO en wat zijn de verwachtingen die de docent heeft van de leerling en andersom;
- Aan welke leerdoelen gaan de leerlingen werken;
- Hoe gaan we de komende lessen aan de slag met PGO;
- Introductie van het probleem en verdeling van de groepjes en het werkboekje/instructieblad.

De tweede les is een werkles. Tijdens de les kunnen de leerlingen met hun groepje samen gaan zitten en direct aan de slag met het probleem: dit hebben ze immers de les ervoor te horen gekregen en kunnen laten bezinken. Aan het begin van de les is het zaak dat de docent de leerlingen direct op weg helpt, zodat ze het restant van de les optimaal kunnen benutten. Terwijl de leerlingen met het probleem aan de gang gaan, loopt de docent rond om feedback te geven op het proces. Leerlingen ontvangen materialen om mee aan de slag te gaan:

- Een device (minimaal 1 per groepje om informatie mee op te zoeken)
- Flipovervellen en stiften (om hun proces inzichtelijk te maken voor zichzelf en de docent)

De laatste les zal in het teken staan van afronding en afsluiting. Aan het begin van de les moet het voor leerlingen duidelijk zijn welke stappen ze nog moeten ondernemen om de leerdoelen te halen. Een aanzienlijk deel van de les (50-75%) zal ingedeeld worden als werktijd voor leerlingen om de laatste hand te leggen aan hun oplossing. Het andere deel moet besteed worden aan het afronden van het proces: hieronder valt het inleveren van geleende spullen en antwoorden, opruimen en het invullen van evaluatieformulieren.

Een schematische weergave van deze opbouw is te zien in onderstaande tabel. De beschrijving van de daadwerkelijke onderwijsactiviteiten volgt in de sectie **Lesverloop** in het hoofdstuk **Implementatie van het ontwerp**.

*Tabel 5: opbouw van de lessenserie met docent- en leerlingactiviteiten per les*

Les	Onderwerp	Activiteiten	
		Docent	Leerlingen
1	Introductie	Introduceert de werkvorm en geeft uitleg over de leerdoelen. Laat ook het stappenplan zien en doet een simpel probleem klassikaal voor zodat leerlingen zien wat er verwacht wordt. Aan het einde van de les krijgen leerlingen het probleem te zien	Luisteren en stellen vragen wanneer zaken niet duidelijk zijn. Doen mee aan de oefenopdracht en gaan brainstormen over het probleem
2	Werken	Zet leerlingen aan het werk en loopt rond om het proces te begeleiden	Gaan aan de slag met het stappenplan en het probleem en presenteren desgevraagd hun werk aan de docent voor feedback
3	Afronden	Zorgt dat voortgang bij leerlingen bekend is en dat de leerlingen de aanwijzingen krijgen die ze nodig hebben om de laatste zaken af te ronden	Werken nog een deel van de les aan het afmaken van hun oplossing
	Afsluiten	Neemt leerlingwerk in om na de les na te kijken. Vraagt (schriftelijk) feedback over de module en plant interviews met een deel van de leerlingen	Leveren hun werk in, ruimen hun spullen op en leveren feedback op de module

### 5.3 Ontwerpen van het probleem

In de paragraaf **Ontwerpen van PGO-problemen** is beschreven hoe een PGO-probleem ontworpen kan worden aan de hand van het 3C3R-stappenplan van Hung. In deze sectie zal het stappenplan stap voor stap uitgebreid doorlopen worden. Deze sectie is daarmee relatief langdradig, maar wel noodzakelijk om de aspecten waarmee rekening gehouden is bij het ontwerp inzichtelijk te maken. Vooral de analyse in stap 6 tot en met 9 is van belang.

#### *Step 1: Set goals and objectives*

De leerdoelen (zie **Leerdoelen**) zijn dat leerlingen leren gericht schriftelijk informatie uit kunnen wisselen met anderen en dat beargumenteerde keuzes kunnen maken of oordelen kunnen vellen in natuurwetenschappelijke kwesties. Deze ontwikkeling van vaardigheden moet terugkomen in het ontwerp van het probleem, evenals het vakinhoudelijke leerdoel dat gesteld is (analyse van stroomkringen en vergelijking van methodes om energie op te wekken). In het ontwerp voor dit specifieke probleem is ervoor gekozen om het leerdoel met betrekking tot communiceren (ontwerpeis 12) niet expliciet mee te nemen in de inhoud, maar in het proces van het oplossen van het probleem. Bij dit ontwerp van het probleem zelf ligt de nadruk dus op de vakinhoudelijke leerdoelen en het leerdoel met betrekking tot waarderen en oordelen (ontwerpeisen 13 t/m 15), evenals de ontwerpeisen die betrekking hebben op het probleem en waar het aan moet voldoen (ontwerpeis 2 t/m 7, 9).

Het probleemoplossingsniveau van de klas is niet bekend, maar wordt niet hoog ingeschaald, omdat leerlingen op de school pas vanaf de derde klas natuurkunde krijgen. Omdat dit een derde klas betreft, kan van leerlingen niet verwacht worden dat ze in driekwart jaar al veel met probleemoplossen binnen het vak geoefend hebben. Het kan wel zijn dat ze hier bij andere vakken al ervaring mee hebben opgedaan, maar die informatie is niet bekend. Hetzelfde geldt voor het zelfsturend vermogen. Om die reden is ervoor gekozen om weinig nadruk te leggen op de ontwikkeling van deze twee vaardigheden – wat past bij de keuze om veel harde scaffolding in te bouwen.

*Step 2: Conduct content/task analysis*

1. Een beargumenteerd oordeel kunnen geven/een beargumenteerde keuze maken
  1. *Concepts*
    - a. Argumenten
    - b. Feiten
    - c. Persoonlijke opvattingen
  2. *Procedures*
    - a. Stellingen analyseren
    - b. Bronnen controleren
    - c. Bronnen vermelden
  3. *Factual*
    - a. Een “argument” is dat wat je aanvoert ter ondersteuning van en bewering
    - b. Een “feit” is een bewering die geverifieerd kan worden
    - c. Een ‘opvatting’ is een mening, oordeel of denkbeeld
2. Stroomkringen analyseren (Buil, et al., 2019), (College voor Toetsen en Examens, 2021)
  1. *Concepts*
    - a. Serieschakeling
    - b. Parallelschakeling
    - c. Spanning
    - d. Stroomsterkte
    - e. Weerstand
  2. *Principles*
    - a. De spanning bepaalt hoeveel energie de elektronen bij zich dragen<sup>5</sup>
    - b. Het aantal elektronen dat per tijdseenheid door de kring loopt, is de stroomsterkte
    - c. Hoe groter de weerstand, hoe kleiner de geleidbaarheid en hoe lager de stroomsterkte voor eenzelfde spanning
    - d. In een serieschakeling verdeelt de spanning zich en blijft de stroomsterkte gelijk. De spanning die de spanningsbron levert, is gelijk aan de som van de spanning over elk element.
    - e. In een parallelschakeling verdeelt de stroomsterkte zich en blijft de spanning gelijk. De stroomsterkte die de stroombron levert, is gelijk aan de som van de stroomsterkte in alle vertakkingen.

<sup>5</sup> De gebruikte lesmethode hanteert een model waarin elektronen beschouwd worden als energiedragers.

3. *Procedures*

- a. Schakelschema aflezen
- b. Stroomrichting bepalen
- c. Rekenen met spanning en stroom
  - i. Berekeningen maken met  $U_{bron,serie} = U_1 + U_2 + \dots$
  - ii. Berekeningen maken met  $I_{bron,parallel} = I_1 + I_2 + \dots$

4. *Factual*

- a. De spanning in huis is vaak 230 V. Over een batterij staat veelal een spanning van 1,5 tot 9,0 V, afhankelijk van het type
- b. In de meeste huizen is de stroomsterkte afgezekerd op 16 A per groep
- c. 1 V komt overeen met 1 J/C
- d. 1 A komt overeen met 1 C/s

## 3. Energieomzettingen bij opwekkingsvormen van elektriciteit analyseren (Buil, et al., 2019), (College voor Toetsen en Examens, 2021)

1. *Concepts*

- a. (Elektrische) energie
- b. Kerncentrale
- c. Conventionele (fossiele brandstof) centrale
- d. Waterkrachtcentrale
- e. Zonnecel
- f. Waterstof
- g. Windturbine
- h. Apparaat
- i. Generator
- j. Vermogen
- k. Rendement

2. *Principles*

- a. Energie kan omgezet worden van de ene vorm in de andere. Het kan niet gemaakt of gecreëerd worden
- b. Elektrische apparaten hebben elektrische energie nodig. Chemische energie uit een energiebron zoals fossiele brandstoffen wordt in een elektriciteitscentrale omgezet in elektrische energie. Ook zonne-, wind- en kernenergie en waterkracht kunnen in elektrische energie worden omgezet
- c. De elektrische energie die een apparaat verbruikt, wordt bepaald door de spanning die erover staat en de stroom die erdoor loopt.
- d. Het vermogen van een apparaat is de hoeveelheid energie die het per tijdseenheid gebruikt
- e. Sommige vormen van energie of vermogen zijn nuttig en andere zijn niet nuttig. Hoeveel van de energie of het vermogen nuttig gebruikt kan worden, is het rendement.

3. *Procedures*

- a. Rekenen met energie en vermogen
  - i. Berekeningen maken met  $P = E/t$
- b. Rekenen met vermogen, spanning en stroomsterkte
  - i. Berekeningen maken met  $P = UI$
- c. Omrekenen van een hoeveelheid energie in kWh naar J en andersom
- d. Berekeningen maken met rendement
  - i. Berekeningen maken met  $\eta = \frac{E_{nuttig}}{E_{totaal}} = \frac{P_{nuttig}}{P_{totaal}}$

4. *Factual*

- a. In 1 uur zitten 3600 seconden

*Step 3: Analyse context specification*

Zoals beschreven in de vorige sectie is dit in dit geval niet van toepassing.

*Step 4: Select/generate PBL problem*

Bart en Marijke willen een tiny house gaan bouwen. Per gemeente wordt een aantal eisen aan een tiny house gesteld. In de gemeente waar Bart en Marijke willen gaan bouwen, moet het tiny house volledig zelfvoorzienend zijn op het gebied van elektrische energie. Om dit voor elkaar te krijgen, hebben ze contact gehad met een lokaal bedrijf. Dit bedrijf verkoopt zonnecellen en kleine windmolens. Bart en Marijke willen weten of ze met zonne-energie, windenergie of een combinatie van de twee kunnen voldoen aan de eis van de gemeente. Ze hebben een budget van €2000,-.

Leerlingen krijgen bij de vraag een aantal documenten met de volgende gegevens:

- De specificaties van de zonnecel en de windmolen: het rendement waarmee ze zonne- of windenergie in elektrische energie kunnen omzetten, welk vermogen ze leveren en wat de minimale/maximale stroomsterkte is die ze leveren en de prijs per stuk;
- Informatie over de beschikbare energie/het beschikbare vermogen van de zon en de wind in de zomer en de winter
- Er is maar ruimte voor één windmolen. 15 m<sup>2</sup> aan dakoppervlak kan gebruikt worden voor zonnecellen, de oppervlakte van een zonnecel is 1,8 m<sup>2</sup>
- De apparaten die in het huis staan, inclusief de weerstand of het vermogen en schakelschema. Alle apparaten zijn aangesloten op een wisselspanningsbron van 230 volt.

*Step 5: Conduct PBL problem affordance analysis*

## 1. Het probleem begrijpen:

1. Situatie: Bart en Marijken moeten een keuze maken tussen een (combinatie van) zonnecellen en een windmolen om alle energie die hun tiny house nodig heeft, te leveren. Ze hebben een budget dat niet overschreden mag worden;
2. Gewenste eindsituatie: elke groep leerlingen brengt aan Bart en Marijke een advies uit over hoe ze het beste de benodigde energie kunnen opwekken. Dit doen ze op basis van een analyse van de vraag aan energie en vermogen, de eigenschappen van de zonnecellen en de windmolen en het budget en op basis van wetenschappelijke argumenten.

2. Oplossingsaspecten: leerling moeten inzien dat ten minste het volgende berekend/beredeneerd moet worden:
  1. De totale energievraag van het tiny house
  2. Het maximale vermogen dat door het tiny house gevraagd wordt
  3. Of zonnecellen aan deze 3 criteria kunnen voldoen, en zo ja: hoeveel zonnecellen nodig zijn en wat de totale kosten dan bedragen
  4. Of de windmolen aan deze criteria kan voldoen, zo ja hoeveel de totale kosten dan bedragen
  5. Of een combinatie van zonnecellen en de windmolen gebruikt kan worden, zo ja hoeveel zonnecellen er dan nodig zijn en wat de totale kosten dan bedragen
  6. Welke van de opties het beste is voor de situatie waar Bart en Marijke zich in bevinden.
3. Volledige uitwerking van het probleem
  - a. Leerlingen moeten het gegeven schakelschema aflezen. Voor elk apparaat moeten ze het vermogen berekenen op basis van de stroom-, spanning- en/of weerstandswaarden die gegeven zijn;
  - b. Daarna moet de energievraag van het tiny house bepaald worden. Hiervoor moet nagedacht worden over de tijdsperiode waarin elk apparaat vermogen moet leveren;
  - c. Op basis van het resultaat in stap A kan voor de zonnecel en de windmolen onderzocht worden of ze bruikbaar zijn voor het tiny house.
    - i. Op basis van het maximale vermogen kan voor de zonnecel gekeken worden hoeveel zonne-energie het in de zomer en winter kan omzetten in elektrische energie en daarmee hoeveel vermogen het kan leveren. Op basis van de maxime vraag naar vermogen kan gekeken worden hoeveel panelen er maximaal moeten komen. Tot slot kan de prijs van de zonnecellen berekend worden.
    - ii. Op basis van de gemiddelde windsnelheid in de zomer en de winter kan een  $(P, v)$ -grafiek worden afgelezen. Deze grafiek geeft het vermogen dat de windmolen voor een bepaalde windsnelheid kan leveren. Het minimale vermogen dat de windmolen kan leveren moet vergeleken worden met de vermogensvraag van het tiny house. Op basis hiervan kan de bruikbaarheid van de windmolen onderzocht worden. Leerlingen zullen erachter komen dat in zowel de winter als de zomer het geleverde vermogen van de windmolen kleiner is dan de vraag en dat daarmee alleen een windmolen geen optie is voor Bart en Marijke.
    - iii. Tot slot kan onderzocht worden of er een combinatie van zonnecellen en een windmolen gebruikt kan worden. Daartoe moet eerst worden gekeken naar hoeveel vermogen de windmolen levert en hoeveel er dan van de vraag nog resteert. Op basis daarvan kan – op soortgelijke wijze als in stap C.i – gekeken worden naar hoeveel zonnecellen er dan nog nodig zijn om aan de vraag te voldoen. Op basis hiervan kan een totaalprijs opgemaakt worden.
  - d. De analyse van stap C.i t/m C.iii levert twee mogelijke opties op: het tiny house kan volledig draaien op zonne-energie of op een combinatie



van zonne- en windenergie. In beide gevallen kan aan de vermogensvraag voldaan worden in zowel winter als zomer en in beide gevallen wordt het budget niet overschreven. Het is nu aan de leerlingen om hun advies aan Bart en Marijke te onderbouwen met wetenschappelijke argumenten: er moet minimaal gekeken worden naar de voordelen van de combinatie. Persoonlijke opvattingen mogen niet gebruikt worden.

4. Kennis waarop een beroep wordt gedaan gedurende het uitwerken van de vraag:
  1. *Concepts*
    - a. Parallelschakelingen
    - b. Stroomsterkte
    - c. Weerstand
    - d. Vermogen
    - e. Elektische-energie
    - f. Zonnecel
    - g. Windturbine/windmolen
    - h. Rendement
    - i. Wetenschappelijke argumenten
  2. *Principles*
    - a. In een parallelschakeling verdeelt de stroomsterkte zich en blijft de spanning gelijk. De stroomsterkte die de bron levert, is gelijk aan de som van de stroomsterkte in elke vertakking
    - b. Het vermogen van een apparaat wordt bepaald door de spanning die over staat en de stroom die erdoor loopt
    - c. Het vermogen van een apparaat is de hoeveelheid energie die het per tijdseenheid gebruikt
    - d. Sommige vormen van energie of vermogen zijn nuttig en andere zijn niet nuttig. Hoeveel van de energie of het vermogen nuttig gebruikt kan worden, is het rendement.
  3. *Procedures*
    - a. Schakelschema aflezen
    - b. Stroomrichting bepalen
    - c. Rekenen met spanning en stroom
      - Berekeningen maken met  $I_{bron,parallel} = I_1 + I_2 + \dots$
    - d. Rekenen met vermogen, spanning en stroomsterkte
      - Berekeningen maken met  $P = UI$
    - e. Rekenen met energie en vermogen
      - Berekeningen maken met  $E = P \cdot t$
    - f. Rekenen met rendement
      - Berekeningen maken met  $\eta = \frac{E_{nuttig}}{E_{totaal}} = \frac{P_{nuttig}}{P_{totaal}}$
    - g. Aflezen van een waarde in een grafiek
    - h. Stellingen analyseren
    - i. Bronnen controleren
  4. *Factual*
    - a. In één uur zitten 3600 seconden
    - b. Een "argument" is dat wat je aanvoert ter ondersteuning van en bewering



- c. “Wetenschappelijk” houdt in dat iets volgens de methoden van de wetenschap gebeurt of dat het gebaseerd is op bewezen feiten en geldige verbanden
- d. Een ‘opvatting’ is een mening, oordeel of denkbeeld
- e. De zon levert een vermogen van 1200 W/m<sup>2</sup> in de zomer en 900 W/m<sup>2</sup> in de winter
- f. Het rendement van de zonnecel is 0,09%
- g. De windmolen levert een vermogen van 5,1 W in de zomer en 13 W in de winter bij een windsnelheid van resp. 3,5 m/s en 7,7 m/s
- h. Het vermogen van de koelkast, Boiler, TV en verlichting is resp. 16 W, 8 W, 14 W en 3,4 W
- i. De stroom die door de ‘overige’ apparaten loopt is gemiddeld 117 mA
- j. De koelkast, boiler en overige apparaten vragen voortdurend hetzelfde vermogen. De TV staat gemiddeld 8 uur per dag aan en de verlichting staat in de winter en zomer gemiddeld resp. 7 en 3 uur per dag aan
- k. Er is 5,0 m<sup>2</sup> aan dakoppervlak beschikbaar voor zonnecellen. Er is ruimte voor maximaal 1 windmolen.

5. Probleemoplossingsvaardigheden waarop een beroep wordt gedaan

1. Identificeren van de gegeven informatie
2. Identificeren van welke gegevens ontbreken
3. Bepalen van de leervraag
4. Antwoord zoeken op een leervraag
5. Oplossing uitwerken
6. Oplossing toetsen aan criteria
7. Voor- en nadelen van duurzame energie onderzoeken

Het laatste onderdeel van stap 5 is de analyse van de *connection* tussen dit probleem en de rest van het curriculum. Omdat het curriculum alleen uit deze vraag bestaat, is dit onderdeel overbodig.

*Step 6: conduct correspondence analysis*

**Tabel 6** vergelijkt de gestelde leerdoelen met de leerdoelen die nodig zijn voor het oplossen van het vraagstuk. In de kolommen aan de linkerkant staan de leerdoelen zoals in stap 2 beschreven, met een korte beschrijving. Tevens staat aangegeven of het leerdoel een *concept*, *principle*, *procedure* of *factual knowledge* omvat. In de bovenste rij staan de aspecten van de oplossing van het probleem omschreven. Elk kruisje in de tabel geeft aan of het leerdoel behandeld wordt in het oplossingsaspect.

Op basis van de *correspondence analysis* kunnen twee C’s uit het 3C3R-model gekalibreerd worden. Om te beginnen wordt naar de *content* gekeken. De volgende conclusies kunnen hierover getrokken worden:

- Op 30 van de 48 gestelde leerdoelen (~63%) wordt in meer of mindere mate een beroep gedaan tijdens het oplossen van het vraagstuk;
- Alle aspecten van het leerdoel *waarden en oordelen* komen aan bod tijdens het volledig oplossen van het vraagstuk;
- Bij het leerdoel *stroomkringen analyseren* komen de volgende aspecten niet aan bod tijdens het volledig oplossen van het vraagstuk:
  - De *concepts* serieschakeling en weerstand

- De *principles* spanning, weerstand, totale spanning in een serieschakeling
- De *procedures* stroomrichting bepalen, totale spanning in een serieschakeling berekenen
- De *facts* over de veelvoorkomende spanningswaarden, de stroomsterkte waarop groepen in huis vaak zijn afgezekerd en de relaties tussen de eenheden V, J, C en s
- Bij het leerdoel *Energieomzettingen en opwekkingsvormen analyseren* komen de volgende aspecten niet aan bod tijdens het volledig oplossen van het vraagstuk:
  - De *concepts* kerncentrale, conventionele centrale, waterkrachtcentrale, waterstof, generator
  - De *principles* energiebehoud
  - De *procedures* kWh omrekenen naar J en het vermogen

Een tweede aspect dat geanalyseerd moet worden, gaat over de *context*. De vraag hierbij is volgens Hung vooral of de context authentiek en professie-specifiek genoeg is. Met andere woorden: is dit wat de professionals ook zouden doen? Omdat niet alle leerlingen natuurkunde gaan kiezen, is het niet noodzakelijk dat dit probleem inzicht geeft in hoe een mogelijk werkveld eruit ziet: het professie-specifieke aspect van de vraag is daarmee van ondergeschikt belang aan hoe authentiek het probleem is. Dat het probleem authentiek moet zijn, is ook opgenomen als eis in het hoofdstuk **Ontwerpeisen en leerdoelen**. Deze en andere eisen worden hieronder verder geanalyseerd.

1. Het probleem moet authentiek zijn  
Het probleem is gesitueerd in een realistische context: tiny houses en hun energievoorziening zijn voorbeelden van problemen uit de echte wereld. De vraag om advies te geven over een probleem is tevens realistisch, maar past vooral bij een specifieke beroepsgroep, niet bij een algemeen publiek. Waarderen en oordelen over duurzame energie en feiten onderbouwen met bronnen is echter wel een activiteit die van het algemene publiek verwacht mag worden.
2. Het probleem moet aangepast zijn aan de voorkennis van de leerlingen  
De vraag is voldoende aangepast aan de voorkennis van de leerlingen met betrekking tot de vakinhoudelijke leerdoelen. Het leerdoel met betrekking tot waarderen en oordelen is op laag niveau ingeschaald omdat de voorkennis van leerlingen op dit gebied niet bekend is. Desondanks biedt de vraag – zeker gezien de beschikbare werktijd – voldoende uitdaging voor leerlingen, zelfs als hun voorkennis over waarderen en oordelen de vraag overstijgt.
3. Het probleem moet discussie ontlokken  
De vraag (specifiek de aspecten die betrekking hebben op de berekeningen aan energie en vermogen) is op meerdere manieren op te lossen, en doet beroep op meerdere aspecten van de kennis en vaardigheden die de leerlingen in de lessen aangereikt hebben gekregen. Dit zou ertoe moeten leiden dat er discussie over de beste manier ontstaat. Daarnaast levert een correcte uitwerking van het probleem twee alternatieve oplossingen op: discussie over welke oplossing de beste is, wordt verwacht. Omdat de vraag bewust pragmatisch wordt ingezet met betrekking tot de vakinhoud, wordt uitvoerige discussie over concepten niet verwacht.
4. Het probleem moet de leerlingen in staat stellen eigen leerdoelen te formuleren  
De vraag laat ruimte om zelf leerdoelen te formuleren, maar dit uit zich vooral wanneer leerlingen gebreken identificeren die ze nodig hebben om de vraag

te beantwoorden. Grote mate van vrijheid, zoals bedoeld door onder andere Schmidt, is hier niet aan de orde. Desgewenst kunnen leerlingen hun studie over de voor- en nadelen van (een combinatie van) zonne- en windenergie uitbreiden door uit te zoeken hoe zonnecellen of windmolens werken, maar dit is geen onderdeel van de leerdoelen van de vraag.

5. Het probleem moet een open einde hebben  
De vraagstelling is open
6. Het probleem moet op te knippen zijn in kleinere problemen  
Het is in één opslag niet duidelijk wat het juiste antwoord is. Er kan een verdeling in kleinere problemen gemaakt worden: eerst moet het vermogen berekend worden, dan moet de energievraag berekend worden, etc. Daarnaast kan er desgewenst voor gekozen worden om het rekenwerk parallel aan de studie over de voor- en nadelen uit te voeren.

**Tabel 6:** de 'correspondence analysis' van het conceptprobleem. Een gekleurde cel geeft aan dat het leerdoel in het oplossingsaspect gebruikt kan worden.

		oplossingsaspect					
		1. Totale energievraag berekenen	2. Maximale vermogen berekenen	3 tm 5. Analyse opwekkingsvormen	6. Oordeel vellen over beste optie		
Leerdoel	Waarderen en oordelen	conc	1.1.a Argument				
			1.1.b feit				
			1.1.c pers. opvatting				
		Proc	1.2.a stelling analys				
			1.2.b bronnen control				
			1.2.c bronnen vermelden				
		Fact	1.3.a def 'argument'				
			1.3.b def 'feit.'				
			1.3.c def 'opvatting'				
	Stroomkringen analyseren	conc	2.1.a serieschakeling				
			2.1.b parallelschak				
			2.1.c spanning				
			2.1.d stroomsterkte				
			2.1.e weerstand				
		prin	2.2.a spanning				
			2.2.b stroomsterkte				
			2.2.c weerstand				
			2.2.d U in serie				
			2.2.e I in parallel				
		proc	2.3.a schakelschem				
			2.3.b stroomrichting				
			2.3.c.i Utot serie				
			2.3.c.ii Itot parallel				
			2.4.a spanningswaard				
	Fact	2.4.b zekeringsstroom					
		2.4.c $V = J/C$					
		2.4.d $I=C/s$					
	Energieomzettingen en opwekkingsvormen analyseren	conc	3.1.a elektrische ener				
			3.1.b kerncentrale				
			3.1.c Conv. Centrale				
			3.1.d waterkracht				
			3.1.e zonnecel				
			3.1.f waterstof				
			3.1.g windturbine				
			3.1.h apparaat				
			3.1.i generator				
			3.1.j vermogen				
			3.1.k rendement				
		prin	3.2.a energiebeh				
			3.2.b energie omz				
3.2.c energie, stroom							
3.2.d vermogen, tijd							
3.2.e rendement							
proc		3.3.a.i $P=E/t$					
		3.3.b.i $P=UI$					
		3.3.c kWh <> J					
		3.3.d.i $n=En/Et$					
Fact		3.4.a 1h=3600s					

*Step 7: Conduct calibration process*

Aan de hand van de analyse uit stap 6 kunnen op het gebied van *content*, *context*, *researching* en *reasoning* de volgende conclusies getrokken worden:

*Content*

Een belangrijk punt dat opvalt is dat de vraag geen beroep doet op kennis en vaardigheden van leerlingen die te maken hebben met het rekenen aan serieschakelingen. Dit is een gevolg van de keuze om het schakelschema realistisch te houden: in een huisinstallatie zijn apparaten doorgaans parallel geschakeld. Ook weerstand wordt niet behandeld, noch het concept, noch het principe. Dit volgt uit de methode die gebruikt wordt in de klas (Buil, et al., 2019): de wet van Ohm is nog niet behandeld. Spanning als concept wordt niet behandeld in de vraag, wel wordt er beroep gedaan op het principe dat het aan vermogen relateert. Tot slot is er aantal concepten binnen het leerdoel energieomzettingen en opwekkingsvormen die niet behandeld worden: dit is wederom een gevolg van de keuze de vraag zo realistisch mogelijk te maken. In het tuintje van een tiny house past geen kern- of waterkrachtcentrale: doorgaans zoeken mensen voor commerciële vormen van duurzame energie naar zonne- en windenergie. Daarnaast wordt er geen beroep gedaan op de procedure die leerlingen vraagt kWh naar J om te rekenen. Er is op basis van de vraagstelling geen directe reden om dit niet te doen, maar er is gekozen om dit achterwege te laten totdat energie als concept verder uitgediept is.

Ik heb ervoor gekozen de inhoud die behandeld wordt, niet verder aan te passen. Het is niet noodzakelijk om alle leerdoelen in één vraag terug te laten komen: op de eerste plaats is dat geen vereiste aan een PGO-probleem en op de tweede plaats wordt voor PGO vaak een aantal lessen tot een hele periode uitgetrokken waarin leerlingen aan meerdere problemen werken. In deze lessenreeks is slechts tijd voor één probleem. Er is simpelweg geen tijd om alle leerdoelen in deze serie aan bod te laten komen.

*Context*

Het probleem en de context waarin die aan leerlingen wordt aangeboden, sluiten aan bij de ontwerpisen die zijn gesteld op basis van de literatuur. Het probleem is authentiek, realistisch en aangepast aan de voorkennis van leerlingen. Daarnaast ontlokt het discussie, heeft het een open einde en is het op te knippen in kleinere problemen. Een eis waarin maar in matige mate aan is voldaan, is dat het probleem leerlingen in staat moet stellen om zelf leerdoelen te definiëren. Dit kunnen ze alleen doen binnen de gestelde leerdoelen van de vraag. Als voorbeeld: een leerling die niet kan rekenen aan parallelschakelingen zal zich dit als leerdoel stellen en dit opzoeken in het boek. Dit is echter niet de vrijheid die Schmidt voor ogen had. Idealiter krijgt de leerling ruimte om binnen de context van de vraag zelf een leerdoel te stellen en dit uit te werken, maar de oplossing van het probleem is dermate geprogrammeerd dat hier geen ruimte voor is.

Er kan voor gekozen worden om leerlingen meer ruimte te bieden met betrekking tot hun leerdoelen. Een manier om die ruimte te creëren is door de zonnecel en windmolen met bijbehorende specificaties los te laten en leerlingen zelf naar geschikte oplossingen te laten zoeken op basis van de energievraag van het tiny house. Er zijn echter twee nadelen van deze optie aan te wijzen: 1) het leerdoel *waarderen en oordelen* zoals omschreven staat in de examensyllabus vraagt specifiek dat kandidaten een beargumenteerd oordeel kunnen geven over een situatie of een beargumenteerde keuze kunnen maken tussen alternatieven in een natuurwetenschappelijke context. Zelf deze opties of alternatieven aandragen valt daar niet onder en 2) het binnen een uur begrijpen van de vraag, uitwerken van de energievraag en op zoek gaan naar een oplossing is een uitdagende opdracht voor leerlingen die beroep doet op hun zelfsturende vermogen. Beargumenteren wat beter

is valt in de herziende taxonomie van Bloom onder evalueren (niveau 5) terwijl zelf aandragen of ontwerpen van de energievoorziening – afhankelijk van de diepgang en originaliteit van de leerlingen – onder creëren (niveau 6) zou kunnen vallen (Anderson, Krathwohl, & Bloom, 2001). Het is niet bekend of ze deze uitdaging aankunnen of dat ze erdoor gedemotiveerd raken. Om deze redenen is er niet gekozen om dit alternatief in te voeren.

In plaats daarvan is besloten om een compromis te sluiten: leerlingen moeten nog steeds een beargumenteerde keuze maken tussen (een combinatie van) een zonnecel en windmolen, maar de vraag wordt uitgebreid om ze de mogelijkheid te geven om – binnen de context van de vraag – zelf een leerdoel uit te werken. Om hiervoor ruimte te maken wordt de manier waarop informatie wordt aangeboden, aangepast: door de informatie iets overzichtelijker (maar nog steeds weinig gestructureerd) aan te bieden hoeven leerlingen minder lang stil te staan bij het uitrekenen van de energiebehoefte. Hier valt bijvoorbeeld onder dat leerlingen niet langer de  $(P, v)$ -grafiek hoeven af te lezen om het geleverde vermogen van de windmolen te bepalen: het aflezen van grafieken was om te beginnen al geen leerdoel voor dit probleem, dus dit kan zonder te veel implicaties weggelaten worden. Deze tijd kunnen ze dan aan hun 'keuzevraag' besteden.

#### *Researching*

Op onderzoeksvaardigheden wordt in de vraag een beroep gedaan: leerlingen moeten de voor- en nadelen van zonne- en windenergie gaan opzoeken. Er wordt echter niet van ze verwacht dat ze uitvoerig onderzoek doen, tot in detail hun bronnen controleren en er een echte studie van maken. Wel moeten ze hun informatie selecteren, zodat ze hun keuze niet baseren op persoonlijke opvattingen. Daarmee is – gezien de tijd en de ervaring die leerlingen hiermee hebben – de component *researching* voldoende opgenomen in de vraag.

#### *Reasoning*

Hung beschrijft het gedrag dat onder *Reasoning* valt vooral als: "(...) learners must analyze information and generate and test hypotheses and solutions tot heir problems", waarbij Hung expliciet de koppeling met *scientific enquiry* maakt. Tijdens het oplossen van dit vraagstuk komt *scientific enquiry* in die hoedanigheid niet aan de orde. Er ligt wel nadruk op de analyse van informatie: er is gekozen om deze gefragmenteerd (ongeorganiseerd, in meerdere brokjes in verschillende documenten) aan te bieden aan de leerlingen om de juiste weg naar het antwoord langer verborgen te houden. Op basis van deze informatie én op basis van eigen onderzoek moeten leerlingen vervolgens hun oplossing gaan formuleren. Twee aspecten van *scientific enquiry* die in het probleem niet expliciet aan de orde komen, zijn het formuleren van een hypothese en het toetsen van die hypothese. Omdat dit oorspronkelijk ook niet als leerdoel is opgenomen, is het geen probleem dat het gehele proces niet wordt behandeld in de vraag.

#### *Step 8: Construct reflection component*

Reflectie (of beoordeling) van het werk vindt in dit geval plaats door middel van een sumatieve toetsing aan het einde van de module, hoewel formatieve toetsing gedurende de module de voorkeur verdient. De belangrijkste reden hiervoor is – wederom – tijd. In één les tijd moeten 5-6 groepen het grootste deel van het PGO-proces doorwerken. Er zijn 2 begeleiders beschikbaar die alle groepen moeten begeleiden én tegelijkertijd de lessen moeten observeren: communiceren wordt immers tijdens het werken aan het probleem beoordeeld. Er is geen tijd om met alle groepen tijdens hun proces formatief te evalueren. Een tweede reden heeft te maken met de harde scaffolding die de leerlingen aangereikt krijgen: het is een kleine stap



om hier een werkblad van te maken dat ze kunnen in- en aanvullen zodat op basis daarvan een cijfer kan worden toegekend.

*Step 9: Examine the inter-supporting relationships of 3C3R-components*

Voorgaande stappen hebben gekeken naar *content*, *context* en *connection* (de 'kern', volgens Hung) en *reasoning*, *researching* en *reflection* (het 'proces' volgens Hung). In deze laatste analysestap wordt gekeken of de zes onderdelen onderling de juiste structuur hebben. Zoals eerder beschreven is *connection* voor deze module niet relevant omdat dit probleem het enige probleem is waar aan gewerkt zal worden. Verdere connecties met curriculum zijn in de definitie en keuze van de leerdoelen al afgevangen. Om de overige onderdelen te analyseren, is een tabel gemaakt naar het voorbeeld van Hung (zie **Tabel 7**). Op basis van die tabel kunnen drie aandachtspunten geïdentificeerd worden:

1. Uit de vraag blijkt nog niet goed dat leerlingen iets moeten opzoeken. Bij het correct uitwerken van de vraag krijgen ze twee alternatieven, maar op basis waarvan ze precies hun keuze moeten maken, is niet genoemd. Leerlingen die de vraag niet correct uitwerken en bijvoorbeeld een reken- of denkfout maken, zouden tot de conclusie kunnen komen dat er maar één mogelijkheid is en op basis daarvan misschien niet eens tot het inzicht komen dat er nog wat moet worden uitgezocht. De vraag moet dusdanig aangepast worden dat het duidelijk is dat er een informatievraag bestaat, zonder die vooraf te concreet te maken. Er wordt gekozen om dit in de harde scaffolding te verwerken.
2. De beoordeling van de opdracht zal vooral gebaseerd zijn op wat de leerlingen inleveren. Het proces wordt geobserveerd door de begeleiders, maar daar is verder binnen de beoordeling geen rekening mee gehouden. Wel is ervoor gekozen om – indien nodig – te differentiëren in het groeps cijfer.
3. Uit de harde scaffolding die leerlingen krijgen moet blijken waarop ze beoordeeld worden. Hierbij moet rekening gehouden worden met aandachtspunt 2. Op die manier kunnen ze hun processen sturen.

**Tabel 7:** onderlinge relaties tussen de kern van het probleem en het proces dat de leerlingen doorlopen.

	Content	Context
Researching	Uit <i>researching</i> zou de kennis over <i>content</i> moeten volgen. Dit is deels het geval: de energiebehoefte bepalen vereist weinig tot geen <i>research</i> , maar het uitzoeken van de voor- en nadelen wel.	De <i>context</i> dient <i>researching</i> te leiden. Dat wil zeggen: uit de context moet duidelijk zijn wat onderzocht dient te worden. Op dit moment blijkt uit de context nog niet duidelijk dat de leerlingen op zoek moeten naar voor- en nadelen van zonne- en windenergie.
Reasoning	De <i>content</i> die leerlingen geleerd hebben moet door <i>reasoning</i> verwerkt en toegepast worden. Deze relatie komt vooral in het bepalen van de energiebehoefte tot uiting, waar leerlingen aan parallelschakelingen en met energie en vermogen moeten rekenen.	De <i>context</i> moet richting geven aan de <i>reasoning</i> . De leerlingen kunnen uit de context halen wat ze moeten doen om te bepalen hoe de energievoorziening gerealiseerd moet worden: hiervoor moeten ze bijvoorbeeld de gegeven informatie combineren met het schakelschema.
Reflection	Door <i>reflection</i> moet de mate van toepassing en verwerking van kennis getoetst worden. Leerlingen reflecteren zelf door aan het probleem te werken: wat ze niet weten kunnen ze aan groepsgenoten vragen of opzoeken. De beoordeling van het werk zal vooral gericht zijn op het eindresultaat en in mindere mate op het proces. Hier is ruimte voor verbetering	Uit <i>context</i> moet blijken op welke aspecten <i>reflection</i> betrekking gaat hebben: leerlingen moeten kunnen opmaken waarop ze beoordeeld gaan worden. Dit moet duidelijk worden op basis van de harde scaffolding die ze krijgen.

#### 5.4 Beschrijving van het ontwerp

Al het materiaal dat ontworpen is voor dit onderzoek is te vinden in de bijlage (**Leerlingmateriaal** en **Lesmateriaal**). De module start met een halve les (30 minuten) over probleemoplossen en de filosofie achter PGO, maar ook het gebruik van bronnen wordt besproken voor het leerdoel waarderen en oordelen. Deze les wordt ondersteund met een powerpointpresentatie, een stappenplan en een uitgewerkte voorbeeldvraag voor leerlingen (gebaseerd op het werk van Hung).

Er is voor gekozen om leerlingen een groepslogboek bij te laten houden en ze op basis hiervan te beoordelen. Op die manier hangt de beoordeling van hun proces niet alleen afhangt van wat de docent wel of niet gezien heeft. Daarnaast levert het logboek een bijdrage voor de beoordeling van het leerdoel schriftelijk communiceren. Bij de voorbeeldvraag wordt een fictief logboek geleverd zodat leerlingen kunnen zien wat er van ze verwacht wordt op dit vlak. Een groepspresentatie aan *peers* is een veelgebruikt alternatief binnen PGO, maar er is gezien de beperkte tijd voor de uitvoering voor gekozen hier geen gebruik van te maken.

Leerlingen krijgen na deze instructiefase het leerlingmateriaal. Dit bestaat uit vier documenten:

- Een fictieve e-mail van Marijke die om hulp vraagt met de energievoorziening van haar tiny house;
- Een bijlage van Marijke met daarin informatie over hun tiny house;
- Een nieuwsartikel (Melchers, 2021) over het kleinschalig opwekken van duurzame energie;
- Een fictief gegevensblad van een fictief zonnepaneel;
- Een fictief gegevensblad van een fictieve windmolen.

Er wordt van leerlingen verwacht dat ze het stappenplan dat ze gekregen hebben volledig doorlopen en hun proces kort en bondig in een logboek optekenen. Alle berekeningen en opgezochte informatie moet in dit logboek terug te vinden zijn, conform de standaard die tijdens de introductieles gesteld is. Leerlingen moeten vervolgens een e-mail terugsturen aan Marijke waarin ze haar vragen beantwoorden. Deze twee zaken – de e-mail en het logboek – worden vervolgens beoordeeld.

Tot slot is er een rubriek opgesteld die gebruikt wordt bij de beoordeling van het leerlingwerk. Tijdens het ontwerpen van de rubriek is ervoor gekozen om de leerdoelen zoveel mogelijk en waar mogelijk apart te toetsen. Op die manier zijn de vakinhoudelijke leerdoelen gescheiden van de leerdoelen met betrekking tot waarderen en oordelen en communiceren. Bij het toekennen van scorepunten is de maximale score zodanig verdeeld tussen de leerdoelen, dat leerlingen alleen een 6,0 of hoger kunnen scoren als ze voor meer dan één van de leerdoelen redelijk scoren.

Naast het PGO-materiaal is er – in het kader van dit onderzoek – ook een enquête voor leerlingen opgesteld waarin gevraagd wordt naar hun ervaring met de werkvorm. Deze enquête bestaat uit twintig schaalvragen, die grotendeels gebaseerd zijn op het werk van Simons en Klein. Een kleiner deel van de vragen is specifiek gerelateerd aan de mate waarin leerlingen zelf vinden dat ze de leerdoelen eigengemaakt hebben. Er is gekozen voor 19 schaalvragen en 1 open vraag. De schaalvragen poseren een stelling en de leerlingen kunnen invullen of ze het daar helemaal mee oneens, een beetje mee oneens, een beetje mee eens of helemaal mee eens zijn. Er is gekozen voor 4 gradaties, zodat de leerlingen expliciet moeten kiezen tussen (een beetje) eens of oneens. Ze kunnen niet voor 'neutraal' kiezen. Ze konden wel aangeven dat een stelling op hen niet van toepassing is.



## 5.5 Review van het ontwerp

Voorafgaand aan de implementatie van het ontwerp, is het ontwerp gereviewd. Dit is gedaan aan de hand van het programma van eisen, maar ook aan de hand van korte gesprekken met collega's. Deze paragraaf bespreekt de resultaten van de review.

### 5.5.1 Review leerlingmateriaal aan de hand van de eisen

Hieronder wordt voor elk van de 16 ontwerp-eisen kort beschreven of het ontworpen materiaal aan de eis voldoet.

1. De lessenserie bestaat uit maximaal 3 lessen van 60 minuten  
*Aan deze eis is voldaan, hiermee is rekening gehouden in onder andere de indeling van de module, de keuze van de (hoeveelheid) leerdoelen en de beoordelingsmethode.*
2. Het probleem waaraan leerlingen werken, moet authentiek zijn  
*Aan deze eis is voldaan. Het probleem is zo realistisch mogelijk gemaakt en past bij de beleveniswereld van de leerlingen omdat het aansluit bij de actualiteit.*
3. Het probleem waaraan leerlingen werken, moet aangepast zijn aan de voorkennis van leerlingen  
*Aan deze eis is voldaan. De grote mate harde scaffolding en de selectie in leerdoelen maakt dat deze vraag geschikt is voor 3-havoleerlingen.*
4. Het probleem waaraan leerlingen werken, moet discussie ontlokken  
*Aan deze eis is voldaan. Door drie – op het eerste oog – gelijkwaardige alternatieven te bieden en te vragen naar de beste oplossing, is ruimte voor discussie ingebouwd.*
5. Het probleem waaraan leerlingen werken, moet leerlingen in staat stellen om hun eigen leerdoelen te formuleren  
*Aan deze eis is voldaan. De leerlingen werken aan een voorgelegd probleem dat door de harde scaffolding duidelijke vragen oproept. Ze hebben echter ook ruimte voor eigen inbreng bij het zoeken naar voor- en nadelen. Het staat leerlingen vrij om hierin te onderzoeken wat ze interessant vinden: kosten, productie van zonnepanelen, duurzaamheid, efficiëntie, etc.*
6. Het probleem waaraan leerlingen werken, moet een open einde hebben  
*Aan deze eis is voldaan. Het antwoord is afhankelijk van het proces dat de leerlingen doorlopen. Er is niet één eenduidig antwoord.*
7. Het probleem waaraan leerlingen werken, moet op te knippen zijn in kleinere problemen  
*Aan deze eis is voldaan. De vakinhoudelijke berekeningen staan los van het oordelen over de situatie, er is een eigen volgorde en taakverdeling te definiëren.*
8. Bij het probleem moeten maximaal 5 bronnen geleverd worden die de leerlingen kunnen gebruiken om het probleem op te lossen  
*Aan deze eis is voldaan. Er worden, naast het document met de probleemstelling, 4 documenten aangeleverd. Deze documenten volstaan als bronnen om het probleem op te lossen, maar er is ruimte voor leerlingen om zelf verder te zoeken.*
9. Bij het probleem moet verplichte harde scaffolding aangeleverd worden  
*Aan deze eis is voldaan. Het stappenplan en de voorbeelduitwerking, gecombineerd met de duidelijke vraag van Marijke, biedt voldoende houvast voor leerlingen om zelfstandig aan de slag te gaan.*
10. In de module moet aandacht zijn voor de filosofie achter PGO en het bijbehorende proces

*Aan deze eis is voldaan. In de introductieles wordt aandacht besteed aan de motivatie van PGO en krijgen leerlingen het stappenplan aangeleerd.*

11. Leerlingen moeten tijdens het uitvoeren van de module zo veel mogelijk zachte scaffolding krijgen  
*Aan deze eis is nog niet voldaan. Op basis van het ontworpen materiaal kan geen garantie gegeven worden voor het aanbieden van zachte scaffolding.*
12. Leerlingen moeten tijdens de module gericht schriftelijke informatie uitwisselen met anderen  
*Aan deze eis is voldaan. Leerlingen moeten hun proces schriftelijk beschrijven en ze moeten een e-mail opstellen voor hun fictieve opdrachtgever.*
13. Leerlingen moeten tijdens de module een beargumenteerd oordeel geven over een situatie waarin natuurwetenschappelijke kennis een rol speelt, dan wel een beargumenteerde keuze maken tussen alternatieven bij vraagstukken van natuurwetenschappelijke aard  
*Aan deze eis is voldaan. Ze krijgen alternatieven voor het opwekken van energie aangeboden en moeten beargumenteren welke het beste is op basis van berekeningen en opgezochte informatie. Ze krijgen in de introductieles uitgelegd op welke manier dat van ze verwacht wordt.*
14. Leerlingen moeten tijdens de module stroomkringen analyseren  
*Aan deze eis is voldaan. Een deel van de vakinhoudelijke berekeningen gaan gepaard met het analyseren van een gegeven stroomkring.*
15. Leerlingen moeten tijdens de module energieomzettingen bij verschillende opwekkingsvormen van elektriciteit beschreven, en deze opwekkingsvormen vergelijken ten aanzien van duurzaamheid en energiedichtheid  
*Aan deze eis is niet volledig voldaan. Hoewel leerlingen twee verschillende opwekkingsvormen van energie moeten vergelijken, hoeven ze het omzettingsproces zelf niet te beschrijven. De vergelijking die van ze verwacht wordt, is ook niet gespecificeerd naar duurzaamheid of energiedichtheid. Echter is, zoals in de paragraaf **Vakinhoudelijke leerdoelen** besproken, het niet noodzakelijk dat ze al aan de gehele exameneis hoeven te voldoen (zie ook ontwerp 3). De notie dat energie op twee manieren opgewerkt kan worden en een kleine studie naar de voor- en nadelen, is in dit geval genoeg.*
16. Het werk van leerlingen moet met een cijfer beoordeeld kunnen worden.  
*Aan deze eis is voldaan. Leerlingen dienen hun antwoord op de mail en een logboek in te leveren, dat aan de hand van een rubriek beoordeeld zal worden met een cijfer.*

### 5.5.2 Review door docenten

Het ontwikkelde leerlingmateriaal is aan drie docenten voorgelegd met de vraag het door te kijken en te voorzien van verbeterpunten. De docenten waren over het algemeen enthousiast, vooral de toon van de opdracht schatten ze in als motiverend voor de leerlingen ("Ik denk dat de leerlingen het wel waarderen dat er beroep op ze wordt gedaan, dat ze iemand kunnen helpen."). Er zijn drie verbeterpunten aangedragen die uiteindelijk tot een verandering in het leerlingmateriaal hebben geleid:

- Het standaardlettertype in de eerste versie van het leerlingmateriaal was het lettertype Candria. Een van de docenten wees er uit persoonlijke ervaring op dit lettertype niet prettig is voor mensen met dyslexie. Er is voor gekozen om het standaardlettertype te veranderen naar Arial;
- In de eerste versie van het leerlingmateriaal moesten leerlingen het opgewekte vermogen van de zonnepanelen en de windmolen berekenen of bepalen met respectievelijk de zonneconstante en het rendement of door gebruik van de gemiddelde windsnelheid een  $(P, v)$ -diagram. Daarnaast werd er in deze versie nog een verschil gemaakt tussen het zomer- en winterseizoen en de tijdsduur waarin bepaalde apparaten gebruikt werden. De vakdocent heeft aangegeven dat hij dit als een stap te ver inschatte voor deze klas. In de definitieve versie van het leerlingmateriaal zijn deze stappen weggelaten;
- In de eerste versie van het leerlingmateriaal heeft Marijke de leerlingen nog een budget opgelegd als selectiecriteria. Een van de docenten merkte op dat het misschien beter was om dit niet te noemen om twee redenen: ten eerste was het bedrag niet realistisch, maar daarnaast perkt het de leerlingen ook in: “Als een van de doelen van PGO is om leerlingen zelf naar informatie te laten zoeken en interesses uit te werken, waarom zou je ze dan verplichten om ze het financiële plaatje uit te laten werken?”. In de definitieve versie van het materiaal is deze eis weggelaten.

## 6 Implementatie van het ontwerp

Na het maken en controleren van het ontwerp is de module uitgetest bij de 3-havoklas. De lessen hebben plaatsgevonden op 6 juni tussen 10:35-11:35, de tweede op 7 juni tussen 11:35-12:35 en de laatste op 13 juni tussen 10:35-11:35. Direct na de uitvoering, op 13 juni, is er bij de leerlingen een enquête afgenomen. Een week later, op 21 juni, is er met een aantal leerlingen nog een aanvullend interview gehouden en heeft de vakdocent een korte, schriftelijke review opgesteld. Dit hoofdstuk vat de data die op deze momenten verzameld is samen, om zo een beeld te geven van hoe de module is geïmplementeerd en hoe die is ontvangen door zowel leerlingen als de vakdocent.

### 6.1 Lesverloop

Bij iedere les waren zowel de vakdocent als ikzelf aanwezig. Er was onderling besproken dat ik het voortouw zou nemen in de instructie naar de leerlingen toe en dat we beiden de leerlingen zouden coachen terwijl ze aan het probleem werkten. Omdat de vakdocent naast natuurkunde ook het vak onderzoeken & ontwerpen geeft, was hij reeds bekend met de coachende docentstijl die in de paragraaf **Begeleiding van het leerproces** besproken is. Een uitgebreid verslag van iedere les is te vinden in de bijlage (**Verslagen lesverloop**), deze paragraaf zal kort de meest opvallende punten samenvatten.

De instructie van het PGO-proces verliep volgens plan. De behandelde stof komt overeen met de stof in het ontwerp, maar is ook deels uitgebreid. Een korte voorbereiding van ongeveer 5 minuten aan het begin van de les om mezelf voor te stellen, werd gevolgd door een wat langere voorbereiding over de context van deze werkvorm. Naast de PGO-filosofie is de leerlingen ook verteld dat ze met PGO aan de slag gingen omdat het deel is van mijn afstudeeronderzoek en wat daarbij komt kijken. Vooral het tekenen van het toestemmingsformulier is belangrijk.

Na de instructiefase zijn de leerlingen gestart met het uitwerken van het probleem. De vakdocent had de klas vooraf in 6 groepen ingedeeld (vier van vijf leerlingen, twee van vier). Het kostte in het begin veel sturing om de leerlingen aan het werk te krijgen, maar toen ze eenmaal in hun groepjes zaten en het materiaal doorgekeken hadden, gingen de meesten aan de gang. Wat opviel is hoe snel de groepen uiteenliepen, zowel in algehele werkhouding als in specifieke aanpak. Na een halfuur was het tijd om de eerste les af te sluiten en konden de vakdocent en ik de balans opmaken. Sommige leerlingen moesten wat meer aan het werk gezet worden, anderen liepen redelijk op schema. Uit de gesprekken met de groepjes en hun resultaten bleek ook dat het nog niet voor iedereen duidelijk was wat er nu precies van hen verwacht werd.

Aan het begin van de tweede les is kort (5 minuten) besteed om de leerlingen naar rechts te richten met een korte samenvatting van onze observaties. Specifiek heb ik ze aangegeven dat de meerderheid goed bezig was, maar dat de samenwerking in een aantal groepjes beter kan. Daarnaast heb ik ze aangemoedigd om hun eigen proces te volgen, omdat er meerdere mogelijkheden zijn. Tot slot heb ik ze een concrete verwachting meegegeven over welke stappen ze ongeveer af moeten hebben op welk moment. Dit is de daaropvolgende inzet van leerlingen ten goede

gekomen. De rest van de les hebben ze verder gewerkt, en bij de groepen waar de samenwerking wat minder goed verliep, ging dit nu beter. Ook de logboeken werden nu beter bijgehouden. De differentiatie tussen groepen nam toe, zowel in hoe snel ze door het proces gingen, maar ook in onderwerpen die ze onderzochten. Twee groepen waren afgeweken van de opties in het leerlingmateriaal en zijn zelf alternatieve manieren gaan zoeken, zoals een warmtepomp of plantenkasten met ingebouwde zonnepanelen. Eén groep kwam niet vooruit met hun proces, en die heb ik directief moeten sturen omdat ze het anders niet af zouden krijgen.

Tijdens de derde les had de klas vrijwel geen aansturing nodig. Waar ze in de tweede les nog aan de gang gezet moesten worden, begonnen ze in de derde les zelfstandig aan hun opdracht. Sommige groepjes hebben zelfs thuis nog aan hun project gewerkt. Ik moest ze zelfs afremmen om aan het begin van de les nog even kort afspraken te maken over hoe, waar en hoe laat ze hun werk moesten inleveren. Er was bij geen enkel groepje veel sturing meer nodig. Halverwege de les hebben ze hun werk ingeleverd en het lokaal weer in de originele staat teruggebracht. Hierna heb ik ze de enquête gegeven, die hebben ze ingevuld. De vakdocent heeft daarna nog kort wat woorden tot ze gericht over de volgende les, waarna ik de leerlingen heb bedankt en ze weg mochten.

## 6.2 Evaluatie door leerlingen<sup>6</sup>

### 6.2.1 Enquête

De enquête die gebruikt is tijdens dit onderzoek is te vinden in de bijlage (**Leerlingenenquête**). De resultaten van de enquête staan hieronder in **Tabel 8**. Een uitgebreide versie, met de individuele antwoorden van leerlingen, is te vinden in de bijlage (**Resultaten leerlingenenquête**).

Er zijn twee zaken die direct in het oog springen. Ten eerste zijn de leerlingen het in het gemiddelde over alle stellingen, behalve stelling 9, in meer of mindere mate eens. Leerlingen zijn niet van mening dat ze de stof uit dit hoofdstuk nu beter begrijpen<sup>7</sup>. Met 7 van de 19 (2,3,6,7,16,18,19) stellingen zijn leerlingen het gemiddeld veelal zelfs helemaal mee eens. Leerlingen geven aan dat ze genoeg duidelijkheid hadden, genoeg hulp hadden, zelf informatie gevonden hadden en trots waren op hun prestatie. Daarnaast vonden ze de samenwerking goed gaan en vonden ze het leuk om op deze manier te werken: ze zouden zelfs nog wel een keer met deze werkvorm willen werken.

Ten tweede valt op dat de standaardafwijking over het algemeen klein is: gemiddeld zo'n 20%. Dit is grotendeels een consequentie van de relatief kleine schaal: met maar vier mogelijkheden is de kans dat leerlingen hetzelfde antwoorden, groter. Maar, er is duidelijk een verschil te zien. Over stellingen 1 t/m 7 en 16 t/m 19 zijn leerlingen het sterk met elkaar eens. Dit zijn stellingen die met de procedure en het proces te maken hebben: of ze zelf informatie hebben kunnen vinden en of de verwachtingen duidelijk waren, maar ook over hun algemene mening: stelling 18, of leerlingen het leuk vonden om op deze manier te werken, heeft maar een afwijking van 13%.

<sup>6</sup> Zowel de enquête als het interview zijn afgenomen voordat leerlingen hun cijfer hebben gekregen.

<sup>7</sup> Het is het waard om hierbij te vermelden dat ze in het hoofdstuk meer stof aangeboden hebben gekregen dan dat er in de PGO-module gebruikt is, en dat ik hiermee een beroep doe op hun reflecterende vermogen. Deze vraag geeft daarmee dus vooral een globale inschatting over hoe goed leerlingen zelf inschatten dat ze de stof nu beheersen, niet over de mate waarin dat daadwerkelijk zo is.

De afwijking wordt aanzienlijk groter (zo'n 1,5 keer, in sommige gevallen) als we kijken naar de stellingen die beroep doen op hun reflectief vermogen: stellingen 8 t/m 15 gaan vooral over hun eigen inschatting over de mate waarin ze de leerdoelen bereikt hebben. Hier is de minimale afwijking ongeveer 23%, met een maximum van 30%. Ook de mate waarin leerlingen het eens waren met de stelling dat ze een bepaald leerdoel hebben bereikt, is kleiner. De scores variëren vooral tussen een beetje mee oneens en een beetje mee eens. De verwachting is dat dit te maken heeft met het feit dat leerlingen de taken verdeeld hebben, dus niet iedereen is evenveel met elk leerdoel bezig is geweest.

**Tabel 8:** De resultaten uit de leerlingenquête. De gemiddelde score komt overeen met de mate waarin leerlingen het gemiddeld eens waren over de stelling, waar 1,0 overeenkomt met 'helemaal mee oneens' en 4,0 met 'helemaal mee eens'. Als een leerling 'niet van toepassing' heeft geantwoord, is dat antwoord niet opgenomen in het gemiddelde. N=13, met uitzondering van stelling 10, 16, 17, 18 en 19. Daarvoor geldt N=12. De vierde kolom geeft de standaardafwijking weer.

	Vraag	gem	std
1	Het was voor mij duidelijk waarom dat we deze werkvorm gebruikte	3.4	0.65
2	Het was voor mij duidelijk wat we moesten doen	3.7	0.48
3	Er was genoeg hulp beschikbaar waar we gebruik van konden maken	3.8	0.38
4	Er was genoeg tijd om het probleem op te lossen	2.5	0.78
5	We hebben zelf kunnen kiezen hoe we het probleem gingen oplossen	3.5	0.66
6	We hebben de informatie die we nodig hadden zelf kunnen vinden	3.8	0.44
7	Ik ben trots op de prestatie die onze groep geleverd heeft	3.8	0.44
8	Ik denk dat ik nu beter ben in het oplossen van problemen	2.6	1.04
9	Ik denk dat ik de stof van dit hoofdstuk nu beter begrijp	2.4	1.17
10	Ik denk dat ik nu beter ben in het kiezen tussen alternatieven	2.6	1.04
11	Ik denk dat ik nu beter ben in het beargumenteren van mijn keuze	2.7	1.03
12	Ik denk dat ik nu beter ben in het zoeken naar bronnen	2.8	0.93
13	Ik denk dat ik nu beter ben in het gebruiken van bronnen	2.8	1.01
14	Ik denk dat ik nu beter ben in het mondeling communiceren van mijn ideeën	3.0	0.97
15	Ik denk dat ik nu beter ben in het schriftelijk communiceren van mijn ideeën	2.8	1.01
16	Ik vond de samenwerking goed gaan	3.7	0.49
17	Ik vond deze werkvorm nuttig	3.3	0.65
18	Ik vond het leuk om op deze manier te werken	3.6	0.51
19	Ik zou nog wel een keer met deze werkvorm willen werken	3.5	0.69
20	Overige opmerkingen		
	• "Plz word onze vaste docent"		
	• "Leuk project"		
	• "Net te weinig tijd maar wel een leuke werkvorm"		
	• "Leuk en leerzaam project andere vorm van werken"		



### 6.2.2 Interview met leerlingen

Met vijf van de dertien leerlingen die de enquête hebben ingevuld, is een aanvullend interview gehouden. Dit interview vond plaats op 21 juni tussen 12:15 en 12:30. Alle leerlingen zijn tegelijk bevroegd. Er was geen vooraf opgelegde agenda: ik heb geen vragenlijst opgesteld of vooraf over vragen nagedacht. De leerlingen zijn samen gaan zitten en ik heb ze bedankt voor het invullen van de vragenlijst. Daarna heb ik ze uitgelegd dat dit gesprek vooral een kans voor hen is om mij meer informatie terug te geven, die ze misschien niet kwijt konden op de enquête. Hierbij heb ik ze op het hart gedrukt dat hun antwoorden geen invloed hebben op hun cijfers en dat ze vrijuit mogen spreken, maar niet verplicht waren om vragen te beantwoorden. Er zijn geen geluids- en of beeldopnames van dit interview gemaakt, er zijn direct notulen op hoofdlijnen gemaakt.

Uit het gesprek met de leerlingen kwam naar voren dat ze plezier hebben gehad met de werkvorm. Leerlingen gaven aan dat dit vooral kwam omdat ze actief bezig waren met de stof, dat ze samen konden leren, dat ze de leerstof praktisch konden toepassen en dat ze hun creativiteit mochten gebruiken.. Ze gaven aan dit te missen in hun reguliere lessen, de vakdocent legt vaak veel theorie uit. Ze struikelden wel over de beschikbare tijd: ze vonden het niet per se te weinig, maar hadden wel graag net wat meer tijd gehad om hun werk af te ronden. Twee leerlingen gaven aan dat ze nu het gevoel hadden dat ze het werk hebben moeten afraffelen.

Ook waren ze niet per se tevreden met de groepsindeling. Ze vonden het niet erg dat ze die zelf niet mochten maken, maar ze hadden wel gehoopt dat de onderlinge verdeling beter was geweest: “er zijn altijd leerlingen die lopen te kluten en leerlingen die graag willen. Het was beter geweest om die een beetje te verdelen, zodat elk groepje van alles wat had”. De samenwerking verliep volgens hen prima, ze gaven aan dat ze elkaar konden aanspreken op gedrag en dat het werk daardoor wel afkwam: “Bij Business School mogen we soms wel onze eigen groepjes maken en dan kies je de mensen die je leuk vindt, maar dan doen we vaak niets tot de laatste twee weken. Nu zit er altijd wel iemand [in het groepje] die de rest aanspoort en dan werk je harder”. Een andere leerling valt hem bij: “Ja je wilt nu wel sneller wat doen, want anders naai je je groepje”.

Op de vraag of de leerlingen deze werkvorm als aanvulling of vervanging van hun huidige natuurkundeonderwijs zien, zijn de meningen verdeeld. Twee leerlingen geven duidelijk te kennen dat dit veel beter is en zouden dit als vervanging willen, de anderen zijn wat terughoudender. Eén oppert het voorstel om het als aanvulling te doen, ter afwisseling van de theorie. Een andere leerling merkt expliciet op dat deze opdracht misschien nog wat meer op het vak natuurkunde toegespitst kan worden: “Als je [de energie of het vermogen] niet hoefde te berekenen, had dit ook net zo goed economie kunnen zijn”.

Tot slot heb ik de leerlingen gevraagd wat ze denken dat ze geleerd hebben en wat ze meenemen uit deze werkvorm. Hierop reageerden de leerlingen vooral herhalend: toepassen in de praktijk, zelfstandig leren en verantwoordelijkheid nemen kwamen als antwoorden op tafel. Toen ik specifiek over het leerdoel waarden en oordelen vroeg, gaf een van de leerlingen aan dat “dat misschien minder [naar voren kwam] dan hoe jullie het hadden bedacht”, maar dat “als we het vaker doen, dan worden we daar misschien wel beter in”.

### 6.3 Evaluatie van de vakdocent

Tot slot heb ik de vakdocent per mail om een reactie op het project gevraagd. In het kader hieronder is zijn antwoord te lezen.

“Ik vind dat je een mooie vorm gevonden hebt om je onderwijskundige doelen te vatten in een project dat vakinhoudelijk aansluit bij waar de leerlingen op dit moment mee bezig zijn. Zo werd het voor jou een interessant experiment, en voor de leerlingen een mooie praktische casus na afloop van de basis-theorie. Je hebt daarbij goed kunnen aansluiten bij het niveau dat de leerlingen (zouden moeten) beheersen. De dosering van informatie geven vs. zelf informatie zoeken was een mooie. Tijdens de lessen heb je aangevoeld op welke plekken teams nog een extra zetje nodig hadden om op weg te komen. En ik denk dat je tijdens het werken van de leerlingen een prima overzicht hebt gehad van wat er in de klas speelde, wie er aan het werk was of niet. Tot slot is het een leerzaam experiment geweest mbt het waarderen (scoren) van het leerlingwerk. Je hebt gebruik gemaakt van een rubric en je hebt daar het nut van gezien, maar je hebt ook wat mogelijke valkuilen of lastigheden ervaren. Dat is nuttige ervaring. Het was leuk om hier met je over te sparren, en je hebt een mooi product neergezet.”

*Kader 7: De schriftelijke reactie van de vakdocent over de PGO-module*



## 7 Discussie en conclusie

In het vorige hoofdstuk (**Implementatie van het ontwerp**) is de implementatie van het ontwerp besproken. In dit laatste hoofdstuk beschrijf ik op basis van de evaluatie van de implementatie de discussie en de conclusie over dit hoofdstuk.

### 7.1 Discussie

Zowel uit de leerlingenquête als het interview blijkt dat de klas plezier heeft gehad met PGO, dat ze de waarde ervan herkennen en dat ze nog wel eens met PGO willen werken. Specifieke elementen die hierbij als motiverend werden aangedragen, zijn vooral het samenwerkend leren en het praktische aspect van de opdracht. Dit vertoont grote overeenkomst met de verwachte motiverende aspecten die door Wijnia et al. geschetst zijn (**Tabel 2**). In hun werk werd onder andere gesproken over stimulerende problemen die veel discussie oproepen, maar ook sociale interactie en sociale controle. Beide aspecten werden in het interview ook door leerlingen aangedragen. Uit de enquête blijkt daarnaast dat de leerlingen het helemaal mee eens waren met de stelling dat ze zelf de informatie hebben kunnen vinden die ze nodig hadden: de discrepantie tussen gevonden bronnen en het probleem die Wijnia et al. als demotiverend omschreven, is afgewend door de leerlingen zelf bronnen aan te bieden. Het is goed op te merken dat dit de leerlingen niet heeft beperkt: de meerderheid van de groepen heeft alsnog zelf onderzoek gedaan. De enige kritiek op de werkvorm die leerlingen uitten tijdens het interview had te maken met de beschikbare tijd. Ze voelden dat ze hun werk nu moesten afrafelen.

Hoewel er tijdens de begeleiding geen tijd was om van elk van de zes groepjes hun proces nauwgezet te volgen, zijn er wel aanwijzingen gevonden die overeen lijken te komen met de twee leertheorieën die Schmidt, Rotgans & Yew opperde. Gedurende het eerste halfuur dat leerlingen aan hun probleem werkten, werden er vooral vragen op procedureniveau gesteld (wat moeten we doen, hoe moeten we het doen). Vanaf de tweede les veranderde dit geleidelijk naar inhoudsgerichte vragen, vooral over hoe vermogen omgerekend kon worden naar energie. Deze observatie lijkt de *activation-elaboration* hypothese te ondersteunen: leerlingen overleggen aan de hand van hun probleem op basis van hun voorkennis. Door het overleggen komen ze erachter welke aspecten van die kennis ze nog niet beheersen, en op basis hiervan wordt een informatiebehoefte geformuleerd. Leerlingen moesten hierna nog wel expliciet aangespoord worden om deze behoefte zelfstandig te behartigen, in plaats van alles direct aan de docent te vragen.

Voor de tweede theorie – die van *situational interest* – zijn ook aanwijzingen gevonden. Naarmate de leerlingen verder in hun proces kwamen, leken ze gemotiveerder en meer zelfsturend: de laatste les moesten ze zelfs worden afgeremd bij aanvang van de les, en afgekapt aan het einde van het de werktijd. Een aantal leerlingen heeft zelfs buiten de les verder aan het probleem gewerkt. Volgens de theorie komt deze toename in concentratie, aandacht en vooral bereidheid om te leren door het probleem waar ze aan werken: dit zou hun interesse aanwakkeren en ze drijven het antwoord te zoeken. Het was duidelijk – zeker aan het einde van de tweede en het begin van de derde les – dat leerlingen het leren zélf initieerden. Hun algemene houding paste daarnaast goed bij *intrinsic empowerment*, een van de effectieve leergedragingen die leerlingen aannemen tijdens PGO (Ghani, Rahim, Yusoff, & Hadie, 2021). Andere vormen van effectief leergedrag, zoals *entrustment*, zijn niet bemerkt onder de leerlingen. Verwacht wordt dat dit een gevolg is van het feit dat dit de eerste keer is dat leerlingen met deze werkvorm werken: ze werken vooral op

intuïtie en niet op basis van eerder opgebouwde ervaring over welk gedrag wel of niet effectief is.

Dit zelfsturende gedrag was niet alleen zichtbaar in hun werkhouding, maar ook in het proces dat de leerlingen doorliepen. In een deel van groepen kozen leerlingen ervoor om leerdoelen na te jagen die buiten de vooraf gedefinieerde context lag. De verwachting was dat leerlingen argumenten voor- en tegen het gebruik van zonnepanelen, windmolens of een combinatie van opwekkingsvormen gingen zoeken om hun keuze te beargumenteren. In twee van de groepen is dat gebeurd, maar in twee andere groepen kozen leerlingen ervoor om totaal andere zaken uit te zoeken. Een van de twee groepen onderzocht de mogelijkheid een warmtepomp te installeren en een andere groep bedacht creatieve mogelijkheden om zonnepanelen te combineren met duurzaamheid, door ze te combineren met een plantenkas. Dit laatste groepje heeft daarnaast een begroting opgesteld met alle mogelijke kosten. Dit was te verwachten op basis van de conclusie van Dolmans et al: zij concludeerden dat niet alle leerdoelen die vooraf opgesteld worden, ook gehaald worden. Leerlingen maakten in de studies uitstappen naar andere leerdoelen, waarvan maar een deel nuttig werd verklaard door de docent.

Tot slot een korte terugblik op de drie gestelde leerdoelen. Ten eerste de vakinhoudelijke leerdoelen: de meeste groepen hebben hier een ruime meerderheid van de punten verdiend. Het berekenen van het vermogen op basis van de stroom en de spanning ging bij de meerderheid goed en het bepalen van de totale energie aan de hand van het vermogen ook. Duidelijk werd dat een aantal groepen nog wat begripsproblemen hebben over de definities van vermogen en energie. De klas heeft ongeveer 83% van de totaal te behalen punten gehaald. Ten tweede het leerdoel met betrekking tot schriftelijke communicatie: hierop hebben leerlingen minder goed gescoord, maar nog steeds ruim voldoende. De klas heeft 79% van de te behalen punten toegekend gekregen. Dit is deels te herleiden aan het duidelijke voorbeeld dat ze hadden: de structuur van het logboek en hun communicatie over de taakverdeling en het proces kregen het grootste deel van de scorepunten, hun e-mail leverde ze een kleiner aantal punten op.

Het laatste leerdoel, waarden en oordelen, is niet behaald door de klas. Slechts 44% van de scorepunten is verzameld en slechts één groep heeft dit leerdoel met een voldoende afgerond (89% van de punten). Dit is te rijmen met de houding van de leerlingen met betrekking tot dit leerdoel: hoewel het in de introductieles wel behandeld is, bleek uit het interview dat de leerlingen dit niet als leerdoel hadden herkend. Daarnaast hadden ze ook niet het gevoel dit goed te kunnen. Over het algemeen hebben de leerlingen hun keuzes slecht – of in twee gevallen – helemaal niet onderbouwd (vaak niet met opgezochte informatie, soms niet eens met berekeningen). Zonnepanelen of een combinatie van een aantal zonnepanelen en een windmolen werden als “beste keuze” omschreven, maar uit hun logboek bleek niet waarom het “de beste” was, of wat er met “beste” bedoeld wordt.

## 7.2 Conclusie

Over het algemeen was de module succesvol. De vakdocent is tevreden over de inzet van de klas, zowel over hoe ze gepresteerd hebben, maar ook de manier waarop. De aandacht die gestoken is het definiëren van duidelijke ontwerpeisen, zowel op basis van de literatuur als de wensen en randvoorwaarden van de school, heeft ertoe geleid dat er een stevig eindproduct is neergezet. Dit proces is zeer tijdsintensief, maar zoals Hung beschreef wel degelijk de moeite waard. Twee van de drie leerdoelen zijn door de klas behaald en de leerlingen gaven aan plezier te hebben met de werkvorm, het nog een te willen gebruiken en trots te zijn op hun prestatie. Reden te meer om dit product in de toekomst weer in te zetten. Desalniettemin zijn er wel degelijk verbeterpunten op te merken, deze paragraaf bespreekt de belangrijkste.

### **Beschikbare tijd en zachte scaffolding**

Wat zeer duidelijk naar voren kwam, zowel in de lesobservaties als de enquête en het interview, is dat leerlingen net wat meer tijd hadden kunnen gebruiken. Geadviseerd wordt om drie volle lessen van zestig minuten beschikbaar te stellen voor leerlingen. Niet alleen biedt dit leerlingen de tijd om hun werk af te ronden, het biedt de docenten ook meer tijd om groepen persoonlijke aandacht te geven. Gedurende deze try-out waren er twee begeleiders beschikbaar voor zes groepen, en dit was net voldoende. Eén begeleider op drie groepen, zeker als er maar weinig tijd is, is de ondergrens. Bij een volgende uitvoering wordt geadviseerd om de groepen groter te maken (drie van zes en twee van vijf) of om een extra begeleider (zoals een toa) in te schakelen.

### **Harde scaffolding en aansluiten bij ontwikkelniveau**

De hoeveelheid harde scaffolding was relatief groot. Dit is een ontwerpkeuze geweest op basis van de beschikbare tijd. Dit zorgde bij leerlingen voor duidelijke verwachtingen, maar heeft ze niet te ver ingeperkt in hun mogelijkheden: dit wijzen de resultaten van de enquête uit. Ondanks dat er veel harde scaffolding beschikbaar was, is het leerdoel waarderen en oordelen niet behaald door de leerlingen. De verwachting is dat dit te maken heeft met het feit dat het een lastige vaardigheid is om onder de knie te krijgen, zeker als de leerlingen er weinig ervaring mee hebben. Communiceren is eveneens een vaardigheid, maar wel een waarop veel meer een beroep wordt gedaan in het dagelijks leven. Het viel op dat in het werk van de leerlingen vooral de redentatie en de formulering van (en het aantal aanwezige) argumenten te wensen overliet, maar dat ook de koppeling naar de natuurkundige context niet naar voren kwam. Leerlingen wisten wel duidelijk onderscheid te maken tussen feiten en meningen.

Hiervoor wordt de volgende oplossing aangedragen. In het verkennende gesprek waarin de context, behoeftes en randvoorwaarden van de school in kaart werd gebracht, meer aandacht moeten zijn voor het ontwikkelniveau van leerlingen met betrekking tot deze vaardigheden. Ook buiten het vak natuurkunde: overleg met de sectie Nederlands had kunnen helpen met het inschatten van hun vaardigheden. Als daaruit was gebleken dat leerlingen hier nog weinig mee gewerkt hebben, dan had de bijbehorende ontwerpeis en/of de definitie van dit leerdoel aangepast kunnen worden. Daarnaast bestaat de verdenking dat het voorbeeldprobleem dat in de eerste les is uitgewerkt, op dit vlak te wensen over heeft gelaten. Binnen de klassikale uitwerking ervan is vooral aandacht geweest voor het verschil tussen feiten en meningen, en weinig aandacht voor hoe de leerlinge geacht werden te argumenteren.

**PGO als leerlijn**

Tot slot moet er gekeken worden naar de manier waarop PGO nu geïntroduceerd is. Binnen enkele lessen wordt van leerlingen verwacht dat ze het stappenplan kunnen toepassen, dat ze vakinhoudelijke kennis in nieuwe contexten kunnen toepassen, dat ze zelf hun informatievraag kunnen identificeren en die vervolgens kunnen invullen en of dat nog niet genoeg is, moeten ze ook nog over deze nieuwe situatie oordelen en dat schriftelijk toelichten. Binnen deze PGO-module is er te weinig ruimte geweest voor een leerlijn: het halfuurtje instructie aan de start van de les was alle uitleg die leerlingen kregen over probleemoplossen en zoals hierboven aangedragen was er te weinig aandacht voor een van de leerdoelen. De opmerking die één van de leerlingen opperde tijdens het interview, is hiervoor een oplossing: PGO niet als eenmalig, losstaand uitstapje ter afwisseling inzetten, maar het structureel als afwisseling en ter verdieping van deze specifieke vaardigheden gebruiken. Dat biedt de ruimte om het aantal leerdoelen per PGO-moment te verkleinen en om verschillende vaardigheden in te bouwen.

## 8 Bibliografie

- Anderson, L., Krathwohl, D., & Bloom, B. (2001). *A Taxonomy for Teaching, Learning, and Assessment: a Revision of Bloom's Taxonomy of Educational Objectives*. New York: Longman.
- Ast, M. v., Loor, O. d., & Spijkerboer, L. (2019). *Effectief leren de docent als regisseur*. Groningen: Noordhoff.
- Buil, S., Hoogeveen, F., Koopmans, P., Roeland, E., Staal, D., Stoop, P., . . . Wijnhold, M. (2019). Elektriciteit. In *Polaris natuurkunde + scheikunde Gymnasium/vwo+ leerjaar 1-2* (pp. 108-141). Groningen: Boom Voortgezet Onderwijs.
- College voor Toetsen en Examen. (2021). *NATUURKUNDE HAVO, SYLLABUS CENTRAAL EXAMEN 2023*. Utrecht.
- Dolmans, D., Gijselaers, W., Schmidt, H., & Meer, S. v. (1993). Problem effectiveness in a course using problem-based learning. *Academics Medicine*(68(3)), pp. 207-213.
- Donk, C. v., & Lanen, B. v. (2022). *Praktijkonderzoek in de school*. Coutinho.
- Ghani, A., Rahim, A., Yusoff, M., & Hadie, S. (2021). Effective Learning Behaviour in Problem-Based Learning: a Scoping Review. *Medical Science Educator*(31), pp. 1199-1211.
- Hmelo-Silver, C. (2004). Problem-Based Learning: What and How Do Students Learn? *Educational Psychology Review*(16-3), pp. 235-266.
- Hung, W. (2009). The 9-step problem design process for problem-based learning: application of the 3C3R model. *Educational Research Review*(4), pp. 118-141.
- Hung, W. (2011). Theory to reality: a few issues in implementing problem-based learning. *Education Technology Research and Development*(59), pp. 529-552.
- Kortland, K., Mooldijk, A., & Poorthuis, H. (2017). *Handboek natuurkundendidactiek*. Epsilon.
- Melchers, F. (2021). Een kleine windmolen op je eigen dag, wat levert dat op? *Nu.nl*.
- Moust, J., & Schmidt, H. (1991). Probleemgestuurd leren: een krachtige leeromgeving. *Velon*(16/4), pp. 40-55.
- Neville, A., Norman, G., & White, R. (2019). McMaster at 50: lessons learned from five decades of PBL. *Advances in Health Sciences Education*(24), pp. 853-863.
- Raine, D. (2019). The curriculum and design science. In *Problem-based approaches to physics*. IOP Publishing Limited.
- Schmidt, H., Rotgans, J., & Yew, E. (2011). The proces of problem-based learning: what works and why. *Medical Education*(45), pp. 792-806.
- Simons, K., & Klein, J. (2007). The impact of scaffolding and student achievement levels in a problem-based learning environment. *Instructional science*(35), pp. 41-72.
- Thijs, A., Fisser, P., & Hoeven, M. v. (2014). *21e eeuwse vaardigheden in het curriculum van het funderend onderwijs*. Enschede: SLO.
- Voerman, L. F. (2021). *Didactisch Coachen: hoge verwachtingen concreet maken met behulp van feedback, vragen en aanwijzingen*.
- Wijnia, L., Loyens, S., & Derous, E. (2011). Investigating effects of problem-based versus lecture-based learning environments on student motivation. *Contemporary Educational Psychology*(36), pp. 101-113.
- Wilder, S. (2015). Impact of problem-based learning on academic achievement in high school: a systematic review. *Educational Review*(67), pp. 414-435.
- Woudt-Mittendorff, K., & Visscher-Voerman, I. (2019). Docent als coach van het leerproces. *Onderwijsinnovatie*.

# 9 Bijlagen

## 9.1 Leerlingmateriaal

### 9.1.1 Mail van Marijke

**Van:** Marijke de W.  
**Aan:** U  
**Datum:** 10-06-2023, 17:43  
**Onderwerp:** Energievoorziening tiny house

Hoi!

Ik ben Marijke, samen met mijn vriend Bart ga ik een tiny house bouwen deze zomer. We zijn nu bezig met de laatste aanvraag voor de gemeente en we kunnen wel wat hulp gebruiken. Ik hoorde van jullie docent dat jullie ons kunnen helpen.

Volgens de gemeente moeten we alle elektrische energie die we gebruiken in het tiny house zelf kunnen opwekken: we hebben dus iets nodig om dat te doen, en Bart en ik dachten aan een windmolen of zonnepanelen. Of misschien een combinatie van de twee. We hebben wat rondgekeken en hebben een zonnepaneel en windmolen gevonden die ons geschikt lijken. De datasheets staan hieronder. We hebben ook voor jullie opgeschreven welke apparaten we in huis hebben. De gemeente eist ook dat we een inschatting maken van de elektrische energie die we per jaar verbruiken, zodat we toch 'normale' elektriciteit kunnen gebruiken als dat nodig is. Tot slot willen we zelf weten hoeveel stroom we maximaal gebruiken. We hebben een zekering van 16 A en we willen weten of dat genoeg is.

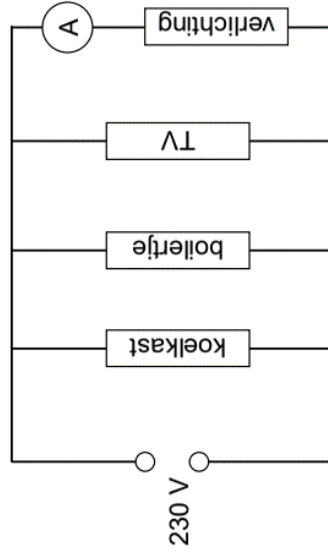
Jullie zouden ons ontzettend helpen als jullie ons kunnen adviseren over wat het beste kunnen doen (zonne-, windenergie of een combinatie van beide) en kunnen berekenen hoeveel energie we gaan opwekken per jaar.

Groetjes!

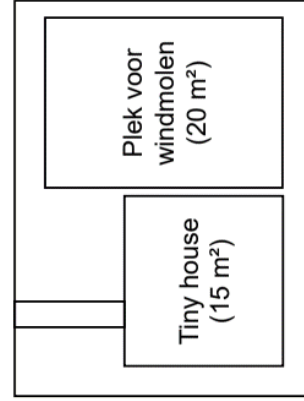
Marijke

- In ons huis staan de volgende apparaten:
- Koelkast (320 W, slaat gemiddeld 2 uur per dag aan)
  - TV (20 W, slaat gemiddeld 2 uur per dag aan)
  - Verlichting (vermogen niet bekend, maar verbruikt 30 mA. Licht staat gemiddeld 5 uur per dag aan)
  - Boilertje (1200 W, staat gemiddeld 1,5 uur per dag aan)

Het ontwerp van de elektra in huis ziet er als volgt uit:

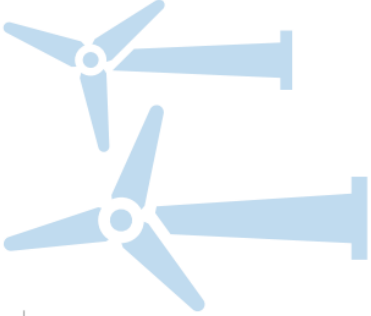


We hebben een klein tuintje om ons huis. Hieronder staat een schetsje:





## 9.1.2 Gegevensbladen van windmolen en zonnepaneel

ZONNECEL ALPHA-1X SERIES PRODUCTSPECIFICATIES		HOVERFLEX Wind Solutions	
<b>ALGEMENE GEGEVENS</b>		<b>PERFORMANCE</b>	
Zonnecel	Heterojunctie loodvrij	Maximaal vermogen Rated Power	1,1 kW
Glas	3,2 mm zonneglas met anti-reflectiecoating	Maximale windsnelheid Rated wind speed	12 m/s 26 mph
Achterlaag	Plastic	Windsnelheidsgebied Wind speed range	3-25 m/s 6-55 mph
Frame	Geanodiseerd aluminium	Gemiddelde geluidssterkte Mean noise level	<25 dB
Kleur behuizing	Zwart	<b>PARAMETERS</b>	
Connectorkabel	5-aderig	Afmetingen turbine Mill size	4,2m x 2,75m 13'9" x 9'0"
Afmetingen	1800 x 1000 x 30 mm (1,80 m <sup>2</sup> )	Hoogte toren Tower height	5,5m 18 ft
Gewicht	20 kg	Gewicht Weight	500 kg 1120 lbs
Oorsprong	China	<b>COST</b>	
Prijs per paneel	€350,- (btw incl)	Kosten per stuk Unit cost	€750 \$812
<b>TECHNISCHE INFORMATIE</b>			
Maximaal vermogen	400 W		
Rendement	20,8 %		
Bedrijfstemperatuur	-40... +85°C		
Maximale testbelasting (sneeuw)	+6000 Pa		
Maximale testbelasting (wind)	- 3700 Pa		
<b>GARANTIE- EN LEVERINGSINFORMATIE</b>			
Lineair vermogensgarantie (jaar)	20		
Garantie op installatiekosten (jaar)	10		
Productgarantie (jaar)	5		
Panelen per pallet	30		
Panelen per container	720 (24 pallets)		
Panelen per vrachtwagen	810 (27 pallets)		



## 9.1.3 Nieuwsartikel

### De windwokkel is voor relatief kleine groep een uitkomst

Toch is windenergie zeker niet voor iedereen weggelegd. "Een zonnepaneel is makkelijk, maar voor wind heb je vrije lucht nodig", zegt Goulooze. "Per locatie moet je goed naar de omstandigheden kijken. Een rijtjeshuis in een woonwijk is wat dat betreft lastig, maar met een ruime boerderij wordt er weer meer mogelijk. Momenteel werken we samen met een wv, voor windwokkels en zonnepanelen op het dak van een nieuw appartementencomplex. Met die mix kunnen bewoners nul op de meter krijgen."

De efficiëntie van windwokkels wordt door de wetenschap in twiifel getrokken. Volgens Green Hybrids zou de gemiddelde energie op jaarbasis gelijk zijn aan tien tot twaalf zonnepanelen. Maar Gerard van Bussel, emeritus hoogleraar windenergie aan de TU Delft, veegt dat idee van tafel. "Als je per vierkante meter 250 kWh per jaar haalt, ben je al heel knap bezig. Je zou dan dus een torenhoge turbine nodig moeten hebben. Voor een particulier komt er te weinig uit om iets leuks op te leveren. Bovendien bekijken mensen zich heel vaak op hoeveel wind er nou echt rond een gebouw waait."

Zonnepanelen leveren toch echt meer op.  
Gerard van Bussel, emeritus hoogleraar windenergie, TU Delft

### 'Het was een goed PR-verhaal'

Van Bussel werkte jarenlang samen met een bedrijf dat kleine turbines ontwikkelde. "We voerden verbeteringen door en de verkoop liep goed", vertelt hij. "Maar dat laatste kwam voornamelijk doordat je het buitenoppervlak in alle kleuren kon krijgen, inclusief logo's."

"Bedrijven konden op die manier uitstralen dat ze bezig zijn met duurzame energie. Er kwam zeker stroom uit natuurlijk, maar het was ook gewoon een goed PR-verhaal. Voor particulieren kan die duurzaamheid natuurlijk ook belangrijk zijn. Maar zonnepanelen leveren toch echt meer op."

Goulooze zegt de kritiek te begrijpen. "Een windwokkel kan ook echt niet alles. Maar wij beroepen ons op wat we fysiek meten. De locatie is daarbij bepalend voor wat je eruit haalt. Elke windplek is anders. De installatie vergt meer aandacht dan een zonnepaneel. En sommige locaties stellen later pas teleur, omdat bomen bijvoorbeeld dusdanig zijn doorgegroeid dat de wind wordt opgesloten."

### Thuisbatterijen zijn nog te duur

Dat de zon niet altijd schijnt en de wind niet altijd waait, is een bekend probleem bij de opwekking van duurzame stroom. Thuisbatterijen zouden op termijn uitkomst kunnen bieden, maar zijn nu nog te duur. De vraag naar accu's is volgens Goulooze

<https://www.nu.nl/wonen/6129221/een-kleine-windmolen-op-je-eigen-dak-wat-levert-dat-op.html>



Een kleine windmolen op je eigen dak, wat levert dat op?

Door Fabian Melchers

23 apr 2021 om 14:09  
Update: 2 jaar geleden

248 reacties



Wie zelf groene energie wil opwekken, kan daarbij meer doen dan zonnepanelen plaatsen. Dankzij relatief kleine windturbines, neergezet op gunstige locaties, blijft er ook in de donkere maanden stroom binnenkomen. Hoe waardevol is deze techniek voor de toekomst?

Het verhaal van Green Hybrids, een bedrijf dat zogeheten windwokkels aanbiedt, is in de basis vrij simpel. Zonnepanelen leveren in de zomer vaak meer stroom dan je gebruikt, terwijl dat in de winter juist andersom is. Zet er een windwokkel naast, die met name in het voor- en najaar zijn werk goed doet, en je krijgt een betere balans in je energie. De kosten voor één exemplaar liggen rond de 3.000 euro.

"Voor nu kun je nog makkelijk stroom terugleveren dankzij de salderingsregeling", legt CEO Peter Goulooze uit. "Maar als die wordt afgebouwd, blijf je zitten met een overproductie van stroom. We krijgen nu veel aanvragen van mensen die zelfvoorzienend willen zijn en ontdekken dat ze het niet redden met alleen zonnepanelen. Vijf jaar geleden begonnen we met leveren aan het mkb, maar inmiddels bestaat meer dan de helft van onze klanten uit particulieren."

momenteel vooral groeiend onder bedrijven. "Vanwege de [salderegeling](#), hebben particulieren er wellicht nog niet zo'n behoefte aan." Voor de toekomst ziet de ondernemer hoe windenergie een aanvulling kan worden op zonnepanelen. "Op de plekken waar het in Nederland kan, hopen we dat mensen zelfvoorzienend kunnen worden. Zodat ze dus minder gebruik hoeven te maken van het elektriciteitsnetwerk."

## 9.2 Lesmateriaal

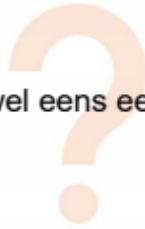
### 9.2.1 Rubriek

Leerlingen: Cijfer					
	0.0				
Beoordelingsaspecten	3 punten	2 punten	1 punt	0 punten	pnt
<b>Vakinhoudelijk</b>					
Berekening totale energievraag	Correcte berekening	Gebruik van de juiste formule, enkele keer de verkeerde waarden gebruikt	Gebruik van de juiste formule maar niet altijd de juiste waarde gebruikt	Geen berekening gemaakt	
Berekening maximaal vermogen	Correcte berekening	Gebruik van de juiste formule, enkele keer de verkeerde waarden gebruikt	Gebruik van de juiste formule maar niet altijd de juiste waarde gebruikt	Geen berekening gemaakt	
Berekening maximale stroom	Correcte berekening	Gebruik van de juiste formule, enkele keer de verkeerde waarden gebruikt	Gebruik van de juiste formule maar niet altijd de juiste waarde gebruikt	Geen berekening gemaakt	
Nauwkeurigheid (algemeen)	Juiste eenheid, geen rekenfouten en de juiste symbolen	Een aantal rekenfoutjes of een enkele keer een eenheid vergeten	Veel rekenfouten en niet altijd een eenheid	Geen berekening gemaakt en/of veel fouten en/of geen eenheden gebruikt	
<b>Waarderen en oordelen</b>					
Analyseren van de mogelijkheden voor de energievoorziening (in termen van vermogen en aantal PV/WT)	Alle drie de mogelijkheden uitgewerkt	Twee van de drie mogelijkheden uitgewerkt	Een mogelijkheid uitgewerkt	Geen van de mogelijkheden uitgewerkt	
Argumentatie	Selectie a.d.h.v. minimaal 2 punten (prijs/oppervlakte/vermogen) en aangevuld met opgezochte informatie. Dit is duidelijk beschreven	Selectie a.d.h.v. 2 punten (prijs/oppervlakte/vermogen) zonder opgezochte informatie maar duidelijk beargumenteerd of op meer punten, maar niet duidelijk beargumenteerd	Selectie a.d.h.v. 1 punt (prijs/oppervlakte/vermogen) of op basis van opgezochte informatie, maar duidelijk beargumenteerd	Geen opties geselecteerd en/of keuze is niet onderbouwd	
Gebruik van bronnen	Bronnen zijn herleidbaar	Bronnen zijn niet altijd herleidbaar	Bronnen zijn vaak niet herleidbaar	Geen bronvermelding	
<b>Communiceren</b>					
Structuur logboek	Stappenplan zo veel als mogelijk aangehouden en alle stappen compleet beschreven	Stappenplan grofweg aangehouden, niet alle punten uitgewerkt	Stappenplan niet aangehouden maar op een andere manier structuur aangebracht	Geen structuur	
Plan van aanpak	Duidelijk plan gemaakt en taken zijn eerlijk en duidelijk verdeeld	Plan is niet concreet en/of de taakverdeling is niet eerlijk en duidelijk	Plan is niet concreet, er zijn wel taken verdeeld	Geen duidelijk plan en geen duidelijke taakverdeling	
Formulering advies	Het advies is duidelijk beschreven en laat weinig ruimte voor interpretatie	Het advies is duidelijk beschreven maar laat ruimte over voor interpretatie	Er is geen duidelijk advies gegeven, maar de informatie is wel genoteerd	Geen advies en geen informatie	

## 9.2.2 Powerpoint introductieles



Wie van jullie heeft wel eens een escaperoom gedaan?



### Probleemoplossen

Hoe los je problemen (of puzzels) op?

- Wetenschappers
- Wiskundigen
- Gamedesigners
- Zorgpersoneel
- Militairen/brandweerpersoneel
- Ontwerpers

Wanneer kom jij het tegen?

- Bij schoolvakken
- Vakantie plannen
- Feest organiseren
- Profielwerkstuk
- Studiekeuze



### Voor vandaag

Waar gaan we het over hebben?

- Onderzoek
- Planning
- Hoe los je problemen op
- Aan de slag!



### Waarom doen we dit

Twee redenen:

1. Belangrijke vaardigheid
2. Mijn afstudeeronderzoek

Kunnen we probleemgestuurd onderwijs op de middelbare school gebruiken?

Probleemgestuurd onderwijs

42. Een stroomsterkte van 40 mA door je lichaam kan levensgevaarlijk zijn.
- a. Leg uit waarom er geen gevaar is als je in contact komt met de nuldraad. Als je contact maakt met de fase draad, biedt een zekering geen beveiliging.
  - b. Leg dit uit.
  - c. Leg uit dat een aardlekschakelaar in dit geval wel beveiliging biedt.

#### Een zomerse vakantie dag

Je bent met je familie op vakantie in de Veluwe. Vandaag ga je met z'n allen fietsen door het bos en de heide. Het is een warme en vochtige zomerdag. In de middag vormen zich donkere wolken aan de hemel. Plotseling schieten in de verte lichtflitsen door de lucht, gevolgd door donderslagen. Een paar minuten later begint het hevig te regenen. Wanneer je broertje beschutting zoekt onder de bomen, trekt je vader hem het vrije veld in.

## Planning

Hoe gaan we dat aanpakken?

Vandaag:

- Introductie
- Uitleg over hoe je problemen oplost
- Uitreiking probleem

Morgen:

- Werken aan het probleem
- Inleveren toestemmingsformulieren

Volgende week:

- Afmaken van het probleem
- Inleveren
- Evalueren

Groepjes van 5 personen

Laptops  
Stiften  
Papier  
Boek

Probleem gaat over elektriciteit. Je levert per groep een logboek in en daar krijg je als groep een cijfer voor



## Hoe los je problemen op

Meneer Berendsen en ik willen met jullie een uitstapje naar Walibi gaan maken om experimenten te doen in Goliath. De school wil dit niet betalen, dus we moeten zelf de kaartjes en het vervoer betalen. Om dat geld bij elkaar te verdienen, moeten we iets verzinnen.

Hoe gaan we dit oplossen?

1. Bestudeer de informatie die je gekregen hebt. Is alles duidelijk?
2. Bepaal wat je moet gaan oplossen
3. Brainstorm over de oplossing. Heb je alle gegevens/kennis die je nodig hebt?
4. Verdeel taken en werk ze uit
5. Overleg met elkaar en combineer jullie resultaten.
6. Controleer je oplossing

Logboekje:

1. *Wat is Goliath?*

2. *Vervoer regelen*

*Geld inzamelen*

3. *Ideeën vervoer: Bus huren,*

*Hoeveel kost het hur*

*Hoeveel kosten trein*

*Waar ligt Walibi eige*

*Ideeën geld: rommelmarkt/bandje?*

*Mogen we de aula gebruiken?*

*Wie heeft er spullen of kan er zingen?*

4. *We gaan met de trein en organiseren een rommelmarkt. Jantje zoekt de prijzen op. Elise gaat vragen wie er spullen heeft die we mogen verkopen, etc*

5. *Treinkaartje van Enschede naar Walibi is €25,82 pp, ticket €21,50 pp. Totaal 30 leerlingen dus €1420,-. Voor de bus betalen we €1037,13 dus totaal €1811,-.*

*We mogen de aula niet gebruiken. We kunnen wel spullen regelen. We hebben nog niet bedacht hoe we mensen gaan lokken -> flyers maken en verspreiden, ...*

Twee dingen om rekening mee te houden:

1. Keuzes maken we alleen op basis van feitelijke argumenten
2. Bij gegevens die we gevonden hebben, hoort een bron!





### Feiten en meningen

Is dit een feit of een mening?

- Ik wil met de trein naar Walibi want ik vind een bus niet fijn
- De meerderheid van de mensen gaat liever met de trein
- We moeten geen flatgebouwen meer bouwen, want die staan niet mooi in de stad
- We moeten geen flatgebouwen meer bouwen, want onderzoek heeft uitgewezen dat mensen er depressief van worden



### Bronnen

Als je feiten wilt gebruiken, schrijf dan op waar je ze vandaan haalt

- Dan kun je het later nog een keer terugzoeken
- Dan kan iemand anders het controleren

Hoe doen we dat?

- Aandeel hernieuwbare energie in 2022 toegenomen naar 15 procent [1]. Volgens Brussel gebruikt Nederland echter nog altijd te veel fossiele brandstoffen [2].

[1]: CBS (<https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2023/22/aandeel-hernieuwbare-energie-in-2022-toegenomen-naar-15-procent>)

[2]: NOS (<https://nos.nl/artikel/2476313-brussel-nederland-gebruikt-nog-altijd-te-veel-fossiele-brandstoffen>)



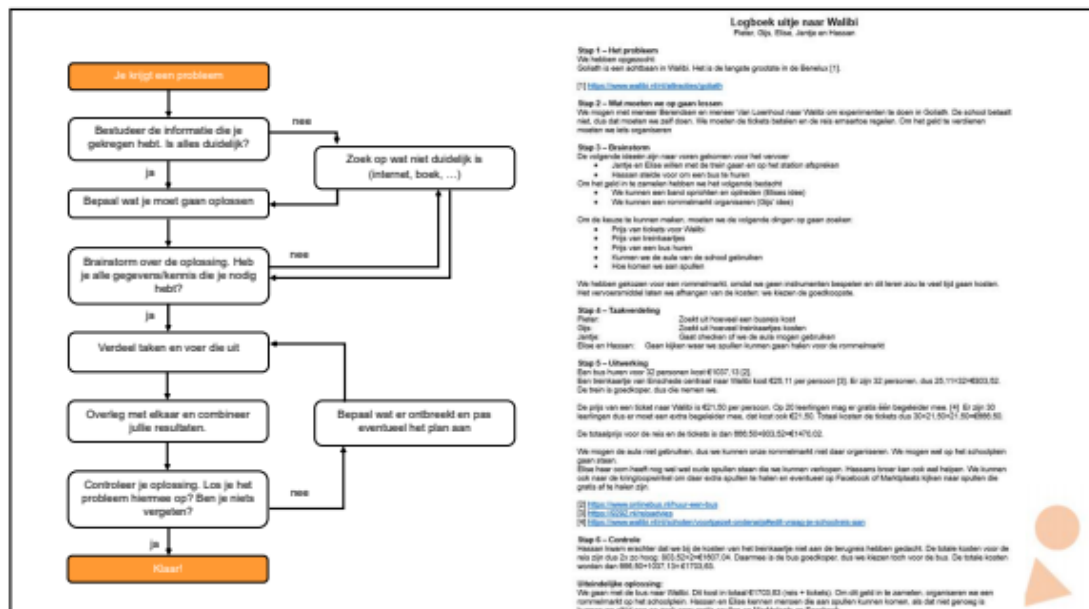
## Samenvatting

Wat moet je straks gaan doen?

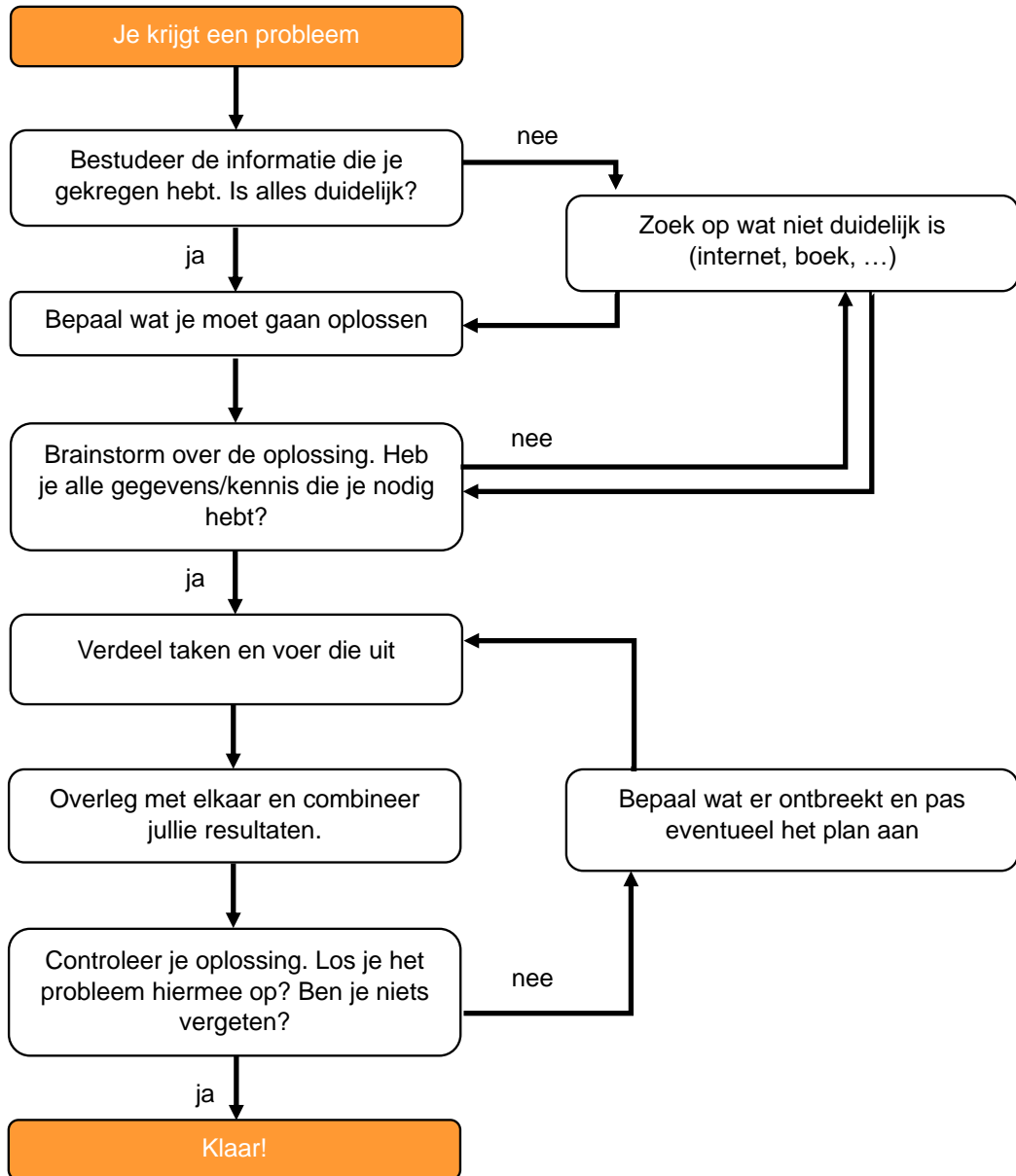
- Verdelen in groepjes (5 lln per groep)
- Je krijgt een probleem
- Jullie lopen gezamenlijk het stappenplan door
- Je maakt een logboek (1 per groep)
- Als je een keuze moet maken, doe je dat op basis van een berekening of feitelijke argumenten
- Als je gegevens of informatie opzoekt, zet je de bron erbij

Jullie krijgen als groep een cijfer

- Juiste natuurkundige berekeningen (over wat je dit hoofdstuk hebt behandeld)
- Duidelijk en compleet opgeschreven (leesbaar, duidelijk wat jullie gedaan hebben en waarom)
- Feiten met bronnen
- Inleveren op dinsdag 13 juni voor het einde van de les



## 9.2.3 Stappenplan probleemoplossen



## 9.2.4 Uitwerking oefenopgave

Elise haar oom heeft nog wel wat oude spullen staan die we kunnen verkopen. Hassans broer kan ook wel helpen. We kunnen ook naar de kringloopwinkel om daar extra spullen te halen en eventueel op Facebook of Marktplaats kijken naar spullen die gratis af te halen zijn.

[2] <https://www.onlinebus.nl/huur-een-bus>

[3] <https://9292.nl/reisadvies>

[4] <https://www.walibi.nl/nl/scholen/voortgezet-onderwijs/edt-vraag-je-schoolreis-aan>

#### Stap 6 – Controle

Hassan kwam erachter dat we bij de kosten van het treinkaartje niet aan de terugreis hebben gedacht. De totale kosten voor de reis zijn dus 2x zo hoog:  $803,52 \times 2 = €1607,04$ . Daarmee is de bus goedkoper, dus we kiezen toch voor de bus. De totale kosten worden dan  $666,50 + 1037,13 = €1703,63$ .

#### Uiteindelijke oplossing:

We gaan met de bus naar Walibi. Dit kost in totaal €1703,63 (reis + tickets). Om dit geld in te zamelen, organiseren we een rommelmarkt op het schoolplein. Hassan en Elise kennen mensen die aan spullen kunnen komen, als dat niet genoeg is kunnen we altijd nog op zoek naar gratis spullen op Marktplaats en Facebook.

#### Logboek uitje naar Walibi

Pieter, Gijis, Elise, Jantje en Hassan

#### Stap 1 – Het probleem

We hebben opgezocht:

Goliath is een achtbaan in Walibi. Het is de langste grootste in de Benelux [1].

[1] <https://www.walibi.nl/nl/attracties/goliath>

#### Stap 2 – Wat moeten we op gaan lossen

We mogen met meneer Berendsen en meneer Van Loenhout naar Walibi om experimenten te doen in Goliath. De school betaalt niet, dus dat moeten we zelf doen. We moeten de tickets betalen en de reis ernaartoe regelen. Om het geld te verdienen moeten we iets organiseren

#### Stap 3 – Brainstorm

De volgende ideeën zijn naar voren gekomen voor het vervoer

- Jantje en Elise willen met de trein gaan en op het station afspreken
- Hassan stelde voor om een bus te huren
- Om het geld in te zamelen hebben we het volgende bedacht
- We kunnen een band oprichten en optreden (Elises idee)
- We kunnen een rommelmarkt organiseren (Gijis' idee)

Om de keuze te kunnen maken, moeten we de volgende dingen op gaan zoeken:

- Prijs van tickets voor Walibi
- Prijs van treinkaartjes
- Prijs van een bus huren
- Kunnen we de aula van de school gebruiken
- Hoe komen we aan spullen

We hebben gekozen voor een rommelmarkt, omdat we geen instrumenten bespelen en dit leren zou te veel tijd gaan kosten. Het vervoersmiddel laten we afhangen van de kosten: we kiezen de goedkoopste.

#### Stap 4 – Taakverdeling

Pieter: Zoekt uit hoeveel een busreis kost

Gijis: Zoekt uit hoeveel treinkaartjes kosten

Jantje: Gaat checken of we de aula mogen gebruiken

Elise en Hassan: Gaan kijken waar we spullen kunnen gaan halen voor de rommelmarkt

#### Stap 5 – Uitwerking

Een bus huren voor 32 personen kost €1037,13 [2].

Een treinkaartje van Enschede centraal naar Walibi kost €25,11 per persoon [3]. Er zijn 32 personen, dus  $25,11 \times 32 = €803,52$ .

De trein is goedkoper, dus die nemen we.

De prijs van een ticket naar Walibi is €21,50 per persoon. Op 20 leerlingen mag er gratis één begeleider mee. [4] Er zijn 30 leerlingen dus er moet een extra begeleider mee, dat kost ook €21,50. Totaal kosten de tickets dus  $30 \times 21,50 + 21,50 = €666,50$ .

De totaalprijs voor de reis en de tickets is dan  $666,50 + 803,52 = €1470,02$ .

We mogen de aula niet gebruiken, dus we kunnen onze rommelmarkt niet daar organiseren. We mogen wel op het schoolplein gaan staan.

### 9.3 Evaluatiemateriaal

#### 9.3.1 Verslagen lesverloop

##### Les 1

De eerste les van de lessenserie is uitgevoerd op 6 juni 2023 tussen 1035-1135. Tussen 1035 en 1105 is er aandacht geweest voor de introductie van mij en de module: ik heb mezelf kort voorgesteld en aan de hand daarvan de reden van mijn komst. Middels een onderwijsleergesprek heb leerlingen daarna het belang van probleemoplossen uitgelegd. Hierna volgde informatie over wat ik de komende lessen van plan was, wat de insteek was van deze lessenserie en over hoe de leerlingen dit konden gaan uitvoeren. Daarnaast heb ik ze uitgelegd dat ik ze na deze lessenserie ook zal vragen deel te nemen aan een onderzoek over de bruikbaarheid en dat dit bestaat uit een evaluatieformulier, observaties in de klas en eventueel een interview. In dit deel van de instructie is ook aan bod gekomen dat ik toestemming nodig had van hen (en hun ouders, als de leerling jonger is dan 16 jaar) en dat die toestemming schriftelijk via een formulier ingeleverd moest worden. Ik heb uitgelegd wat er op het formulier stond.

Na de bespreking van het toestemmingsformulier heb ik de leerlingen het stappenplan voor probleemoplossen uitgelegd aan de hand van een voorbeeld over een uitje naar Walibi. Terwijl we het stappenplan klassikaal doorliepen, heb ik ze meteen laten zien wat ik wil dat ze in hun logboekje noteren bij elke stap. Als afsluiting van de instructie hebben we nog even kort gekeken naar het verschil tussen feiten en meningen en het gebruik van bronnen. Rond 1105 heb ik de groepsindeling bekend gemaakt en materiaal (het leerlingmateriaal en de toestemmingsformulieren) uitgedeeld zodat ze hiermee aan de slag konden. Terwijl de leerlingen hieraan werkten, liepen de vakdocent en ik rond om uitleg te geven. Om 1130 heb ik nog wat korte punten meegegeven aan de leerlingen, zoals een indicatie van welke stappen ze zo ongeveer af hadden moeten hebben en waar ze volgende les rekening mee moesten houden. Hierna hebben de leerlingen het lokaal opgeruimd, hebben ze hun werk bij me ingeleverd en zijn ze weggegaan.

Over het algemeen maakten de meeste groepjes een goede start. Ik heb de leerlingen eerst een minuut of 10 laten stoeien met het materiaal en ben toen alle groepjes langsgeslagen om te vragen of het duidelijk was wat ik van ze verwacht en hoeveel tijd ze hebben om dit project uit te voeren. Daarnaast heb ik gekeken of ze al op weg waren met hun stappenplan. Grofweg vier van de zes groepen zijn zelfstandig met het materiaal aan de slag gegaan op de manier waarop het bedoeld is: ze hebben de documenten bekeken, overlegden over mogelijke oplossingsmanieren en een aantal was deze al aan het uitwerken. Deze groepen heb ik gecoacht waar nodig (ik heb de vragen beantwoord die ze gesteld hebben, als ze die stelden). Het viel op dat de meeste leerlingen vrij snel begonnen met oplossen, zonder veel aandacht te besteden aan de eerste stappen. De twee groepen die een minder goede start hebben gekregen, hebben van mij meer sturing gekregen: ik heb ze expliciet verteld welke stappen ze zouden kunnen nemen en geprobeerd te motiveren om dit ook daadwerkelijk te gaan doen. Dit leek bij één groepje aan te slaan, dat groepje heeft de laatste tien minuten van de les wat zaken opgeschreven. Het andere groepje was moeilijk in beweging te krijgen en daarmee ga ik de volgende les als eerste zitten. Hierover moet ik de volgende les nog een paar woorden delen met ze.

Ook viel me op dat niet elke groep dezelfde route koos: precies wat ik had verwacht en wat wilde zien. Dit vat ik op als bewijs dat het probleem voldoende 'slecht gestructureerd' is, maar niet zo slecht dat leerlingen geen aanknopingspunt hebben om mee te beginnen. Communicatie onder leerlingen in de groepen wisselde ook sterk: één groep had dit strak geregeld, met een (informele) voorzitter en een notulist.

Andere groepen hadden alleen een notulist, waardoor hun overleg minder gestructureerd verliep. Hetzelfde geldt voor de samenwerking: in twee groepen zaten leerlingen die weinig tot niets uitvoerden, in de meerderheid van de groepen zijn de lasten – voor zover ik heb kunnen zien – gelijk gedragen.

Aandachtspunten die ik meeneem naar de volgende les zijn de volgende:

- Ik heb de groepen die goed aan het werk leken te zijn gecoacht, maar in zo'n eerste fase had ik ze misschien meer moeten begeleiden. Door de leerlingen uit te vragen naar hun proces en de resultaten die ze hebben kan ik beter inschatten of ze op de juiste weg zijn. Dit beeld heb ik nu niet helemaal scherp.
- De groepen waarin leerlingen zitten die duidelijk minder werk verrichten, moeten beter geleid worden: de sturing moet verder omhoog, zodat ze net als de rest aan hun taken gaan werken.
- Een aantal leerlingen heeft gevraagd naar de voorbeelduitwerking en het stappenplan, specifiek hebben ze gevraagd "of dat echt genoeg is". Omdat ik deze vraag zoveel heb gekregen, denk ik dat het goed is om hier aan begin van volgende les op terug te komen om de verwachtingen tussen de groepjes en mij op één lijn te trekken.

## Les 2

De leerlingen kwamen deze les binnen en zijn zelfstandig al met hun groepjes bij elkaar gaan zitten. Tijdens de inloop hebben een aantal leerlingen me hun ondertekende toestemmingsformulieren gegeven. Er waren 2 leerlingen die tijdens les 1 afwezig waren, die heb ik alsnog de formulieren gegeven en een korte uitleg. Daarna heb ik de les gestart met een paar observaties uit les 1 die ik met de leerlingen wilde delen:

- Ik heb eerst de klas gecompimenteerd met het feit dat de meerderheid van de leerlingen vorige les zo goed bezig was en dat ik blij was om te zien dat niet elk groepje dezelfde aanpak heeft gekozen;
- Ik heb ze er ook op geattendeerd dat ik van ze verwacht dat ze samenwerken omdat ze een cijfer krijgen als groep: elk groepslid moet dus een eerlijke hoeveelheid werk afleveren. Ik heb de leerlingen verteld dat hun vakdocent en ik op ze letten in de klas en dat in hun logboek een taakverdeling moeten komen te staan. Ze weten nu dat ze zelfs een lager cijfer kunnen krijgen als blijkt dat ze niets gedaan hebben;
- Een toelichting over het logboek volgde: ik heb de leerlingen verteld wat ik in het logboek wil zien en op welke punten ze beoordeeld worden;
- Ik heb ze laten zien welke stappen ze vandaag moeten uitvoeren zodat ze op schema komen te liggen of blijven.

Na ongeveer 12 minuten heb ik ze aan het werk gezet: ze zijn hun werk, een laptop en papier en stiften komen halen en hebben de lokaalindeling van een busopstelling naar een opstelling in groepjes verbouwd. Daarna ben ik alle groepjes in willekeurige volgorde langsgegaan en heb ik bij elk groepje bekeken hoe het met hun logboek stond (of ze dit bijhouden, hoe ze de stappen beschrijven, of het uitgebreid genoeg is of juist te uitgebreid) en daar heb ik ze feedback op gegeven. Daarnaast heb ik gepeild hoe het stond met het proces van het groepje (waar sta je nu, wat wil je nog doen, waar ga je aan werken deze les, ...).

In de uitwerking van het logboek zat veel verschil. 2 groepjes hadden nog geen logboek gemaakt of bijgehouden, die heb ik aangespoord om dit nu al wel met terugwerkende kracht te gaan maken zodat ik daar later in de les nog feedback op kan geven. 3 groepjes hadden de eerste twee tot drie stappen in hun logboek puntsgewijs uitgewerkt. Van deze groepjes heb ik hun vragen over het logboek kort besproken en ze specifieke feedback gegeven over hoe ze het nog beter kunnen invullen. Tot slot was er één groepje dat het logboek zeer nauwkeurig bij heeft gehouden, in precies de vorm en met de diepgang die ik wilde zien. Hen heb ik geccomplimenteerd en aangespoord om dit vol te houden.

De voortgang van de groepjes wisselde ook sterk. Het viel me vooral op dat de leerlingen die in les 1 weinig tot niets uitvoerden, nu actiever deelnamen. Mijn aansporing om samen te werken en de opmerking over mogelijke differentiatie in het cijfer hebben dus hun vruchten afgeworpen, hoewel ik ook verwacht dat de extra duidelijkheid over de taak die ik geboden heb ook een grote rol heeft gespeeld in hun gevoel van competentie (hun geloof in dat ze het echt wel kunnen, maar gewoon aan de bak moeten) en daarmee hun motivatie. Ongeveer de helft van de groepjes was bij stap 3 - het brainstormen over de oplossingsmethode – en liep daarmee wat achter op schema. Ik heb hier verder weinig sturing aan gegeven, omdat de leerlingen in deze groepjes wel goed bezig waren en ik aan het begin van de les al verteld had wat ik van ze verwacht.

Tot slot viel op dat de meeste groepjes ook inhoudelijk goed op niveau waren: de berekening van de totale energie ging bij drie groepjes goed, na enige aanwijzingen met betrekking tot de betekenis van vermogen. Ook waren er twee groepjes die hun zoektocht naar informatie serieus namen en met creatieve ideeën kwamen: zo was er een groepje dat de voordelen van een warmtepomp had uitgezocht ten opzichte van zonnepanelen en een ander groepje was al wat verder gevorderd met het zoeken naar argumenten voor de vergelijking tussen zonne- en windenergie. Eén groepje toonde veel creativiteit met zelfbedachte ideeën, zoals een plantenkas met zonnepanelen erop of een toren met verschillende windmolens eraan (een – zoals zij het noemden – ‘windboom’). Dit groepje heb ik wat meer gestuurd naar het doel van de opdracht in verband met de beschikbare tijd, maar ik heb ze wel geccomplimenteerd op de manier waarop dat ze met de opdracht bezig waren en hun creativiteit.

### Les 3

De leerlingen kwamen binnen en waren enthousiaster dan in les 2. Ze gingen meteen in groepjes zitten en begonnen te overleggen over hun oplossing, voor ik de kans had om de les te openen. Ik heb de aandacht teruggevraagd en dat moment gebruikt om de klas nog even concrete verwachtingen mee te geven voor deze les: een tijdstip waarop ik wilde dat ze hun werk inleverden, wat ik wilde dat ze inleverden en op welke manier ik dat van ze verwachtte. Hierna heb ik ze hun eigen gang laten gaan. Terwijl de leerlingen werkten, ben ik alle groepjes weer langsgegaan om te vragen of de verwachtingen duidelijk waren, of ze het gingen redden in de tijd en of ze nog vragen hadden. De vakdocent en ik hebben de rest van de eerste helft van de les verder besteed aan het beantwoorden van vragen. De leerlingen waren zeer zelfsturend, en er waren geen bijzonderheden.

Om 1105 heb ik aangekondigd dat leerlingen zich klaar moesten maken om hun werk in te leveren. Ik heb mijn mailbox geprojecteerd op het digibord en ervoor gezorgd dat zowel leerlingen als ik ervan overtuigd waren dat hun werk was ingeleverd en dat ik het kon openen. Na zo een tien minuten had ik van alle groepen het werk. Hierna heb ik ze het lokaal laten opruimen en geleende spullen in laten leveren. Daarna zijn we aan de gang gegaan met de enquêtes: ik heb leerlingen uitgelegd wat ze van me



zouden krijgen en hoe ze die in moesten vullen. Dit hebben ze in stilte gedaan gedurende ongeveer 15 minuten. De laatste 10 minuten hebben ze van hun vakdocent nog wat informatie gekregen over hun volgende les. Toen de les voorbij was, ben ik bij de deur gaan staan en heb ik de leerlingen bedankt voor hun medewerking.

## 9.3.2 Leerlingenquête

		Helemaal mee oneens	Een beetje mee oneens	Een beetje mee eens	Helemaal mee eens	Niet van toepassing
1	Het was voor mij duidelijk waarom dat we deze werkvorm gebruikte					
2	Het was voor mij duidelijk wat we moesten doen					
3	Er was genoeg hulp beschikbaar waar we gebruik van konden maken					
4	Er was genoeg tijd om het probleem op te lossen					
5	We hebben zelf kunnen kiezen hoe we het probleem gingen oplossen					
6	We hebben de informatie die we nodig hadden zelf kunnen vinden					
7	Ik ben trots op de prestatie die onze groep geleverd heeft					
8	Ik denk dat ik nu beter ben in het oplossen van problemen					
9	Ik denk dat ik de stof van dit hoofdstuk nu beter begrijp					
10	Ik denk dat ik nu beter ben in het kiezen tussen alternatieven					
11	Ik denk dat ik nu beter ben in het beargumenteren van mijn keuze					
12	Ik denk dat ik nu beter ben in het zoeken naar bronnen					
13	Ik denk dat ik nu beter ben in het gebruiken van bronnen					
14	Ik denk dat ik nu beter ben in het mondeling communiceren van mijn ideeën					
15	Ik denk dat ik nu beter ben in het schriftelijk communiceren van mijn ideeën					
16	Ik vond de samenwerking goed gaan					
17	Ik vond deze werkvorm nuttig					
18	Ik vond het leuk om op deze manier te werken					
19	Ik zou nog wel een keer met deze werkvorm willen werken					
20	Overige opmerkingen					

**Enquête Probleemgestuurd Onderwijs**  
3h.nat.2

**Naam\*:**  
\*Vul hier je naam in. Je antwoorden worden anoniem gemaakt voordat ze worden opgeslagen of gebruikt. Je naam wordt alleen gebruikt om te controleren of de toestemmingsformulieren zijn gelekend.

**Streep hieronder door wat niet van toepassing is:**

- Ik ben **longer dan / ouder dan / precies** 16 jaar oud
- Ik heb het toestemmingsformulier om mijn antwoorden anoniem te gebruiken **wel / niet** ondertekend
- Mijn ouders hebben het toestemmingsformulier **wel / niet** ondertekend

Door het invullen van de vragenlijst werk je mee aan een wetenschappelijk onderzoek aan de Universiteit van Twente. Je antwoorden worden gebruikt zoals beschreven in het toestemmingsformulier; je hoeft geen antwoorden te beantwoorden die je niet wilt antwoorden. De antwoorden die je geeft hebben geen invloed op je cijfer of de beoordeling van het werk dat je hebt ingeleverd.

**Invulstructuur:**  
Deze enquête bestaat uit 20 dikkedrukte vragen. Geef bij elke vraag aan in welke mate je het eens bent met de stelling *helemaal / niet mee eens tot erg mee eens*. Als je een vraag niet kunt beantwoorden, kun je ook kiezen voor de optie *niet van toepassing*. Bij vraag 20 is er ruimte om extra toelichting te geven op antwoorden als je dat wilt.

Bedankt voor het invullen!

