

Onderzoek van Onderwijs - Scheikunde
Educatie & Communicatie in de Betàwetenschappen

**Conceptueel modelleren: De
brug naar het systematisch
benaderen van scheikundige
vraagstukken in het
voortgezet onderwijs**

L. Pieters
s2245345

Eerste begeleider: Dr. T. C. Visser
Tweede begeleider: Dr. Ing. S. Y. Wong

10 ECTS

18 juli 2024

Voorwoord

Deze thesis markeert het einde van mijn studieperiode aan de Universiteit Twente (UT) en het begin van een nieuw hoofdstuk in mijn professionele carrière. Het onderzoek dat in deze thesis wordt gepresenteerd, zou niet mogelijk zijn geweest zonder de hulp en ondersteuning van vele betrokkenen. Ik wil graag van deze gelegenheid gebruik maken om hen te bedanken.

Allereerst wil ik mijn respondenten bedanken. De deelname van de volgende groepen was cruciaal voor het succes van dit onderzoek:

1. Reviewpanel: Talitha Visser en Leontine de Graaf, beiden scheikunde vakdidactici aan de Universiteit Twente en eerstegraads scheikunde docenten, hebben de lesmodule grondig gereviewd. Hun expertise en waardevolle feedback hebben de kwaliteit van de lesmodule aanzienlijk verbeterd.
2. Docenten: Zes scheikunde docenten van Marianum in Groenlo, Gerrit van der Veen College in Amsterdam, Bonhoeffer College van der Waalslaan in Enschede en Canisius in Almelo hebben deelgenomen aan dit onderzoek. Hun medewerking en inzichten waren van onschatbare waarde.
3. Leerlingen: Maar liefst 151 leerlingen uit 4V en 5V van Marianum, Gerrit van der Veen College, Bonhoeffer College van der Waalslaan en Canisius hebben deelgenomen aan dit onderzoek. Hun betrokkenheid en bereidheid om mee te werken hebben een essentiële bijdrage geleverd aan de uitkomsten van deze studie.
4. Expertpanel: De deskundige input van Leonie E. Krab-Hüsken, Saskia Lindhoud en Albert S.Y. Wong van de UT heeft het onderzoek naar een hoger niveau getild. Hun grondige analyses en fruitige discussies hebben geleid tot de verfijning van de onderzoeksresultaten.

Daarnaast wil ik mijn begeleiders, Talitha en Albert, hartelijk bedanken. Hun voortdurende begeleiding en inspirerende adviezen hebben mij enorm geholpen gedurende het gehele onderzoeksproces. Hun kritische blik en aanmoedigingen waren een bron van motivatie en hebben mij geholpen om dit project tot een goed einde te brengen.

Ik hoop dat u dit werk met evenveel interesse leest als waarmee ik het heb geschreven. Bedankt voor uw interesse in mijn onderzoek.

Liefs,

Lieke

Samenvatting

In een tijd van toenemende globalisering staan middelbare scholieren voor de uitdaging om de complexiteit van onze wereld te begrijpen. Systeemdenken, dat de relaties tussen variabelen binnen een systeem begrijpt, is hierbij essentieel. Echter, veel docenten hebben beperkte ervaring met systeemdenken en missen methoden om dit te onderwijzen. Deze thesis richtte zich op het ontwerp en de evaluatie van een lesmodule die gebruikmaakt van systeemdenken middels conceptueel modelleren (CM) om leerlingen te ondersteunen bij het begrijpen en uitleggen van concepten met betrekking tot circulariteit. Het onderzoek omvatte drie fasen: het opzetten van een theoretisch kader, de praktische implementatie van een lesmodule, en de evaluatie daarvan. Deze gestructureerde aanpak resulteerde in een eerste aanzet voor een lesmodule die bijdraagt aan de ontwikkeling van systeemdenkvaardigheden bij leerlingen.

De lesmodule *Conceptueel Modelleren voor Circulariteit* is ontworpen voor bovenbouw vwo scheikunde-onderwijs op middelbare scholen in de context van het ReCoVR-project voor duurzame en circulaire technologieën. De lesmodule is gebaseerd op de principes van onderzoekend leren om leerlingen een dieper begrip te laten ontwikkelen van scheikundige vraagstukken zoals circulariteit, door hun kritische en creatieve denkvaardigheden te prikkelen en te ontwikkelen. Het ontwerp van de lesmodule is beoordeeld door een reviewpanel, en het gebruik ervan is vastgelegd door middel van vragenlijsten, observaties en semigestructureerde interviews met docenten en leerlingen. Bovendien zijn de conceptuele modellen geëvalueerd door een expertpanel om de toegepaste systeemdenkvaardigheden te identificeren. In totaal is de lesmodule in acht klassen van vier verschillende scholen geïmplementeerd.

CM bleek een waardevolle aanvulling te zijn op het onderwijs, waarbij zowel leerlingen als docenten positieve effecten ervoeren in termen van leerprestaties en cognitieve ontwikkeling. Daarbij waardeerden ze de lesmodule vanwege zijn bruikbaarheid, relevantie en effectiviteit. Hoewel uitdagingen zoals tijdsbeperkingen en de behoefte aan meer ervaring werden geïdentificeerd, toonden analyses van de conceptuele modellen aan dat leerlingen verschillende systeemdenkvaardigheden (ontwikkelden en) gebruikten zoals het identificeren van systeemcomponenten en menselijke invloeden daarop. Complexere vaardigheden, zoals het voorspellen van systeemgedrag, werden minder teruggevonden.

Over het geheel genomen heeft de lesmodule bijgedragen aan een dieper begrip van circulariteit en systeemdenken, wat essentieel is voor de ontwikkeling van 21e-eeuwse vaardigheden en betrokkenheid bij wetenschappelijk onderzoek. De integratie van systeemdenken middels CM is dan ook een veelbelovende benadering om het begrip van complexe wetenschappelijke concepten bij leerlingen te versterken en hun kritisch en creatief denkvermogen te ontwikkelen. Tenslotte worden er ook zeven aanbevelingen aangedragen ten aanzien van toekomstige implementaties van de lesmodule op de middelbare school en de implicaties voor het hoger onderwijs benoemd. Deze implementaties zullen de brug naar het systematisch benaderen van scheikundige vraagstukken in het voortgezet onderwijs versterken.

Inhoudsopgave

1	Inleiding	5
2	Theoretisch kader	8
2.1	Systeemdenken	8
2.2	Conceptueel modelleren	9
2.3	Onderzoekend leren	12
2.4	Inzichten uit onderwijs over systeemdenken	13
3	Methode	15
3.1	Onderzoeksopzet	15
3.1.1	Fase 1: Systeemdenken en CM	15
3.1.2	Fase 2: Ontwerp lesmodule	15
3.1.3	Fase 3: Evaluatie lesmodule	15
3.2	Ontwerpeisen lesmodule	16
3.3	Respondenten	18
3.4	Data verzameling en analyse	18
4	Resultaten en Discussie	22
4.1	Ontwerp lesmodule	22
4.2	Evaluatie lesmodule	23
4.2.1	Bruikbaarheid	23
4.2.2	Effectiviteit	25
4.2.3	Conceptuele modellen	28
5	Conclusie	32
5.1	Lesmodule	32
5.2	Implicaties	33
6	Beperkingen en Aanbevelingen	34
	Referenties	36
A	Bijlagen	40
A.1	Conceptuele modellen	40
A.2	Lesmodule 4V en 5V	46
A.3	Informatiebrieven	65
A.4	Meetinstrumenten	71
A.5	Ethiekaanvraag	77

1 Inleiding

In een tijdperk van toenemende globalisering staan middelbare scholieren voor een grote uitdaging: de complexiteit van onze geglobaliseerde wereld te leren begrijpen. De huidige middelbare scholieren zijn immers de onderzoekers van de toekomst. Zij zullen geconfronteerd worden met deze uitdagingen en de verantwoordelijkheid moeten dragen om innovatieve oplossingen te ontwikkelen. Maar hoe kunnen ze dat bereiken? Leerlingen moeten inzicht gaan ontwikkelen in de ingewikkelde verhoudingen op diverse ruimtelijke niveaus [Cox, 2016]. Dit vermogen is essentieel voor hun capaciteit om te reflecteren op hedendaagse en toekomstige duurzaamheidsvraagstukken, zoals de overpopulatie en circulariteit. Desalniettemin, zijn de onderliggende verbanden tussen verschillende elementen vaak onduidelijk door de toenemende complexiteit van onze wereld. Om toch mondiale en complexe problemen holistisch te kunnen analyseren en creatieve oplossingen te kunnen bedenken, is het vermogen tot systeemdenken essentieel [Arnold and Wade, 2015; National Research Council (US) Board on Science Education, 2010].

Systeemdenken wordt gedefinieerd als het begrijpen van de relaties tussen verschillende variabelen in een systeem om het probleem te kunnen deduceren [Linzel, 2023]. Het ontwikkelen van een dieper begrip van systemen bevordert het vermogen om betere oplossingen te bedenken en rekening te houden met veranderende omstandigheden [Cox, 2016]. Tümay [2023] en Orgill et al. [2019] benadrukken hierom het belang van het onderwijzen van systematisch denken, vooral voor het voorbereiden van de toekomstige scheikundigen. Naast het bevorderen van het laten zien van duurzame innovaties, kan systeemdenken leerlingen helpen om meer interesse in scheikunde te ontwikkelen. Bovendien ontwikkelen ze hierdoor hogere denkvaardigheden en kunnen ze hierdoor holistisch en systematisch nadenken, wat misconcepties kan voorkomen [Tümay, 2023]. Desondanks hebben docenten in het voortgezet en hoger onderwijs vaak weinig tot geen ervaring met systeemdenken en zijn ze niet bekend met methoden om het te implementeren. Ook blijkt er behoefte te zijn aan oefenmateriaal en voorbeelden van systeemdenken voordat docenten het willen integreren in hun eigen onderwijs.

Om deze reden wordt er in deze thesis een eerste aanzet gedaan met een lesmodule over systeemdenken. Specifiek wordt er gekeken naar systeemdenken middels conceptueel modelleren (CM). CM biedt leerlingen een raamwerk waarmee ze gerichte vragen leren stellen en het denkproces expliciet maken om tot systeemdenken te komen [Linzel, 2023]. Krab-Hüsken et al. [2023] hebben CM geïmplementeerd in het hoger onderwijs bij scheikunde bachelorprojecten om studenten te helpen met onderzoeksvragen te ontwerpen. Voorafgaand aan de projecten kregen de studenten een college over de CM-theorieën, waarna ze experimenten gingen uitvoeren om bijvoorbeeld elektrochemische cellen te begrijpen. CM hielp de studenten bij het begrijpen van de achtergrond voordat ze aan een oplossing gingen werken. De auteurs toonden aan dat deze benadering studenten ook helpt bij het conceptualiseren van problemen als: "PFAS in het milieu". Studenten stemden bovendien positief over de implementatie van CM in hun bacheloropleiding; het helpt hen bij het structureren van ideeën en opent hun geest, hoewel ze CM soms als abstract ervaren. Uit het onderzoek van Edwards and Head [2016] bleek dat scheikunde leerlingen al op de middelbare school baat hebben bij CM en hierdoor essentiële vaardigheden ontwikkelen door bijvoorbeeld te kunnen identificeren welke functies een model kan vervullen.

In deze thesis wordt, in samenwerking met de UT en 4 middelbare scholen in Nederland, het onderzoek van Krab-Hüsken et al. [2023] vertaald naar een lesmodule en wordt onderzocht of CM op deze manier kan worden toegepast op een middelbare school. Deze

lesmodule heeft als doel om leerlingen ingewikkelde scheikundige vraagstukken te laten onderzoeken door (beginnende) kritische en creatieve denkvaardigheden te prikkelen/ontwikkelen. Om een handvat voor leerlingen te bieden, is er gekozen om CM in de context van het project Recovery and Circularity of Valuable Resources (ReCoVR) [Institute for sustainable process technology, 2021] uit te voeren. Wanneer lesmodules worden ontwikkeld vanuit een boeiende context (zoals ReCoVR) met afwisselende werkvormen, blijken leerlingen aanzienlijk meer te leren over de aard van wetenschap [Çam and Geban, 2011]. Daarnaast heeft het ook een positieve invloed op de houding [Bennett et al., 2007] en motivatie [King et al., 2008] van leerlingen ten opzichte van wetenschap. In de ontworpen lesmodule fungeert ReCoVR als een kapstok waar de rest van het onderzoek omheen is gebouwd.

ReCoVR

In het ReCoVR-project ontwikkelen onderzoekers nieuwe materialen en coatings voor elektrisch aangedreven scheidingstechnologieën. Het doel is dat deze technologieën bijdragen aan het efficiënter, duurzamer en circulair maken van talloze industriële processen.

Het onderzoek focust zich op vijf targetmoleculen op de volgende manier:

1. Schoon water (zonder organisch materiaal) door middel van waterzuivering.
2. Smaakmoleculen door smaakstoffen te isoleren.
3. Koolstofmonoxide door chemicaliën te recycleren.
4. Suikers, zouten en zuren door de terugwinning van voedingsmiddelen.
5. Proteïnes door bij de productie van vleesvervangers en eiwitrijke zuivelproducten te zuiveren.

Onder leiding van Dr. Sissi de Beer van de Universiteit Twente wordt het ReCoVR-project uitgevoerd. Meerdere universiteiten, bedrijven en onderzoekers werken samen om deze doelstellingen te verwezenlijken. Een specifiek subdoel van het project is om leerlingen te inspireren voor wetenschappelijk onderzoek en hen te stimuleren bij het bedenken van technologische innovaties voor een circulaire economie [Institute for sustainable process technology, 2021].

Deze thesis richt zich op het ontwerp en de evaluatie van een lesmodule die gebruikmaakt van systeemdenken middels CM om leerlingen te helpen bij het begrijpen en uitleggen van concepten met betrekking tot circulariteit door middel van onderzoekend leren. De centrale onderzoeksvraag luidt:

In hoeverre kan de lesmodule 'Conceptueel modelleren voor circulariteit' leerlingen helpen om concepten met betrekking tot circulariteit te begrijpen en uit te leggen?

Deze onderzoeksvraag wordt onderzocht in drie fasen om zowel de theoretische achtergrond als het gebruik van de lesmodule *Conceptueel modelleren voor circulariteit* in kaart te brengen.

Fase 1: Systeemdenken en CM

In de eerste fase van het onderzoek worden de volgende twee deelvragen beantwoord:

- (1a) *Hoe kunnen we systeemdenken en CM definiëren en welke vaardigheden vallen hieronder?*
- (1b) *Welke ontwerpen zijn er al ontwikkeld om systeemdenken te onderwijzen?*

Hierbij wordt dieper ingegaan op de theoretische grondslagen van de concepten en hun relevantie voor het voortgezet onderwijs. Deze fase zal helpen bij het identificeren van relevante concepten en methoden voor het ontwerp van de lesmodule.

Fase 2: Ontwerp lesmodule

In de tweede fase van het onderzoek wordt een ontwerp voor CM in de bovenbouw van vwo scheikunde gepresenteerd. De volgende deelvraag staat hierbij centraal:

- (2a) *Hoe zou een ontwerp voor een lesmodule over CM in de bovenbouw van vwo scheikunde eruit kunnen zien?*

Fase 3: Evaluatie lesmodule

In de laatste fase wordt de feedback van zowel leerlingen als docenten over de effectiviteit en bruikbaarheid van de lesmodule verzameld en wordt er onderzocht welke systeemdenkvaardigheden leerlingen toepassen bij het maken van conceptuele modellen.

- (3a) *Hoe ervaren zowel leerlingen als docenten de effectiviteit en bruikbaarheid van de lesmodule?*
- (3b) *Welke systeemdenkvaardigheden worden gebruikt in de conceptuele modellen die leerlingen opstellen?*

Door deze driefasige aanpak wordt er een diepgaand begrip verkregen van de potentie van de lesmodule over systeemdenken middels CM als benadering voor het onderwijzen van circulariteit, met als uiteindelijk doel bij te dragen aan de ontwikkeling van systeemdenkvaardigheden bij leerlingen.

2 Theoretisch kader

In dit hoofdstuk wordt het theoretisch kader van dit onderzoek beschreven (fase 1). Specifiek zal het gaan over systeemdenken, CM, onderzoekend leren en inzichten uit onderwijs over systeemdenken. Het theoretische kader zal de basis vormen voor de ontwerpeisen van de lesmodule.

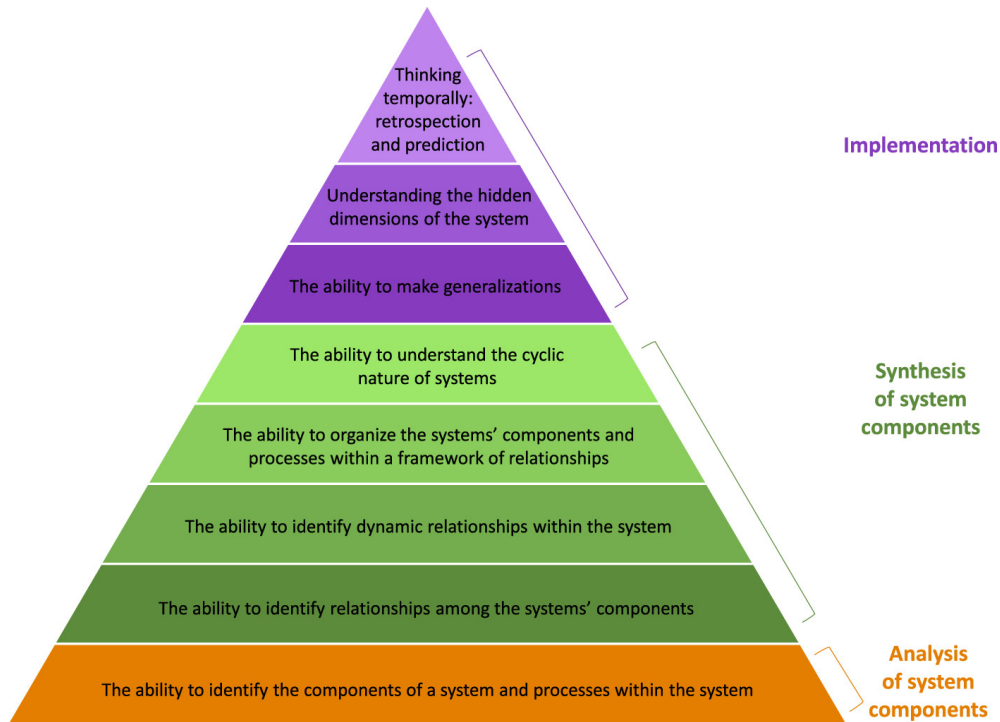
2.1 Systeemdenken

Systemen bestaan op meerdere niveaus (micro-, meso- en macroscopisch), waarbij de voorwaarden voor een specifiek systeem worden bepaald door de waarnemer ervan [Orgill et al., 2019]. Elk systeem kenmerkt zich door meerdere componenten te hebben die verbonden zijn. Kim [1999] identificeerde dat systemen altijd op dezelfde manier werken:

- Systemen hebben een doel.
- Alle delen moeten aanwezig zijn voor een systeem om zijn uitvoering optimaal te laten zijn.
- De volgorde waarin de delen zijn gerangschikt, beïnvloedt de prestaties van een systeem.
- Systemen proberen stabiliteit te handhaven door middel van feedbackloops.

Systeemdenken [Orgill et al., 2019] wordt gedefinieerd als: "Het vermogen om complexe systemen te begrijpen en te interpreteren". Dit omvat het volgende: Het visualiseren van verbanden tussen delen in het systeem; het onderzoeken van (veranderende) factoren over tijd; het onderzoeken van de oorsprong van fenomenen die ontstaan uit de interacties tussen de delen van het systeem.

Er bestaan verschillende modellen die de denkvaardigheden rondom systemen beschrijven. Een voorbeeld hiervan is het Systems Thinking Hierarchical model (STH-model) ontwikkeld door Ben-Zvi-Assaraf and Orion [2010]. Het STH-model is gebaseerd op de systeemdenkvaardigheden van Amerikaanse middelbare scholieren uit de tweede klas. Hiervoor gebruikten de onderzoekers een les over de waterkringloop waarin leerlingen de bijdrage van verschillende milieufactoren in kaart moesten brengen. Daarbij onderzochten de leerlingen ook hoe mensen de waterkringloop beïnvloeden. Er werden acht vaardigheden ontwikkeld die hiërarchisch en sequentieel in figuur 1 worden weergegeven. Het al dan niet ontwikkelen van deze vaardigheden indiceert in welke mate leerlingen kunnen systeemdenken.



FIGUUR 1: Hiërarchisch piramide model over systeemdenken, bedacht door Ben-Zvi-Assaraf and Orion [2010].

Het model is opgebouwd uit 3 niveaus. Het laagste niveau, analyse van systeemcomponenten, bestaat uit de vaardigheid: het identificeren van de verschillende componenten van een systeem. Op het middelste niveau, verbinden van systeemcomponenten, gaat het om de vaardigheden: het herkennen van verbanden tussen systeemcomponenten en het begrijpen van de cyclische aard van systemen. Het hoogste niveau, toepassing en implementatie, gaat over de vaardigheden: generalisaties bedenken, missende dimensies begrijpen en temporeel denken: terug- en vooruitblik.

Het model van Ben-Zvi-Assaraf and Orion [2010] komt echter te kort als je kijkt naar de competenties die een toekomstige scheikundige moet werven [Orgill et al., 2019]. Daarin moet namelijk ook worden meegenomen wat het effect van menselijke keuzes is op bijvoorbeeld het milieu en de sociale effecten. Bijvoorbeeld als je het hebt over een lithium-ion batterij maken, dan zal dit de gezondheid van de inwoners van de Dominicaanse Republiek Congo niet ten goede komen. Hier wordt immers het kobalt gewonnen onder gevaarlijke werkomstandigheden. De leerlingen in dit onderzoek hebben echter nog niet genoeg achtergrondkennis hiervoor, waardoor dit buiten beschouwing wordt gelaten.

2.2 Conceptueel modelleren

Modellen zijn essentieel in de scheikunde [Edwards and Head, 2016; Tümay, 2023], omdat ze inzicht bieden in de structuur en eigenschappen van complexe systemen. Het startpunt van wetenschappelijk denken in de scheikunde is dan ook modellering [Edwards and Head, 2016]. CM is een van de benaderingen die gebruikt kan worden voor het ontwikkelen van systeemdenken [Linzel, 2023]. Dit is gericht op het redeneervermogen en biedt een gestructureerde manier om specifieke aspecten van de werkelijke wereld te beschrijven en te verbinden. Met het conceptuele model kan het denkproces expliciet gemaakt worden. Er

wordt een idee of concept getest en als resultaat komt er een hypothese uit. Het is eigenlijk een visuele en tekstuele representatie van het gedachteproces van de leerling tussen het identificeren van het probleem en het bedenken van de oplossing. Het opstellen van een conceptueel model heeft meerdere voordelen [Avargil and Saxena, 2023]:

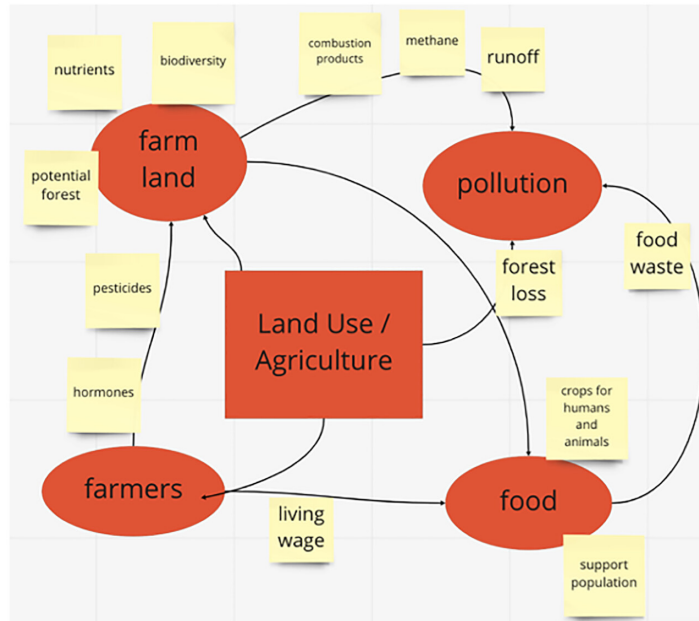
1. Het bevordert de motivatie.
2. Het verdiept de kennis van leerlingen.
3. Leerlingen ontwikkelen conceptueel begrip.
4. Leerlingen gebruiken zowel visuele als tekstuele middelen om hun gedachten te vertalen, waardoor het beter beklijft en ze meer uitdaging ervaren.

Door het zelf laten maken van een conceptueel model, zal idealiter het creatief vermogen verder worden ontwikkeld en gebruiken leerlingen een hogere denkorde. De leerlingen worden immers gestimuleerd zelf oplossingen te bedenken. Dat is erg belangrijk in het onderwijs [Collard and Looney, 2014; Hrin et al., 2017], wat bijvoorbeeld al blijkt uit de positieve relatie tussen creativiteit en academische prestaties [Gajda et al., 2017]. Het verbeteren van de creativiteit in een klaslokaal is dan ook hard nodig, aangezien het een cruciale vaardigheid is voor innovatie, en tot nu toe nog niet (volledig) gerealiseerd is [Kaufman et al., 2016]. Zoals het onderzoek van Krab-Hüsken et al. [2023] aantoonde, zijn er wel uitdagingen in de implementatie en begeleiding van CM. Zij benoemden de volgende aanbevelingen:

- Ontwikkeling van autonomie - Leerlingen moeten zelfstandigheid krijgen in het leren en de docent moet hierbij als coach ondersteuning in geven.
- Ondersteuning en scaffolding - Er moet een ondersteunende leeromgeving worden ontwikkeld met scaffolding en begeleiding van docenten.
- Motiverende onderwerpen - De onderwerpen moeten complexe echte wereldproblemen zijn om leerlingen te motiveren actief deel te nemen.

Daarom lijkt het gebruik van hulpstappen bij het maken van het model, juist aansturen van docenten (coaches), een voorbeeld opdracht met antwoord en een overkoepelend actueel thema wenselijk voor de implementatie in het voortgezet onderwijs. In het onderzoek van Krab-Hüsken et al. [2023] moesten de modellen aan bepaalde eisen voldoen om als conceptueel model te worden beschouwd. Zij benadrukten dat het model duidelijk moet maken dat de groepen eerst achtergrondinformatie verzamelen om de relevantie van het onderwerp te begrijpen en vervolgens deze informatie gebruiken om hun model te organiseren. Daarnaast moeten de correlaties tussen het fenomeen en verschillende variabelen worden aangegeven, en moeten bestaande methoden die men zou kunnen gebruiken, worden benoemd. Deze inclusievoorwaarden zullen ook dit onderzoek worden gebruikt om de conceptuele modellen te beoordelen.

Szozda et al. [2023] hebben onderzoek gedaan naar het ontwikkelen van systeendenkvaardigheden door middel van het maken van een *system map* over klimaatverandering. Dit onderzoek hebben ze uitgevoerd onder eerste- en tweedejaars universitaire scheikunde bachelor studenten in Ottawa. Een system map is een visuele representatie van een systeem, waarbij de nadruk ligt op de componenten en relaties. Een system map kan een voorbeeld zijn van een conceptueel model, omdat het ook meerdere componenten en relaties weergeeft [Lavi and Dori, 2019]. In het voortgezet onderwijs is soortgelijke onderzoek uitgevoerd waarin ook naar voren kwam dat system maps geschikt zijn om systeendenken te onderwijzen bij scheikunde [Schultz et al., 2022]. Een voorbeeld van zo'n system map is weergegeven in figuur 2.



FIGUUR 2: Voorbeeld van een system map over agricultuur [Schultz et al., 2022].

Hierbij identificeerden Szozda et al. [2023] verschillende systeemvaardigheden die worden gebruikt door de scheikundestudenten bij het construeren van visuele representaties van een onderwerp gerelateerd aan klimaatverandering. Zij identificeerden gelijke vaardigheden als Ben-Zvi-Assaraf and Orion [2010], maar verdeelde het onder in 11 vaardigheden. Deze 11 vaardigheden omvatten meer specifieke toepassingen en nuances, zoals het betrekken van menselijke handelingen, identificeren van organisatieniveaus en het begrijpen van subsystemen binnen grotere systemen. In tabel 1 zijn de 11 vertaalde vaardigheden weergegeven.

TABEL 1: Systeemdenkvaardigheden vertaald van Szozda et al. [2023]

- | | |
|---|---|
| 1. Identificeer de componenten en processen binnen een systeem | 8. Gebruik gedrag-over-tijd trends onder één set van omstandigheden om voorspellingen te doen over trends onder een andere set van omstandigheden |
| 2. Organiseer componenten en plaats ze binnen een kader van relaties | 9. Identificeer, onderzoek en/of leg (voor zover mogelijk) emergente systeemniveau-gedragingen uit |
| 3. Identificeer verschillende organisatieniveaus in een systeem | 10. Overweeg de rol van menselijke handelingen op huidige en toekomstige systeemniveau-gedragingen |
| 4. Denk heen en weer tussen verschillende organisatieniveaus in een systeem | 11. Overweeg hoe het systeem een component kan zijn van en/of kan bijdragen aan de gedragingen van een groter systeem |
| 5. Identificeer hoe componenten van een systeem verbonden zijn | |
| 6. Identificeer gedragingen die in de loop van de tijd veranderen | |
| 7. Leg uit en/of voorspel hoe een systeem is veranderd en zal veranderen | |

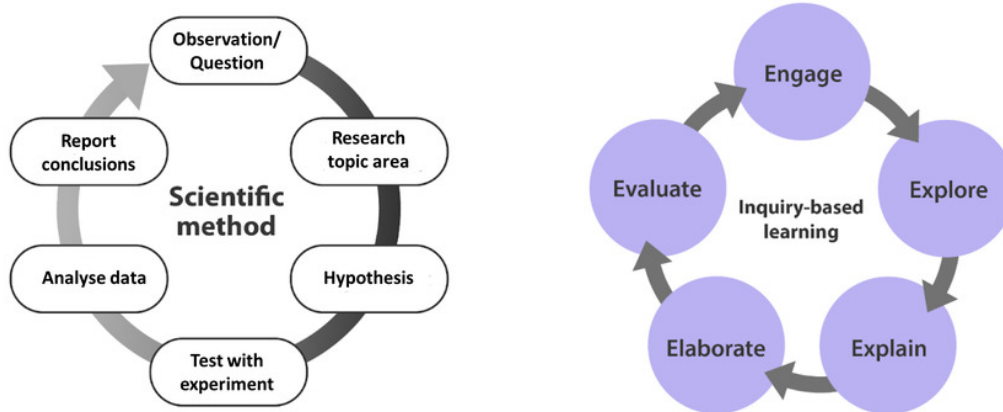
In dit onderzoek worden de conceptuele modellen op eenzelfde manier bekeken. Door te identificeren welke stappen leerlingen hebben gezet om het systeem te beschrijven en illustreren, kan in kaart gebracht worden of de leerlingen daadwerkelijk systeemdenkvaardigheden hebben ontwikkeld en/of al beheersten. Dat in combinatie met hun eigen inzichten over wat ze geleerd denken te hebben, kan inzicht geven in hoeverre het maken van zo'n model leerlingen helpt om tot systeemdenken te komen.

2.3 Onderzoekend leren

Voor het ontwerp van de lesmodule is gebruik gemaakt van inquiry-based learning, oftewel onderzoekend leren. Crawford [2014] definieerde dit als een onderwijsvorm die leerlingen uitgedaagd kritisch te denken door vragen te stellen, bewijs te verzamelen en te interpreteren, modellen te ontwikkelen en de resultaten te communiceren. Het doel van onderzoekend leren is dan ook om een dieper begrip te ontwikkelen over de natuurlijke wereld. In de National Science Education Standards [Olson and Loucks-Horsley, 2000] gebruiken ze hiervoor de volgende definitie: "Activiteiten waarbij leerlingen kennis en begrip van wetenschappelijke ideeën ontwikkelen, evenals een begrip van hoe wetenschappers de natuurlijke wereld bestuderen."

De cyclus van een leerproces dat aansluit bij onderzoekend leren is beschreven in figuur 3. Deze cyclus is vergelijkbaar met die van wetenschappelijk onderzoek. Hoewel verschillende modellen bestaan, volgen de meesten een algemeen proces dat begint met het stellen van vragen en eindigt met het communiceren van bevindingen [Hofer et al., 2018]. De volgende stappen worden hierbij doorlopen:

1. **Vragen stellen:** Leerlingen formuleren vragen over een onderwerp dat ze willen verkennen.
2. **Onderzoeken en verzamelen van informatie:** Leerlingen verzamelen informatie om antwoorden op hun vragen te vinden. Hierbij kunnen ze bijvoorbeeld (internet)bronnen raadplegen.
3. **Hypothese vormen:** Op basis van de verzamelde informatie bedenken leerlingen een voorlopige hypothese.
4. **Experimenten uitvoeren:** Leerlingen gaan door middel van experimenten de hypothese testen.
5. **Gegevens analyseren:** De leerlingen proberen de verzamelde gegevens te verklaren middels patronen, trends of andere relevante informatie te identificeren die antwoorden op hun vragen kunnen bieden.
6. **Conclusies trekken:** Op basis van de geanalyseerde gegevens komen leerlingen tot conclusies over hun vragen en hypotheses.
7. **Communiceren van bevindingen:** De leerlingen presenteren hun bevindingen aan anderen.



FIGUUR 3: De wetenschappelijke onderzoekscyclus (links) en een onderzoekende leeracyclus (rechts) [Goorney et al., 2023].

Verschillende studies hebben de effecten van onderzoekend leren op het leren van wetenschappelijke inhoud onderzocht. Minner et al. [2009] toonden aan dat een hogere mate van betrokkenheid bij onderzoeksactiviteiten leidde tot betere prestaties en dat het gebruik van constructivistische benaderingen, zoals onderzoekscycli, resulteerden in verbeterd begrip van wetenschappelijke concepten. Vergelijkbare bevindingen werden gerapporteerd door Blanchard et al. [2010]. Toch blijken veel docenten een gebrek aan begrip te hebben over hoe ze de onderwijsvorm in hun eigen praktijk moeten toepassen omwille van tijdgebrek, curriculum vereisten en een gebrek aan middelen [Hofer et al., 2018].

2.4 Inzichten uit onderwijs over systeemdenken

Systeemdenken gebeurt tot dusver vooral in de biologie [Gilissen et al., 2020; Verhoeff, 2003; Tripto et al., 2018]. De bioloog Ludwig von Bertalanffy wordt over het algemeen beschouwd als de grondlegger van systeemdenken [Orgill et al., 2019]. Hij beredeneerde dat voor een volledig begrip van organismen er niet alleen gericht moet worden op de delen van organismen, maar ook op hun geheel. Hij benadrukte dat organismen unieke eigenschappen, kenmerken en gedragingen hebben die voortkomen uit de organisatie en interacties tussen hun delen. Bovendien beweerde hij dat deze eigenschappen niet kunnen worden voorspeld op basis van de eigenschappen van de delen alleen. In deze sectie worden een paar onderzoeken benoemd die erin geslaagd zijn systeemdenken te integreren in het onderwijs.

Verhoeff [2003] ontwikkelde een onderwijsleerstrategie waarbij systeemdenken werd geïntegreerd met celbiologie in de bovenbouw van het vwo. De strategie bestond uit zes fasen, waaronder een algemene oriëntatie op celbiologie, het creëren van modellen van cellen en het toepassen van deze modellen op verschillende organisatieniveaus. Zijn onderzoek toonde aan dat deze aanpak effectief was in het ontwikkelen van een samenhangend begrip van celbiologie en het aanmoedigen van systeemdenken bij leerlingen.

Een ander onderzoek in de biologie [Tripto et al., 2018], toonde aan dat door middel van concept maps het menselijk lichaamssysteem geschetst kon worden en leerlingen hierdoor systeemvaardigheden ontwikkelden. Het onderzoek volgden 67 middelbare school biologieleerlingen over 3 jaar tijd. In deze tijd ontwikkelden de leerlingen 4 concept maps. Ondanks de diversiteit in de modellen, was er een meetbare vooruitgang in systeemdenken, evoluerend van eenvoudige naar complexe structuren over de tijd.

In het onderzoek uitgevoerd door Vachliotis et al. [2021] werd de Systemic Approach to Teaching and Learning (SATL)-strategie toegepast om systeemdenken in het Griekse scheikundeonderwijs te integreren in de 5de klas. In de strategie werd er gebruik gemaakt van het cyclisch maken van concept maps. Het onderzoek toonde aan dat de studenten die de SATL-strategie volgde, significant beter begrip van scheikunde concepten lieten zien dan de groep die de traditionele aanpak volgde. Bovendien werd er een correlatie gevonden tussen het diepgaande begrip van scheikunde en het niveau van systeemdenken bij de studenten.

Edwards and Head [2016] implementeerde CM bij scheikunde op de middelbare school. Er werd hier een benadering gebruikt die leerlingen aan modelleren en de bijbehorende terminologie om begrip en vaardigheden te verbeteren, blootstelde. Ze hebben hierbij een les ontworpen die bestond uit pretests en posttests om het begrip van de leerlingen in kaart te brengen. Hiervoor werden verschillende activiteiten gebruikt zoals kaartjes sorteren en een galerij wandeling om de betrokkenheid van de leerlingen en de kennis van conceptuele modellen te vergroten. Er bleek een significante verandering te zijn in de percepties en het begrip van de leerlingen met betrekking tot het CM. Daarentegen, gaven ze ook aan dat deze les op zichzelf niet voldoende oefening biedt om meesterschap te ontwikkelen in het maken of gebruiken van CM. Onderzoek wijst dan ook uit dat het beter is om zo vroeg en veel mogelijk in de principes van complexe systemen te onderwijzen [Ben-Zvi-Assaraf and Orion, 2010] om problemen te voorkomen bij het begrijpen van systemen [Jacobson and Wilensky, 2006].

In de studie uitgevoerd door Krab-Hüsken et al. [2023] was het doel om scheikunde studenten conceptuele modelleringsvaardigheden aan te leren in het hoger onderwijs. Specifiek onderzochten ze hoe CM kon bijdragen aan de overgang van probleemidentificatie naar testbare hypothesen. In de studie moesten studenten in een project werken aan een opdracht die gericht was op duurzame oplossingen ontwerpen voor vervuilde omgevingen. Uit de interviews die zijn afgenomen is gebleken dat CM studenten hielp bij het structureren van ideeën. Het opstellen van een hypothese werd echter nog steeds als uitdagend ervaren. De onderzoekers concludeerden dat deze aanpak het systematisch denken in de scheikunde bevordert.

Hieruit kan worden geconcludeerd dat het integreren van systeemdenken in het onderwijs, vooral door middel van CM en andere strategieën zoals SATL en concept maps, effectief is in het verbeteren van begrip en vaardigheden bij leerlingen en studenten in zowel biologie als scheikunde. Bovendien kwam er naar voren dat het belangrijk is om deze benaderingen vroeg en frequent mogelijk in te zetten om diepgaand begrip van complexe systemen te bevorderen.

3 Methode

In dit hoofdstuk wordt de methodologie van het ontwerponderzoek belicht door de onderzoeksofzet, de betrokken respondenten, de gebruikte meetinstrumenten en de methoden voor data-analyse te beschrijven. De ontworpen lesmodule is gegeven in bijlage A.2.

3.1 Onderzoeksofzet

Dit onderzoek is onderverdeeld in 3 fasen die hieronder worden toegelicht. Eerst is er een literatuurstudie uitgevoerd, gevolgd door het ontwerpen van een lesmodule. Daarna is dit ontwerp in de praktijk geïmplementeerd en geëvalueerd.

3.1.1 Fase 1: Systeemdenken en CM

In fase 1 wordt er een literatuurstudie uitgevoerd die is onderverdeeld in verschillende onderdelen. Eerst wordt verkend wat systeemdenken is. Hiervoor worden algemene bronnen geraadpleegd. Ook is er gezocht naar een connectie met het onderwijs en of er bestaande lesmodules zijn die in het voortgezet onderwijs gebruikt worden om hierin te onderwijzen. Vervolgens is er gericht gekeken naar CM en de verschillende vormen ervan. Hierbij wordt er ingegaan op de eisen waaraan een model moet voldoen om het als conceptueel model te kunnen beschouwen. Daarnaast is er gekeken naar de manier waarop het in het scheikunde onderwijs kan worden toegepast en welke knelpunten hierbij genoemd worden. Als laatste werden de relevante leertheorieën bekeken om de basis te vormen voor het ontwerp van de lesmodule en de leerdoelen op te stellen.

3.1.2 Fase 2: Ontwerp lesmodule

In fase 2 is een aanzet gedaan voor een lesmodule met daarin de verwerkte ontwerpeisen en wensen van docenten. De lesmodule en bijbehorende docentenhandleiding is beoordeeld door het reviewpanel en het ontwerp ervan wordt besproken in hoofdstuk 4.1.

3.1.3 Fase 3: Evaluatie lesmodule

Bij het beoordelen van de werkelijke bruikbaarheid en effectiviteit van de lesmodule staan de volgende vragen centraal zoals aanbevolen door het SLO [2022]:

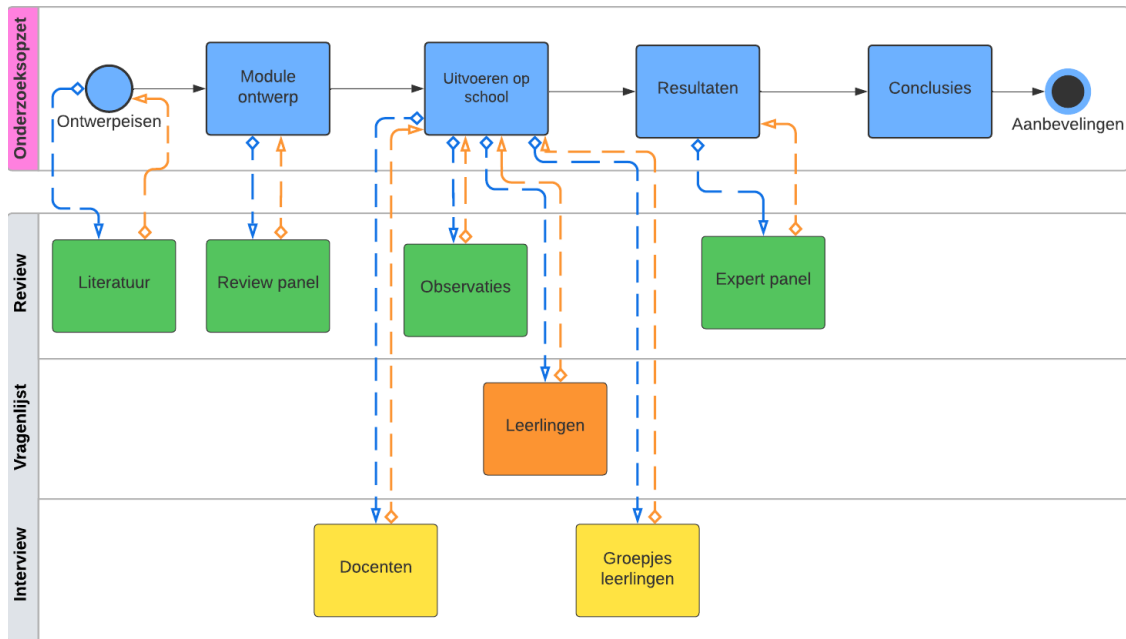
1. Was de lesmodule uitvoerbaar met de beschikbare middelen, voorzieningen en leerlingen?
2. Heeft het gebruik van de lesmodule geleid tot de beoogde leerresultaten?

Daarnaast zal in deze fase worden onderzocht welke ingeleverde modellen voldoen aan de beschreven inclusievoorwaarden in hoofdstuk 2.2 opgesteld door Krab-Hüsken et al. [2023] en welke systeemdenkvaardigheden er in de juist opgestelde modellen zijn gebruikt.

De uitvoering van de lesmodule is geëvalueerd op vier verschillende scholen bij acht verschillende 4V/5V klassen. Tijdens het geven van de lesmodule zijn er op drie scholen observaties gedaan tijdens verschillende lessen. Verder hebben alle leerlingen een vragenlijst ingevuld na afloop van de lesmodule en zijn er aan het eind/na afloop van de lesmodule interviews afgenomen bij leerlingen uit vijf verschillende klassen van drie verschillende scholen. Deze interviews zijn gebruikt om de onderzoeksresultaten te valideren. Om deze reden zijn ook alle docenten geïnterviewd om aanvullend bewijs te verzamelen. Deze interviews volgen een semigestructureerde vorm zoals vastgelegd in A.4. Alle verzamelde

modellen zijn vervolgens besproken in een expertpanel om de systeendenkvaardigheden die leerlingen gebruikt hebben te identificeren met behulp van een beoordelingsformulier (A.1).

Alle leerlingen hebben schriftelijk akkoord kunnen geven voor het volgen van de lesmodule, het gebruik van hun resultaten en de interviews. De ouders zijn ook op de hoogte gesteld van het onderzoek door middel van een informatiebrief. Deze brieven zijn te vinden in bijlage A.3. Het verzamelen van de data op deze manier is goedgekeurd door de ethiekcommissie van BMS (zie A.5). In figuur 4 is de volledige opzet van het onderzoek schematisch weergegeven.



FIGUUR 4: Onderzoeksopzet en bijbehorende meetinstrumenten. De gestippelde pijlen geven de interacties en feedbackloops tussen de verschillende meetinstrumenten, respondenten en fasen van het onderzoek aan.

3.2 Ontwerpeisen lesmodule

Het ontwerp van de lesmodule is in samenspraak gemaakt met de betrokken scholen. Hieruit zijn de volgende wensen voor de lesmodule gekomen:

1. De lesmodule kan worden opgedeeld in vier of vijf lessen, afhankelijk van de behoeften van de docent en de beschikbare tijd.
2. De lesmodule is gestructureerd en heeft een aantrekkelijke lay-out.
3. De leerlingen behalen de inhoudelijke leerdoelen.
4. De lesmodule speelt in op de motivatie van leerlingen.

Om deze reden is er gekozen voor aparte hoofdstukken in de lesmodule per onderwerp waarin de verschillende activiteiten worden aangegeven door middel van kopjes. Bovendien is er werkruimte bij elke vraag gemaakt om duidelijk te impliceren dat er iets opgeschreven moet worden. Dit helpt de docent ook om te zien hoe de leerlingen aan het werk zijn. Daarnaast zijn er bijpassende A2/A3 formulieren gemaakt voor de modellen om uniformiteit te creëren in de lesmodule.

Vanuit de literatuur, onderzocht in hoofdstuk 2 in fase 1, kunnen hieraan de volgende ontwerpeisen worden toegevoegd:

5. De lesmodule sluit aan bij zowel wetenschappelijk onderzoek als de belevingswereld van de leerlingen.

Door het gebruik van boeiende contexten en afwisselende werkvormen in de lesmodule kan de intrinsieke motivatie van leerlingen worden vergroot [Vachliotis et al., 2021; Edwards and Head, 2016]. Door real-world problemen te integreren, kunnen leerlingen de relevantie van scheikunde in hun dagelijks leven zien en gemotiveerd worden om dieper in de materie te duiken. In de ontworpen lesmodule zullen leerlingen meer over het ReCoVR-project (actueel wetenschappelijk onderzoek) gaan leren. De leerlingen krijgen in het laatste deel ook vrijheid om autonoom op zoek te gaan naar het probleem van een targetmolecuul en naar nieuwe technologische innovaties te zoeken. Om ook aan te sluiten op de belevingswereld van de leerlingen is er gekozen voor onderwerpen rondom circulariteit om CM aan te leren. Circulariteit biedt voor leerlingen een betekenisvolle en realistische context en zal ze hierdoor meer motiveren [Marzano and Miedema, 2018].

6. De docent hoeft minimale sturing te geven bij het doorlopen van de lessenserie.

De lessenserie richt zich op onderzoekend leren en moet daarom duidelijke instructies bevatten zodat leerlingen zelfstandig/in groepjes kunnen werken. Volgens Crawford [2014] en Hofer et al. [2018] leren leerlingen het best door actief betrokken te zijn bij het proces: zelf vragen stellen, hypothesen formuleren, experimenten uitvoeren en bevindingen presenteren. De leerlingen moeten worden aangemoedigd om zelfstandig of in groepjes te werken, waarbij ze zelf de controle hebben over hun leerproces en worden gestimuleerd om kritisch en probleemoplossend te denken. Didactisch gezien moeten leerlingen er zelf voor zorgen dat de leerdoelen behaald worden door het zelfstandig/in groepjes ontdekken van de nieuwe concepten en ze leren toe te passen. De docent dient daarbij vooral te motiveren en stimuleren door te coachen en vragen te stellen, zonder voortdurend te dirigeren.

7. De lesmodule moet een oefening bevatten waarin leerlingen de componenten van een systeem leren identificeren via onderzoekend leren.

Een oefening gericht op het identificeren van systeemcomponenten en het doorlopen van de cyclus van onderzoekend leren, kan de systeemdenkvaardigheden van leerlingen versterken. Leerlingen kun je hierdoor helpen begrijpen hoe systemen werken en hoe ze deel kunnen nemen aan het proces van systeemdenken. Hands-on ervaringen en praktische oefeningen helpen leerlingen immers complexe systemen te analyseren en te begrijpen [Ben-Zvi-Assaraf and Orion, 2010; Tripto et al., 2018]. Ook moet er een controlemoment zijn om leerlingen hun werk te laten evalueren en op weg te helpen/inspireren. Hierdoor kunnen leerlingen controleren of ze de geleerde concepten en vaardigheden goed begrijpen en kunnen toepassen.

8. De lesmodule moet leerlingen stimuleren conceptuele modellen te ontwikkelen, waarbij ze zowel visuele als tekstuele middelen gebruiken om hun gedachten te vertalen.

De lesmodule moet leerlingen aanmoedigen om hun eigen conceptuele modellen te ontwikkelen, waarbij ze zowel visuele als tekstuele middelen gebruiken. Door op deze manier hun gedachten te uiten, zoals voorgesteld door Avargil and Saxena [2023] en Kaufman et al. [2016], kunnen leerlingen leren abstracte concepten om te zetten in concrete representaties en nieuwe ideeën genereren.

Aansluitend bij deze ontwerpeisen zijn de volgende leerdoelen voor leerlingen opgesteld:

1. Je kunt uitleggen waar het ReCoVR-project over gaat
2. Je kunt de vijf targetmoleculen binnen het project opnoemen.
3. Je kunt uitleggen wat circulariteit betekent in je eigen woorden.
4. Je kunt uitleggen wat een conceptueel model is en kent het stappenplan voor het opstellen ervan.
5. Je hebt kennisgenomen van zelf een conceptueel model opstellen.
6. Je kunt uitleggen wat het gekozen probleem precies inhoudt en hoe het wordt veroorzaakt.
7. Je kunt een creatieve oplossing bedenken samen met je groepje door middel van het conceptuele model en een hypothese bedenken die deze ondersteunt.
8. Je kunt je onderzoeksresultaten kort en overtuigend in een pitch overbrengen.

3.3 Respondenten

Aan dit onderzoek hebben de volgende respondenten deelgenomen:

1. Reviewpanel (2) - de review van de lesmodule is uitgevoerd door Talitha C. Visser en Leontine A. de Graaf, beiden scheikunde vakdidactici op de Universiteit Twente en eerstegraads scheikunde docenten.
2. Docenten (6) - scheikunde docenten van de middelbare scholen: Marianum in Groenlo, Gerrit van der Veen College in Amsterdam, Bonhoeffer College van der Waalslaan in Enschede en Canisius in Almelo.
3. Leerlingen (151) - 4V en 5V leerlingen van Marianum, Gerrit van der Veen College, Bonhoeffer College van der Waalslaan en Canisius.
4. Expertpanel (3) - bestaande uit: Leonie E. Krab-Hüsken, Saskia Lindhoud en Albert S.Y. Wong, allen betrokken onder andere als docent bij de opleiding Chemical Science and Engineering aan de Universiteit Twente.

Alle leerlingen en docenten die lesmodule gevolgd/gegeven hebben, zijn bevraagd over het gebruik en de resultaten hiervan. De docenten door middel van een interview gesprek en de leerlingen door middel van een vragenlijst. Deze vragenlijst is 91 keer door 5V leerlingen en 37 door 4V leerlingen ingevuld. Ook zijn een selecte groepjes leerlingen van drie scholen geïnterviewd na afloop van de lesmodule. Hiervoor zijn alle leerlingen uit de betreffende klassen gevraagd en de docent heeft uit de vrijwilligers een selectie gemaakt van leerlingen uit verschillende groepjes om zo een representatief beeld te creëren vanuit de hele klas. De uiteindelijke conceptuele modellen zijn besproken in een expertpanel om de systeemdenkvaardigheden die leerlingen toe hebben gepast te identificeren.

3.4 Data verzameling en analyse

In deze sectie komen de meetinstrumenten en analysetechnieken aanbod die gebruikt zijn in dit onderzoek. In verschillende fases van het onderzoek is data verzameld. De data zullen beschikbaar worden gesteld op SURF (Samenwerkende Universiteiten Reken Faciliteiten) Data Repository nadat dit onderzoek is afgerond. Het aantal respondenten per onderdeel is samengevat in onderstaande tabel.

TABEL 2: Overzicht van het aantal respondenten per onderdeel per school.

	School			
	1	2	3	4
Docent (6)	A	B	C en D	E en F
Leerlingen (151)	39	42	36	34
Observatie (4)	4V en 5V	x	5V	4V
Vragenlijst (128)	4V:17 & 5V:19	5V:36	5V:36	4V:20
Interview leerlingen (20)	4V:4 & 5V:4	x	5V(1):2 & 5V(2):5	4V:5

Het onderzoek gebruikte verschillende meetinstrumenten (zie figuur 4). Eerst is er een literatuurstudie uitgevoerd om de ontwerpisen op te stellen, waarna een lesmodule is ontworpen. Dit ontwerp is aan een reviewpanel voorgelegd voor algemene feedback (geen formeel instrument), die vervolgens is geïmplementeerd. Tijdens fase 3 was dataverzameling cruciaal, waarbij de lesmodule zelf als belangrijk instrument diende. De uitvoering ervan is op verschillende manieren geëvalueerd (triangulatie) om de betrouwbaarheid en validiteit te vergroten [Baarda et al., 2001]. Hiervoor is data verzameld vanuit verschillende bronnen en op verschillende manieren. Allereerst is tijdens de uitvoering van les 3 en 4 op drie scholen geobserveerd met behulp van richtlijnen (bijlage A.4) die specifiek focussen op de thema's:

1. Leren/begrip CM en SD
2. Gebruik van de lesmodule
3. Ondersteuning door de docent in lesmodule
4. Samenwerken in groepjes

Deze thema's vormen gelijk de basis van de deductieve werkwijze die gebruikt is om alle data te analyseren. Hieronder zullen de verschillende meetinstrumenten kort worden toegelicht samen met de evaluatie van de leerdoelen.

Vragenlijst

Na de lesmodule vullen alle leerlingen een vragenlijst in om de behaalde leerdoelen, de effectiviteit (vragen 1-4 en 8-9) en bruikbaarheid (vragen 5-7) van de lesmodule te evalueren. Leerlingen scoren elke vraag op een schaal van 1 (helemaal niet waar) tot 5 (helemaal waar). De gemiddelde scores per vraag worden geplot samen met de score 3 (neutraal) en de standaarddeviatie om de (spreiding in) meningen van leerlingen te visualiseren. Het individueel invullen van de vragenlijst draagt bij aan het verkrijgen van een zo nauwkeurig mogelijk beeld van de perceptie van de leerling. Met de vragenlijst kunnen ook de ontwerpisen 2, 3, 5 en 6 worden geëvalueerd. Het vragenlijstformulier is te vinden in A.4.

Interview

Semigestructureerde interviews zijn uitgevoerd met behulp van een interviewleidraad (A.4), opgedeeld in de eerder benoemde vier thema's. Bij elk van deze thema's zijn verdiepende vragen opgesteld die inzicht moeten geven in hoe leerlingen de lesmodule hebben ervaren en wat ze hiervan geleerd denken te hebben. De vragen zijn open om de interne validiteit te waarborgen. Docenten zijn geïnterviewd om antwoorden van leerlingen te verifiëren en diepgaand inzicht te verkrijgen in het belang en de praktische aspecten van de lesmodule. De herkende vaardigheden voor CM door leerlingen en docenten die naar voren kwamen in de interviews kunnen vervolgens samengevat worden in een diagram.

Met als doel de interviews te verzekeren van validiteit en betrouwbaarheid, zijn er enkel audio-opnames gemaakt en deze zijn vervolgens getranscribeerd. Elke docent is individueel geïnterviewd en de leerlingen in groepjes van 2-5 om de externe validiteit te verhogen. Voor de analyse van de transcripties is gebruik gemaakt van coderen op basis van de thema's. Hierna zijn alle antwoorden van de docenten, 5V en 4V leerlingen gescheiden en zijn de overeenkomsten in de antwoorden bepaald per thema. Hieruit kunnen quotes worden geselecteerd die aansluiten bij de verschillende vragen van de vragenlijst.

Observatieschema

In ontwerp onderzoek is het cruciaal om de lespraktijk te observeren, zoals aangegeven door van der Donk and van Lanen [2020]. Observaties op verschillende scholen waren gericht op het verzamelen van aanvullende data over ontwerpseisen 2, 4 en 6. Hierbij lag de focus op zowel de bruikbaarheid als effectiviteit van de onderwijsmodule. Voor de beoordeling van de bruikbaarheid zijn de vragen van leerlingen aan de docent en hun samenwerking in groepjes geanalyseerd om betrokkenheid te meten en te verifiëren of de lesmodule gezamenlijk leren stimuleert.

De effectiviteit is onderzocht door de voortgang van leerlingen gedurende de les te monitoren, de rol van de docent vast te leggen, en opnieuw te kijken naar het groepswerk. Specifiek werd geobserveerd hoe docenten groepjes ondersteunden bij het maken van de modellen en hen motiveerden, wat inzicht geeft in de rol van leerlingen en docenten in relatie tot de leerresultaten. Om zowel bruikbaarheid als effectiviteit van de lesmodule te visualiseren, kan alle verzamelde data worden samengevat in een diagram. Hierin worden gegevens uit vragenlijsten, interviews en observaties gecombineerd om zowel de sterke punten als de uitdagingen te tonen.

Beoordelingsformulier expertpanel

Voor het beoordelen van de modellen is er gekeken naar of de ingeleverde modellen aan de inclusievoorwaarden voldoen (beschreven in hoofdstuk 2.2). De juist opgestelde modellen zijn beoordeeld met het beoordelingsformulier (bijlage A.1) door de 11 systeemdenkvaardigheden te evalueren en te noteren of deze wel of niet zijn gebruikt door middel van een vinkje. In het expertpanel wordt per model gezamenlijk de tabel ingevuld en bediscussieerd over het wel of niet gebruiken van de vaardigheid tot er een overeenstemming is. Hiermee wordt onderzoeksvraag 3b onderzocht. Om de beoordeling zo goed mogelijk te doen, is er gekozen voor respondenten in het expertpanel die ervaring hebben met het beoordelen van scheikundige conceptuele modellen. Deze respondenten zijn tevens auteurs van de studie uitgevoerd door Krab-Hüsken et al. [2023].

Evaluatie leerdoelen

Het behalen van leerdoelen 1-3 wordt door leerlingen zelf ingeschat door een tabel in te vullen in de lesmodule. Leerlingen beoordelen in de vragenlijst ook hun voortgang op leerdoelen 3 en 4, waarbij ze aangeven in welke mate ze denken dat ze deze doelen hebben bereikt. Leerdoel 5 zal worden bereikt door de lesmodule te volgen en de opdrachten te maken. Leerdoelen 6, 7 en 8 worden getoetst door de docent door de pitch en het inleverdocument te beoordelen aan de hand van de opgestelde beoordelingscriteria. De opdrachten in de lesmodule zijn nauw afgestemd op de leerdoelen en zouden idealiter ervoor zorgen dat de leerlingen de vereiste kennis en vaardigheden verwerven. Door deze methoden te combineren, kan een goed beeld worden verkregen van de mate waarin de leerdoelen zijn behaald.

In tabel 3 is de bovenstaande sectie samengevat. Hierin is per instrument de dataverzameling en analyse weergegeven. Ook is aangegeven welke data welke onderzoeksvragen kunnen beantwoorden. Uit de tabel blijkt dat alle onderzoeksvragen beantwoord kunnen worden met de informatie die wordt verzameld. Voor de vragen 3a en 3b kunnen meerdere invalshoeken gebruikt worden.

TABEL 3: Overzicht van de verzamelde data per meetinstrument gekoppeld aan de analyse en beantwoording van de onderzoeksvragen.

Meet-instrument	Verzamelde data	Analyse	Onderzoeksvraag				
			1a	1b	2	3a	3b
<i>Literatuurstudie</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Overzicht systeemdenken en CM. • Overzicht onderzoekend leren. • Overzicht onderwijs toepassingen van systeemdenken. 	<ul style="list-style-type: none"> • Opstellen van ontwerpisen. • Ontwerpen van lesmodule. 	x	x	x		
<i>Lesmodule</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Gemaakte conceptuele modellen. 	<ul style="list-style-type: none"> • Nagaan ontwerp is 8. • Nagaan welke systeemdenkvaardigheden zijn gebruikt. 					x
<i>Observatieschema</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Gegevens over samenwerken. • Gegevens over ondersteuning door de docent. • Gegevens over houding en inzet van leerlingen. 	<ul style="list-style-type: none"> • Nagaan ontwerpisen 4, 6 en 8. 				x	x
<i>Vragenlijst</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Gegevens over begrip van circulariteit en conceptuele modellen. • Gegevens over effectiviteit van het stappenplan. • Gegevens over nut van het conceptuele model en de lesmodule. • Gegevens over waardering van het samenwerken, vrijheid en de lesmodule. 	<ul style="list-style-type: none"> • Nagaan ontwerpisen 3, 4, 5, 7 en 8. • Nagaan leerdoelen 3 en 4. 			x	x	x
<i>Interview</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Transcripties van de interviews van 5 groepjes leerlingen. • Transcripties van de interviews van 6 docenten. 	<ul style="list-style-type: none"> • Nagaan ontwerpisen 1 t/m 8. • Valideren bevindingen uit de observaties, gemaakte modellen en de vragenlijst. 			x	x	x

4 Resultaten en Discussie

In dit hoofdstuk worden de resultaten van deze thesis gepresenteerd en besproken. Eerst wordt het ontwerp van de lesmodule toegelicht (fase 2). Vervolgens wordt het gebruik van de lesmodule en het leren van CM en systeemdenkvaardigheden belicht vanuit de ervaringen van leerlingen en docenten (fase 3). Hierbij zal er dieper worden ingegaan op de effectiviteit en bruikbaarheid van de lesmodule en de systeemdenkvaardigheden die worden gebruikt in de opgestelde conceptuele modellen.

4.1 Ontwerp lesmodule

In fase 2 van het onderzoek stond het ontwerp van een lesmodule centraal. De lesmodule, getiteld *Conceptueel Modelleren voor Circulariteit*, is ontworpen om leerlingen te leren hoe ze conceptuele modellen kunnen maken door systeem te denken. Hiervoor zijn er ontwerpeisen opgesteld in fase 1. In deze lesmodule leren leerlingen door middel van het ReCoVR-project over circulariteit en CM. Hierbij worden leerlingen in groepjes ingedeeld om onderzoekend te leren binnen een gestructureerde en motiverende context. De lesmodule is onderverdeeld in vier hoofdstukken die kort zullen worden toegelicht.

Hoofdstuk 1: Introductie

In het introductiehoofdstuk wordt het belang van circulariteit en de planning/structuur van de lesmodule uitgelegd, evenals de leerdoelen en beoordelingscriteria. De leerlingen krijgen een overzicht van wat ze in de komende lessen kunnen verwachten en hoe hun werk beoordeeld zal worden.

Hoofdstuk 2: ReCoVR en Circulariteit

In dit hoofdstuk wordt het ReCoVR-project geïntroduceerd door middel van een filmpje. Met behulp van individuele en samenwerkingsopdrachten leren de leerlingen vervolgens meer over de specifieke targets van het project door zelf op zoek te gaan naar meer informatie op internet en het begrip circulaire economie in hun eigen woorden te omschrijven. Deze opdrachten zijn ontworpen om de nieuwsgierigheid en motivatie van de leerlingen te vergroten door hen te laten zien hoe het project relevant is voor hun dagelijks leven en sluit daardoor aan bij ontwerpeis 3, 4 en 5. Aan het eind van de les vullen ze zelf een tabel in door te reflecteren op de leerdoelen (1-3) van deze les. Dit helpt hen om actief na te denken over wat ze hebben geleerd en hoe dit aansluit bij de gestelde leerdoelen.

Hoofdstuk 3: Methaanuitstoot door Afvalbelten

In dit hoofdstuk werken de leerlingen in groepjes aan het CM van methaanuitstoot door afvalbelten. Dit onderwerp dient als voorbeeld om de opgestelde begeleidende stappen door te lopen en leerlingen kennis te laten maken met CM (leerdoelen 4-5). De leerlingen oefenen hierdoor systeemcomponenten te identificeren en de cyclus van onderzoekend te volgen (ontwerpeis 7). Na afloop van deze les wordt een voorbeeldmodel gegeven aan leerlingen. Dit model dient als referentie en helpt hen te inspireren hoe een conceptueel model eruit kan zien en hoe de verschillende elementen erin kunnen worden opgenomen.

Hoofdstuk 4: Onderzoek naar Circulariteit

In het laatste hoofdstuk wordt de eindopdracht geïntroduceerd: het uitvoeren van onderzoek naar een zelfgekozen targetmolecuul van het ReCoVR-project. De leerlingen onderzoeken in groepjes de aard van het molecuul, het gebruik ervan, de oorsprong van het afval en het potentieel voor recycling. Ze zullen hun bevindingen presenteren in de vorm van een pitch en hierbij het model en de probleemopstelling/oplossingen/hypothese-tabel inleveren. Deze eindopdracht geeft de leerlingen de kans om alles wat ze hebben geleerd

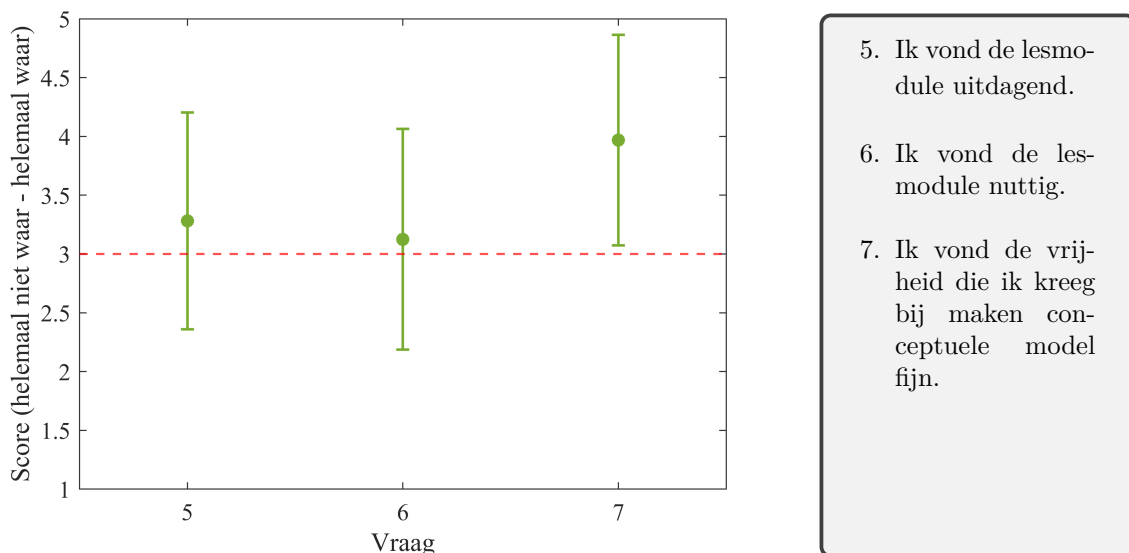
toe te passen in een realistische en betekenisvolle context en sluit aan bij leerdoelen 4-8. Ze ontwikkelen hun eigen conceptuele modellen en presenteren hun onderzoek op een manier die idealiter hun kritische denkvaardigheden en creativiteit laat zien (ontwerpeis 8).

4.2 Evaluatie lesmodule

In fase 3 staat de evaluatie van de lesmodule centraal. In deze sectie wordt het gebruik en het leren van CM en systeendenken belicht vanuit zowel de ervaringen van leerlingen als docenten. De focus ligt op de effectiviteit en bruikbaarheid van de lesmodule, en op de toegepaste systeendenkvaardigheden in de conceptuele modellen. Hierbij zijn de datasets van 4V en 5V gecombineerd vanwege hun sterke overeenkomsten.

4.2.1 Bruikbaarheid

De bruikbaarheid van de lesmodule is geëvalueerd aan de hand van observaties, interviews en een vragenlijst. Uit deze evaluatie bleek dat zowel leerlingen als docenten de lesmodule als bruikbaar beschouwden, wat wordt ondersteund door de scores op de vragenlijst weergegeven in figuur 5. In de interviews gaven leerlingen aan de afwisseling met het reguliere curriculum en de actieve, samenwerkende opdrachten te waarderen. Een leerling uit 4V van school 1 zei: “Eerste keer, dus ook leuk als afwisseling.” Een andere leerling uit dezelfde klas voegde toe: “Ja, denk ik ook wel, omdat je wel in een groepje dan werkt en dan niet de hele dag of de hele les te luisteren. Vooral omdat je wel veel zelf moet doen.” Uit de observaties bleek dan ook dat iedereen een actieve rol had in het creëren van een gezamenlijk product en hierdoor de betrokkenheid van leerlingen hoog lag. Uit de vragenlijst blijkt bovendien dat alle leerlingen de vrijheid die ze kregen bij het maken van het model waardeerden. Hiermee lijkt ontwerpeis 4 behaald te zijn. De actualiteit van de onderwerpen en de combinatie met wetenschappelijk onderzoek werden eveneens gewaardeerd: “Ik vond het leuk, vooral ook omdat het over actuele onderwerpen gaat”, aldus een leerling uit 5V van school 3. Dit duidt erop dat het behalen van ontwerpeis 5 ook door leerlingen wordt herkend.



FIGUUR 5: Gemiddelde scores van 128 leerlingen (4V&5V) op de vragen van de vragenlijst die gerelateerd zijn aan de bruikbaarheid van de lesmodule (5-7). De foutmarge representeert hier de standaarddeviatie.

Daarnaast werd de structuur van de lesmodule als duidelijk en logisch ervaren, zoals bleek uit de interviews met zowel de docenten als de leerlingen. Een leerling uit 5V van school 1 merkte op: “Het boekje zelf vond ik wel prima te doen. Het was goed uitgelegd en stond er duidelijk in.” Hiermee wordt voldaan aan ontwerpeis 2. Alle geïnterviewde leerlingen en docenten vonden het niveau geschikt voor zowel 4V als 5V. De vragenlijst, met een gemiddelde score van 3,3, ondersteunt deze bevinding. Dit bevestigt dat de module over CM al vroeg geïmplementeerd kan worden, zoals werd aanbevolen door Ben-Zvi-Assaraf and Orion [2010]. Wel merkte docent A op dat 5V verder is in het zelfstandiger denken dan 4V en hierdoor met creatievere oplossingen durven te komen.

Observaties toonden ook aan dat leerlingen gemotiveerd bezig waren en veel overlegden, waarbij groepjes vaak een duidelijke taakverdeling hadden. Een terugkerend thema in de feedback was echter de tijdsdruk. Tijdens de interviews bij leerlingen van school 1 en 3 kwam naar voren dat de tijd om opdrachten af te ronden te kort was, waardoor ze onvoldoende tijd hadden om grondig aan hun pitch te werken. Dat kwam ook naar voren in de interviews met hun docenten. Zowel docent A als E beval daarbij aan een extra les te gebruiken voor de uitwerking van het voorbeeld/eindmodel. Docent B vond juist vier lessen voldoende om de module te volgen. Hiermee lijkt ontwerpeis 1 ook behaald te zijn als er een vijfde les op sommige scholen toegevoegd zal worden. Die mogelijkheid binnen de lesmodule was er wel, gaven de docenten aan in de interviews.

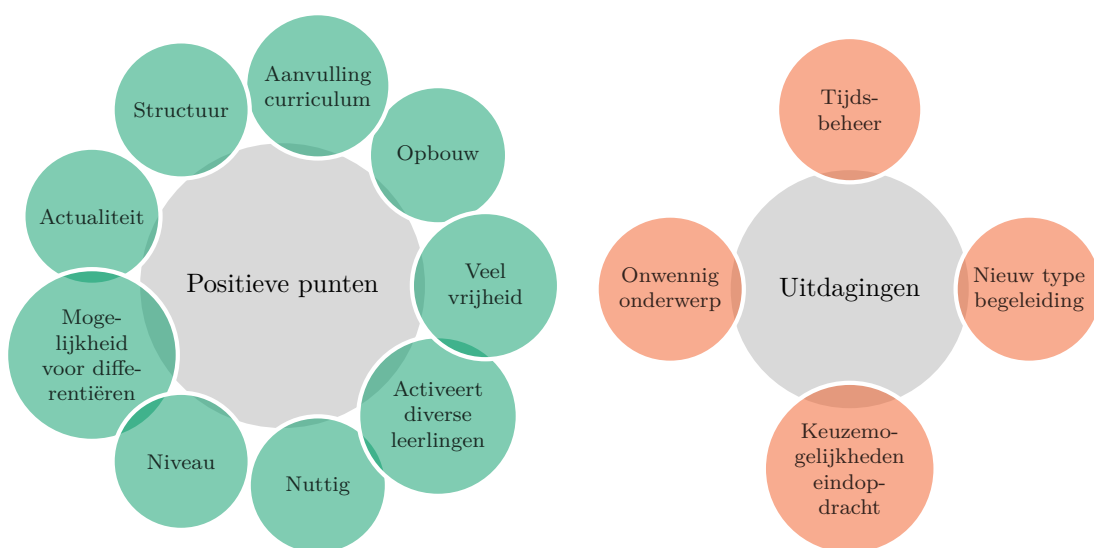
Alle docenten waren nog niet bekend met CM bleek uit de interviews, waardoor de lesmodule compleet nieuw voor hen was. Docent A gaf aan dat het hierdoor dan ook moeilijk was om de leerlingen effectief aan het werk te zetten en hen goed te begeleiden, door de onwetendheid vooraf: “Hoe zet je ze dan aan het werk en wat moet je dan vragen?” Dit gevoel van onwennigheid bij de begeleiding werd ook bevestigd door docenten B, C en D, vooral in het begin van de lesmodule. Wel gaven de docenten aan de lesmodule vaker te willen geven, door de goede en leuke opbouw. De docentenhandleiding bood volgens hen voldoende ondersteuning bij het geven van de lesmodule. Echter, enkele docenten merkten op dat ze liever meer keuzemogelijkheden voor leerlingen hadden gezien bij de eindopdracht. Ook zou dit bijvoorbeeld kunnen voorkomen dat leerlingen hetzelfde opschrijven in hun model en bijbehorende probleem/oplossing/hypothese-tabel, zoals werd opgevallen door docent C.

Er waren ook docenten die identificeerden dat de lesmodule verschillende groepen leerlingen op een andere manier aansprak, waardoor differentiatie mogelijk werd. Docent B observeerde: “De actieve leerlingen vielen nu een beetje weg en de wat stillere leerling kwam nu helemaal tot leven.” Dit werd ook bevestigd door docent C: “Maar wat ik er heel mooi aan vond, is dat zeker bij stap twee dat leerlingen echt hun eigen ding kunnen doen en daar kunnen ze het zichzelf zo moeilijk maken als ze zelf willen en kan ik zoveel vragen aan de leerling als dat ik wil. Ik kan daardoor eigenlijk heel mooi differentiëren.” De docenten gaven aan vergelijkbare benaderingen te gebruiken om leerlingen te ondersteunen, bijvoorbeeld door regelmatig langs te lopen en klassikaal vragen te bespreken, maar meer sturing bleek niet nodig te zijn. Dit werd ook bevestigd in de observaties. Hiermee werd voldaan aan ontwerpeis 6.

De docenten vinden de lesmodule een waardevolle aanvulling op het bestaande curriculum. Docent B suggereerde zelfs om de lesmodule te integreren als een van de praktische opdrachten van het schoolexamencijfer: “Ik vond het echt een leuk project en ik vind ook dat het een soort lacune is in ons huidige curriculum. Ik doe heel weinig eigenlijk met dit soort onderwerpen, omdat het weinig in examens terugkomt. Maar het helpt leerlingen

wel de context te leren kennen en de manier van denken. Als je zo'n lesmodule volgt, leer je vooral te redeneren. Dus ik zie wel voordelen van het doen van dit project." Docent F vulde aan: "Dit zijn wel heel leuke dingen en ik denk dat we daar in scheikunde ook zeker wel naartoe moeten. Niet alleen het boek, maar ook af en toe miniprojectjes en liefst dat ze vakoverstijgend zijn. [...] Dat maakt het vak ook wel interessanter denk ik. Ja en het is helemaal mooi als het bij de belevingswereld van een leerling aansluit natuurlijk." Uit de vragenlijst blijkt dat leerlingen gematigder zijn over het nut van de lesmodule (score 3.1). Gemiddeld gaven ze de lesmodule het cijfer 7,0.

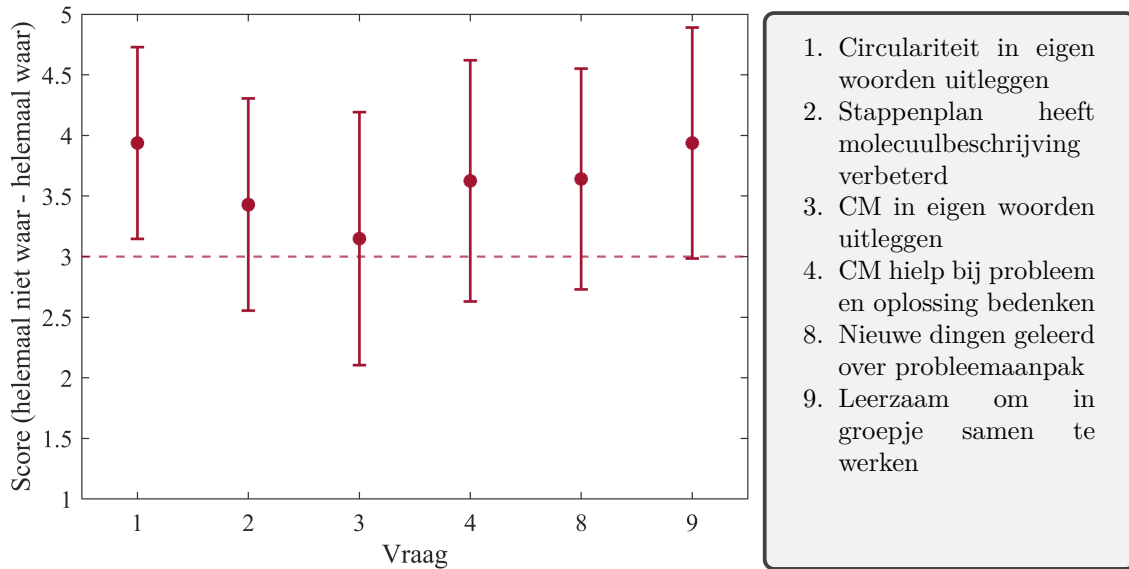
In figuur 6 is een visualisatie gegeven van de besproken punten over de bruikbaarheid van de lesmodule.



FIGUUR 6: Aangedragen positieve punten en uitdagingen door docenten en leerlingen over de bruikbaarheid van de lesmodule uit de interviews, observaties en vragenlijst.

4.2.2 Effectiviteit

Uit de observaties, interviews en de vragenlijst bleek dat zowel docenten als leerlingen overwegend positief waren over de effectiviteit van de lesmodule. Uit de vragenlijst (figuur 7) blijkt dat gemiddeld over alle vragen de score boven de 3 ligt. Hiermee geven ze aan dat het stappenplan van CM hen helpt het molecuul beter te beschrijven en hierdoor het probleem en de oplossing beter konden bedenken. Zij kenden hier de scores 3.43 en 3.63 respectievelijk toe. Niettemin blijkt uit vraag 3 dat sommige leerlingen moeite hebben om CM in hun eigen woorden uit te leggen, wat wijst op een variatie in begrip, met een gemiddelde score van 3.15. Leerdoel 4 is dan ook niet door iedereen behaald. In de interviews kwam naar voren dat de leerlingen niet eerder kennis hebben gemaakt met CM en hierdoor volledig nieuw voor ze was. Hierdoor hadden de leerlingen aanvankelijk moeite om het concept van CM volledig te begrijpen, maar na verloop van tijd raakten ze meer vertrouwd met CM, wat het voor hen toegankelijker maakte. Een leerling reflecteerde: "Ja uiteindelijk wel goed, we hadden in het begin gewoon een beetje moeite met het begrijpen" (Leerling 1, 4V school 4). Uit de observaties bleek ook dat de leerlingen gedurende de les steeds meer vooruitgang boekten door hun modellen continu aan te vullen. Hoewel er af en toe inhoudelijke vragen werden gesteld, overlegden ze vooral veel binnen hun groepjes.



FIGUUR 7: Gemiddelde scores van 128 leerlingen (4V&5V) op de vragen van de vragenlijst die gerelateerd zijn aan de effectiviteit van de lesmodule. De foutmarge representeert hier de standaarddeviatie.

Alle leerlingen gaven in de vragenlijst ook aan nieuwe dingen te hebben geleerd over probleemaanpak. Waar de leerlingen in de vragenlijst gematigd waren over het nut van de lesmodule, beschreven ze in de interviews wel de waarde van CM. Leerling 1 van 5V school 1 concludeerde: “Misschien als je iets heel moeilijks hebt dat je het nu in kleine stappen kan snappen. Dat je het geheel beter leert begrijpen.” Leerling 4 van 4V school 1 voegde toe: “Ja, ik denk, als je echt stap voor stap gaat kijken en dat het echt duidelijk uitwerkt dat je wel makkelijker [...] tot een uiteindelijke oplossing komt.” Hieruit blijkt dan ook dat leerlingen dezelfde voordelen ervaren als beschreven werd door Avargil and Saxena [2023] en Minner et al. [2009] door meer conceptueel begrip te ontwikkelen. 5V school 1 Leerling 4 geeft ook aan: “Denk wel dat je op zich misschien ideeën van kunt krijgen, van dat de wetenschap het zelf kan gebruiken, want ja, niet iedereen heeft hetzelfde idee, dus dan kan het wel heel creatief zijn.” Ook in het onderzoek van Krab-Hüsken et al. [2023] kwam naar voren dat CM helpt bij het structureren van ideeën. Bovendien blijkt uit dit citaat ook dat het samenwerken als relevant wordt beschouwd in dit proces. Dit werd ook bevestigd door de score op vraag 9 van de vragenlijst.

De rol van de structuur van de lesmodule, het stappenplan en het gebruik van een voorbeeld werd hiervoor benadrukt door leerlingen in de interviews toen het gebruik en het begrip van CM werd bevraagd. Dit blijkt bijvoorbeeld uit de opmerking: “De oefenopdracht denk ik. Dat hielp wel echt heel erg met het eindmodel maken” (Leerling 1, 5V school 3). Leerling 1 van 4V school 4 reflecteerde: “Ik snapte bij die oefenopdracht nog niet helemaal wat conceptueel modelleren was. Maar toen kregen we zo’n antwoordenblad met een soort mindmap en toen snapte ik wel, dus pas na de antwoorden, wat conceptueel modelleren was. Het stappenplan werd bovendien gezien als nuttig om de verwachtingen duidelijk te maken. “Het stappenplan was wel op een effectieve manier ingedeeld, want eerst zoek je informatie, dus je kunt al een beetje wat ideeën opdoen als je gelijk al gaat bedenken van wat is het probleem of hoe kun je dat oplossen dan mis je misschien nog wat essentiële informatie die je dan moet gebruiken” (Leerling 3, 5V school 1). Het verdiepen van de kennis werd ook als een van de voordelen van CM beschreven

door Avargil and Saxena [2023]. De docenten waren ook positief over het gebruik van een voorbeeldmodel, omdat het leerlingen houvast biedt. Docent B verklaarde hierover: “Ja, dat is heel goed, want ze hebben wel behoefte aan een beetje houvast. Dat heb ik ze nu kunnen geven door dat voorbeeldmodel. [...] Dat werkte overigens ook wel inspirerend, want sommige hadden anders alleen maar een vaag idee gehad wat ze moesten doen.” Desondanks merkte docent B op dat leerlingen tijdens de uitvoering van hun eigen project het stappenplan meer loslieten en zich minder sequentieel concentreerden op de oorzaken, preventie, gevolgen en beschrijvingen van het probleem.

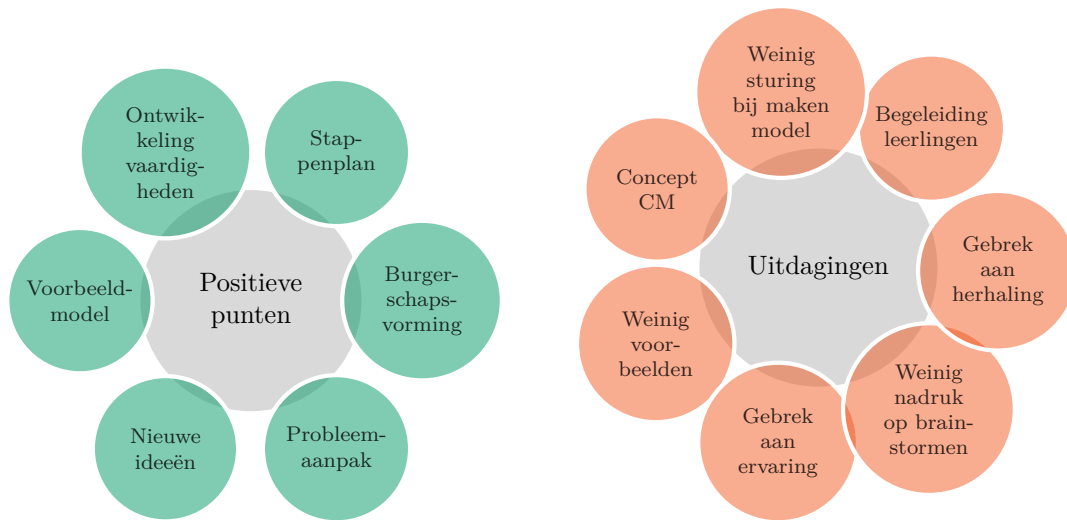
Leerlingen van verschillende scholen gaven aan dat het gebruik van de lesmodule bijdroeg aan de ontwikkeling van diverse cognitieve en probleemoplossende vaardigheden. Leerling 4 van 4V school 1 benadrukte: “Ja, inderdaad, veel verbanden leggen, ook met het probleem [...] daar moet je veel over nadenken om er echt een oplossing voor te bedenken.” Leerling 1 van 5V school 3 reflecteerde: “Hierdoor leer je veel meer over de achtergrond. Ik merkte dat ik veel meer informatie nu zocht dan dat ik normaal had gedaan. Dan was ik gelijk naar de oplossing gaan zoeken.” Deze resultaten bevestigen dan ook dat er diepgaand begrip wordt ontwikkeld middels CM, vergelijkbaar met de resultaten uit eerder onderzoek [Vachliotis et al., 2021; Avargil and Saxena, 2023]. Daarentegen stelde leerling 3 van 5V school 1: “Nou, ik wist eerst niet hoe je dit moest maken. Dat wist ik niet. Maar de dingen die je nodig had daarvoor. Dat was niks nieuws.” Leerling 1 van 5V 2 school 3 merkte wel op dat CM hen hielp om meer gestructureerd informatie te zoeken. Tegelijkertijd erkenden de docenten ook juist de uitdagingen bij het aanleren en begeleiden van het modelleerproces, waarbij docent C aangaf zich aanvankelijk onbekwaam voelde met het CM: “Ik merkte wel dat ik me onbekwaam voel met dat conceptueel modelleren. Terwijl op het moment dat je er dan mee bezig bent, dan denk ik, oh, tussen aanhalingstekens: Het is niet meer dan alle dingen die in je hoofd zitten op een logische manier op papier krijgen.” Uiteindelijk vond deze docent het leerzaam en nuttig voor zowel zichzelf als de leerlingen.

Docent F merkte op dat vrijwel alle 21e-eeuwse vaardigheden door deze aanpak worden aangesproken en docent A benadrukte ook dat CM leerlingen kan helpen om beter over onderwerpen na te denken en aansluit bij burgerschapsvorming. Docent C voegde hieraan toe: “Ik denk dat dit heel belangrijk is, omdat leerlingen dan ook zien dat er meerdere factoren zijn die invloed hebben op dat wat je wilt bereiken.” Alle docenten waren het erover eens dat het modelleerproces bijdraagt aan de ontwikkeling van verschillende vaardigheden. Docent B noemde het belang van systeemdenken en analytisch denken, docent C het vermogen om hoofdzaken van bijzaken te scheiden, en docent D benadrukte juist de zoek- en schrijfvaardigheden: “Zoeken op zoekmachines, concept map maken, communiceren met anderen en vooral overleggen van hoe gaan we de taken verdelen. Eigenlijk dus samenwerkingsvaardigheden, zoekvaardigheden en notuleren van hoe schrijf je dingen op.” Wel werd benadrukt dat herhaling nodig is om de vaardigheden volledig te ontwikkelen, zoals aangegeven door docent B die opmerkte dat één project onvoldoende is voor volledige vaardigheidsontwikkeling. Datzelfde kwam naar boven in de studie van Krab-Hüsken et al. [2023].

Voor toekomstige implementaties zagen de leerlingen en docenten mogelijkheden voor verbetering. Docent B stelde voor om bij de bespreking van het voorbeeldmodel meer sturing te geven en explicieter te benoemen wat er in het model moet komen: “Ik denk wel dat ik een volgende keer bij de bespreking van het voorbeeld iets meer ga sturen. Dat ik explicieter noem wat er in dat model moet komen.” Andere docenten gaven aan meer voorbeeldmodellen te willen laten zien aan leerlingen. Docent C gaf daarnaast aan

zelf vaardigheden te missen in het begeleiden van het zoeken naar verbanden tussen verschillende aspecten van een probleem en ook voor de andere docenten was het begeleiden (aanvankelijk) onwennig. Echter, gaf de docent aan zich hierin te kunnen ontwikkelen door de module vaker te geven, zonder dat daarbij concrete handvatten noodzakelijk zijn. Docent A benadrukte dat het essentieel is om de nadruk te leggen op het brainstorm aspect van de module, waarbij het niet noodzakelijk is om haalbare oplossingen te bedenken, maar eerder om creatief en vrij te denken. De leerlingen gaven aan dat dat herhaling en aanvullende voorbeelden hun begrip van CM verder zouden kunnen verdiepen.

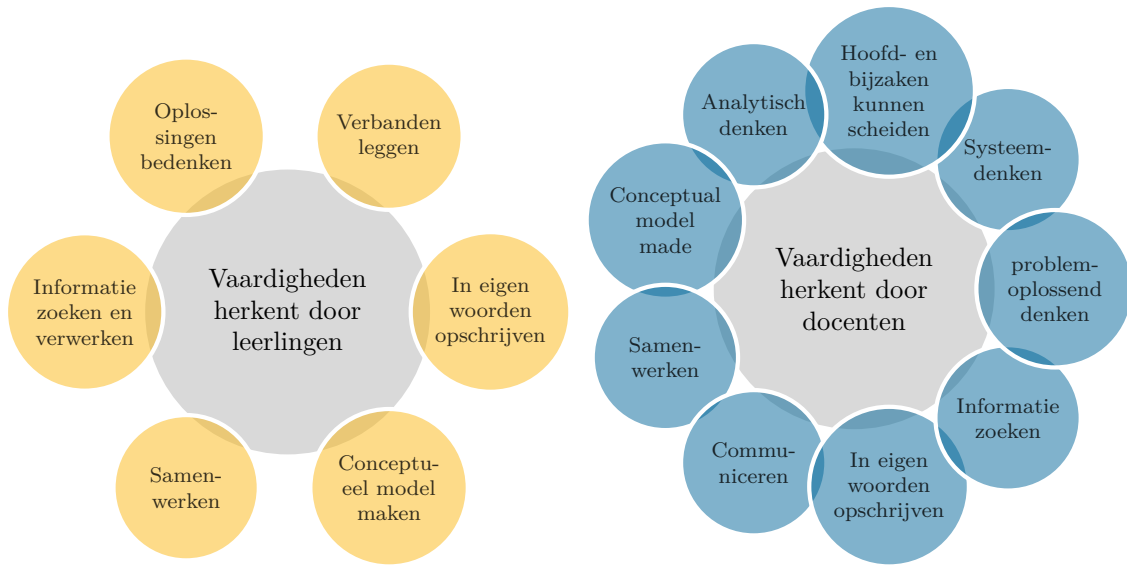
In figuur 8 is een visualisatie gegeven van de besproken punten over de bruikbaarheid van de lesmodule.



FIGUUR 8: Aangedragen positieve punten en uitdagingen door docenten en leerlingen over de effectiviteit van de lesmodule uit de interviews, observaties en vragenlijst.

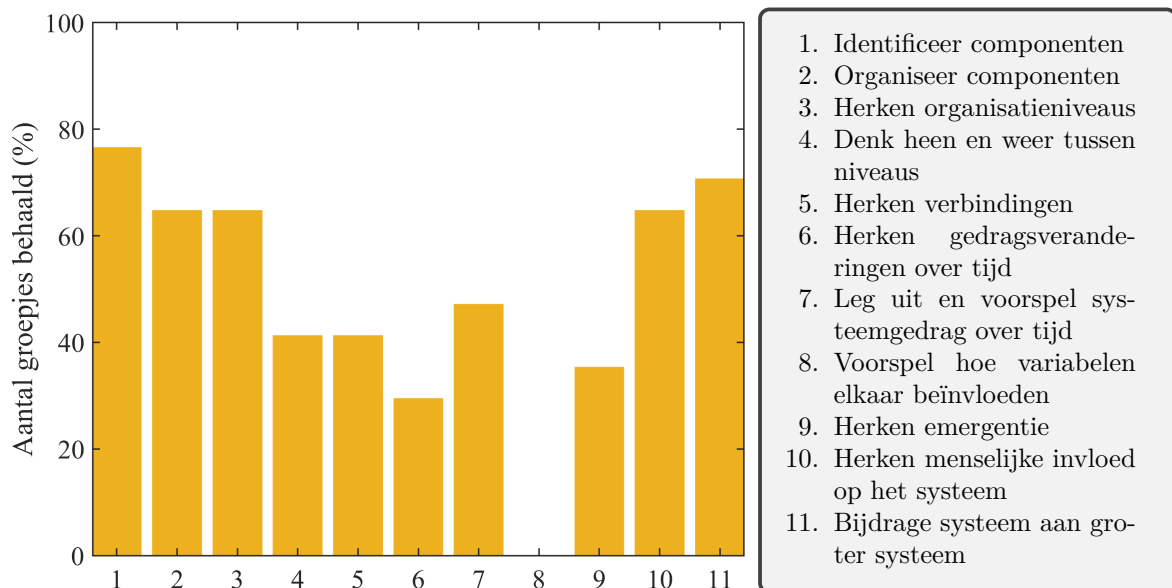
4.2.3 Conceptuele modellen

Leerlingen en docenten herkenden verschillende vaardigheden die nodig zijn voor CM bleek uit de interviews. De benoemde vaardigheden zijn samengevat in figuur 9. Om specifiek de ontwikkeling van systeemdenkvaardigheden te kwantificeren door de gemaakte conceptuele modellen te analyseren is echter lastig, omdat deze ook worden beïnvloed door de achtergrondkennis van de leerlingen en hun betrokkenheid bij de inhoud. Echter, zijn er wel verschillende systeemdenkvaardigheden te herleiden uit de modellen die gekwantificeerd kunnen worden met behulp van het expertpanel.



FIGUUR 9: Herkende vaardigheden voor CM door leerlingen en docenten uit de interviews.

In totaal zijn er 27 modellen ingeleverd, waarvan er 17 zijn geanalyseerd op basis van de 11 systeemdenkvaardigheden van Szozda et al. [2023] en in figuur 10 zijn de resultaten hiervan gepresenteerd. De overige modellen voldeden niet aan de inclusievoorwaarden, zoals beschreven in hoofdstuk 2.2, om ze te kunnen beoordelen op de systeemdenkvaardigheden. Bovendien is uit de analyse gebleken dat de systeemdenkvaardigheid die gaat over het voorspellen van gedrag onder verschillende condities niet naar voren kwam in een van de modellen en het expertpanel schatte dan ook dat dit niet verwacht kan worden in de bovenbouw van het voortgezet onderwijs. Daarom is deze verder niet meegenomen in de evaluatie.



FIGUUR 10: Systeemdenkvaardigheden die de 17 groepjes leerlingen gebruikten bij het maken van het conceptuele model. De individuele scores staan in A.1.

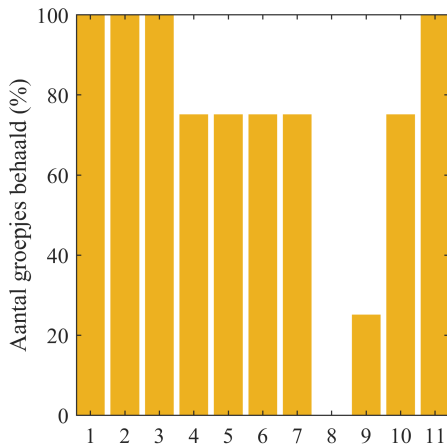
Gemiddeld behaalde de 4V/5V groepjes vijf à zes vaardigheden van de in totaal 11 vaardigheden. Uit de analyse blijkt dat het herkennen van het systeem als geheel, er dertien groepjes erin slaagden de componenten van hun systeem te identificeren en deze componenten binnen een raamwerk van relaties te organiseren (vaardigheid 1 en 2). Het hoge aantal groepjes dat deze vaardigheden beheerst, suggereert dat leerlingen goed in staat zijn om de basisstructuren van een systeem te herkennen en te organiseren. Dit is vaak een eerste stap in systeemdenken. Van de groepjes herkenden elf ook de verschillende organisatie-niveaus in hun systeem (vaardigheid 3), terwijl slechts zeven in staat waren heen en weer te denken tussen deze niveaus (vaardigheid 4). Dat terwijl zeker in de scheikunde het belangrijk is om heen en weer denken tussen het macroniveau en submicroniveau [Szozda et al., 2023].

Slechts zeven van de zeventien groepjes lieten in hun model zien wat de verbanden tussen de verschillende componenten waren. In het vermogen om gedrag over tijd te beoordelen waren er vijf groepjes die gedragsveranderingen herkenden, maar acht groepjes die het systeemgedrag voorspelde over tijd in hun model. Om deze vaardigheid goed te beheersen, moeten leerlingen begrijpen dat een systeem niet-lineair is. Bovendien lieten zes groepjes zien dat ze de emergentie van het systeem kunnen identificeren (en alleen op macroniveau, vaardigheid 9). Deze resultaten geven aan dat de leerlingen mogelijk weinig ervaring hebben met complexe dynamische systemen. Datzelfde kwam ook naar voren in de studie van Szozda et al. [2023].

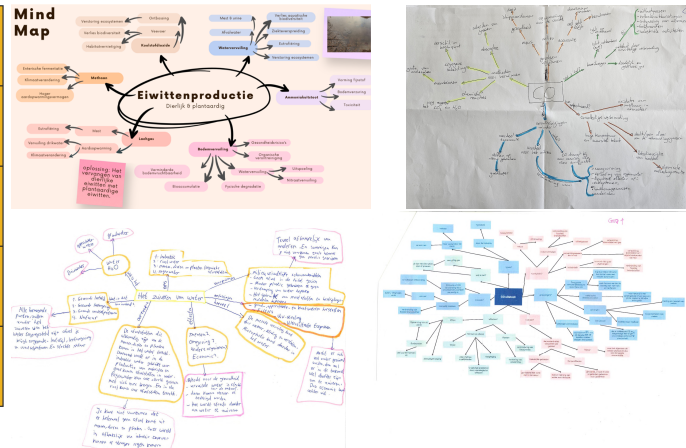
Dat terwijl minstens elf groepjes de twee vaardigheden die in betrekking staan met het herkennen van de grenzen van een systeem wel demonstreerden. Hiervoor werd gekeken naar of het model de invloeden van menselijk handelen (impliciet) meeneemt. Om te bepalen of leerlingen inzien dat het bijdraagt aan een groter systeem, werd vooral gekeken naar de verbanden met klimaatverandering. Vanuit een scheikundig perspectief is het erkennen van de implicaties van menselijke beslissingen en acties op verschillende systemen (bijv. politiek, sociaal, economisch en milieu) op lokaal en/of internationaal niveau cruciaal voor het effectief aanpakken van wereldwijde uitdagingen zoals klimaatverandering [Szozda et al., 2023]. De meeste groepjes slaagden er in (gedeeltelijk) holistisch hun systeem te beschrijven in hun model en deze factoren mee te nemen.

Opvallend was de compleet verschillende modellen die leerlingen afleverden en allemaal op een andere manier de vaardigheden in hun model hadden laten zien. De grote variatie in modellen kwam ook voor in de studie van Tripto et al. [2018]. Ter illustratie staan er in bijlage A.1 vier modellen die elk als bijzonder goed werden geclassificeerd door het expertpanel met het bijbehorende ingevulde beoordelingsformulier. Deze zijn ook weer gegeven in het klein in figuur 12 met de bijbehorende behaalde systeemdenkvaardigheden voor de vier groepen in figuur 11. Model 1 liet het probleem rondom eiwitproductie erg conceptueel zien en bevatte zeven systeemdenkvaardigheden. Model 2 over het zuiveren van water werd als erg waardevol beschreven juist om het reflecterend vermogen van de leerlingen en hoe ze dat hadden verwerkt in het model. Dit groepje behaalde acht systeemdenkvaardigheden. In model 3 en 4 ging het over koolstofmonoxide. Deze modellen sprongen eruit om hun structuur door de vele pijlen en kleuren en het identificeren van de vele componenten van het systeem. Groepje 3 behaalde acht vaardigheden en groepje 4 zelfs negen. In al deze vier modellen waren er minstens vijf van de eerste zeven systeemdenkvaardigheden terug te vinden. Daarnaast was systeemdenkvaardigheid 9 (op model 3 na) en 10 in alle modellen terug te zien. In deze modellen komt sterk naar voren dat door middel van CM leerlingen in staat zijn hun gedachteproces zowel tekstueel als visueel presenteren en daarmee lijkt ook ontwerp 8 behaald te zijn.

Deze resultaten suggereren verder dat, hoewel de leerlingen mogelijk beperkte ervaring hebben met complexe dynamische systemen en CM, er toch veel systeemdenkvaardigheden al wel (impliciet) gebruikt worden om de modellen te maken. De leerlingen zijn vooral sterk in basisvaardigheden zoals het identificeren en organiseren van componenten, evenals het begrijpen van de bijdrage van een systeem aan een groter geheel. Echter, blijken de vaardigheden die meer complexiteit en dynamiek vereisen, zoals het heen-en-weer schakelen tussen niveaus, het herkennen van gedragsveranderingen over tijd, en het voorspellen van systeemgedrag, uitdagender te zijn.



FIGUUR 11: Systeemdenkvaardigheden van vier beste groepjes.



FIGUUR 12: Conceptuele modellen van vier beste groepjes. Modellen 1 t/m 4 weergegeven van linksboven naar rechtsonder.

5 Conclusie

Deze thesis had als doel te onderzoeken in hoeverre een lesmodule over systeemdenken middels conceptueel modelleren (CM) leerlingen kan helpen bij het begrijpen en uitleggen van concepten gerelateerd aan circulariteit. De hoofdvraag luidde: *In hoeverre kan de lesmodule ‘Conceptueel modelleren voor circulariteit’ leerlingen helpen om concepten met betrekking tot circulariteit te begrijpen en uit te leggen?*

In dit hoofdstuk zal deze vraag, samen met de opgestelde deelvragen, worden beantwoord. Daarnaast zullen ook de implicaties voor de lespraktijk worden benoemd.

5.1 Lesmodule

Systeemdenken wordt gedefinieerd als het vermogen om complexe systemen te begrijpen door de interacties en relaties tussen de verschillende componenten te analyseren. Hiervoor zijn 11 denkvaardigheden nodig (tabel 1). Het gebruik van CM kan hierbij helpen. CM is een methodologie die visuele en tekstuele representaties van het gedachteproces tussen het identificeren van het probleem en het bedenken van de oplossing stimuleert. Het gebruik van CM heeft hierdoor meerdere voordelen zoals het bevorderen van de motivatie en het ontwikkelen van conceptueel begrip. Uit de literatuur bleek dat er al diverse strategieën zijn ontwikkeld om systeemdenken te onderwijzen. Hieruit bleek dat het beter is om zo vroeg en veel mogelijk in de principes van complexe systemen te onderwijzen om problemen te voorkomen bij het begrijpen van systemen. Specifiek in het scheikunde-onderwijs zijn er verschillende benaderingen die aantoonen dat systeemdenken al effectief kan worden geïntegreerd in de scheikunde. De benadering die gebruikt maakt van CM hielp de perceptie en het begrip van leerlingen te verbeteren. Ook op universitair niveau leidde CM tot het verbeteren van systematisch denken.

De ontwikkelde lesmodule *Conceptueel Modelleren voor Circulariteit* bouwt voort op deze bevindingen en is specifiek ontworpen voor bovenbouw vwo scheikunde. De lesmodule omvat vier hoofdstukken en is ontworpen rond het ReCoVR-project, waardoor leerlingen een realistische context krijgen om CM toe te passen en circulariteit te begrijpen. De module maakt gebruik van de principes van onderzoekend leren en is gestructureerd om leerlingen te leiden door het proces van onderzoek doen. De evaluatie van de lesmodule, op basis van de resultaten van de observaties, vragenlijst en interviews, toonde aan dat zowel leerlingen als docenten de bruikbaarheid ervan overwegend positief beoordelen. Leerlingen waardeerden met name de afwisseling met het reguliere curriculum, de actieve, samenwerkende opdrachten en de vrijheid die ze kregen bij het maken van conceptuele modellen. Zowel de leerlingen als docenten merkten op dat de structuur duidelijk en logisch was, en dat het niveau geschikt is voor zowel 4V als 5V.

Wat betreft de effectiviteit van de lesmodule, bleek uit de vragenlijst dat de module leerlingen hielp om beter problemen te analyseren en oplossingen te bedenken. Hoewel sommige leerlingen aanvankelijk moeite hadden met het begrijpen van CM, werden ze na verloop van tijd comfortabeler met de methode en gingen ze de voordelen ervan meer inzien, bleek uit de interviews. De module stimuleerde ook de ontwikkeling van diverse cognitieve en probleemoplossende vaardigheden bij de leerlingen, zoals het leggen van verbanden, het zoeken en verwerken van informatie, en samenwerken in groepen. De docenten gaven aan dat de lesmodule hun eigen inzicht in CM heeft vergroot en dat het bijdraagt aan de ontwikkeling van 21e-eeuwse vaardigheden bij leerlingen. Ze erkenden echter ook de uitdagingen bij het aanleren van CM zoals onervarenheid bij het begeleiden ervan en de abstractie van het concept. Uit de geanalyseerde conceptuele modellen door

het expertpanel bleek dat leerlingen wel verschillende systeemdenkvaardigheden hebben gebruikt bij het opstellen ervan. De meeste groepjes lieten zien dat ze systeemcomponenten kunnen identificeren en organiseren en organisatieniveaus kunnen herkennen. Ook veel groepjes scoorden hoog op het herkennen van de menselijke invloed op het systeem en de bijdrage die het levert aan groter systeem. De vaardigheden die meer complexiteit en dynamiek vereisen, zoals het heen-en-weer schakelen tussen niveaus, het herkennen van gedragsveranderingen over tijd, en het voorspellen van systeemgedrag, werden minder gebruikt. Dit resultaat sluit aan bij de observaties door de docenten die identificeerden dat het aanleren van CM meer tijd en begeleiding vereist.

De lesmodule *Conceptueel Modelleren voor Circulariteit* heeft aangetoond dat het een bijdrage levert aan het begrijpen en uitleggen van concepten gerelateerd aan circulariteit. Door het gebruik van de lesmodule wordt niet alleen het kritisch en creatief denkvermogen van leerlingen gestimuleerd, maar worden leerlingen ook meer betrokken bij betekenisvolle, realistische wetenschappelijke onderzoeksprojecten. De positieve ervaringen van zowel leerlingen als docenten benadrukken de waarde van systeemdenken en CM in het scheikunde-onderwijs.

5.2 Implicaties

De lesmodule heeft laten zien dat het integreren van realistische en actuele onderwerpen zoals het ReCoVR-project leerlingen motiveert en hun interesse wekt. Het lesmateriaal is geschikt gebleken voor vier en vijf vwo verspreid over vier of vijf lessen. Bij de uitvoering van de lesmodule was beperkte sturing van de docent nodig en werd het gebruik van 21e-eeuwse vaardigheden gestimuleerd en toegepast door de leerlingen. Hoewel uit eerder onderzoek al bleek dat systeemdenken middels CM succesvol kan worden geïntegreerd in scheikunde-onderwijs, is nu ook gebleken dat deze aanpak bijdraagt aan het begrijpen en uitleggen van concepten gerelateerd aan circulariteit. Door het bevorderen van systeemdenken en onderzoekend leren, draagt deze module bij aan de ontwikkeling van duurzame denkvaardigheden bij leerlingen, wat essentieel is voor het aangaan van de uitdagingen van een geglobaliseerde en complexe wereld. Echter, als het demonstreren van systeemdenkvaardigheden het doel is, moeten de docenten doelbewuster en explicieter zijn in hun ondersteuning van leerlingen bij het maken van de modellen. Hierbij zou de docent de verschillende vaardigheden ook aan leerlingen kunnen laten zien en met behulp van voorbeelden uitleggen hoe ze dat kunnen verwerken in hun model. Voor een eerste aanzet is het voldoende gebleken om hier de docenten niet verder in te ondersteunen.

Door de inzichten te vertalen naar het hoger onderwijs, kan de Universiteit Twente haar eerstejaars bachelorstudenten beter voorbereiden op het systematisch benaderen van scheikundige vraagstukken. De resultaten van deze thesis benadrukken het belang van specifieke systeemdenkvaardigheden voor het begrijpen en oplossen van complexe problemen. Systeemdenkvaardigheden 1 tot en met 3, zoals het identificeren en organiseren van variabelen, vormen de basis voor succesvol systeemdenken. Door meer op deze vaardigheden te focussen, is de kans ook groter dat de overige vaardigheden makkelijker te behalen zijn, bleek uit de scores van de modellen van de beste groepjes. Bovendien helpt het gebruik van een concreet en relevant probleem, zoals het ReCoVR-project, bij het effectief aanleren van systeemdenken bleek uit de hoge score die werd behaald op vaardigheid 11. Dit suggereert dat het onderwijs aan de UT baat zou hebben bij de integratie van vergelijkbare contextuele probleemstellingen in het curriculum. Het aanbieden van real-world problemen waarin studenten hun systeemdenkvaardigheden kunnen toepassen, vergroot niet alleen hun begrip, maar bevordert ook hun motivatie en betrokkenheid.

6 Beperkingen en Aanbevelingen

De implementatie en evaluatie van de lesmodule over CM hebben verschillende beperkingen aan het licht gebracht die invloed kunnen hebben gehad op de resultaten en de leerervaring van de leerlingen. Deze beperkingen worden hieronder besproken, gevolgd door aanbevelingen voor toekomstige implementaties van de lesmodule.

Beperkingen:

1. Verschillende groepsindelingen: Sommige docenten lieten leerlingen zelf kiezen met wie ze wilden samenwerken, terwijl andere docenten de groepjes zelf hebben ingedeeld. Deze variatie in groepsindeling kan invloed hebben gehad op de leerervaring en de effectiviteit van het samenwerken. Leerlingen die hun eigen groepjes mochten kiezen, voelden zich wellicht comfortabeler en gemotiveerder, terwijl willekeurig ingedeelde groepen mogelijk meer diversiteit in samenwerkingsvaardigheden lieten zien, maar ook te maken kregen met uitdagingen in groepsdynamiek.
2. Cijfermatige consequenties: De lesmodule is op alle scholen afgenomen met een cijfermatige consequentie voor de leerlingen. Deze prestatiedruk kan verschillende effecten hebben gehad. Aan de ene kant kan het leiden tot extra motivatie en inzet bij de leerlingen om beter te presteren. Aan de andere kant kan het ook een negatief effect hebben gehad, zoals stress of angst, wat de prestaties en de leerervaring negatief beïnvloed kan hebben zeker omdat de begeleiding door docenten wellicht ook onwennig was. Het is moeilijk om vast te stellen welk effect overheersend was.
3. Gebrek aan pre- en posttest: Een pre- en posttest zou nuttig zijn geweest om de veranderingen in systeemdenkvaardigheden bij leerlingen te meten vóór en na de lesmodule. Een dergelijke meting zou duidelijker hebben kunnen laten zien welke specifieke vaardigheden zijn verbeterd als gevolg van de lesmodule, in plaats van vaardigheden die mogelijk al aanwezig waren door eerdere ervaringen.
4. Beperkte generaliseerbaarheid: De lesmodule is uitgevoerd op vier verschillende scholen met in totaal acht klassen van het 4V en 5V niveau. Dit beperkte aantal kan de generaliseerbaarheid van de resultaten beperken, omdat de steekproef mogelijk niet representatief is voor alle vwo-leerlingen in Nederland. Daarbij leidt het gebruik van semigestructureerde interviews tot variabiliteit in de antwoorden, afhankelijk van de interpretatie van de vragen door de respondenten en de eventuele vervolgvragen.

Aanbevelingen

- Omvang lesmodule: Idealiter voor toekomstige implementaties van de lesmodule zou er een extra les moeten worden ingebouwd waarbij leerlingen kunnen werken aan de voorbeeldopdracht en met name de eindopdracht. Hierdoor geef je leerlingen de gelegenheid hun conceptuele modellen grondig te ontwikkelen en hebben de docenten meer mogelijkheid tot het begeleiden van leerlingen hierbij.
- Voorbeelden: Door zowel leerlingen als docenten is aanbevolen meer voorbeelden in de lesmodule te geven om voldoende gelegenheid te geven om inzicht te krijgen in wat een conceptueel model is en hoe het is opgebouwd. Dit zou het beste voor de oefenopdracht passen, omdat verschillende leerlingen en docenten aangaven dat juist deze opdracht als erg moeilijk werd ervaren door de afwezigheid van een duidelijk idee wat een conceptueel model is.

- **Bredere toepasbaarheid:** Om de relevantie van CM te vergroten en docenten meer ruimte te geven het aan te laten sluiten bij hun interesses/de te behandelen lesstof, zouden er meer onderwerpen kunnen worden aangedragen bij de eindopdracht. Op deze manier krijg je ook een grotere variatie in de pitches en voorkom je dat leerlingen soortgelijke dingen opschrijven zoals door docent C werd vastgesteld. Ook zou er dan een onderwerp kunnen worden gekozen die het mogelijk maakt om de module vakoverstijgend te maken.
- **Meer feedbackmomenten:** Er kunnen meer feedbackmomenten worden verwerkt in de module om bijvoorbeeld opdracht 3 klassikaal te kunnen bespreken en de voorbeeldopdracht grondig met elkaar te bekijken. Hierdoor kan de docent meer inzicht krijgen in de behaalde leerdoelen en bijsturen waar nodig is, voor ze de eindopdracht gaan maken. Bovendien krijgt de docent inzicht in het gebruik van de systeemdenkvaardigheden en leerlingen uitdagen verder over het systeem na te laten denken.
- **Meer oefening:** Om leerlingen beter onder de knie te laten krijgen wat CM inhoudt, zouden ze meer moeten oefenen met het opstellen van conceptuele modellen. Hoewel deze module slechts een voorproefje is, is het wenselijk om CM op meerdere momenten in het curriculum te integreren. Dit wordt ook aanbevolen door bijvoorbeeld Edwards and Head [2016] en Tripto et al. [2018]. De docenten in dit onderzoek gaven eveneens aan dat systeemdenken een essentiële vaardigheid is voor de leerlingen en daarom belangrijk is om te ontwikkelen.
- **Beoordelingskader voor het model:** Om het becijferen van het eindproduct makkelijker te kunnen maken en het leerproces te bevorderen, zouden er randvoorwaarden kunnen worden opgesteld zoals aanbevolen werd door docent B. Hierbij zouden bijvoorbeeld verplichte begrippen kunnen worden gegeven die verwerkt moeten worden in de modellen of juist relaties waar leerlingen naar moeten zoeken. Idealiter, vergroot dit ook het aantal goed opgebouwde conceptuele modellen.
- **Pitch beschrijving:** In de lesmodule kan er explicieter worden benoemd wat er van een leerling verwacht wordt tijdens de pitch. Dit om enige verwarring te voorkomen en ook de leerlingen die er nog geen ervaring mee hebben, beter voor te bereiden. Dit kwam naar voren in zowel het interview met docent B als de leerlingen van school 4 uit 4V.

Referenties

- R. Arnold and J. Wade. A definition of systems thinking: A systems approach. *Procedia Computer Science*, 44:669–678, 2015. doi: 10.1016/j.procs.2015.03.050.
- S. Avargil and A. Saxena. Students’ drawings, conceptual models, and chemistry understanding in the air-quality learning unit. *Research in Science Education*, 53(4):841–865, 2023. doi: 10.1007/s11165-023-10107-8.
- D. Baarda, M. de Goede, and J. Teunissen. *Basisboek kwalitatief onderzoek: handleiding voor het opzetten en uitvoeren van kwalitatief onderzoek*. Stenfert Kroese, Groningen, NL, 2001. ISBN 9020724851.
- J. Bennett, F. Lubben, and S. Hogarth. Bringing science to life: A synthesis of the research evidence on the effects of context-based and STS approaches to science teaching. *Sci. Educ.*, 91(3):347–370, 2007. doi: 10.1002/sce.20186.
- O. Ben-Zvi-Assaraf and N. Orion. Four case studies, six years later: Developing system thinking skills in junior high school and sustaining them over time. *Journal of Research in Science Teaching*, 47(10):1253–1280, 2010. doi: 10.1002/tea.20383.
- M. Blanchard, S. Southerland, J. Osborne, V. Sampson, L. Annetta, and E. Granger. Is inquiry possible in light of accountability?: A quantitative comparison of the relative effectiveness of guided inquiry and verification laboratory instruction. *Science Education*, 94(4):577–616, 2010. doi: 10.1002/sce.20390.
- A. Çam and Ö. Geban. Effectiveness of case-based learning instruction on epistemological beliefs and attitudes toward chemistry. *J. Sci. Educ. Technol.*, 20(1):26–32, 2011. doi: 10.1007/s10956-010-9231-x.
- P. Collard and J. Looney. Nurturing creativity in education. *European Journal of Education*, 49(3):348–364, 2014. doi: 10.1111/ejed.12090.
- M. Cox. Complexe wereld ontrafeld door systeemdenken. *AGORA Magazine*, 32(2):18, 2016. doi: 10.21825/agora.v32i2.3952.
- B. A. Crawford. *Handbook of Research on Science Education, Volume II*, chapter From Inquiry to Scientific Practices in the Science Classroom., page 529–556. Routledge, 2014. doi: 10.4324/9780203097267-36.
- A. D. Edwards and M. Head. Introducing a culture of modeling to enhance conceptual understanding in high school chemistry courses. *Journal of Chemical Education*, 93(8):1377–1382, 2016. doi: 10.1021/acs.jchemed.6b00125.
- A. Gajda, M. Karwowski, and R. A. Beghetto. Creativity and academic achievement: A meta-analysis. *Journal of Educational Psychology*, 109(2):269–299, 2017. doi: 10.1037/edu0000133.
- M. G. R. Gilissen, M. P. J. Knippels, and W. R. van Joolingen. Bringing systems thinking into the classroom. *International Journal of Science Education*, 42(8):1253–1280, 2020. doi: 10.1080/09500693.2020.1755741.
- S. Goorney, J. Bley, S. Heusler, and J. Sherson. The quantum curriculum transformation framework for the development of quantum information science and technology education, 2023. Geopend op 28/03/2024: <https://www.researchgate.net/publication/>

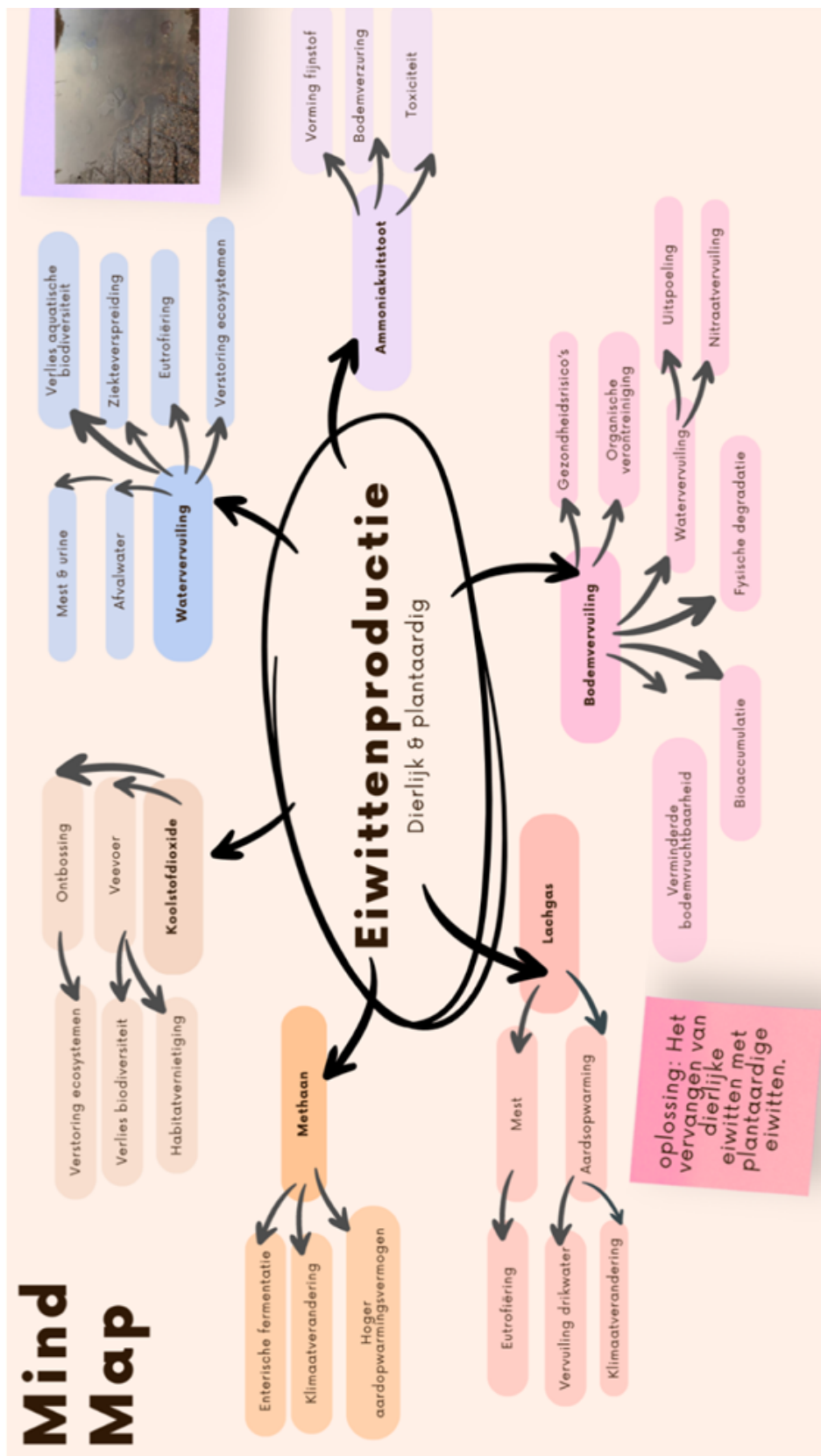
373263144-The-Quantum-Curriculum-Transformation-Framework-for-the\
-development-of-Quantum-Information-Science-and-Technology-Education.

- E. Hofer, S. Abels, and A. Lembens. Inquiry-based learning and secondary chemistry education – a contradiction? *RISTAL*, 1(1):51, 2018. doi: 10.23770/rt1811.
- T. N. Hrin, D. D. Milenković, M. D. Segedinac, and S. Horvat. Systems thinking in chemistry classroom: The influence of systemic synthesis questions on its development and assessment. *Thinking Skills and Creativity*, 23(4):175–187, 2017. doi: 10.1016/j.tsc.2017.01.003.
- Institute for sustainable process technology. ReCoVR - Recovery and Circularity of Valuable Resources, 2021. Geopend op 03/01/2024: <https://ispt.eu/projects/recovr/>.
- Institute for sustainable process technology. Recover valuable substances with ReCoVR, 2021. Geopend op 09/01/2024: <https://ispt.eu/news/recover-valuable-substances-recovr/>.
- M. J. Jacobson and U. Wilensky. Complex systems in education: Scientific and educational importance and implications for the learning sciences. *Journal of the Learning Sciences*, 15(1):11–34, 2006. doi: 10.1207/s15327809jls1501_4.
- J. C. Kaufman, R. A. Beghetto, and A. Dilley. *Understanding Creativity in the Schools*, page 133–153. Springer International Publishing, 2016. doi: 10.1007/978-3-319-28606-8_6.
- D. Kim. Introduction to systems thinking, 1999. Geopend op 5/1/2024: <https://static1.squarespace.com/static/535849dae4b0f67f52ae0568/t/5e42d6fbecf987525cb25dfc/1581438716299/Introduction+to+Systems+Thinking.pdf>.
- D. King, A. Bellocchi, and S. M. Ritchie. Making connections: Learning and teaching chemistry in context. *Res. Sci. Educ.*, 38(3):365–384, 2008. doi: 10.1007/s11165-007-9070-9.
- L. E. Krab-Hüsken, L. Pei, P. G. de Vries, S. Lindhoud, J. M. J. Paulusse, P. Jonkheijm, and A. S. Y. Wong. Conceptual modeling enables systems thinking in sustainable chemistry and chemical engineering. *Journal of Chemical Education*, 100(12):4577–4584, 2023. doi: 10.1021/acs.jchemed.3c00337.
- R. Lavi and Y. Dori. Systems thinking of pre- and in-service science and engineering teachers. *International Journal of Science Education*, 41(2):248–279, 2019. doi: 10.1080/09500693.2018.1548788.
- D. Linzel. Uitzoomen en vooruitkijken: conceptueel modelleren in de klas, 2023. Geopend op 03/01/2024: <https://www.sciencelink.net/nieuws/uitzoomen-en-vooruitkijken-conceptueel-modelleren-in-de-klas/21718.article>.
- R. J. Marzano and W. Miedema. *Leren in vijf dimensies: moderne didactiek voor het voortgezet onderwijs*. Koninklijke Van Gorcum, Nederland, 7 edition, 2018. ISBN 9789023254959.

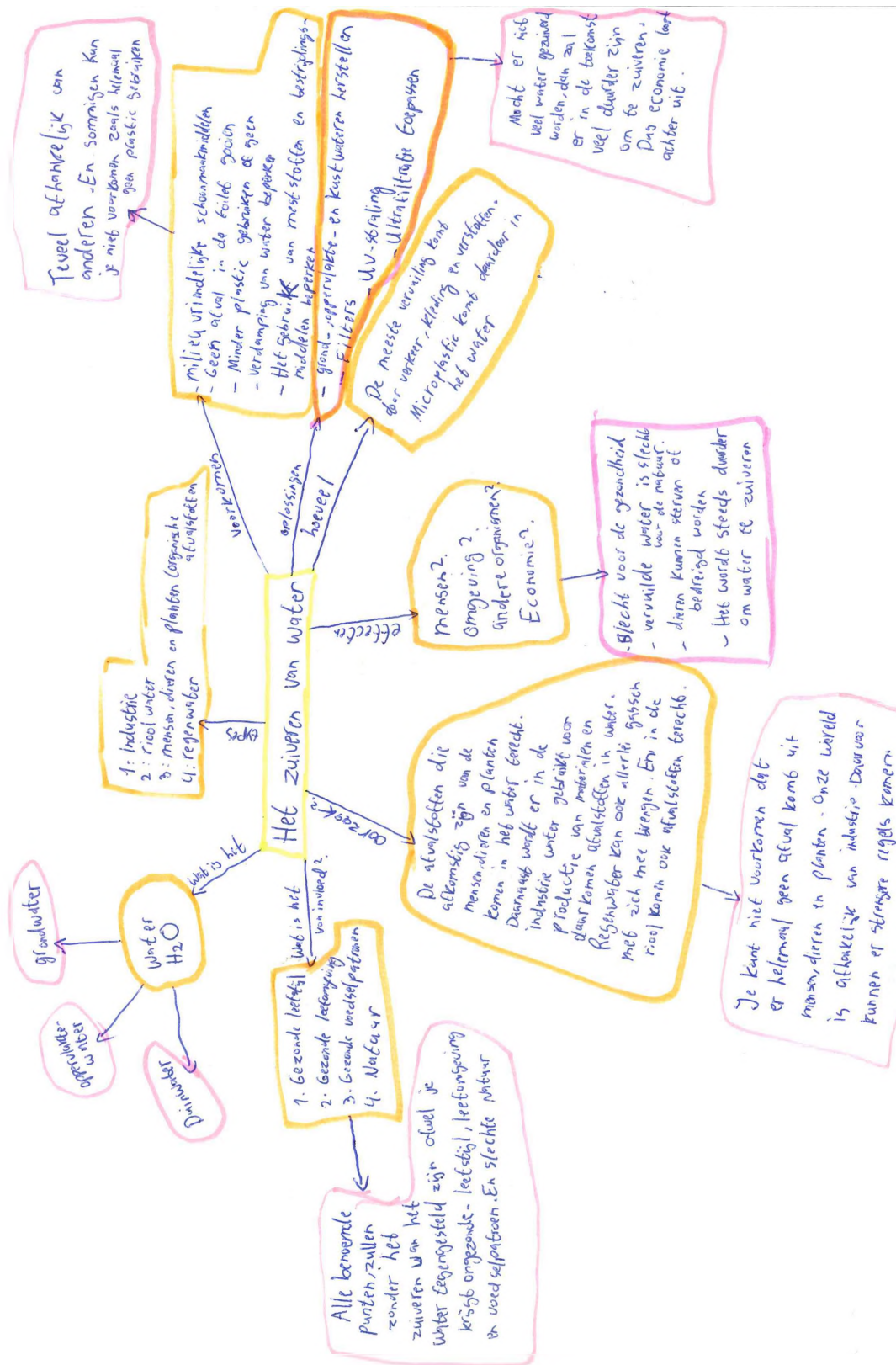
- D. Minner, A. Levy, and J. Century. Inquiry-based science instruction—what is it and does it matter? results from a research synthesis years 1984 to 2002. *Journal of Research in Science Teaching*, 47(4):474–496, 2009. doi: 10.1002/tea.20347.
- National Research Council (US) Board on Science Education. *Exploring the Intersection of Science Education and 21st Century Skills: A Workshop Summary*. National Academies Press, Washington, USA, 2010. doi: 10.17226/12771.
- S. Olson and S. Loucks-Horsley, editors. *Inquiry and the National Science Education Standards: A Guide for Teaching and Learning*. National Academies Press, 2000. doi: 10.17226/9596.
- M. Orgill, S. York, and J. MacKellar. Introduction to systems thinking for the chemistry education community. *Journal of Chemical Education*, 96(12):2720–2729, 2019. doi: 10.1021/acs.jchemed.9b00169.
- M. Schultz, D. Chan, A. Eaton, J. Ferguson, R. Houghton, A. Ramdzan, O. Taylor, H. Vu, and S. Delaney. Using systems maps to visualize chemistry processes: Practitioner and student insights. *Education Sciences*, 12(9), 2022. doi: 10.3390/educsci12090596.
- SLO. De curriculumwaaier, 2022. Geopend op 2024-07-04: <https://magazines.slo.nl/curriculumwaaier-2022/>.
- A. Szozda, P. Mahaffy, and A. Flynn. Identifying chemistry students’ baseline systems thinking skills when constructing system maps for a topic on climate change. *Journal of Chemical Education*, 100(5):1763–1776, 2023. doi: 10.1021/acs.jchemed.2c00955.
- J. Tripto, O. B. Z. Assaraf, and M. Amit. Recurring patterns in the development of high school biology students’ system thinking over time. *Instructional Science*, 46(5): 639–680, 2018. doi: 10.1007/s11251-018-9447-3.
- H. Tümay. Systems thinking in chemistry and chemical education: A framework for meaningful conceptual learning and competence in chemistry. *Journal of Chemical Education*, 100(10):3925–3933, 2023. doi: 10.1021/acs.jchemed.3c00474.
- T. Vachliotis, K. Salta, and C. Tzougraki. Developing basic systems thinking skills for deeper understanding of chemistry concepts in high school students. *Thinking Skills and Creativity*, 41(3):100881, 2021. doi: 10.1016/j.tsc.2021.100881.
- C. van der Donk and B. van Lanen. *Praktijkonderzoek in de school*. Coutinho, Nederland, 2020. ISBN 9789046907320.
- R. P. Verhoeff. *Towards systems thinking in cell biology education*. PhD thesis, Universiteit Utrecht, Utrecht, NL, 2003. ISBN 90-73346-56-8.

A Bijlagen

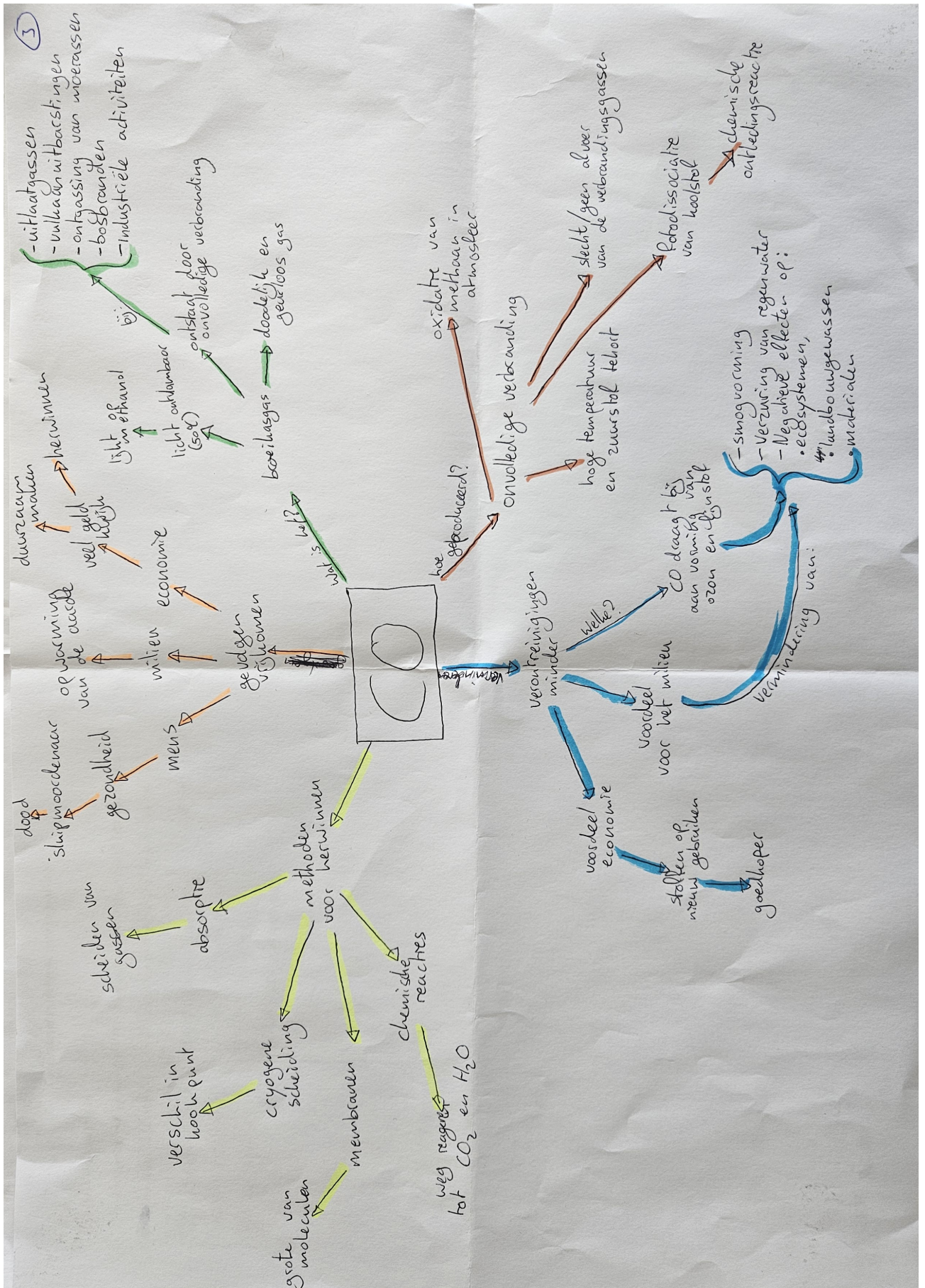
A.1 Conceptuele modellen



FIGUUR 13: Model groepje 1.

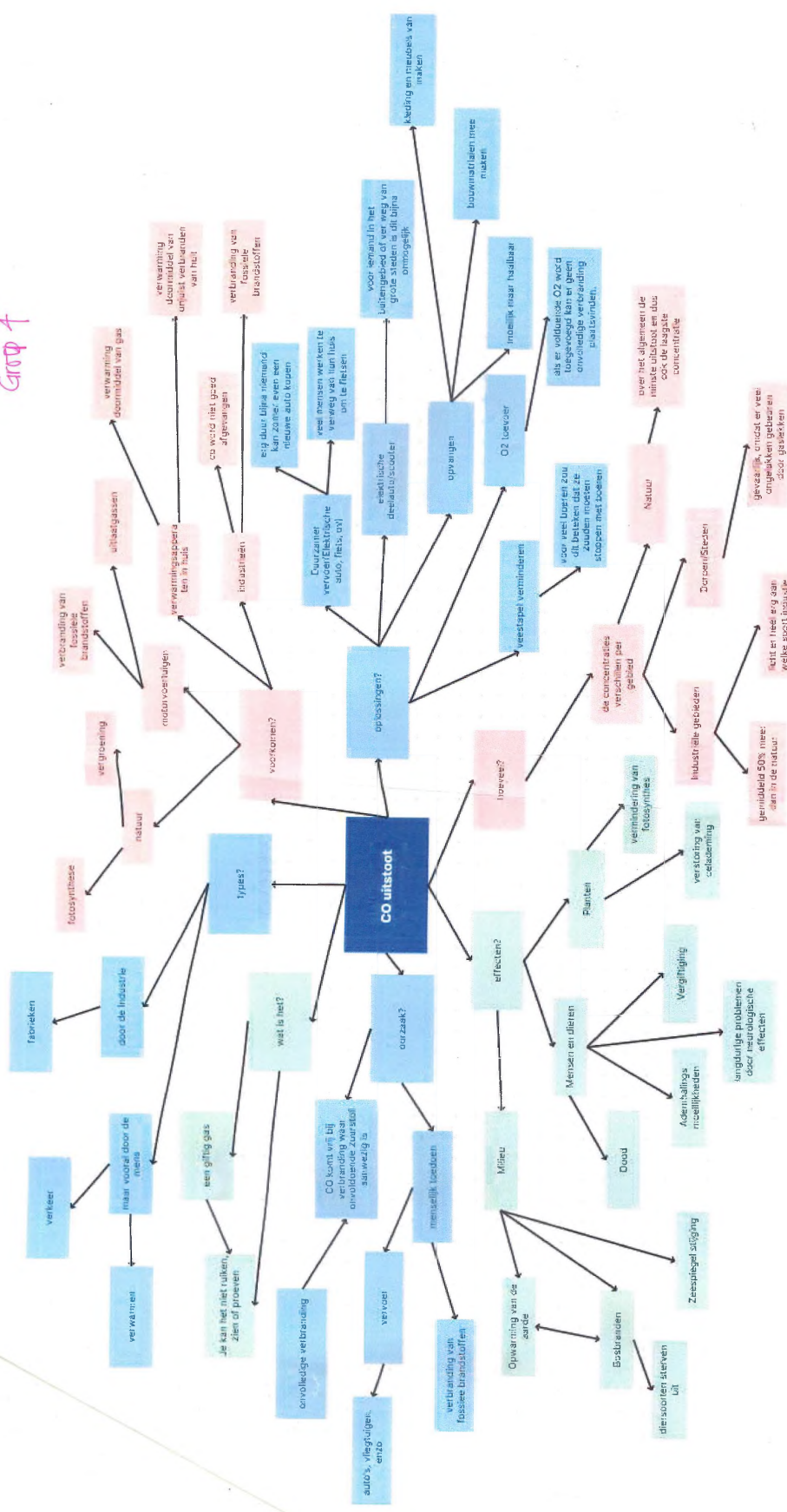


FIGUUR 14: Model groepje 2.



FIGUUR 15: Model groepje 3.

Groep 4



FIGUUR 16: Model groepje 4.

Skills per groepje	1	2	3	4	5	6	7
1. Identify the individual components and processes within a system	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
2. Organize components and place them within a framework of relationships	✓	✓	✓	✓	✓		✓
3. Identify various levels of organisation in a system	✓	✓	✓	✓	✓		✓
4. Think back and/or forth between different levels of organisation in a system		✓	✓	✓			
5. Identify how components of a system are connected	✓		✓	✓			
6. Identify behaviours that change over time		✓	✓	✓			✓
7. Explain and/or predict how a system has changed and will change over time	✓	✓		✓			
8. Use behavior-over-time trends under one set of conditions to make predictions about behavior-over-time trends under another set of conditions.							
9. Identify, examine, and/or explain (to the extent possible) emergent system-level behaviours			✓		✓	✓	
10. Consider the role of human actions on current and future system-level behaviours	✓	✓		✓	✓	✓	✓
11. Consider how the system under study might be a component of and/or contribute to the behaviours of a larger system	✓	✓	✓	✓			

Skills per groepje	11	12	13	14	15	16	17
1. Identify the individual components and processes within a system	✓	✓	✓				✓
2. Organize components and place them within a framework of relationships	✓		✓		✓		✓
3. Identify various levels of organisation in a system	✓		✓		✓		✓
4. Think back and/or forth between different levels of organisation in a system				✓	✓	✓	
5. Identify how components of a system are connected	✓			✓			✓
6. Identify behaviours that change over time							✓
7. Explain and/or predict how a system has changed and will change over time	✓	✓		✓			✓
8. Use behavior-over-time trends under one set of conditions to make predictions about behavior-over-time trends under another set of conditions.							
9. Identify, examine, and/or explain (to the extent possible) emergent system-level behaviours	✓				✓		
10. Consider the role of human actions on current and future system-level behaviours	✓				✓		✓
11. Consider how the system under study might be a component of and/or contribute to the behaviours of a larger system	✓	✓	✓		✓		✓

FIGUUR 17: Ingevulde expertpanel beoordelingformulieren conceptuele modellen

A.2 Lesmodule 4V en 5V

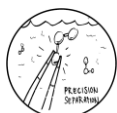
De onderstaande lesmodule is voor 4V gemaakt. Voor de 5V versie is er een kleine aanpassing gemaakt in hoofdstuk 2. Deze is ook hieronder gegeven.

Conceptueel modelleren voor circulariteit



Inhoudsopgave

1/ Introductie	3
Planning	3
Leerdoelen	3
Beoordeling	4
2/ ReCoVR en circulariteit	5
Opdracht 1	5
Opdracht 2	6
Opdracht 3	6
3/ Methaanuitstoot door afvalbelten	9
Opdracht 4	11
4/ Onderzoek naar circulariteit	15



1 | Introductie

In deze module ga je proberen een steentje bij te dragen aan de transitie (verandering) naar een circulaire economie. Maar wat is dat nou eigenlijk en waarom is zo'n circulaire economie nou zo belangrijk? In de afgelopen 100 jaar zijn we bijvoorbeeld 34 keer meer grondstoffen en 12 keer meer aardolie gaan gebruiken. Aangezien de voorraad (fossiele) grondstoffen eindig is, raakt de bodem langzamerhand in zicht. In een circulaire economie moet al het afval weer bruikbaar zijn als grondstof, waardoor de afvalkringloop gesloten wordt. Er is dus geen verlies van stoffen. De overheid streeft ernaar in 2050 een circulaire economie te hebben, maar dat is zo makkelijk nog niet. Er zijn heel veel factoren die meespelen en het is moeilijk om een duidelijk overzicht te maken. Daarom leer je in deze module conceptueel modelleren. Dit is een manier om alle aspecten van een echt probleem te beschrijven en te verbinden. Je gaat het probleem dan meer zien als een systeem, waarbij je de samenhangende manier gaat proberen te vinden tussen alle onderdelen die belangrijk zijn voor de werking ervan. De scheikundigen van de toekomst moeten hele creatieve oplossingen zien te bedenken voor vele problemen en daarom leer je in deze module je eerste stapjes als kritische en creatieve wetenschapper te zetten! Op naar een duurzamere wereld!

Planning

In de lessen van deze module ga je leren over het project ReCoVR, wat circulariteit is en hoe je een conceptueel model ontwerpt door middel van systeemdenken. Hierbij maak je opdrachten in dit boekje. Alle antwoorden mogen geschreven worden in dit boekje. In de eindopdracht maak je zelf een conceptueel model voor een van de richtingen binnen het ReCoVR project. Hiervoor moet je zelf onderzoek doen naar een molecuul en een creatieve oplossing bedenken. Uiteindelijk presenteer je dit voor de klas in de vorm van een pitch van 5 minuten.

Leerdoelen

Aan het eind van deze module kun je deze leerdoelen afvinken:

- Je kunt uitleggen waar het ReCoVR-project over gaat
- Je kunt de vijf targetmoleculen binnen het project opnoemen.
- Je kunt uitleggen wat circulariteit betekent in je eigen woorden.
- Je kunt uitleggen wat een conceptueel model is en kent het stappenplan voor het opstellen ervan.
- Je hebt kennisgenomen van zelf een conceptueel model opstellen.
- Je kunt uitleggen wat het gekozen probleem precies inhoudt en hoe het wordt veroorzaakt.
- Je kunt een creatieve oplossing bedenken samen met je groepje door middel van het conceptuele model en een hypothese bedenken die deze ondersteunt.
- Je kunt je onderzoeksresultaten kort en overtuigend in een pitch overbrengen.

Beoordeling

Je voert deze module in groepjes van 4 of 5 leerlingen uit. Je cijfer voor deze module bestaat uit twee deeltijfers:

Cijfer 1: Onderzoek (60%)

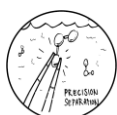
Op de dag van je pitch lever je als groepje ook een Word documentje in. Hierin staat een:

- Tabel met probleemdefinitie, oplossing en de hypothese die dit kan ondersteunen.
- Foto van jullie conceptuele model.

Je kunt hiervoor het Word document gebruiken dat op je online werkomgeving staat. Denk hierbij goed aan de voor- en nadelen van de oplossing. Bedenk ook waarom het probleem een 'probleem' is en door wie/wat het wordt veroorzaakt. De docent beoordeelt dit deel. Hiervoor kijkt je docent naar de inhoud (kwaliteit en hoeveelheid), het groepswerk en originaliteit.

Cijfer 2: Pitch (40%)

Je onderzoek zul je uiteindelijk pitchen in 5 min voor de klas. Hierin vertel je wat je hebt geleerd over het gekozen probleem en presenteer je jullie oplossing en hypothese! Je presenteert in je groepje allemaal een klein stukje. Zorg dan ook dat iedereen aan het woord komt. Je wordt beoordeeld door je klasgenoten en de docent. Hierin gaat het om hoe creatief ze jullie oplossing vinden, hoe makkelijk de pitch te volgen was en hoe overtuigend je het hebt gebracht.



2 | ReCoVR en circulariteit

Na deze les kun je:

1. Uitleggen waar het ReCoVR-project over gaat
2. De vijf targetmoleculen binnen het project opnoemen.
3. Uitleggen wat circulariteit betekent in je eigen woorden.

In de deze les leer je meer over het ReCoVR project dat in samenwerking met vele bedrijven en de universiteiten van Twente, Delft en Wageningen wordt uitgevoerd. Zoals eerder gezegd, worden grondstoffen steeds schaarser (zeldzamer) door de groeiende bevolking op aarde. Daarom wil Nederland in 2050 een circulaire economie hebben waarin alle grondstoffen hergebruikt kunnen worden. Helaas kan dat nog niet en moeten er eerst onder andere nieuwe scheidingstechnologieën worden ontwikkeld om de waardevolle stoffen uit afvalstromen te kunnen halen. Deze scheidingmethoden moeten een laag energieverbruik hebben en voor weinig/geen CO₂-uitstoot zorgen. Om deze reden is het **'Recovery and Circularity of Valuable Resources'** (ReCoVR) project opgericht.

Het ReCoVR project is opgericht in samenwerking met onder andere de Universiteit Twente en bedrijven als Avebe, Dow en Corbion. Om alle industrieën circulair te maken, is erg moeilijk. Daarom richt dit project specifiek op 5 targetmoleculen. Maar welke zijn dit en waarom kiezen ze de onderzoekers deze? Kijk hiervoor de volgende video: <https://www.youtube.com/watch?v=vDDH4FIOI90> (QR-code). Beantwoord hierna de volgende vragen:

Opdracht 1 (individueel)

1. Hoe willen de onderzoekers de moleculen van een afvalstroom gaan scheiden? En waarom kiezen ze deze techniek?
2. Welk probleem zal deze techniek kunnen hebben?
3. Welke 5 targetmoleculen worden onderzocht binnen ReCoVR?
4. Waarom zijn deze 5 targetmoleculen specifiek gekozen?



Per target is het doel om de stof te scheiden van een afvalstroom op een klimaatvriendelijke manier en ze vervolgens beschikbaar te stellen voor een ander proces. Lees het stukje tekst hieronder:



BIGGETJES

Wie kent ze niet? De overheerlijke Katja Biggetjes. Zachte fruitgums van echt fruitsap, met oortjes met elke keer een andere fruitsmaak zoals aardbei, framboos of kers. Deze watertandend lekkere combinaties laat je niet lopen, dus pak ze bij de oren en geniet!

INGREDIËNTEN

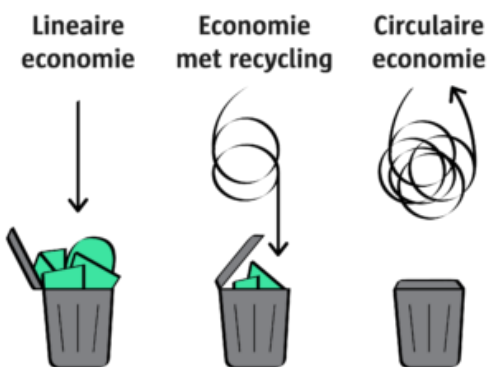
Glucosestroop, suiker, gemodificeerd zetmeel, dextrose, appelsap uit appelsapconcentraat, voedingszuur (citroenzuur, appelzuur, melkzuur), aardappelproteïne, natuurlijke aroma's, mandarijnsap uit mandarijnsapconcentraat, kleurende fruitconcentraten, vlierbessap uit vlierbessapconcentraat, gehydrolyseerd erwtenproteïne, plant-

Target 1 gaat over proteïnes (eiwitten) die vooral uit aardappelen gehaald kunnen worden. Zoals bij elk landbouwproduct gaat er veel verloren bij de oogst, omdat ze niet het perfecte uiterlijk hebben of niet rijp zijn. Dan kan het niet verkocht worden aan bijvoorbeeld de Albert Heijn. Maar wat gebeurt er met al dit afval? Vaak wordt het gewoon verbrand, maar dat is super zonde! In aardappelen zitten bijvoorbeeld eiwitten die nog steeds heel bruikbaar zijn. Je hebt net in de tekst gelezen hoe lekker biggetjes zijn, maar heb je ook gezien wat de ingrediënten zijn? Er zit namelijk aardappelproteïne in een biggetje! Nu snap je vast hoe belangrijk het is om eiwitten te kunnen hergebruiken. Niet overtuigd? Ze worden ook gebruikt voor sportdrinkjes of bijvoorbeeld vleesvervangers. Je mag de volgende opdracht samen maken.

Opdracht 2 (In tweetallen en gebruik de laptop!)

1. Er zitten tegenwoordig veel medicijnresten in het water, waardoor het water goed gezuiverd moet worden om te kunnen drinken. Wat voor ander organisch materiaal kun je in water ook vinden? Noem 2 verschillende stoffen.
2. Wat zijn de 3 grootste bronnen van koolstofmonoxide?
3. Leg in je eigen woorden uit wat jij denkt dat een smaakmolecuul is en noem een voorbeeld.

Lees de onderstaande tekst en beantwoord de vraag:



Circulariteit betekent iets anders dan recyclen of duurzaamheid. In een circulaire economie bestaat er namelijk helemaal geen afval; we zien afval als bouw materiaal voor nieuwe producten. Het idee is dat grondstoffen, onderdelen en producten hun waarde behouden. Momenteel leven we in een lineaire economie waar we voortdurend nieuwe spullen kopen, gebruiken en weggooien. Dit heeft grote gevolgen voor de aarde omdat we meer gebruiken dan de aarde kan leveren. In een circulaire economie proberen we juist de waarde van spullen te behouden, zodat we onze aarde zo min mogelijk belasten en het milieu sparen met minder CO₂-uitstoot.

Opdracht 3 (individueel)

1. Schrijf in je eigen woorden op wat een circulaire economie is. (50-100 woorden)

Klaar?

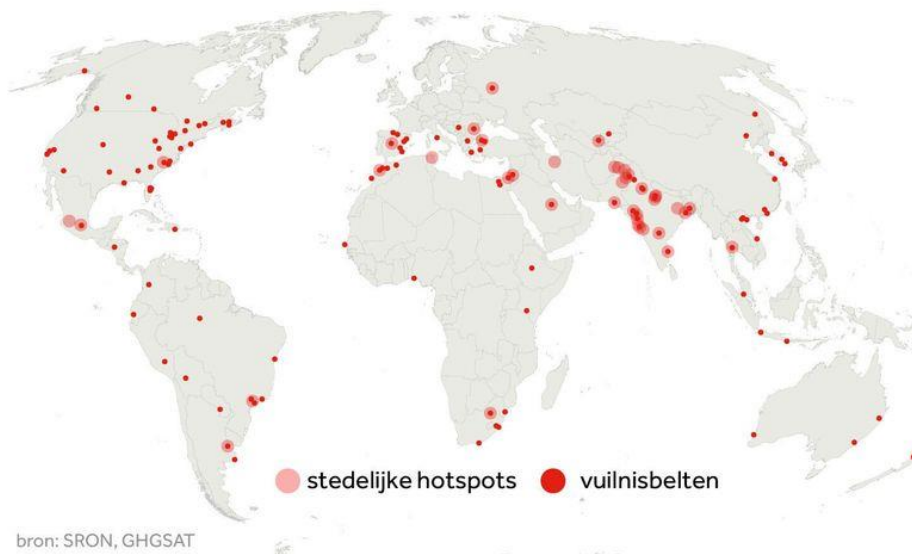
Vul de tabel op de volgende pagina in waar jij denkt te staan na deze les.

3 | Methaanuitstoot door afvalbelten

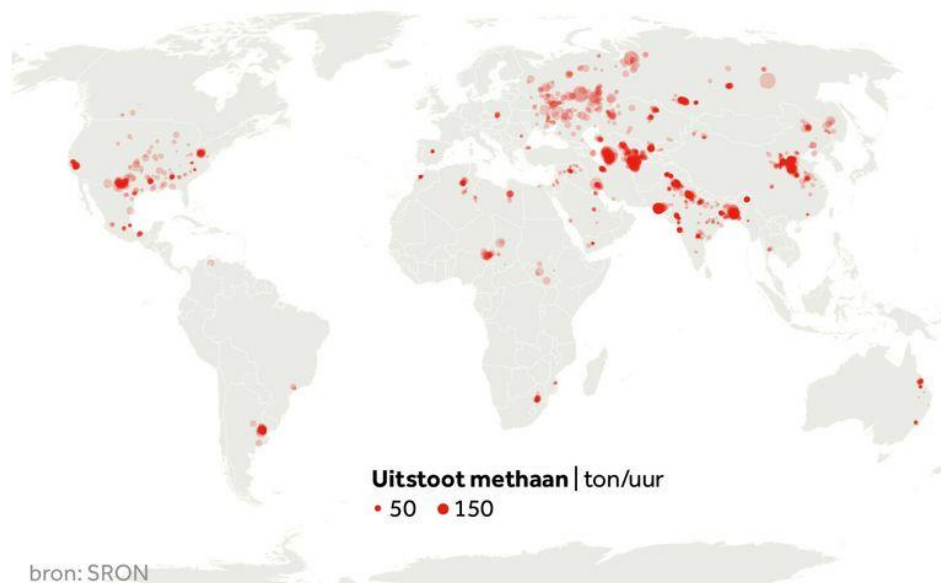
Na deze les:

- Kun je uitleggen wat een conceptueel model is en ken je het stappenplan voor het opstellen ervan.
- Heb je kennisgenomen van zelf een conceptueel model opstellen.

Methaanuitstoot steden en vuilnisbelten uitstoot op basis van satellietwaarnemingen



Grote uitstoters van methaan op basis van satellietwaarnemingen



<https://nos.nl/artikel/2452013-wereldwijd-alarmingssysteem-gelanceerd-tegen-methaanuitstoot>

Bekijk de plaatjes hierboven.

Op de VN-klimaatconferentie in Egypte in 2022 is besloten dat wereldwijd de uitstoot van methaan tegengegaan moet worden. Zeker omdat deze uitstoot een grote bron van zorg is en steeds groter wordt. Afvalbelten spelen hierbij een grote rol. Maar als je het hebt over CH₄ (methaan)-uitstoot door afvalbelten dan is dat best vaag, want hoe wordt het veroorzaakt en wat voor effecten heeft het?

Een probleemstuk als CH₄-uitstoot is niet samen te vatten in een zin. Om het goed te willen begrijpen moet je systeemdenken. Maar wat is dat eigenlijk? Systeemdenken houdt zich bezig met het begrijpen van de relaties tussen verschillende variabelen in een systeem om het grotere probleem te kunnen begrijpen. Zo krijg je dan meer begrip en kun je daardoor betere oplossingen bedenken voor het probleem. Maar hoe bedenk je nou zo'n oplossing? Hiervoor kun je een conceptueel model maken. Dat is eigenlijk niets meer dan een overzicht van jouw gedachteproces.

Hoe maak je een conceptueel model?

Stappenplan:

1. *Probleem check*
Beschrijf in je eigen woorden wat het probleem inhoudt en wat voor gevolgen het zou kunnen hebben.
2. *Duik in de informatie*
Zoek naar informatie in je boek en op het internet om het onderwerp goed te begrijpen en vul je probleemdefinitie aan.
3. *Verbandenfeestje (conceptuele model schetsen)*
Zoek specifiek naar verbanden tussen het onderwerp en verschillende variabelen.
4. *Sneak peek luxe*
Kijk naar manieren die al worden gebruikt om het probleem te minimaliseren/verhelpen.
5. *Brainstormsessie*
Bedenk welke aspecten het belangrijkste zijn voor jullie oplossing. Discussieer over een oplossing binnen je groep. (Dit mag een bestaande oplossing zijn die bij stap 4 is gevonden.)
6. *Hypotheseknaller*
Kies een hypothese die jouw oplossing kan bevestigen (verifiëren) voor het probleem.

Je begint eigenlijk met een probleem te definiëren. Dat is niks anders dan jouw gedachten over het probleem onder woorden te brengen (jouw probleemschets). Je schrijft dus precies op wat je denkt. Om jouw begrip over het onderwerp te vergroten, kun je jezelf vragen gaan stellen. Op die vragen kun je antwoorden zoeken in bijvoorbeeld je boek of op het internet (literatuur). Die informatie kun je weer verwerken in jouw probleemschets. Maar hoe pak je het aan als je niet al je vragen kan beantwoorden? Dan vul je die aan zoals het in jouw hoofd zou kunnen kloppen. Hierna bedenk je een oplossing voor het door jou opgestelde probleem. Het is goed om mee te nemen aan welke eigenschappen en eisen de oplossing moet voldoen. Dit is zeker niet simpel dus hiervoor moet je goed brainstormen in je groepje. Hier kun je vervolgens een hypothese over opstellen die 'testbaar' is. De oplossing voor het probleem is jouw ontwerpidee. Dit is de manier om aan nieuwe creatieve innovaties in de wetenschap te komen!

Opdracht 4 – oefenopdracht conceptueel modelleren (in groepjes en gebruik de laptop!)

Hey, jonge onderzoekers! In de moderne wereld draait alles om duurzaamheid, een mega-belangrijk deel van wetenschap en technologie. In deze oefenopdracht ga je samen met je groepje werken aan: methaanuitstoot uit afvalbelten. Jullie gaan de uitdaging aan om met behulp van een conceptueel model de niet alleen ingewikkelde wereld van methaanuitstoot begrijpen, maar ook slimme strategie bedenken om die uitstoot te verminderen. Klaar om in de schoenen van deze wetenschappers te stappen? Laat die creativiteit maar stromen!

Stap 1. Probleem check:

Vertel kort waarom methaanuitstoot uit afvalbelten een probleem kan zijn en bedenk wat voor gevolgen dit kan hebben voor mensen en het klimaat.

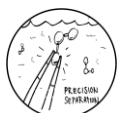
Antwoord:

Stap 2. Duik in de informatie:

Ontdek twee nieuwe dingen over methaanuitstoot uit afvalbelten (bijvoorbeeld de oorzaak) en schrijf deze hieronder op. Hiervoor mag je de wereld van het internet in of verdwalen in de boeken. Vul hierna ook je antwoord aan bij stap 1.

Bevinding 1:

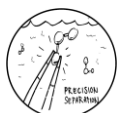
Bevinding 2:



Stap 3: Verbandenfeestje

Wat voor connecties kun je vinden tussen verschillende afvalbelten, de samenstelling van afval en de uitstoot van methaan?

Teken je gedachten over het onderwerp op papier. Wat is het probleem en welke effecten/oorzaken heeft het? Gebruik hiervoor bijvoorbeeld een tabel of een woorden web met verbanden hierin. Dit wordt je conceptuele model. Je hebt hierbij alle vrijheid, en internet mag je weer gebruiken. Pak gerust een groot vel papier voor deze creatieve uitspatting!



Stap 4: Sneak peek luxe

Wat is al een innovatieve methode die wordt voorgesteld of al wordt gebruikt om methaanuitstoot van afvalbelten te verkleinen? Geef een voorbeeld.

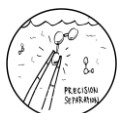
Methode:

Stap 5: Brainstormsessie

In je eigen woorden, kies een aanpak om methaanuitstoot van afvalbelten te verminderen. Welke maatregelen zouden volgens jou het meest effectief kunnen zijn?

Antwoord:

Vul nu je verbandenfeestje aan zodat het conceptueel model meer vorm krijgt!



Stap 6: Hypotheseknaller

Kies een hypothese die jouw voorgestelde oplossing kan ondersteunen. Vul de volgende tabel in:

<i>Probleemstelling (1 of 2 zinnen)</i>	<i>Gevonden oplossing(en) en gekozen oplossing</i>	<i>Hypothese (1 zin)</i>

4 | Onderzoek naar circulariteit

Na deze lessen kun je:

- Uitleggen wat het gekozen probleem precies inhoudt en hoe het wordt veroorzaakt.
- Samen met je groepje een creatieve oplossing bedenken door middel van het opstellen van een conceptueel model en een hypothese bedenken die deze ondersteunt.
- Je onderzoeksresultaten kort en overtuigend in een pitch overbrengen.

Nu je hebt geoefend met het opstellen van een conceptueel model is het tijd voor het echte werk! Je gaat in de komende twee lessen onderzoek doen naar een van de targetmoleculen van ReCoVR en probeert het volgende uit te zoeken:

1. Wat voor molecuul is het?
2. Waarvoor wordt het molecuul gebruikt?
3. Hoe ontstaat het afval?
4. Hoe kan dit afval **wel** worden hergebruikt?

Om deze vragen te kunnen beantwoorden, kun je het stappenplan van het voorbeeld gebruiken. Je hoeft niet alle deelvragen uit te schrijven, maar je antwoorden gebruik je in het conceptuele model. Je gaat op zoek naar het probleem waarom het afval ontstaat en wat voor gevolgen dit heeft. Ook mag je nu zelf gaan brainstormen over een nieuwe oplossing. Je werkt hiervoor in hetzelfde groepje van 4-5 leerlingen. Je levert uiteindelijk een Word document in met daarin foto van je conceptuele model en de tabel. Hieruit moet blijken wat je allemaal hebt geleerd over het molecuul en hoe je de verwerking ervan (meer) circulair kunt maken. Je tabel is je uiteindelijke resultaat en het model gebruik je om de tabel in te vullen. Let op! Er is geen goed of fout bij het maken van het model. Wees dus vooral lekker creatief! Je geeft daarnaast met je groepje ook nog een pitch van maximaal 5 min. Gebruik je conceptuele model met daarin het overzicht van jullie gedachteproces om anderen te overtuigen dat jullie bedachte oplossing het beste is voor het probleem. De beoordelingseisen van beide delen staan in de inleiding beschreven.

Je kunt kiezen voor dit onderzoek uit de volgende moleculen:

Targetmolecuul	Korte uitleg
Proteïnes (eiwitten)	Eiwitten zijn essentieel in ons lichaam, bijvoorbeeld voor spieropbouw, weefselherstel en immuun functie. Eiwitten krijgen wij binnen door middel van voedsel. Maar hebben we er nog wel genoeg van?
Schoon water (zonder organisch materiaal)	Schoon water is onmisbaar voor ons lichaam, omdat het helpt bij het behouden van een goede lichaamstemperatuur en nodig is bij tal van biologische processen. Organische stoffen afkomstig van planten/dieren/mensen vervuilen ons water steeds meer. Hoe kunnen we dat water zuiveren?
Koolstofmonoxide	Koolstofmonoxide is een giftig gas dat ontstaat bij onvolledige verbranding van koolwaterstoffen. Het kan tot vergiftiging bij mensen zorgen, maar is ook een belangrijke stof in de chemische industrie. Zouden we dit duurzaam kunnen hergebruiken?

2 | ReCoVR en circulariteit

Na deze les kun je:

1. Uitleggen waar het ReCoVR-project over gaat
2. De vijf targetmoleculen binnen het project opnoemen.
3. Uitleggen wat circulariteit betekent in je eigen woorden.

In de deze les leer je meer over het ReCoVR project dat in samenwerking met vele bedrijven en de universiteiten van Twente, Delft en Wageningen wordt uitgevoerd. Zoals eerder gezegd, worden grondstoffen steeds schaarser (zeldzamer) door de groeiende bevolking op aarde. Daarom wil Nederland in 2050 een circulaire economie hebben waarin alle grondstoffen hergebruikt kunnen worden. Dit sluit aan bij het cradle-to-cradle principe waar bij elke grondstof volledig hergebruikt kunnen worden zonder dat het zijn waarde verliest. Helaas kan dat nog niet en moeten er eerst onder andere nieuwe scheidingstechnologieën worden ontwikkeld om de waardevolle stoffen uit afvalstromen te kunnen halen. Deze scheidingmethoden moeten een laag energieverbruik hebben en voor weinig/geen CO₂-uitstoot zorgen. Om deze reden is het **'Recovery and Circularity of Valuable Resources'** (ReCoVR) project opgericht.

Het ReCoVR project is opgericht in samenwerking met onder andere de Universiteit Twente en bedrijven als Avebe, Dow en Corbion. Om alle industrieën circulair te maken, is erg moeilijk. Daarom richt dit project specifiek op 5 targetmoleculen. Maar welke zijn dit en waarom kiezen ze de onderzoekers deze? Kijk hiervoor de volgende video: <https://www.youtube.com/watch?v=vDDH4FIOI90> (QR-code). Beantwoord hierna de volgende vragen:

Opdracht 1 (individueel)

1. Hoe willen de onderzoekers de moleculen van een afvalstroom gaan scheiden? En waarom kiezen ze deze techniek?
2. Welk probleem zal deze techniek kunnen hebben?
3. Welke 5 targetmoleculen worden onderzocht binnen ReCoVR?
4. Waarom zijn deze 5 targetmoleculen specifiek gekozen?



Per target is het doel om de stof te scheiden van een afvalstroom op een klimaatvriendelijke manier en ze vervolgens beschikbaar te stellen voor een ander proces. Lees het stukje tekst hieronder:



BIGGETJES

Wie kent ze niet? De overheerlijke Katja Biggetjes. Zachte fruitgums van echt fruitsap, met oortjes met elke keer een andere fruitsmaak zoals aardbei, framboos of kers. Deze watertandend lekkere combinaties laat je niet lopen, dus pak ze bij de oren en geniet!

INGREDIËNTEN

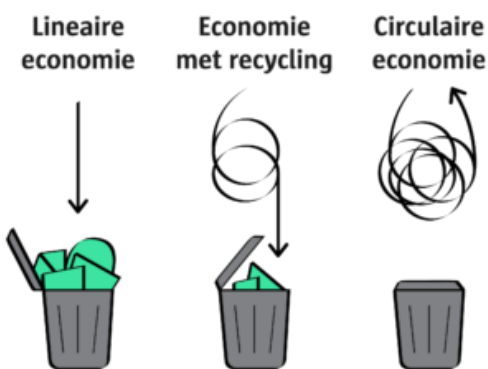
Glucosestroop, suiker, gemodificeerd zetmeel, dextrose, appelsap uit appelsapconcentraat, voedingszuur (citroenzuur, appelzuur, melkzuur), aardappelproteïne, natuurlijke aroma's, mandarijnsap uit mandarijnsapconcentraat, kleurende fruitconcentraten, vlierbessap uit vlierbessapconcentraat, gehydroliseerd erwtenproteïne, plant-

Target 1 gaat over proteïnes (eiwitten) die vooral uit aardappelen gehaald kunnen worden. Zoals bij elk landbouwproduct gaat er veel verloren bij de oogst, omdat ze niet het perfecte uiterlijk hebben of niet rijp zijn. Dan kan het niet verkocht worden aan bijvoorbeeld de Albert Heijn. Maar wat gebeurt er met al dit afval? Vaak wordt het gewoon verbrand, maar dat is super zonde! In aardappelen zitten bijvoorbeeld eiwitten die nog steeds heel bruikbaar zijn. Je hebt net in de tekst gelezen hoe lekker biggetjes zijn, maar heb je ook gezien wat de ingrediënten zijn? Er zit namelijk aardappelproteïne in een biggetje! Nu snap je vast hoe belangrijk het is om eiwitten te kunnen hergebruiken. Niet overtuigd? Ze worden ook gebruikt voor sportdrinkjes of bijvoorbeeld vleesvervangers. Je mag de volgende opdracht samen maken.

Opdracht 2 (In tweetallen en gebruik de laptop!)

1. Er zitten tegenwoordig veel medicijnresten in het water, waardoor het water goed gezuiverd moet worden om te kunnen drinken. Wat voor ander organisch materiaal kun je in water ook vinden? Noem 2 verschillende stoffen.
2. Leg met behulp van twee principes van Groene Chemie (Binas T97F), waarom het elektrisch scheiden van koolstofmonoxide een goede duurzame ontwikkeling zou zijn.
3. Leg in je eigen woorden uit wat jij denkt dat een smaakmolecuul is en noem een voorbeeld.

Lees de onderstaande tekst en beantwoord de vraag:



Circulariteit betekent iets anders dan recyclen of duurzaamheid. In een circulaire economie bestaat er namelijk helemaal geen afval; we zien afval als bouw materiaal voor nieuwe producten. Het idee is dat grondstoffen, onderdelen en producten hun waarde behouden. Momenteel leven we in een lineaire economie waar we voortdurend nieuwe spullen kopen, gebruiken en weggooien. Dit heeft grote gevolgen voor de aarde omdat we meer gebruiken dan de aarde kan leveren. In een circulaire economie proberen we juist de waarde van spullen te behouden, zodat we onze aarde zo min mogelijk belasten en het milieu sparen met minder CO₂-uitstoot.

Opdracht 3 (individueel)

1. Schrijf in je eigen woorden op wat een circulaire economie is. (50-100 woorden)

Klaar?

Vul de tabel op de volgende pagina in waar jij denkt te staan na deze les.

A.3 Informatiebriefven

Beste ouder/verzorger,

Uw kind volgt het vak scheikunde op school. Voor dit vak gaat uw kind een module volgen over conceptueel modelleren in het voortgezet onderwijs. Hierover heeft uw kind onderstaande brief ontvangen en toestemming gegeven. Uw kind kan zelf op ieder moment beslissen niet aan het onderzoek te willen deelnemen. Ik hoop u hiermee voldoende te hebben geïnformeerd.

Mocht u vragen hebben over het onderzoek kunt u mij bereiken via e-mail:

l.pieters@student.utwente.nl

Met vriendelijke groet,
Lieke Pieters

Brief aan leerlingen

Beste leerling,

Mijn naam is Lieke Pieters en ik zit momenteel in het laatste deel van mijn studie aan de Universiteit Twente voor docent eerstegraads scheikunde en zal daarom voor het vak 'Onderzoek van Onderwijs' een onderzoek uitvoeren in de bovenbouw HAVO/VWO scheikunde. Dit onderzoek zal gaan over conceptueel modelleren bij scheikunde. Hiervoor zal je een module gaan volgen en stap voor stap een probleem gaan analyseren dat gaat over circulariteit. Hierbij zul je een probleem gaan onderzoeken en de oplossing vastleggen in een conceptueel model. Het doel van dit onderzoek is het onderzoeken of scheikunde leerlingen baat hebben bij conceptueel modelleren middels systeemdenken om concepten met betrekking tot circulariteit te begrijpen en uit te leggen.

Samen met de docenten én leerlingen, wil ik graag evalueren hoe dit is bevallen en of het hen heeft geholpen bij het analyseren van het gekozen onderzoeksonderwerp. De module zal 4 lessen in beslag nemen, waarna je een enquête invult en eventueel een geselecteerd groepje leerlingen wordt geïnterviewd. Tijdens de uitvoering van de module, wil ik ook een observatie onderzoek doen. Ik zal hiervoor enkel aantekeningen maken en geen beeldmateriaal verzamelen. De enquête duurt ongeveer 5 a 10 minuten en het interview duurt ongeveer 30 minuten. In het interview worden vragen gesteld over hoe je module hebt ervaren en wat je ervan hebt geleerd met betrekking tot conceptueel modelleren. Dit interview wordt opgenomen via een audio opname in een beveiligde omgeving (IRIS Connect) en er zal een transcript worden uitgewerkt van het interview. Alle antwoorden die gegeven worden in de enquête en evt. het interview, worden gepseudonimiseerd, waardoor deze gegevens niet kunnen worden herleid naar jou. Je mag ten allen tijden zonder opgave van reden je terugtrekken uit dit onderzoek.

Eventuele op- of aanmerkingen betreft het onderzoek kunnen gestuurd worden naar: l.peters@student.utwente.nl

Verklaring leerling

Door mijn naam hieronder te noteren, geef ik een akkoord om aan het onderzoek deel te nemen.

Naam:

Daarnaast kun je voor volgende onderdelen specifiek toestemming te geven.

Ik geef toestemming om mijn conceptuele model (anoniem) te delen in het kader van het onderzoek. Deze kan ook worden gebruikt toekomstig onderzoek en voor onderwijsdoeleinden.	JA <input type="checkbox"/>	NEE <input type="checkbox"/>
Ik geef toestemming om tijdens het interview geluidopnames te maken en anoniem mijn antwoorden uit te werken in een transcript.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Beste leerling,

Mijn naam is Lieke Pieters en ik zit momenteel in het laatste deel van mijn studie aan de Universiteit Twente voor docent eerstegraads scheikunde en zal daarom voor het vak 'Onderzoek van Onderwijs' een onderzoek uitvoeren in de bovenbouw HAVO/VWO scheikunde. Dit onderzoek zal gaan over conceptueel modelleren bij scheikunde. Hiervoor zal je een module gaan volgen en stap voor stap een probleem gaan analyseren dat gaat over circulariteit. Hierbij zul je een probleem gaan onderzoeken en de oplossing vastleggen in een conceptueel model. Het doel van dit onderzoek is het onderzoeken of scheikunde leerlingen baat hebben bij conceptueel modelleren middels systeemdenken om concepten met betrekking tot circulariteit te begrijpen en uit te leggen.

Samen met de docenten én leerlingen, wil ik graag evalueren hoe dit is bevallen en of het hen heeft geholpen bij het analyseren van het gekozen onderzoeksonderwerp. De module zal 4 lessen in beslag nemen, waarna je een enquête invult en eventueel een geselecteerd groepje leerlingen wordt geïnterviewd. Tijdens de uitvoering van de module, wil ik ook een observatie onderzoek doen. Ik zal hiervoor enkel aantekeningen maken en geen beeldmateriaal verzamelen. De enquête duurt ongeveer 5 a 10 minuten en het interview duurt ongeveer 30 minuten. In het interview worden vragen gesteld over hoe je module hebt ervaren en wat je ervan hebt geleerd met betrekking tot conceptueel modelleren. Dit interview wordt opgenomen via een audio opname in een beveiligde omgeving (IRIS Connect) en er zal een transcript worden uitgewerkt van het interview. Alle antwoorden die gegeven worden in de enquête en evt. het interview, worden gepseudonimiseerd, waardoor deze gegevens niet kunnen worden herleid naar jou. Je mag ten allen tijden zonder opgave van reden je terugtrekken uit dit onderzoek.

Eventuele op- of aanmerkingen betreft het onderzoek kunnen gestuurd worden naar:
l.pieters@student.utwente.nl

Verklaring leerling

Door mijn naam hieronder te noteren, geef ik een akkoord om aan het onderzoek deel te nemen.

Naam:

Daarnaast kun je voor volgende onderdelen specifiek toestemming te geven.

Ik geef toestemming om mijn conceptuele model (anoniem) te delen in het kader van het onderzoek. Deze kan ook worden gebruikt toekomstig onderzoek en voor onderwijsdoeleinden.	JA <input type="checkbox"/>	NEE <input type="checkbox"/>
Ik geef toestemming om tijdens het interview geluidopnames te maken en anoniem mijn antwoorden uit te werken in een transcript.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Informatieblad voor onderzoek 'Module over conceptueel modelleren in het voorgezet onderwijs ter voorbereiding op scheikundeonderwijs'

Doel van het onderzoek

Mijn naam is Lieke Pieters en ik zit momenteel in het laatste deel van mijn studie aan de Universiteit Twente voor eerstegraads docent scheikunde en zal daarom voor het vak 'Onderzoek van Onderwijs' een onderzoek uitvoeren bij de bovenbouw HAVO/VWO die het vak scheikunde hebben. Dit onderzoek zal gaan over conceptueel modelleren bij scheikunde. Hiervoor zal de leerling een module gaan volgen en stap voor stap een probleem gaan analyseren dat gaat over circulariteit. Hierbij zullen ze hun eigen proces van probleem naar oplossing vastleggen in een conceptueel model. Het doel van dit onderzoek is het onderzoeken of scheikunde leerlingen baat hebben bij conceptueel modelleren middels systeemdenken om concepten met betrekking tot circulariteit te begrijpen en uit te leggen.

Hoe gaat het onderzoek te werk?

De module zal 4 lessen in beslag nemen, waarna de leerlingen een enquête invullen en een geselecteerd groepje leerlingen wordt geïnterviewd. Ook wil ik graag de docenten (individueel) interviewen. Tijdens de uitvoering van de module, wil ik ook een observatie onderzoek doen. Ik zal hiervoor enkel aantekeningen maken en geen beeldmateriaal verzamelen. De enquête duurt ongeveer 5 a 10 minuten en het interview duurt ongeveer 30 minuten. In het interview worden vragen gesteld over hoe u de module hebt ervaren en wat voor problemen/waardevolle aspecten u in de praktijk bent tegengekomen. Dit interview wordt opgenomen via een audio opname in een beveiligde omgeving (IRIS Connect) en er zal een transcript worden uitgewerkt van het interview.

Potentiële risico's en ongemakken

Er zijn geen risico's verbonden aan uw deelname aan deze studie op elk vlak. U hoeft geen vragen te beantwoorden die u niet wilt beantwoorden. Uw deelname is vrijwillig en u kunt uw deelname op elk gewenst moment stoppen, of weigeren dat uw gegevens voor het onderzoek mogen worden gebruikt, zonder opgaaf van redenen. Het stopzetten van deelname heeft geen nadelige gevolgen voor u.

Vertrouwelijkheid van gegevens

Ik zal er alles aan doen om uw privacy zo goed mogelijk te beschermen. Er wordt op geen enkele wijze vertrouwelijke informatie of persoonsgegevens van of over u naar buiten gebracht. Voordat mijn onderzoeksgegevens naar buiten gebracht worden, worden alle gegevens zoveel mogelijk geanonimiseerd of zullen er pseudoniemen worden gebruikt. De audio-opnamen, formulieren en andere documenten die in het kader van deze studie worden gemaakt of verzameld, worden opgeslagen op een beveiligde locatie bij de Universiteit Twente. De onderzoeksgegevens worden bewaard voor een periode van 10 jaar. Uiterlijk na het verstrijken van deze termijn zullen de gegevens worden verwijderd of worden geanonimiseerd zodat ze niet meer te herleiden zijn tot een persoon. De onderzoeksgegevens worden indien nodig (bijvoorbeeld voor een controle op wetenschappelijke integriteit) en alleen in anonieme vorm ter beschikking gesteld aan anderen.

Eventuele op- of aanmerkingen betreft het onderzoek kunnen gestuurd worden naar:

l.peters@student.utwente.nl

Verklaring docent

Ik heb uitleg gekregen over het doel van het onderzoek. Ik heb vragen mogen stellen over het onderzoek. Ik heb nagedacht of ik aan het onderzoek wil deelnemen. Ik mag op elk moment stoppen met het onderzoek als ik dat wil. Ik doe mee met het onderzoek dat beschreven is in deze brief. Alle antwoorden die ik geef in het interview worden gepseudonimiseerd, waardoor deze gegevens niet kunnen worden herleid naar mij. Door mijn naam hieronder te noteren, geef ik een akkoord om aan het onderzoek deel te nemen.

Naam:

A.4 Meetinstrumenten

Richtlijnen lesobservatie

Codering:

- Leren/begrip CM en SD
 - Gebruik van de module
 - Ondersteuning door de docent in module
 - Samenwerken in groepjes
-
- Achterin de klas eerste 10 minuten observeren hoe het bij leerlingen aankomt, daarna rondlopen.
 - Proberen de vragen van leerlingen vast te leggen per groepje.

Vragen:

- Hoe verloopt het proces bij de groepjes gedurende de les? Veel of weinig progressie? Veel of weinig vragen?
- Hoe vaak en wat voor vragen stellen leerlingen aan de docent?
- Hoe reageren de leerlingen op het materiaal?
- Hoe werken de leerlingen samen? Taakverdeling? Overleggen?
- Hoe pakken de leerlingen het aan?
- Hoe ondersteunt de docent de leerlingen? Hoe geeft de docent antwoord op de vragen?

Na afloop bij de docent de eerste indruk van de les vastleggen en om verduidelijking van bepaalde vragen vragen eventueel.

Vragenlijst – Conceptueel modelleren in het scheikunde onderwijs

Je hebt net de module conceptueel modelleren afgerond. Hierbij heb je een onderzoek uitgevoerd over een van de targetmoleculen van ReCoVR en een conceptueel model opgesteld. In deze vragenlijst wil ik je vragen hoe je dit hebt ervaren. Geef per stelling aan hoe goed je je kan vinden in de stelling. Dankjewel alvast!

1. *Ik kan in mijn eigen woorden uitleggen wat circulariteit betekend.*

Helemaal niet waar 1 2 3 4 5 Helemaal waar

2. *Het volgen van het stappenplan heeft mij geholpen mijn molecuul beter te beschrijven.*

Helemaal niet waar 1 2 3 4 5 Helemaal waar

3. *Ik kan in mijn eigen woorden uitleggen wat een conceptueel model is.*

Helemaal niet waar 1 2 3 4 5 Helemaal waar

4. *Het maken van het conceptuele model hielp mij bij herkennen van het probleem rondom mijn molecuul en het bedenken van de oplossing.*

Helemaal niet waar 1 2 3 4 5 Helemaal waar

5. *Ik vond de module over conceptueel modelleren uitdagend.*

Helemaal niet waar 1 2 3 4 5 Helemaal waar

6. *Ik vond de module over conceptueel modelleren nuttig.*

Helemaal niet waar 1 2 3 4 5 Helemaal waar

7. *Ik vond de vrijheid die ik kreeg bij het maken van een conceptueel model fijn.*

Helemaal niet waar 1 2 3 4 5 Helemaal waar

8. *Ik heb nieuwe dingen geleerd door deze module over hoe je een probleem kunt benaderen.*

Helemaal niet waar 1 2 3 4 5 Helemaal waar

9. *Ik vond het leerzaam om in een groepje samen te werken aan de opdrachten.*

Helemaal niet waar 1 2 3 4 5 Helemaal waar

10. *Welk cijfer zou je de module willen geven?*

“ 1 “ 2 “ 3 “ 4 “ 5 “ 6 “ 7 “ 8 “ 9 “ 10

Heb je nog tips over de module?

Bedankt!

Richtlijnen semigestructureerd interview - leerlingen & docenten

Opmerkingen vooraf

- De antwoorden die je zal geven heeft geen invloed op je cijfer voor scheikunde en komt ook niet terecht bij je docent.*
- Er wordt een audio opname gemaakt van het interview dat achteraf uitgeschreven wordt en geanonimiseerd wordt.
- Het interview duurt maximaal een half uur
- In het interview wil ik achterhalen wat je geleerd hebt van de module en wat je eventuele aanbeveling zijn voor het verbeteren van het materiaal.

*niet van toepassing voor docenten

Algemene vragen – Leerlingen

Gebruik van de module

- Hoe heb je de module over conceptueel modelleren ervaren?
- Kun je specifieke voorbeelden geven wat je makkelijk en moeilijk hebt gevonden bij het maken van het conceptuele model?
- Hoe was het niveau van de module?
- Zijn er aspecten van de module die je als bijzonder waardevol hebt ervaren en die je zou willen benadrukken?
- Hoe vond je de indeling van de module?
- Is er iets dat je zou willen toevoegen aan de module om het leerproces te verbeteren?
- Heb je verder nog op-/aanmerkingen over de module?

Leren/begrip CM en SD

- Heeft de module bijgedragen aan je begrip van conceptueel modelleren?
- Kun je uitleggen in je eigen woorden welke stappen je hebt gezet om het jouw molecuul uit te leggen en een oplossing te bedenken?
- Wat vond je minder goed/effectief aan het gebruiken van het model? Zijn er voorbeelden?
- Heb je gemerkt dat je bepaalde vaardigheden hebt ontwikkeld tijdens het gebruik van de module? Welke? Waar zou je deze vaardigheden kunnen toepassen?
- In hoeverre denk je dat conceptueel modelleren kan bijdragen aan het begrijpen van complexe concepten? Zie je mogelijke toepassingen ervan bij bijvoorbeeld specifieke scheikundeonderwerpen?

Ondersteuning door docent in module

- Hoe vond je het om deze module zelf te volgen, in plaats van klassikaal les met de docent?
- Heb je vaker op deze manier les gekregen?
- Wat zou je nog meer willen/nodig hebben om beter te worden in conceptueel modelleren?

Samenwerken in groepjes

- Hoe vond je het samenwerken in een groepje? Had je dit al eerder gedaan?

Algemene vragen – Docenten

Gebruik van de module

- Hoe heeft u de module over conceptueel modelleren ervaren?
- Hoe heeft u de module beoordeeld?
- Hoe vond u de opbouw van de module?
- Hoe was het niveau van de module?
- Welke uitdagingen kwam u tegen bij het geven van de module?
- Welke uitdagingen kwamen leerlingen tegen bij het geven van de module?
- Is er iets dat u zou willen toevoegen aan de module om het leerproces te verbeteren?
- Zou u de module vaker willen geven? Waarom wel/niet?
- Heeft u verder nog op-/aanmerkingen over de module?

Leren/begrip CM en SD

- Wist u voor deze module wat conceptueel modelleren inhoudt?
- Denkt u dat systeemdenken via conceptueel modelleren belangrijk is voor een scheikunde leerling? Waarom wel/niet?
- Welke vaardigheden denkt u dat leerlingen nodig hebben om conceptueel te kunnen modelleren? Hebben ze die denkt u ontwikkeld? Zo niet, waarom niet?

Ondersteuning door docent in module

- Was het materiaal toereikend om de leerlingen voldoende te kunnen ondersteunen bij het maken van een conceptueel model middels de beschreven stappen? Zo niet, wat mist er?
- Geeft u ook het vak NLT?
- Merkte u verschil tussen de klassen in aanpak en prestaties? Waar lag dat aan?

Samenwerken in groepjes

- Hoe zijn de groepjes in de klas gemaakt? Hoe vond u dat de groepjes samenwerkten?
- Hoe heeft u de groepjes ondersteund?

A.5 Ethiekaanvraag

240056 REQUEST FOR ETHICAL REVIEW

Request nr: 240056
Researcher: Pieters, L.
Supervisor: Visser, T.C.
Reviewer: Linden, S. van der
Status: Approved by commission
Version: 2

1. START

A. TITLE AND CONTEXT OF THE RESEARCH PROJECT

1. What is the title of the research project? (max. 100 characters)

Conceptueel modelleren in het voorgezet onderwijs ter voorbereiding op scheikundeonderwijs

2. In which context will you conduct this research?

Master's Thesis

3. Date of the application

25-01-2024

5. Is this research project closely connected to a research project previously assessed by the BMS Ethics Committee?

No/Unknown

B. CONTACT INFORMATION

6. Contact information for the lead researcher

6a. Initials:

L.

6b. Surname:

Pieters

6c. Education/Department (if applicable):

M-ECB

6d. Staff or Student number:

2245345

6e. Email address:

l.pieters@student.utwente.nl

6f. Telephone number (during the research project):

+31634464329

6g. If additional researchers (students and/or staff) will be involved in carrying out this research, please name them:

-

6h. Have you completed a PhD degree?

No

7. Contact information for the BMS Supervisor

7a. Initials:

T.C.

7b. Surname:

Visser

7c. Department:

BMS-ELAN

7d. Email address:

t.c.visser@utwente.nl

7e. Telephone number (during the research project):

+31534895829

8. Is one of the ethics committee reviewers involved in your research? Note: not everyone is a reviewer.

No

C. RESEARCH PROJECT DESCRIPTION

9a. Please provide a brief description (150 words max.) of the background and aim(s) of your research project in non-expert language.

This study aims to equip students with conceptual modeling skills to address compelling 21st-century challenges in chemistry. System-based concept mapping is a critical competence for analyzing global, often complex, problems. I will examine if chemistry students benefit from conceptual modelling through systemic thinking to understand and explain concepts related to circularity. Students will follow a module about conceptual modelling and learn about the Recovery and Circularity of Valuable Resources (ReCoVR) project. They will choose a subject and try to formulate a problem statement, investigate the problem, construct a conceptual model and think of (new) solutions. They will present their final work in a pitch. The module will be evaluated through questionnaires and/or interviews with students/teachers.

9b. Approximate starting date/end date of data collection:

Starting date: 2024-03-03

End date: 2024-05-30

9c. If applicable: indicate which external organization(s) has/have commissioned and/or provided funding

for your research.

Commissioning organization(s):

Not applicable

Funding organization(s):

Not applicable

2. TYPE OF STUDY

Please select the type of study you plan to conduct:

I will be collecting new data from individuals acting as respondents, interviewees, participants or informants.

4. RESEARCH INVOLVING THE COLLECTION OF NEW DATA

A: RESEARCH POPULATION

20. Please provide a brief description of the intended research population(s):

4V and 5V students (16 years or older) + teachers in 5 different secondary schools. 10 different groups of max 25 students will join the research. All these students will fill in a questionnaire and per class, a group of 4-6 students will be chosen (one out of each formed group in the class). All teachers will be interviewed.

21. How many individuals will be involved in your research?

interview = 60 students + 5 teachers questionnaire = 250 students

22. Which characteristics must participants/sources possess in order to be included in your research?

(1) The students must be in their fourth/fifth year of secondary education (4/5 VWO). (2) The students must be taking the subject chemistry.

23. Does this research specifically target minors (<16 years), people with cognitive impairments, people under institutional care (e.g. hospitals, nursing homes, prisons), specific ethnic groups, people in another country or any other special group that may be more vulnerable than the general population?

No

24. Are you planning to recruit participants for your research through the BMS test subject pool, SONA

No

B. METHODS OF DATA COLLECTION

25. What is the best description of your research?

- Observation research
 - By researcher in person
- Interview research
- Other

(please provide a brief description of the methods used to generate and/or collect data):

I will collect the constructed (anonymous) conceptual models of

students

26. Please prove a brief yet sufficiently detailed overview of activities, as you would in the Procedure section of your thesis or paper. Among other things, please provide information about the information given to your research population, the manipulations (if applicable), the measures you use (at construct level), etc. in a way that is understandable for a relative lay person.

I designed a module for 5 lessons that teachers could use in their curriculum. The content is based on the syllabus of secondary education in chemistry and is therefore not a supplementary workload for students/teachers. The students will spend 5 lessons on the module developed. During lesson 3 I will do the observation study at all schools. For this, I will just walk around and make some notes about their performance. In this lesson, they will construct their conceptual model. Students will work in groups on the assignments and the pitch. The teachers will guide them with the module. They receive additional tips/answers from me to limit their extra workload. After the students complete the module they fill in the questionnaire and from each group, there will be one interviewed. They'll be asked if they liked the module and what they learned. The questionnaire will be filled out in the last lesson of the module.

How much time will each participant spend (mention the number of sessions/meetings in which they will participate and the time per session/meeting)?

the module = 5*50 min = 250 min (including 10 min. questionnaire) and the interview max 30 min.

C: BURDEN AND RISKS OF PARTICIPATION

27. Please provide a brief description of these burdens and/or risks and how you plan to minimize them:

For teachers: they are voluntarily participating in this research. The module won't be a significant increase in workload or discomfort as they receive all materials beforehand with answers and guidelines. The interview will take approximately 30 minutes and will be anonymous.
For students: Since they have to go to school and follow lessons either way, they won't experience an increase in workload. The questionnaire will take approximately 10 minutes. However, the survey will be filled out during the lesson, so even this won't take extra time. And of course, this questionnaire will be voluntary and anonymous. The students that join the interview spend some extra time of approximately 30 minutes.

28. Can the participants benefit from the research and/or their participation in any way?

Yes

Please Explain:

Students become familiar with the academic way of thinking and apply critical thinking skills as a team. They can use these skills to

assess problems and help them identify the key aspects of the system. It will also make student more aware of the complexity of this world and contributes to civic education.

29. Will the study expose the researcher to any risks (e.g. when collecting data in potentially dangerous environments or through dangerous activities, when dealing with sensitive or distressing topics, or when working in a setting that may pose 'lone worker' risks)?

No

D. INFORMED CONSENT

30. Will you inform potential research participants (and/or their legal representative(s), in case of non-competent participants) about the aims, activities, burdens and risks of the research before they decide whether to take part in the research?

Yes

Briefly clarify how:

I will ask students to sign a form (see attachment)

32. How will you obtain the voluntary, informed consent of the research participants (or their legal representatives in case of non-competent participants)?

Signed

33. Will you clearly inform research participants that they can withdraw from the research at any time without explanation/justification?

Yes

34. Are the research participants somehow dependent on or in a subordinate position to the researcher(s) (e.g. students or relatives)?

No

35. Will participants receive any rewards, incentives or payments for participating in the research?

- No

36. In the interest of transparency, it is a good practice to inform participants about what will happen after their participation is completed. How will you inform participants about what will happen after their participation is concluded?

- Participants will receive the researcher's contact details, so that they can contact the researcher if they have questions/would like to know more.

E. CONFIDENTIALITY AND ANONYMITY

37. Does the data collected contain personal identifiable information that can be traced back to specific individuals/organizations?

Yes

38. Will all research data be anonymized before they are stored and analysed?

Pseudonymization

39. Will you make use of audio or video recording?

Yes

• What steps have you taken to ensure safe audio/video data storage?

I will record it via IRIS connect and make the transcripts in onedrive (secured). I will not make a video recording and pseudonymize the names of the students that will be interviewed. For the data collection of the conceptual models, I will delete the names of the students and only use their data. They give consent for this.

• At what point in the research will tapes/digital recordings/files be destroyed?

After the transcripts are made I will delete the tape. The transcripts and anonymous conceptual models will be stored for 10 years in a secured station of the supervisor.

5. DATA MANAGEMENT

- I have read the UT Data policy.
- I am aware of my responsibilities for the proper handling of data, regarding working with personal data, storage of data, sharing and presentation/publication of data.

6. OTHER POTENTIAL ETHICAL ISSUES/CONFLICTS OF INTEREST

40. Do you anticipate any other ethical issues/conflicts of interest in your research project that have not been previously noted in this application? Please state any issues and explain how you propose to deal with them. Additionally, if known indicate the purpose your results have (i.e. the results are used for e.g. policy, management, strategic or societal purposes).

no

7. ATTACHMENTS

brief docent.pdf, leerling brief.pdf

8. COMMENTS

Linden, S. van der (12-02-2024 08:46):

At item 37 you mention that the data collected does not contain personal identifiable information that can be traced back to specific individuals/organizations. However, this guarantee is somewhat unlikely for audio/ video recordings of an interview. Can you please change pt 37 to 'yes', and in Pt. 39 explain what steps you will take to guarantee anonymized/ pseudonymized data: for instance by pseudonymizing transcripts/summaries of the interviews?

Visser, T.C. (30-01-2024 10:05):

Bij de brief van de llm misschien in laatste blokje onderaan ook woordje (anoniem) toevoegen.

Visser, T.C. (30-01-2024 09:56):

Hoi Lieke, Voor dat je aanvraag naar de ethiek commissie gaat krijg ik hem eerst nog te zien ter goedkeuring. Om door de commissie te laten goedkeuren moeten de volgende puntjes nog worden aangepast:

20. Maak hier het maximaal aantal scholen van die mee gaan doen. (in het stuk moeten geen onzekerheden staan)

zijn de 2-3 groeps interviews per klas?. Zou aangeven dat je uit elke klas een interview doet. Hoe selecteer je de lln voor het interview?

2. Ook hier het maximum aantal noemen. Als je minder doet is geen probleem.

26. Maak ook hier duidelijk dat de lessons wel door jou zijn ontworpen maar dat de docent het uitvoert en gewoon onderdeel is van het schoolcurriculum (dit is dus niet extra). Je geeft aan dat je sommige scholen observeert, hoe maak je die keuze? Misschien beter als je aangeeft dat je alle scholen bezoekt. als dat niet lukt door ivm planning dan is dat zo. Wat voor een observaties ga je doen? Gebruik je het als data? Video opname wel of niet? Op welke basis worden lln wel of niet geïnterviewd. Wat ga je nog extra in het interview aan vragen stellen? Kort iets over zeggen.

Volgens mij hoef je hier dus ook niet de module tijd weer te geven maar wel de questionair tijd. Of noteer bij de moduletijd incl. (... min) questionair.

27. ik vind dit geen risk. De workload is gewoon onderdeel van hun schoolcurriculum, dit hebben ze anders ook. Wellicht iets als:For teachers: they are voluntarily participating in this research. The module.....a significant increase in workload or discomfort. The interview will take approximately ... minutes and will be anonymous. For students: Since they have to go to school and follow lessons either way, they won't experience an increase in workload. The only questionnaire will take approximately ... minutes. However, the survey will be filled out during the lesson, so even this won't take extra time. And of course, this questionnaire will be voluntarily and anonymous. The students that join the interview spend some extra time of approximately ... minutes.

Talitha

9. CONCLUSION

Status: Approved by commission

The BMS ethical committee / Domain Humanities & Social Sciences has assessed the ethical aspects of your research project. On the basis of the information you provided, the committee does not have any ethical concerns regarding this research project. It is your responsibility to ensure that the research is carried out in line with the information provided in the application you submitted for ethical review. If you make changes to the proposal that affect the approach to research on humans, you must resubmit the

changed project or grant agreement to the ethical committee with these changes highlighted.

Moreover, novel ethical issues may emerge while carrying out your research. It is important that you reconsider and discuss the ethical aspects and implications of your research regularly, and that you proceed as a responsible scientist.

Finally, your research is subject to regulations such as the EU General Data Protection Regulation (GDPR), the Code of Conduct for the use of personal data in Scientific Research by VSNU (the Association of Universities in the Netherlands), further codes of conduct that are applicable in your field, and the obligation to report a security incident (data breach or otherwise) at the UT.