

Formatief toetsen van begripsontwikkeling in ontwerponderwijs

Een onderzoek naar instrumenten en activiteiten voor authentieke formatieve toetsing tijdens ontwerpprojecten bij scheikunde en informatica

Henze, Ineke; Barendsen, Erik; Rahimi, Ebrahim; Stammes, Hanna

Publication date

2019

Document Version

Final published version

Citation (APA)

Henze, I., Barendsen, E., Rahimi, E., & Stammes, H. (2019). *Formatief toetsen van begripsontwikkeling in ontwerponderwijs: Een onderzoek naar instrumenten en activiteiten voor authentieke formatieve toetsing tijdens ontwerpprojecten bij scheikunde en informatica*. <https://www.nro.nl/onderzoeksprojecten/formatieve-toetsing-van-begripsontwikkeling-ontwerponderwijs>

Important note

To cite this publication, please use the final published version (if applicable).
Please check the document version above.

Copyright

Other than for strictly personal use, it is not permitted to download, forward or distribute the text or part of it, without the consent of the author(s) and/or copyright holder(s), unless the work is under an open content license such as Creative Commons.

Takedown policy

Please contact us and provide details if you believe this document breaches copyrights.
We will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Formatief toetsen van begripontwikkeling in ontwerponderwijs

Een onderzoek naar instrumenten en activiteiten
voor authentieke formatieve toetsing
tijdens ontwerpprojecten bij scheikunde en informatica

Ineke Henze
Erik Barendsen
Ebrahim Rahimi
Hanna Stammes



Dit onderzoek is uitgevoerd door Technische Universiteit Delft en Radboud Universiteit in samenwerking met elf scholen.



Radboud Universiteit



Het onderzoek is gefinancierd door het Nationaal Regieorgaan Onderwijsonderzoek onder projectnummer 405-15-549.



Delft/Nijmegen, 2019

Voorwoord

Dit langlopend onderwijsonderzoek (januari 2016-juni 2019) kwam voort uit een praktijkvraag over ontwerponderwijs bij de bètavakken in het voortgezet onderwijs. Het project bestond uit twee delen: een onderzoek naar ontwerponderwijs bij het schoolvak scheikunde aan de Technische Universiteit Delft, en een onderzoek naar ontwerponderwijs bij het vak informatica aan de Radboud Universiteit in Nijmegen. Zowel in Delft als in Nijmegen werd een professionele leergemeenschap gevormd tussen onderzoekers en docenten van de betreffende vakken uit verschillende havo/vwo scholen.

Deze professionele leergemeenschappen hebben modules en losse lessen voor ontwerponderwijs ontwikkeld waarin veel aandacht is voor authentieke formatieve toetsactiviteiten.

In dit inhoudelijk eindrapport wordt niet alleen beschreven hoe de modules tot stand zijn gekomen en getest in de praktijk, maar ook welke ideeën docenten hadden over ontwerponderwijs in hun vak, en op welke manier zij hun praktijkkennis en formatieve toetsstrategieën tijdens het project hebben ontwikkeld.

De uitkomsten van dit onderzoek hebben bijgedragen aan een oplossing voor de praktijkvraag rond ontwerponderwijs van veel bètadocenten in Nederland. Ook heeft het onderzoek een bijdrage geleverd aan de kennisvorming over formatieve toetsing van begripsvorming in ontwerponderwijs bij de bètavakken in havo en vwo.

Wij bedanken studenten van MSc Science Education and Communication aan de TU Delft die, in het kader van hun opleiding of afstudeerproject, tussenproducten en activiteiten voor de scheikundemodules hebben mee-ontwikkeld en onderzocht.

September 2019

Namens het consortium:

Ineke Henze, Erik Barendsen, Ebrahim Rahimi, Hanna Stammes.

Over de auteurs

Ineke Henze is universitair docent en vakdidacticus scheikunde bij de masteropleiding Science Education and Communication (SEC) aan de Technische Universiteit Delft. Zij onderzoekt de kennisontwikkeling (waaronder PCK) van bètadocenten in opleidings- en professionaliseringssituaties.

Erik Barendsen is hoogleraar bètadidactiek aan de Radboud Universiteit en hoogleraar informaticadidactiek aan de Open Universiteit. Hij is gespecialiseerd in computational thinking en in de PCK-ontwikkeling van informaticadocenten.

Ebrahim Rahimi is gepromoveerd bij TU Delft en werkte als postdoctoraal onderzoeker voor dit project aan de Radboud Universiteit. Op dit moment werkt hij als universitair docent informatica bij de Open Universiteit.

Hanna Stammes is opgeleid tot eerstegraads docent scheikunde bij SEC aan de TU Delft. Dit project is onderdeel van haar promotieonderzoek bij deze afdeling.

Samenvatting

Professionele ontwerpers maken tijdens een ontwerpproces voortdurend tussenproducten zoals schema's, visualisaties en presentaties. In dit door NRO gesubsidieerde project ontdekten de onderzoekers dat zulke authentieke tussenproducten van leerlingen zichtbaar kunnen maken wat zij aan vakkennis opdoen tijdens het werken aan een ontwerpopdracht. Cruciale voorwaarden daarbij zijn de juiste timing, een strak format en een docent die over de juiste ontwerp kennis en vakdidactische kennis beschikt.

Aanleiding

Dat leerlingen door dingen te ontwerpen niet alleen ontwerpvaardigheden opdoen maar ook hun begrip van onderliggende vakinhoud uitbreiden en verdiepen was al bekend.

Het was alleen nog niet duidelijk hoe je dat begrip het beste zichtbaar kunt maken om feedback te geven en het leerproces bij te sturen. Inderdaad, je kunt leerlingen een schriftelijke toets laten maken, maar dat zou het ontwerpproces verstoren en zo het effect van de ontwerpsituatie als authentieke praktijksituatie ('context') teniet doen.

Het project was bedoeld om meer te weten te komen over formatieve toetsinstrumenten voor begripsvorming die onderdeel zijn van ontwerpactiviteiten en zo door leerlingen als authentiek ervaren (kunnen) worden.

Deze vraag is actueel omdat 'leren ontwerpen' steeds belangrijker wordt in de examenprogramma's van de bètavakken op havo en vwo. In dit project kwam specifiek ontwerponderwijs in scheikunde en informatica aan de orde. In beide vakken was nog nauwelijks les- en toetsmateriaal voorhanden voor ontwerpend leren van vakbegrippen. Men zou kunnen denken dat het ontwerpproduct zelf kan dienen als authentiek toetsinstrument, omdat een succesvol ontwerp impliceert dat leerlingen de juiste kennis zouden hebben opgedaan. Helaas is dit niet altijd het geval. Er zijn leerlingen die een *trial-and-error* strategie toepassen, of hun ontwerp-ideeën baseren op 'gezond verstand' in plaats van vakinhoudelijk redeneren. Het is dus niet uitgesloten dat een ontwerpproduct werkt ('het doet') zonder dat de maker

het werkingsprincipe heeft doorgrond.

Aanpak

Het project was vormgegeven als ontwerponderzoek, waarin leer- en onderwijsactiviteiten en -materialen stapsgewijs werden ontwikkeld, verbeterd en onderzocht. Het ontwerponderzoek werd uitgevoerd door een team van vier onderzoekers van Technische Universiteit Delft en Radboud Universiteit samen met twaalf docenten uit elf Nederlandse scholen. Het consortium vormde twee zogenaamde professionele leergemeenschappen om materialen te maken en tegelijkertijd de ontwikkeling van de docenten te stimuleren en te onderzoeken: één professionele leergemeenschap voor scheikunde en een andere voor informatica. De twee professionele leergemeenschappen kwamen zelfstandig bij elkaar en wisselden daarnaast regelmatig ervaringen en kennis uit.

Resultaten

Het project heeft formats en modellen opgeleverd voor ontwerplessens(series) evenals concrete uitdagende ontwerpmodules voor scheikunde en informatica over respectievelijk ontwerp van tandpasta, bekers voor koelen en verwarmen van drankjes, software voor analyse van teksten en software voor bewerking van foto's.

Formatieve toetsing van begripsontwikkeling werd gerealiseerd via uitgekende didactische, vaak visuele, formats om tussenproducten uit het ontwerpproces vorm te geven. Deze maakten de tussenproducten geschikt als bewijs van leren en als uitgangspunt voor vakinhoudelijke feedback. Voorbeelden hiervan zijn *ontwerptekeningen* in de scheikunde en een variant van *stroomdiagrammen* ('flowcharts') in de informatica. De verschillende formats konden zowel door docenten als leerlingen succesvol worden ingezet voor formatieve toetsactiviteiten.

Het project leverde concreet lesmateriaal op dat gebruikt (en zo nodig aangepast) kan worden in scheikunde- en informaticalessen op havo en vwo. De ontwikkelde toetsinstrumenten kunnen daarnaast breder ingezet worden voor ander ontwerpgericht onderwijs binnen deze schoolvakken. Zowel voor scheikunde als voor informatica is een raamwerk voor inbedding van authentieke formatieve toetsing ontwikkeld dat door docenten en auteurs van onderwijsmaterialen gebruikt kan worden voor het vormgeven van ontwerpmodules.

Naast lesmateriaal, toetsinstrumenten en activiteiten voor ontwerponderwijs en formatieve toetsing leverde het project wetenschappelijke kennis over deze thema's.

Binnen het project is daarnaast onderzocht welke praktijkkennis docenten moeten ontwikkelen om authentieke formatieve toetsing te realiseren, en hoe docenten daarin kunnen worden ondersteund. Hiertoe werd een interessante coachingsmethode ('Midstream Modulation') aangepast voor gebruik in onderwijssituaties.

De uitkomsten van het project bieden diverse aangrijpingspunten voor vervolgonderzoek. Zo is het interessant om te onderzoeken hoe ontwerpmodules voor andere bètavakken eruit moeten zien, en in het bijzonder welke tussenproducten zich daarbinnen lenen voor authentieke formatieve toetsing van begripsontwikkeling van (individuele) leerlingen. Bij het afsluitende Bèta Ontwerp Event bleek dat daarvoor onder bètadocenten grote belangstelling bestaat. De deelnemers van dit event wezen bovendien op de kansen die de resultaten van het project bieden voor multidisciplinair ontwerponderwijs, bijvoorbeeld in de schoolvakken NLT en O&O.

Inhoudsopgave

1	Inleiding	1
1.1	Ontwerponderwijs	1
1.2	Formatief toetsen in ontwerponderwijs	2
1.3	Praktijkkennis van docenten	3
1.4	Onderzoeksvragen	4
2	Methode van onderzoek	5
3	Uitvoering en Resultaten	9
3.1	Kennis (PCK) en opvattingen over ontwerponderwijs: deelvraag 3a	9
3.2	Ontwikkeling van korte introductiemodules voor scheikunde en informatica	10
3.3	Formatieve toetsing in de introductiemodules: deelvragen 1 en 2	11
3.4	Didactisch model voor formatieve toetsing bij informatica: deelvragen 1 en 2	12
3.5	Ontwikkeling van conceptuele ontwerpmodules voor scheikunde en informatica	15
3.6	Formatieve toetsing in de conceptuele scheikunde module: deelvragen 1 en 2	17
3.7	Ontwikkeling van formatieve toetsstrategieën en praktijkkennis: deelvraag 3b	19
4	Conclusies	23
4.1	Onderzoeksvraag 1	23
4.2	Onderzoeksvraag 2	24
4.3	Onderzoeksvraag 3	24
4.4	Eindconclusie	25
4.5	Vooruitblik	26
	Literatuur	27

Hoofdstuk 1

Inleiding

De examenprogramma's voor de bètavakken in havo en vwo verwijzen nadrukkelijk naar concepten in contexten: situaties uit het persoonlijk leven, de samenleving, en de wereld van beroepen, wetenschap en technologie die voor een leerling betekenis hebben en/of herkenbaar zijn. Die aandacht voor contexten is gekozen om meer ruimte te bieden aan actualiteit en relevantie van de vakken. Bovendien zouden contexten bijdragen aan een nauwkeuriger en juister beeld van bèta en techniek bij leerlingen (Sanders, Pieters, Schalk, Carelsen & Kortland, 2016).

Technisch ontwerpen op school is een authentieke praktijksituatie voor het ontwikkelen van vakspecifiek denken en handelen (Sevian & Talanquer, 2014). Leerlingen vinden ontwerpen ook interessant en uitdagend (Vossen, Henze, Rippe, Van Driel & De Vries, 2018). Ontwerponderwijs heeft daarom potentie als een activerende context in de zin van concept-context onderwijs (Bulte, Westbroek, de Jong & Pilot, 2006; Gilbert, 2006).

1.1 Ontwerponderwijs

Het doel van ontwerponderwijs is dat leerlingen vakkennis leren toepassen in een technische context, en daarnaast inzicht verwerven in de basiskenmerken van technische probleemoplossing. Tot voor kort lag de nadruk op het aanleren van ontwerpvaardigheden d.w.z. het systematisch kunnen doorlopen van ten minste één ontwerpcyclus (De Beurs, 2008). In de huidige examenprogramma's moeten leerlingen ook laten zien dat zij tijdens het ontwerpproces relevante begrippen en theorie, en valide en consistente redeneringen kunnen hanteren. Zij moeten o.a. verbanden kunnen leggen tussen vakkennis en taken en eigenschappen van een ontwerp, en een beargumenteerd ontwerpvoorstel doen rekening houdend met het programma van eisen, prioriteiten en randvoorwaarden van de ontwerpsituatie (Ministerie van OCW, z. j.). Leerlingen die vakconcepten actief gebruiken bij technische ontwerpoplossingen zouden een dieper

begrip opbouwen, zowel van de concepten zelf als van de wereld van de technologie (o.a. De Vries, 2013).

Hoewel technisch ontwerpen voor leerlingen dus goed kan dienen als context voor vakconcepten wordt de rol van ontwerpen voor conceptleren in de praktijk van de bètavakken, met name bij scheikunde en informatica, nauwelijks benut. Dat heeft verschillende redenen. In de scheikunde wordt het doorlopen van een ontwerpcyclus vaak als inefficiënte manier gezien om concepten te leren. Bovendien is in de scheikunde nog weinig ervaring met ontwerpen in de klas. Bij het vak informatica is de situatie anders. Daar is ontwerpen en ontwikkelen als onderwijsaanpak heel gewoon, maar is conceptleren daarbinnen meestal geen expliciet doel. Voor beide vakken geldt dat er weinig lesmateriaal voorhanden is voor ontwerpend leren van concepten. Daar waar ontwerp- en onderwijs wel wordt ingezet, ligt de nadruk op de ontwikkeling van vaardigheden op het gebied van ontwerpen, samenwerken, communiceren, enzovoorts in plaats van conceptueel begrip.

Het idee dat dit soort projectonderwijs veel tijd vergt, en docenten die het gevoel hebben voortdurend een lastige afweging te moeten maken tussen (conceptuele) breedte en diepgang in hun onderwijs zien we niet alleen bij scheikunde, maar bij de meeste bètavakken (Roth, 1996). Bovendien past de huidige praktijk van deze vakken meer bij een traditionele opvatting van natuurwetenschap als 'body of knowledge' waarin op elke vraag precies één correct antwoord bestaat (Lederman, 1992; Tilgner, 1990), en waarin geen ruimte is voor 'ill-defined' problemen en iteratief probleemoplossen.

Een bijkomend gemeenschappelijk probleem bij scheikunde en informatica is dat docenten nauwelijks aanknopingspunten hebben om conceptueel leren te toetsen in een ontwerpsituatie. Als conceptueel begrip al een doel is, wordt dit meestal getoetst op een klassieke manier, bijvoorbeeld via een schriftelijke toets. Authentiek onderwijs vraagt echter om een authentieke manier van toetsen, d.w.z. een manier die het authentieke karakter van de ontwerpcontext niet verstoort (Brown, Collins & Duguid, 1989).

1.2 **Formatief toetsen in ontwerp- en onderwijs**

Men zou kunnen denken dat het ontwerpproduct zelf kan dienen als toetsinstrument, omdat een succesvol ontwerp zou impliceren dat leerlingen de juiste kennis hebben opgedaan. Helaas is dat niet altijd het geval: er zijn leerlingen die een *trial-and-error* strategie toepassen, of hun ontwerpideeën baseren op 'gezond verstand' in plaats van vakinhoudelijk redeneren. Het is dus niet uitgesloten dat een ontwerpproduct werkt ('het doet') zonder dat de maker ervan het werkingsprincipe heeft doorgrond.

Het ontwerpproduct gebruiken als toetsinstrument heeft bovendien het nadeel dat deze toetsing eerder een summatief dan een formatief karakter heeft en daarmee ongeschikt is om het leerproces tussentijds bij te sturen.

Formatieve toetsing is juist in ontwerpprocessen belangrijk om het product in ontwikkeling te verbinden met de achterliggende vakkennis (Wendell & Lee, 2010). Deze toetsing omvat alle activiteiten die leerlingen en docent uitvoeren om het leren van leerlingen in kaart te brengen, te interpreteren, en te gebruiken om feedback te geven en vervolgstappen in de les te bepalen (Black & Wiliam, 1998). Om begripsvorming te *monitoren* heeft ontwerponderwijs dus formatieve toetsvormen nodig die onderdeel zijn van het ontwerpproces (zogenaamde authentieke toetsinstrumenten).

Professionele ontwerpers analyseren en testen hun tussenproducten voortdurend (Bucciarelli, 1994). In ontwerponderwijs blijkt dit testen van tussenproducten en het laten zien van achterliggende redeneringen cruciaal te zijn voor het verbinden van ontwerp-stappen en vakinhoud (Baumgartner & Reiser, 1998). Om deze verbinding te bevorderen wordt bovendien aanbevolen om tijdens het ontwerponderwijs gebruik te maken van vaste 'rituelen' (Kolodner, 2006). Moderne ontwikkeltechnieken in de informatica, zoals Scrum, bevatten zulke rituele elementen, en zijn daarmee een potentieel aanknopingspunt voor ontwerponderwijs in het schoolvak (Schwaber & Beedle, 2002).

Daarmee lijken authentieke tussenproducten van het ontwerpproces (zoals logboeken, modellen, ontwerptekeningen, verantwoordingen van ontwerpbeslissingen) dus geschikte aanknopingspunten, en authentieke ontwerprituelen (zoals prikbordsessies, en expo-rondes) dus effectieve activiteiten om *bewijs van leren te ontlokken* en *feedback te geven om het leerproces te stimuleren*. Dit zijn twee van de belangrijkste aspecten van formatieve toetsing (zie Figuur 1, aspect 2 en 3; Black & Wiliam, 2009).

	Where the learner is going	Where the learner is right now	How to get there
Teacher	1 Clarifying learning intentions and criteria for success	2 Engineering effective classroom discussions and other learning tasks that elicit evidence of student understanding	3 Providing feedback that moves learners forward
Peer	Understanding and sharing learning intentions and criteria for success	4 Activating students as instructional resources for one another	
Learner	Understanding learning intentions and criteria for success	5 Activating students as the owners of their own learning	

Figuur 1: Vijf aspecten van formatieve toetsing (Black & Wiliam, 2009)

1.3 Praktijkkennis van docenten

Om formatieve toetsing zinvol te implementeren in het ontwerponderwijs en om de resultaten ervan te kunnen interpreteren en toe te kunnen passen

in hun lessen, hebben docenten domeinkennis, ontwerp kennis en Pedagogical Content Knowledge (PCK) nodig (Parkinson, 2001; Shulman, 1986). Uit eerder onderzoek is bekend dat de ontwikkeling van praktijk kennis wordt gestimuleerd door samenwerking met specifieke (groepen van) docenten (Van Driel, 2010), in het bijzonder wanneer docenten met elkaar innovatieve lessen ontwerpen en daarna uitproberen in de lespraktijk (Coenders & Terlouw, 2015).

1.4 Onderzoeksvragen

Dit project wilde een bijdrage leveren aan het oplossen van een praktijkprobleem van de bètavakken, met name van de scheikunde- en informaticadocenten, namelijk het ontbreken van lesmaterialen voor ontwerpend leren van concepten en bijpassende authentieke instrumenten voor formatieve toetsing. Daarnaast wilden we een manier zoeken om docenten te helpen zich te bekwamen in het vormgeven en uitvoeren van ontwerp onderwijs voor conceptueel leren met ingebedde formatieve toetsing. Bovendien onderzochten we onderliggende principes en mechanismen voor ontwikkeling van praktische kennis van docenten, aan de hand van de volgende centrale onderzoeksvraag:

Hoe is toetsing van begripsvorming tijdens ontwerpprocessen te realiseren met behoud van het authentiek karakter van ontwerp onderwijs?

Om deze vraag te beantwoorden hebben we de volgende deelvragen geformuleerd:

1. Welke tussenproducten uit het ontwerp proces lenen zich voor conceptuele toetsing?
2. Op welke manier kunnen deze toetsinstrumenten worden ingezet zodat ze een beeld geven van conceptuele ontwikkeling en aanknopingspunt zijn voor feedback?
3. a. Welke praktijk kennis heeft de docent nodig om authentieke formatieve toetsing te realiseren in ontwerpsituaties? b. Hoe kan deze kennis ontwikkeld worden?

De rest van dit verslag is als volgt opgebouwd. In Hoofdstuk 2 bespreken we de methode van onderzoek. Hoofdstuk 3 gaat over het verloop, de bevindingen en resultaten van het onderzoeksproject. We besluiten in Hoofdstuk 4 met conclusies van de opbrengsten van het project, aanbevelingen voor de schoolpraktijk en toekomstig praktijkonderzoek.

Hoofdstuk 2

Methode van onderzoek

Het project was vormgegeven als ontwerponderzoek, waarin leer- en onderwijsactiviteiten en -materialen stapsgewijs worden ontwikkeld, verbeterd en onderzocht (Van den Akker, Gravemeijer, McKenney & Nieveen, 2006). Het onderzoek werd uitgevoerd door een team van vier onderzoekers van de Technische Universiteit Delft en Radboud Universiteit samen met twaalf docenten uit elf Nederlandse scholen. Deze docenten hadden zich aangemeld na een oproep die was verspreid via het docentenbestand van Bètasteunpunt Zuid-Holland (tegenwoordig: Onderwijs Netwerk Zuid-Holland) en een landelijke netwerksite voor informaticadocenten.

Het consortium vormde twee zogenaamde professionele leergemeenschappen om lesmaterialen te maken en tegelijkertijd de ontwikkeling van de docenten te stimuleren en te onderzoeken: een PLG voor scheikundedocenten bij TU Delft en een PLG voor de docenten van informatica bij de Radboud Universiteit in Nijmegen.

De onderzoeksvragen zijn beantwoord door verschillende kwalitatieve studies uit te voeren waarvoor ontwerpmodules met ingebedde formatieve toetsing iteratief zijn ontwikkeld en uitgeprobeerd op de scholen van het consortium (deelvragen 1 en 2). Om richting te kunnen geven aan de ontwikkeling van modules in Delft en Nijmegen is het project gestart met het onderzoeken van de kennis en opvattingen over ontwerponderwijs van de twaalf docenten (deelvraag 3a). In het tweede jaar van het project is de kennisontwikkeling van drie scheikundedocenten onderzocht nadat ze een specifieke coaching hadden ontvangen m.b.t. het toepassen van formatieve toetsstrategieën (deelvraag 3b). Bij informatica- docenten is de kennisontwikkeling t.a.v. ontwerponderwijs onderzocht op verschillende momenten in de loop van het NRO project. In Tabel 1 staan de onderwerpen van de studies, gerelateerd aan de deelvragen van het onderzoek.

De geschiktheid van tussenproducten van het ontwerpproces (deelvraag 1) als aanknopingspunt voor formatieve toetsing van begripsvorming is

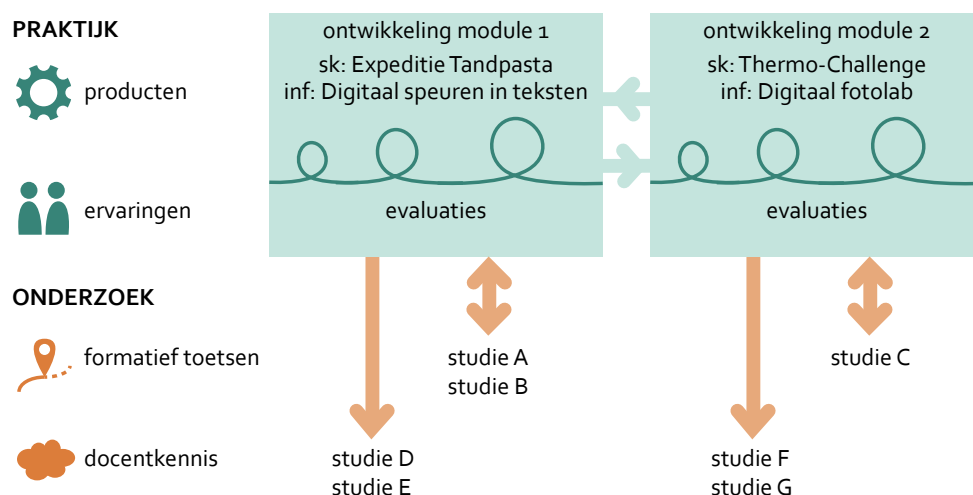
Tabel 1: Overzicht van de onderwerpen van de studies

Tijd	Onderwerp van de studie(s)	Vak	Deelvraag
Jaar 1	Kennis (PCK) en opvattingen van docenten over ontwerponderwijs in hun vak	Scheikunde Informatica	3a
Jaar 1, 2	Tussenproducten en manieren voor formatieve toetsing van begripsvorming in korte introductiemodule	Informatica	1, 2
Jaar 2, 3	Tussenproducten en manieren voor formatieve toetsing van begripsvorming tijdens grotere conceptuele ontwerpmodule	Scheikunde	1, 2
Jaar 2, 3	Ontwikkeling van formatieve toetsingsstrategieën en PCK (in het geval van scheikundedocenten: m.b.v. een specifieke coachingsmethode)	Scheikunde Informatica	3b

onderzocht in de context van specifieke ontwerpmodules en inzet van specifieke toetsactiviteiten (deelvraag 2). In Tabel 2 staat een overzicht van de studies naar tussenproducten, wijze van inzet voor formatieve toetsing, en de samenhang met specifieke ontwerpmodules.

In Tabel 3 vermelden we de studies naar docentkennis en de ontwikkeling daarvan.

De samenhang tussen de studies in het ontwerponderzoek en de iteratieve ontwikkeling van onderwijsproducten voor scheikunde en informatica is weergegeven in Figuur 2.



Figuur 2: Structuur van het ontwerponderzoek

Tabel 2: Studies naar tussenproducten en activiteiten voor formatieve toetsing

<i>Studie</i>	<i>Auteurs</i>	<i>Tussenproduct</i>	<i>Inzet tussenproduct voor formatieve toetsing</i>	<i>Ontwerp-module</i>	<i>Vak</i>
A	Rahimi et al. (2017)	Algoritmisch ontwerp	Flowchart construeren om exit-vragen op te lossen: kennis ontlocken	Digitaal Speuren in Teksten	Informatica
B	Rahimi et al. (2018)	Conceptuele oplossing; Algoritmisch ontwerp; Computerprogramma; Testrapport	Denken-delen-uitwisselen van tussenproducten gekoppeld aan de fasen van het ontwerpproces: kennis ontlocken, feedback geven	Digitaal Speuren in Teksten	Informatica
C	Stammes et al. (2020)	Technisch ontwerp	Informeel gesprekjes n.a.v. ontwerptekening: kennis ontlocken en feedback geven	Thermo Challenge	Scheikunde

Tabel 3: Studies naar docentkennis

<i>Studie</i>	<i>Auteurs</i>	<i>Onderwerp</i>	<i>Vak</i>
D	Rahimi et al. (2016)	PCK over ontwerpen in informatica-onderwijs	Informatica
E	Stammes et al. (2019)	Praktijkkennis over de rol van ontwerpen in scheikunde-onderwijs	Scheikunde
F	Stammes et al. (2018)	Ontwikkeling van docentkennis via de Midstream Modulation coachingsmethode	Scheikunde
G	Rahimi et al. (in voorbereiding)	Ontwikkeling van PCK over ontwerpen in informatica-onderwijs	Informatica

De uitvoering en resultaten van de verschillende studies A t/m G die een antwoord moeten geven op de centrale onderzoeksvraag worden besproken in Hoofdstuk 3. Daar wordt ook de inhoud van de ontwikkelde ontwerpmodules voor scheikunde en informatica beschreven, en hun rol in de uitgevoerde studies.

Hoofdstuk 3

Uitvoering en Resultaten

Om een beeld te krijgen van de uitgangssituatie van de deelnemende scheikunde- en informaticadocenten zijn twee verkennende studies uitgevoerd. De interviewvragen waren gericht op de kennis (o.a. PCK) en opvattingen over bekende didactische elementen van een les: leerdoelen, leerlingen, instructie en toetsing (Van Gelder, Peters, Oudkerk Pool & Sixma, 1973; Magnusson, Krajcik & Borko, 1999). De data zijn kwalitatief geanalyseerd m.b.v. Atlas-ti software.

3.1 Kennis (PCK) en opvattingen over ontwerponderwijs: deelvraag 3a

De **scheikunde**docenten zagen ontwerpen niet als prominent leerdoel van scheikunde onderwijs, maar eerder als middel om leerdoelen te bereiken die met meer traditionele onderwijsaanpakken niet makkelijk te realiseren zijn. Opvallend genoeg behoort het leren van nieuwe concepten volgens de docenten niet tot die doelen, maar wel het *toepassen* en *verdiepen* van conceptuele kennis, naast affectieve leerdoelen zoals motivatie en interesse, 'soft skills' zoals onafhankelijk en creatief denken en fouten durven maken, en onderzoeksvaardigheden (leren onderzoeken).

De inhoudelijke kennis en vakdidactische kennis (Pedagogical Content Knowledge) van docenten over ontwerpen in de scheikunde bleek beperkt, met name hun kennis over toetsstrategieën. Volgens de docenten is ontwerpen in de scheikunde essentieel anders dan bijvoorbeeld in de natuurkunde, waar makkelijker een koppeling met vakkennis kan worden gemaakt (Stammes et al., 2019).

De **informatica**docenten hadden vanwege de rol die ontwerpen en ontwikkelen al heeft in hun lespraktijk een duidelijker beeld van ontwerpen in de klas dan de scheikundedocenten. De invulling van de didactische componenten van hun Pedagogical Content Knowledge *leerdoelen* en

toetsing bleek bepalend voor de inhoud van de twee andere componenten: leerlingen en instructie.

Bij leerdoelen werden 'leren ontwerpen' en 'concept-leren' als twee uitersten aangetroffen. De kennis en opvattingen van de informaticadocenten over toetsstrategieën in ontwerponderwijs konden worden gekarakteriseerd als 'productgericht' of 'procesgericht'. Dit resultaat leidde tot een model van vier basistypen van Pedagogical Content Knowledge over ontwerpen bij informatica: (1) concept-productgericht, (2) concept-procesgericht, (3) ontwerp-productgericht en (4) ontwerp-procesgericht (Rahimi et al., 2016).

Uit deze twee verkennende studies (E en D, zie Tabel 3) is geconcludeerd dat aan het begin van het project in beide groepen van docenten de kennis en opvattingen over instructiestrategieën voor ontwerpen uiteenliepen. De kennis van de docenten over (formatief) toetsen bij ontwerpen bleek bovendien beperkt. Daarom werden de eerste ontwerpmodules in beide vakken ontwikkeld met een nadruk op het verhelderen van de specifieke ontwerpstappen, en het begeleiden van ontwerpvaardigheden.

Deze introductiemodules werden door de docenten uitgetoetst in hun klassen en tijdens PLG-bijeenkomsten gezamenlijk bijgesteld voor gebruik in volgende iteraties.

3.2 Ontwikkeling van korte introductiemodules voor scheikunde en informatica

Voor **scheikunde** werd een zogenaamde 'aanleermodule' ontwikkeld waarin het leren ontwerpen, met name de vaardigheden *stof-functie redeneren*, *ideeën bedenken* en *itereren* centraal staan en de conceptuele inhoud minder prominent is. De module is gemaakt voor 3 havo/vwo klassen, maar ook geschikt om ontwerpen te introduceren in hogere klassen. Hoewel bedoeld om leerlingen te leren ontwerpen, werkte de module ook goed als introductie op ontwerponderwijs voor de docenten uit het consortium.

De ontwerpopdracht gaat over het maken van tandpasta in een fictieve situatie, namelijk een 'expeditie Robinson' achtig verblijf op een onbewoond eiland waar alleen natuurlijke ingrediënten voorhanden zijn. Elk ontwerpteam krijgt een opdrachtgever (een 'survivaler') die bepaalde eisen stelt met betrekking tot de eigenschappen en functies van een tandpasta. De ontwerpteams gaan aan de slag om een tandpasta te maken die zo goed mogelijk aan deze ontwerpeisen voldoet.

Ter ondersteuning van de lespraktijk werd een standaard lespatroon geïntroduceerd ('het ritme van de les'). Met behulp van een professionele designer werden werkbladen ('werkvellen') ontwikkeld voor scaffolding van het ontwerpproces. Het lesmateriaal van module Expeditie Tandpasta is te vinden op www.ontwerponderwijs.nl.

Voor **informatica** werd de introductiemodule Digitaal Speuren in Teksten ontwikkeld, waarin het *ontwerpproces expliciet* wordt gemaakt. Deze ontwerpmodule is daarnaast gericht op de toepassing van *algoritmische concepten* en met name geschikt voor de bovenbouw van havo en vwo.

Deze module gaat over het herkennen van patronen in teksten, zoals documenten, webpagina's of Twitter-feeds. Leerlingen starten met eenvoudige herkenning algoritmen om bijvoorbeeld e-mailadressen te detecteren en eindigen met complexere analyseopdrachten, zoals het vergelijken van teksten voor plagiaatdetectie en het signaleren van sleutelwoorden in teksten zoals ook inlichtingendiensten vaak doen. Als onderliggend concept krijgen vooral algoritmen aandacht. Het materiaal bestaat uit een lesboekje met conceptuele inhoud en een werkboek met ontwerp opdrachten in opklimmende moeilijkheid en vrijheidsgraden. Als basis voor de ontwikkeling van software door leerlingen is een prototype tekstanalyse-tool gerealiseerd in twee varianten, aansluitend bij veel gebruikte programmeertalen (Python respectievelijk php). Leerlingen ontwerpen in de module uitbreidingen van deze tool, en voeren hun ontwerp uit door de basis-software uit te breiden met eigen programmacode. De module Digitaal Speuren in Teksten is verkrijgbaar via www.ontwerponderwijs.nl.

3.3 Formatieve toetsing in de introductiemodules: deelvragen 1 en 2

De scheikunde- en informaticadocenten waren bij aanvang van het project niet of nauwelijks bekend met strategieën voor formatief toetsen. Voor formatieve toetsing van *ontwerpvaardigheden* boden de introductiemodules al aanknopingspunten door het zichtbaar maken van de uitkomsten van ontwerp stappen op de werkvellen (scheikunde) en in de deelopdrachten (informatica). Om ook formatief toetsen van *begripsleren* mogelijk te maken werden tussenproducten in het ontwerpproces gezocht waarin ontwerpvaardigheden en vakkennis worden gecombineerd.

In elk van de twee professionele leergemeenschappen werd één zo'n tussenproduct tijdens het project uitgebreid onderzocht. Voor scheikunde was dat een 'technisch ontwerp' en voor informatica een 'algoritmisch ontwerp'. Voor deze tussenproducten werden formats ontworpen met het doel vakkennis en redeneervaardigheden maximaal zichtbaar te maken.

Voor **scheikunde** werden specifieke werkbladen (werkvellen) voor ontwerp tekeningen ontwikkeld. De informaticadocenten experimenteerden met een schematische weergave van algoritmen in zogenaamde flowcharts. Gemeenschappelijke kenmerken van de formats waren: een sterk schematische visualisatie van het tussenproduct en daarnaast vragen en opdrachten om achterliggende conceptuele redeneringen te laten zien. Het

idee was dat deze formats zouden dienen als input voor formatieve toetsactiviteiten (bijvoorbeeld 'informele formatieve gesprekjes' tussen docent en leerlingen, en 'denken-delen-uitwisselen' tussen leerlingen onderling), met name om bewijs van conceptueel leren te ontlocken en als aanknopingspunt voor effectieve feedback.

Voor informatica werd een tweede versie van de korte ontwerpmodule over tekstanalyse gebruikt om te onderzoeken in hoeverre flowcharts van ontwerpteams geschikt zijn als format om kennis van leerlingen over algoritmische basisconcepten zoals *opeenvolging*, *voorwaardelijke keuze*, en *iteratie* uit te lokken en misconcepties zichtbaar te maken.

Tijdens het ontwerpproject kregen de ontwerpteams drie exit-vragen waarin zij hun kennis van algoritmische concepten moesten gebruiken voor het tekenen van een flowchart om een gegeven probleem op te lossen. De inhoud van de flowcharts is deductief geanalyseerd.

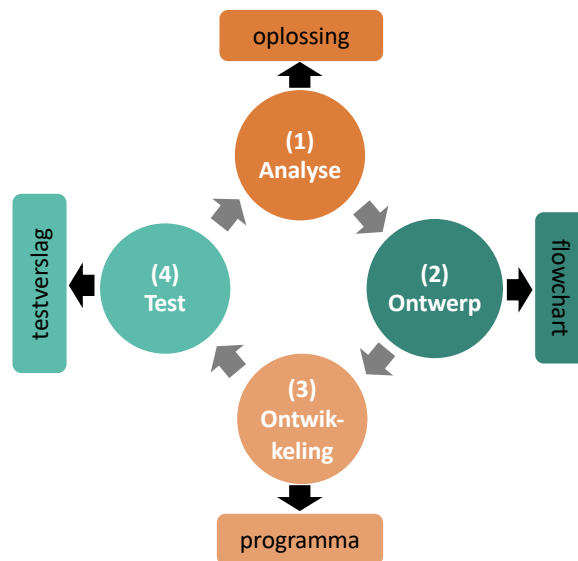
De uitkomsten van dit onderzoek (Studie A, zie Tabel 2) geven aan dat flowcharts zeer geschikt zijn als format om direct bewijs van kennis over algoritmen te ontlocken. Bekende misconcepties, zoals conditie-misconcepties en toekenningsmisconcepties, werden door de onderzoekers gemakkelijk gedetecteerd (Rahimi et al., 2017).

Flowcharts vormden in deze studie het antwoord van leerlingen op 'exit-vragen' (ontwerp vragen) die werden gesteld met het doel om algoritmische kennis uit de module Digitaal Speuren in Teksten formatief te toetsen. In een volgende versie van deze ontwerpmodule zijn flowcharts (schematische weergaven van ontworpen algoritmen) als authentiek toetsinstrument in de ontwerpcyclus ingebouwd.

3.4 Didactisch model voor formatieve toetsing bij informatica: deelvragen 1 en 2

Bij **informatica** werden naast *algoritmisch ontwerp* (in de flowcharts) nog drie andere authentieke tussenproducten geïdentificeerd als aanknopingspunt voor formatieve toetsing, namelijk *conceptuele oplossingen*, *computerprogramma's* en *testrapporten*. Deze tussenproducten zijn gekoppeld aan specifieke fasen van het ontwerpproces: analyseren van het ontwerpprobleem (1), ontwikkelen van een ontwerp (3) en evalueren van het ontwerp (4), respectievelijk, zoals weergegeven in Figuur 3. De ontwerp stappen (1 tot 4) worden tijdens het ontwerpproces iteratief doorlopen (Kolodner et al., 2003; Kolodner, 2006).

Dit inzicht leidde tot de ontwikkeling van een didactisch model (Figuur 4) voor formatieve toetsing van ontwerp onderwijs bij informatica, met ontwerpauthentieke tussenproducten om een beeld te krijgen van de conceptuele kennis en redeneervaardigheden van leerlingen, en als



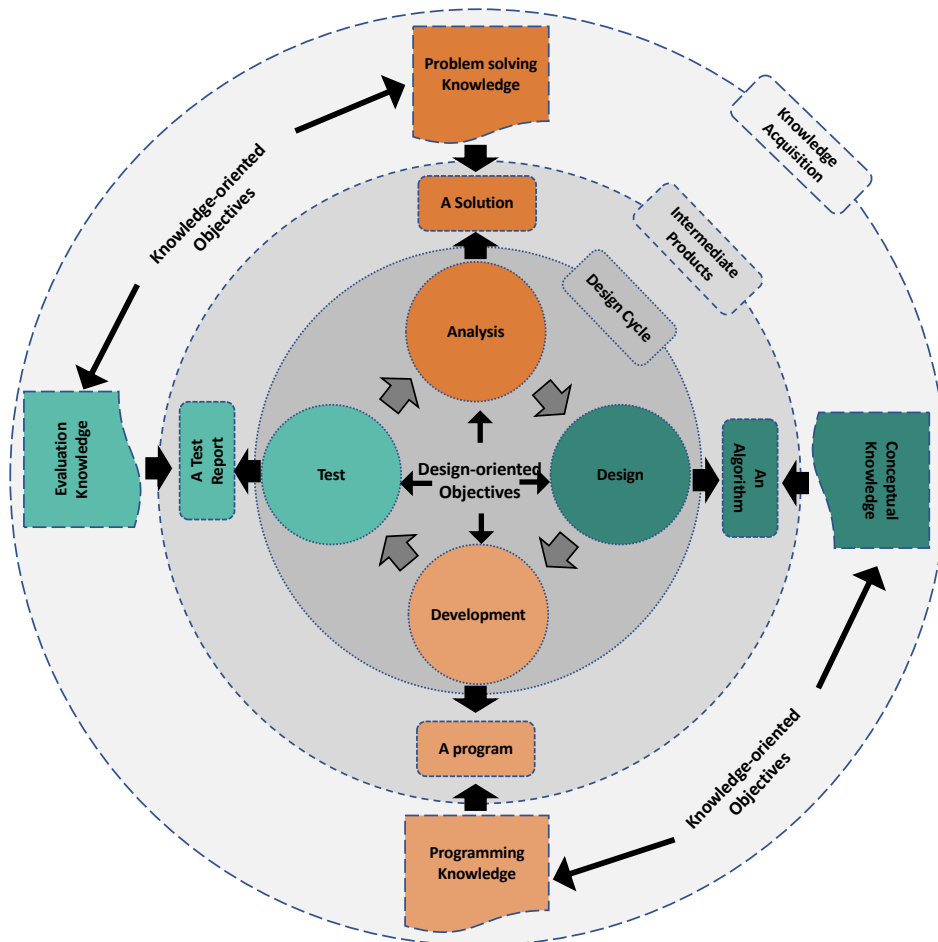
Figuur 3: Authentieke tussenproducten gekoppeld aan specifieke ontwerpfasen

aanleiding voor effectieve feedback.

De tussenproducten (zie Figuur 3 en Figuur 4) ontstaan *tijdens* en *door* het ontwerp- en leerproces van de leerlingen, en zijn daarom een veelbelovend aanknopingspunt voor de inzet van formatieve toetsstrategieën.

Het didactisch model werd toegepast in de ontwerpmodule Digitaal Speuren in Teksten. Daarna werd een exploratieve dieptestudie uitgevoerd onder vier informaticadocenten van het consortium en hun leerlingen die de ontwerpmodule hadden uitgevoerd (Rahimi et al., 2018). Docenten en leerlingen werden bevraagd over de rol van de ontwerptussenproducten bij de ontwikkeling van het algoritmisch denken van de leerlingen, en de moeilijkheden die zij waren tegengekomen. Bij de docenten werd een semigestructureerd interview afgenomen en onder de leerlingen werden groepsinterviews gehouden. Alle tussenproducten (bewijs van leren) van de leerlingen werden ingezameld als secundaire data om de kwalitatieve data-analyse te ondersteunen.

Vooraf de flowcharts (in de ontwerpfase) bleken goede indicatoren voor conceptueel begrip. Volgens de docenten waren zij ook in staat gerichte vakinhoudelijke feedback te geven aan de hand van de flowchart-representaties van de ontworpen algoritmen. Leerlingen rapporteerden dat het werken met de flowcharts op zichzelf al hielp om kennis aan te scherpen en te verdiepen. Ze gaven aan dat kennis hiermee op een hoger niveau getoetst werd dan in traditionele lessen (een verschil van lagere- naar hogere-orde denken: “hoe kun je concepten gebruiken” in plaats van “wat betekenen ze”).



Figuur 4: Didactisch model voor integratie van conceptleren en ontwerpen bij informatica met een cruciale rol voor authentieke ontwerptussenproducten (Rahimi et al., 2018)

Ook andere tussenproducten (zie Figuur 3 en Figuur 4) bleken effectief om conceptueel begrip zichtbaar te maken, bijvoorbeeld via redeneringen over functionele decompositie. Leerlingen rapporteerden dat ze sommige kennishiaten zelf ontdekten en dat de producten zorgden voor een continu leerproces. Docenten vertelden dat ze door presentaties van leerlingen (als 'ritueel' in aanloop naar het eindproduct) misconcepties op het spoor waren gekomen die ze tot dan toe tijdens het ontwerpproces nog niet opgemerkt hadden.

Bij het maken van de verschillende ontwerptussenproducten werd een 'denken-delen-uitwisselen' strategie gevolgd. Het bleek dat deze aanpak zorgde voor het realiseren van twee andere strategieën in het proces van formatief toetsen, namelijk het activeren van leerlingen als *leerbronnen voor elkaar* en als *eigenaar van hun eigen leerproces*. Sommige informaticadocenten gebruikten de ontwerptussenproducten ook om *hun verwachtingen ten aanzien van elke ontwerpfase te expliciteren* (zie Figuur 1, Black & Wiliam, 2009).

Bij denken-delen-uitwisselen werden verschillende authentieke ontwerpformats gebruikt, zoals flowcharts, posters en presentaties. Om meer zicht te krijgen op het leerproces vroegen enkele docenten hun leerlingen om hun ontwerpbeslissingen te documenteren via een zelfgemaakte video, en hierin ook hun ontwerp- en leerproces toe te lichten. Docenten gebruikten daarnaast ook algemeen bekende instrumenten voor formatieve toetsing zoals quizjes en exit-vragen. Sommige docenten zetten de (ontwerp)authentieke en algemene toetsinstrumenten in voor het geven van feedback tijdens de les, anderen gaven pas feedback na de resultaten van leerlingen te hebben ingenomen en geëvalueerd te hebben.

De uitkomsten van het onderzoek (Studie B, zie Tabel 2) laten zien dat het didactisch model van Rahimi et al. (2018) succesvol gebruikt kan worden bij de vormgeving en de uitvoering van ontwerponderwijs met conceptueel leren en formatief toetsen bij het vak informatica.

3.5 Ontwikkeling van conceptuele ontwerpmodules voor scheikunde en informatica

Twee nieuwe modules werden aan de reeds ontwikkelde introductiemodules toegevoegd om formatieve toetsing (van conceptueel begrip) met authentieke tussenproducten nader te kunnen bestuderen. Deze modules zijn op te vragen via www.ontwerponderwijs.nl.

Voor **scheikunde** werd de ontwerpmodule Thermo-Challenge ontwikkeld voor het leren van de concepten *reactiesnelheid en -energie* in 4 havo/vwo. In deze module ontwerpen de leerlingen een beker waarin een drankje door middel van een chemische reactie kan worden opgewarmd of afgekoeld.



Figuur 5: Ontwerpstappen die authentieke tussenproducten genereren voor formatieve toetsing van conceptleren bij ontwerponderwijs in scheikunde

Twee vaardigheden staan in dit project centraal: *argumenteren* en het *gebruik van ontwerptekeningen*. Deze ontwerptekeningen zijn onderzocht als authentieke tussenproducten voor formatieve toetsing (zie paragraaf 3.6). Naast iteraties van het technisch ontwerp (de tekening) zijn in de module andere tussenproducten voor formatieve toetsing aangemerkt, zoals: ontwerpideeën, testresultaten en fysieke prototypes van een ontwerp, zie Figuur 5.

Om deze tussenproducten geschikt te maken voor formatieve toetsing zijn in de module o.a. de volgende activiteiten en rituelen overgenomen uit de professionele ontwerppraktijk: whiteboarding (prikbordsessies), gallery-walks (expo-rondes), pitches, presentaties van factsheets en instructables (o.a. Kolodner et al., 2003). Voor leerlingen bieden deze gearrangeerde discussievormen bij uitstek de mogelijkheid om *gedachten te delen* in kleine groepen in plaats van een grotere, anonieme klas. Voor docenten bieden ze een kans om *de diepgang van het begrip van de (individuele) leerling te meten* van bepaalde concepten uit de module, en om *misconcepten aan te vechten* (vgl. Figuur 1, Black & Wiliam, 2009).

De **informatica** docenten ontwikkelden in hun PLG een nieuwe module rond *algoritmen* en *data-representatie*: Digitaal Fotolab. In deze informatica module gaan 4e of 5e klas havo-leerlingen informatica aan de slag met beeldbewerking: zie Figuur 6.



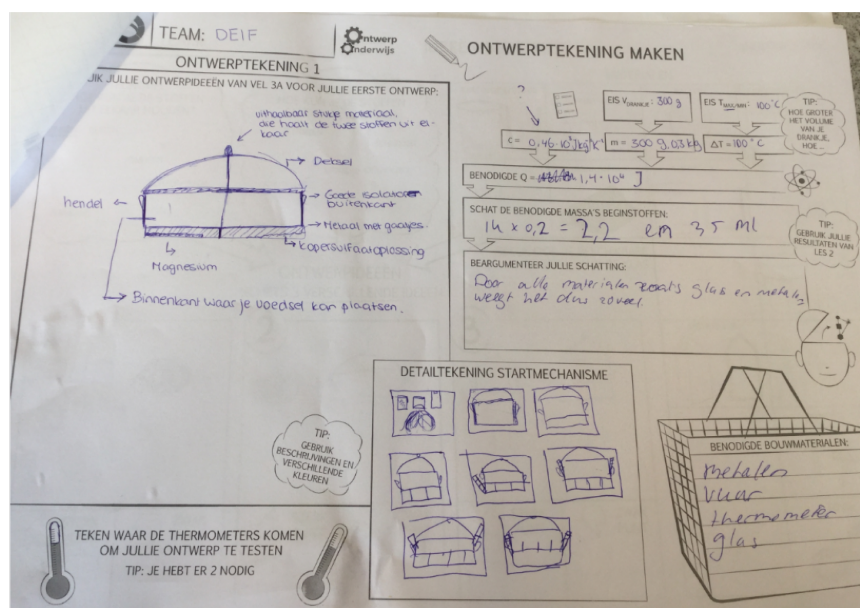
Figuur 6: Rode-ogenreductie in module over beeldbewerking

Ze ontwikkelen en programmeren algoritmen om onder andere rode ogen te verwijderen, een foto lichter of donkerder te maken, een negatief te maken, en een foto te roteren. Door deze opdrachten leren leerlingen over belangrijke concepten rond algoritmen en oefenen ze probleemoplossende vaardigheden in een real-life context. Deze informaticamodule biedt docenten, net als de eerdere module, handvatten om via authentieke tussenproducten van leerlingen (zie Figuur 3 en Figuur 4, Rahimi et al., 2018) hun kennis formatief te toetsen.

3.6 Formatieve toetsing in de conceptuele scheikunde module: deelvragen 1 en 2

Voor ontwerpers is 'tekenen' een belangrijke praktijk. Tekeningen maken ook denken expliciet. Bovendien kan een tekening dienen als een object dat gesprekken faciliteert (Roth, 1996). In de professionele wereld zijn dat bijvoorbeeld gesprekken binnen een team ontwerpers of tussen een ontwerper en opdrachtgever. In de **scheikunde** ontwerpmodule Thermo-Challenge kunnen deze ontwerprituëlen plaats vinden tussen ontwerpteams en de scheikundeleraar, en bijvoorbeeld tussen teams onderling. Bij elke les van dit ontwerpproject hoort een ontwerpvel ('werkvel') waar leerlingen in hun team aan werken. Dit is een A3-vel met opdrachten die leerlingen door het ontwerpproces heen helpen. Ook staan er tips op en vakken om in te tekenen, rekenen of schrijven (Figuur 7).

Tijdens het onderzoek (Studie C, zie Tabel 2) naar de werking van ontwerptekeningen als authentiek formatief toetsinstrument werden ontwerpteams en hun docenten gefilmd. Na afloop van het ontwerpproject werd gevraagd naar hun evaluaties.



Figuur 7: Ingevuld werkvel van de scheikunde ontwerpmodule Thermo-Challenge

De uitkomsten van het onderzoek laten zien dat bewijs van begrip werd ontlokt door de redeneervragen en opdrachten op de werkvelen. Analyses gebruikmakend van het 'scheikundig-denken-raamwerk' (Sevian & Talanquer, 2014) getuigen van een grote verscheidenheid aan scheikundige denkbeelden in de ontwerptekeningen van leerlingen. Onder de gevonden (naïeve) aannames waren: 'er bestaan stoffen die speciale eigenschappen kunnen inzetten zonder een identiteitsverandering te ondergaan', 'een scheikundige reactie begint omdat een mens een handeling uitvoert' en 'de soorten beginstoffen hebben invloed op de uitkomst van een scheikundig proces'.

Naast manieren van denken over centrale concepten uit het ontwerpproject (reactie-energie en reactiesnelheid), boden sommige tekeningen ook inzicht in hoe leerlingen over andere scheikundige onderwerpen dachten (zoals deeltjesgrootte).

Uit de lesopnames en lesevaluaties blijkt dat de scheikundedocenten de werkvelen en de ontwerptekeningen in de les slechts spaarzaam gebruikten als aanknopingspunt voor de start van informele gesprekken met leerlingen. Docenten gaven aan het lastig te vinden om al die informatie 'on the fly' te interpreteren en er op te reageren, waardoor kansen voor formatieve toetsing bleven liggen. Aanleiding voor een groot deel van de feedback van de docenten was een proces- of ontwerp vraag of opmerking van een leerling zelf (Stammes et al., 2020). Opvallend is dat feedback op de verbinding tussen ontwerpen en vakinhoudelijk redeneren (bv. het beargumenteren van keuzes in het ontwerpproces, of het verklaren van testresultaten van



Figuur 8: Midstream Modulation: beslissings-protocollen

een prototype) weinig voor kwam.

Binnen de ontwerpteams vormden de tekeningen wel een opstap voor gesprekjes tussen leerlingen onderling. Uit de analyse van video-opnames blijkt bovendien dat in verschillende teams *de leerlingen als leerbronnen voor elkaar dienden* (zie Figuur 1, Black & Wiliam, 2009) en o.a. elkaars misconcepties aan de kaak stelden (Pas, 2018; Stammes et al., 2020).

3.7 Ontwikkeling van formatieve toetsstrategieën en praktijkkennis: deelvraag 3b

In jaar 2 is de ontwikkeling van de praktijkkennis van **scheikundeden**docenten over ontwerponderwijs met formatieve toetsing onderzocht (Studie F, zie Tabel 3). De resultaten van deze studie geven aan dat docenten zowel vakdidactische kennis over ontwerpen als kennis over formatieve toetsing hadden ontwikkeld. Daaraan hebben vooral lesobservaties en coaching tijdens de uitvoering van ontwerpmodule Thermo-Challenge bijgedragen.

Bij drie scheikundedenocenten is gedurende de uitvoering van deze ontwerpmodule wekelijks een les geobserveerd, gevolgd door een individueel reflectiegesprek met de hoofdonderzoeker (Stammes) aan de hand van de zogenaamde Midstream Modulation methode (Fisher, Mahajan & Mitcham, 2006) met een focus op formatieve toetsing. Midstream Modulation is oorspronkelijk ontwikkeld om ingenieurs in hun werkomgeving ('midstream') te helpen met het bijsturen ('moduleren') van hun innovatieprojecten om zo succeskansen te optimaliseren. Midstream Modulation maakt gebruik van een tool (beslissingsprotocol) waarmee een coach helpt met reflecteren en het nemen van beslissingen voor nieuwe acties door deze beslissingen op te splitsen in vier componenten: kansen, overwegingen, alternatieven, en mogelijke uitkomsten (zie Figuur 8).

Door gebruik van een socratische gesprekstechniek kwamen de drie scheikundedenocenten stapsgewijs zelf tot de ontdekking hoe zij hun keuzes

maakten (de facto modulatie), reflecteerden zij daarop (reflectieve modulatie), en gebruikten opgedane inzichten om betere keuzes voor de praktijk te maken (intentionele modulatie), vgl. Flipse, van der Sanden en Osseweijer (2013).

De focus op formatieve toetsing, zowel in de ontwerpmodule als tijdens de wekelijkse reflectiegesprekken via Midstream Modulation, heeft de ontwikkeling van formatieve toetsstrategieën én de vakdidactische kennis (PCK) van de scheikundedocenten enorm gestimuleerd. Dit bleek uit analyses van de Midstream Modulation gesprekken en de bijbehorende beslissingsprotocollen. De evaluatiesessies stimuleerden de docenten met name tot het experimenteren met (en achteraf overdenken) van de strategie 'ontlokken van bewijs van leren' (Black & Wiliam, 2009). Versterking van dit aspect van formatieve toetsing zorgde vervolgens voor een toename in de PCK component kennis over het leren van leerlingen en 'triggerde' daarmee de ontwikkeling van PCK componenten kennis over leerdoelen en kennis over onderwijsaanpak m.b.t. ontwerpprojecten (Stammes et al., 2018).

Het cyclisch experimenteren en overdenken van concrete praktijkervaringen (tijdens Midstream Modulation reflectie) bleek dus een belangrijk mechanisme te zijn achter zowel verbetering van formatieve toetsstrategieën van deze docenten als ontwikkeling van praktijkkennis over ontwerpen bij scheikunde (vgl. Clarke & Hollingsworth, 2002).

Bij **informatica** docenten is tijdens het NRO project meermalen de ontwikkeling van PCK geïnterpreteerd. Voorlopige resultaten (Rahimi et al., in progress) geven aan dat ook bij informatica experimenteren in de praktijk en doordenken van de ervaringen een doorslaggevend mechanisme is voor het ontwikkelen en verdiepen van praktijkkennis. In de informatica-PLG werd geen Midstream Modulation toegepast, maar experimenteerden docenten in hun lessen met aangereikte ideeën en instrumenten, begeleid door de onderzoeker. In PCK-interviews werd de denken-delen-uitwisselen strategie genoemd als een beproefde onderwijsaanpak die motivatie bevordert en formatieve toetsing faciliteert. Docenten ondervonden dat het werken met verschillende tussenproducten helpt om de gehele leerlingengroep te engageren, in plaats van alleen de 'techneuten', zoals zij vaak zagen bij de traditionele focus op programmacode. Dit is daarmee ook een brug naar kennis over leerlingen. Een andere verbinding bleek het principe van gelaagdheid in verschillende aggregatieniveaus, zoals het 'opschalen' van een bewerking op pixelniveau tot een bewerking op het niveau van een afbeelding, met gebruikmaking van bijbehorende algoritmische concepten. Docenten waren via deze aanpak in staat om verschillende moeilijkheden en misconcepties te ontdekken. Wat betreft kennis over toetsing is de ontwikkeling van strategieën voor formatieve toetsing het meest prominent. Bij aanvang van het project waren docenten meer gericht op summatieve methoden. In de loop van het project bleek hun toetsrepertoire sterk te zijn uitgebreid, zowel met authentieke

strategieën zoals het expliciteren en presenteren van tussenproducten (via posters, presentaties) met bijbehorende feedback door peers en docent, als met alternatieve strategieën zoals exitvragen en quizzes. Deze alternatieven gaven volgens docenten een waardevol aanvullend beeld bij de vaak groepsgewijs tot stand gekomen ontwerp(tussen)producten.

Er zijn enkele in de PLG uitgewerkte (ontwerp)principes voor ontwerpopleiding bij informatica aan te wijzen als faciliterende elementen voor de ontwikkeling van de PCK van de docenten. Informaticadocenten wisten bijvoorbeeld tevoren al veel over ontwerpen, maar de gehanteerde indeling in specifieke ontwerpstappen bleek cruciaal om de verbinding te leggen tussen hun ontwerpvaardigheden en hun kennis over onderwijsaanpak, met name voor het stimuleren van stapsgewijs denken en redeneren door leerlingen.

Tijdens de evalueeracties van het NRO project werd de docenten zelf gevraagd hoe zij dachten over hun ontwikkeling tijdens het project. De scheikundedocenten kwamen bij de start van het project vooral kennis tekort over ontwerpen en ontwerpopleiding. Sommigen hadden het gevoel dat zij zich op deze punten maar langzaam ontwikkelden. Door (delen van) de ontwerpmodules meerdere keren uit te voeren of meermaals te bestuderen, voelden zij zich steeds bekwaamder worden. De informaticadocenten misten bij de start van het project vooral kennis over conceptuele ontwikkeling tijdens ontwerpen, en manieren om concepten (formatief) te toetsen. Volgens zowel scheikundedocenten als informaticadocenten hebben zij veel geleerd van de andere deelnemers in hun professionele leergemeenschap. Daarnaast konden scheikundedocenten door deelname aan de PLG de tijd nemen om zich te verdiepen in 'ontwerpen bij scheikunde'. Dit gebeurde met name door het gezamenlijk ontwikkelen van lesmateriaal in de PLG, het op school uitproberen, evalueren en aanpassen ervan met collega's. De informaticadocenten verklaren veel geleerd te hebben van het meedenken in hun PLG over de conceptuele inhoud en toetsing in de informaticamodules, en de uitvoering van deze modules op school.

In Hoofdstuk 4 rapporteren we de conclusies van de opbrengsten van het project, en formuleren aanbevelingen voor de schoolpraktijk en toekomstig praktijkonderzoek.

Hoofdstuk 4

Conclusies

We zijn dit project gestart met de volgende onderzoeksvragen:

1. Welke tussenproducten uit het ontwerpproces lenen zich voor conceptuele toetsing?
2. Op welke manier kunnen deze toetsinstrumenten worden ingezet zodat ze een beeld geven van conceptuele ontwikkeling en aanknopingspunt zijn voor feedback?
3. a. Welke praktijkkennis heeft de docent nodig om authentieke formatieve toetsing te realiseren in ontwerpsituaties? b. Hoe kan deze kennis ontwikkeld worden?

4.1 Onderzoeksvraag 1

Voor **scheikunde** werden o.a. iteraties van het technisch ontwerp, ontwerpideeën, ontwerpprototypes en testresultaten aangemerkt als uitgangspunt voor formatieve toetsing van begripsvorming tijdens ontwerponderwijs (zie Figuur 5). Voor **informatica** lijken algoritmen, conceptuele oplossingen, testrapporten en computerprogramma's geschikte ontwerptussenproducten te zijn (zie Figuur 3 en Figuur 4).

In elk van de twee professionele leergemeenschappen werd één specifiek authentiek tussenproduct uitgebreid onderzocht. Voor scheikunde was dat een *technisch ontwerp* en voor informatica een *algoritmisch ontwerp*. Voor deze tussenproducten werden formats ontworpen met het doel vakkennis en redeneervaardigheden maximaal zichtbaar te maken voor het leveren van effectieve feedback.

4.2 Onderzoeksvraag 2

Voor scheikunde werden specifieke werkbladen voor technisch ontwerp in de vorm van *ontwerptekeningen* ontwikkeld (werkvellen met redeneeropdrachten en vakken om in te schrijven en te tekenen). De informaticadocenten experimenteerden met een schematische weergave van algoritmisch ontwerp in zogenaamde *flowcharts* (stroomdiagrammen).

Onderzoek bij **scheikunde** heeft uitgewezen dat de werkvellen diverse denkbeelden van leerlingen over chemische processen en fenomenen zichtbaar maakten. Resultaten van observatieonderzoek in de les geven ook aan dat de werkbladen door docenten nog niet optimaal gebruikt werden als 'praatplaat' voor formatieve gesprekjes en feedback over de verbinding tussen ontwerpproducten en vakkennis. Uit de analyses blijkt dat de ontwerptekeningen wel aanleiding vormden voor spontane gesprekjes tussen leerlingen onderling, waarbij zij als leerbronnen voor elkaar dienden en elkaars aannames en misconcepties ter discussie stelden.

In de scheikunde module Thermo-Challenge zijn ook andere ontwerptussenproducten geschikt gemaakt als didactische tools voor formatieve toetsing van begrip. Hiervoor zijn o.a. de volgende ontwerptactiviteiten uit de professionele ontwerppraktijk geïntroduceerd: whiteboarding (prikbordsessies), gallery-walks (expo-rondes), pitches en presentaties. De uitkomsten van deze authentieke toetsinstrumenten en -activiteiten zijn een interessant onderwerp voor nadere analyses.

Uit interviewstudies met **informatica**docenten n.a.v. de uitvoering van ontwerpmodule Speuren in Digitale Teksten blijkt dat de flowcharts een goed beeld gaven van de conceptuele kennis en redeneervaardigheden van leerlingen. Sommige docenten namen de flowcharts in, om na evaluatie ervan feedback te kunnen leveren. Anderen deden dit ook al tijdens de les. Naast de algoritmen in flowcharts zijn in de informaticamodules nog drie ontwerptussenproducten bruikbaar gemaakt als toetsinstrument. Elk tussenproduct was gekoppeld aan een specifieke ontwerpstep. Tijdens het ontwerpproces werd een 'denken-delen-uitwisselen strategie' ingezet voor het realiseren van tussenproducten, waarbij ontwerpgroepjes dienden als leerbronnen voor elkaar en elkaar onderling feedback gaven. Deze ontwerptussenproducten bleken in zekere mate effectief als uitgangspunt voor authentieke formatieve toetsactiviteiten door leerlingen en docenten.

4.3 Onderzoeksvraag 3

De praktijkkennis die docenten nodig hebben om formatieve toetsing van begrip te realiseren tijdens ontwerpprojecten bestaat in de eerste plaats uit kennis over (de rol van) ontwerpen in het schoolvak. Scheikundedocenten hadden daar aan het begin van het NRO project een verschillend beeld van.

Om de kennis over ontwerpen verder te ontwikkelen is eerst een introductiemodule ontwikkeld met een focus op ontwerpvaardigheden.

Daarnaast is kennis van formatieve toetsstrategieën nodig. Deze kennis was zowel bij de scheikundedocenten als bij de informaticadocenten in het begin nog nauwelijks aanwezig. De visie op toetsing van begrip tijdens ontwerpprojecten bleek bij informaticadocenten bovendien onderling uiteen te lopen. Bij scheikunde bleek de *Midstream Modulation coachingsmethode* tijdens uitvoering van een ontwerpproject effectief om de ontwikkeling van formatieve toetsstrategieën te stimuleren. Bij informatica bleek het experimenteren met elementen van het ontwikkelde *didactisch model* voor integratie van conceptleren en ontwerpen met authentieke ontwerptussenproducten richting te geven aan de kennisontwikkeling over formatief toetsen van begrip tijdens ontwerpprojecten.

Tot slot hebben docenten Pedagogical Content Knowledge (PCK) nodig om de ontwerp-modules met formatieve toetsing uit te voeren in de klas. Bij scheikunde was een focus op formatieve toetsing tijdens de conceptuele ontwerpmodule en de MM reflectiemethode (coaching) een enorme stimulans voor de ontwikkeling van PCK m.b.t. ontwerpen. Bij informatica werd PCK ontwikkeling bevorderd door experimenteren met aangereikte 'tools' en begeleiding. De deelnemers aan de PLG's en de collega's op school waren daarnaast ook van invloed op de ontwikkeling van de docenten.

Een belangrijk mechanisme voor de ontwikkeling van praktijkkennis blijkt het cyclisch experimenteren en overdenken van concrete praktijkervaringen (vgl. de docent als 'reflective practitioner', Schön, 1983).

4.4 Eindconclusie

Samenvattend concluderen we dat zowel binnen scheikunde als informatica authentieke tussenproducten van het ontwerpproces zijn aan te geven waarop bruikbare formats voor formatieve toetsing gebaseerd kunnen worden. Deze tussenproducten blijken geschikt voor het zichtbaar maken van conceptueel leren en het activeren van leerlingen als leerbronnen voor elkaar. Hierbij wordt zowel gebruik gemaakt van authentieke ontwerptuinen als van aanvullende algemeen bekende formatieve toetsactiviteiten.

Het gebruik van tussenproducten als uitgangspunt voor directe feedback lijkt voor docenten niet vanzelfsprekend. Met name informele formatieve toetsing ('on the fly') door docenten d.m.v. spontane gesprekken rond ontwerptekeningen bij scheikunde (vgl. interactieve formatieve toetsing, Cowie & Bell, 1999) lijkt extra scholing van docenten en meer oefening in de praktijk te vereisen. Sommige informaticadocenten gaven pas feedback na de producten van leerlingen te hebben ingenomen en geëvalueerd te hebben (geplande formatieve toetsing, Cowie & Bell, 1999).

4.5 Vooruitblik

Het project heeft diverse onderwijsproducten zoals ontwerpmodules en tools voor formatieve toetsing opgeleverd. Deze worden o.a. via de website van NRO en de website www.ontwerponderwijs.nl beschikbaar gesteld. Het project heeft bovendien een format opgeleverd voor een landelijk congres over ontwerponderwijs (Bèta Ontwerp Event), waarvan de eerste editie in april 2019 plaatsvond.

Docenten die het congres bezochten blijken zowel interesse te hebben in grotere projecten met ingebedde formatieve toetsing als in losse ontwerplessen waarin specifieke ontwerpvaardigheden centraal staan. Daarnaast blijken docenten behoefte te hebben aan vakoverstijgende ontwerpmodules. In het kielzog van ons project werden al diverse NLT-modules met ingebouwde formatieve toetsing ontwikkeld door interdisciplinaire teams van docenten-in-opleiding (DIO's) aan de TU Delft.

Lopend vervolgonderzoek (TU Delft) richt zich specifiek op het identificeren en stimuleren van begeleidingsvaardigheden van docenten (i.e. mondelinge scaffolding) aan de hand van tussenproducten in het ontwerpproces (Sheoratan, Henze, Barendsen & De Vries, 2019). Daarnaast wordt bij TU Delft een nieuw NRO onderzoek gestart (januari 2020) naar de bruikbaarheid van 'Midstream Modulation coaching' op de stageschool, gericht op implementatie van formatieve toetsing in de vaklessen van docenten-in-opleiding (DIO's).

Er zijn meer aangrijpingspunten voor vervolgonderzoek. Zo is het interessant om de werking van meer tussenproducten te onderzoeken, vooral in combinatie met elkaar zodat daadwerkelijk de *begripsontwikkeling* tijdens een ontwerpproject gemonitord kan worden. Daarnaast kan gefocust worden op het in kaart brengen en monitoren van conceptueel begrip van de *individuele* leerling i.p.v. een geheel ontwerpteam (vgl. Van den Broek, 2018). Tenslotte is het interessant om te onderzoeken of de verkregen tussenproducten naast redeneren over functionele producteigenschappen (werkt het?) ook redeneren over niet-functionele eigenschappen (is het duurzaam, aanpasbaar, onderhoudbaar?) ondersteunen. In het licht van de hedendaagse aandacht voor maatschappelijke impact van grootschalige ontwerpactiviteiten is dit een urgente ('*timely*') toepassing.

Literatuur

- Baumgartner, E. & Reiser, B. J. (1998). Strategies for supporting student inquiry in design tasks. In *Annual meeting of the American Educational Research Association, San Diego, CA*.
- Black, P. & Wiliam, D. (1998). Assessment and classroom learning. *Assessment in Education: Principles, Policy & Practice*, 5(1), 7--74.
- Black, P. & Wiliam, D. (2009). Developing the theory of formative assessment. *Educational Assessment, Evaluation and Accountability (formerly: Journal of Personnel Evaluation in Education)*, 21(1), 5.
- Brown, J. S., Collins, A. & Duguid, P. (1989). Situated cognition and the culture of learning. *Educational researcher*, 18(1), 32--42.
- Bucciarelli, L. (1994). *Designing engineers*. MIT press.
- Bulte, A. M., Westbroek, H. B., de Jong, O. & Pilot, A. (2006). A research approach to designing chemistry education using authentic practices as contexts. *International Journal of Science Education*, 28(9), 1063--1086.
- Clarke, D. & Hollingsworth, H. (2002). Elaborating a model of teacher professional growth. *Teaching and Teacher Education*, 18(8), 947--967.
- Coenders, F. & Terlouw, C. (2015). A model for in-service teacher learning in the context of an innovation. *Journal of Science Teacher Education*, 26(5), 451--470.
- Cowie, B. & Bell, B. (1999). A model of formative assessment in science education. *Assessment in Education: Principles, Policy & Practice*, 6(1), 101--116.
- De Beurs, C. (2008). *Techniek 15+*. Retrieved from <http://www.ecent.nl/artikel/1191/Techniek+15%2B/view.do>.
- De Vries, M. J. (2013). Concept learning through technology education. *Journal of Technology Education*, 1(1), 147--151.
- Fisher, E., Mahajan, R. L. & Mitcham, C. (2006). Midstream modulation of technology: governance from within. *Bulletin of Science, Technology & Society*, 26(6), 485--496.
- Flipse, S. M., van der Sanden, M. C. A. & Osseweijer, P. (2013). Midstream modulation in biotechnology industry: Redefining what is 'part of the job' of researchers in industry. *Science and Engineering Ethics*, 19(3), 1141--1164.
- Gilbert, J. K. (2006). On the nature of 'context' in chemical education. *International Journal of Science Education*, 28(9), 957--976.
- Kolodner, J. L. (2006). Case-based reasoning. In K. L. Sawyer (red.), *The Cambridge handbook of the learning sciences* (pp. 225--242). Cambridge University Press.
- Kolodner, J. L., Camp, P. J., Crismond, D., Fasse, B., Gray, J., Holbrook, J., ... Ryan,

- M. (2003). Problem-based learning meets case-based reasoning in the middle-school science classroom: Putting learning by design (tm) into practice. *The Journal of the Learning Sciences*, 12(4), 495--547.
- Lederman, N. G. (1992). Students' and teachers' conceptions of the nature of science: A review of the research. *Journal of Research in Science Teaching*, 29(4), 331--359.
- Magnusson, S., Krajcik, J. & Borko, H. (1999). Nature, sources, and development of pedagogical content knowledge for science teaching. In J. Gess-Newsome & N. G. Lederman (red.), *Examining pedagogical content knowledge* (pp. 95--132). Dordrecht: Kluwer.
- Ministerie van OCW. (z. j.). *Examenblad*. Retrieved March 2015 from <http://examenblad.nl>.
- Parkinson, E. (2001). Teacher knowledge and understanding of design and technology for children in the 3-11 age group: A study focusing on aspects of structures. *Journal of Technology Education*, 13(1), 44--58.
- Pas, J. (2018). *Informele formatieve toetsingsgesprekken rondom het maken van ontwerptekeningen bij scheikunde*. Doctoraalscriptie, Delft University of Technology.
- Rahimi, E., Barendsen, E. & Henze, I. (2016). Typifying informatics teachers' PCK of designing digital artefacts in Dutch upper secondary education. In A. Brodnik & F. Tort (red.), *Informatics in schools: Improvement of informatics knowledge and perception* (pp. 65--77). Springer.
- Rahimi, E., Barendsen, E. & Henze, I. (2017). Identifying students' misconceptions on basic algorithmic concepts through flowchart analysis. In V. Dagienė & A. Hellas (red.), *International Conference on Informatics in Schools: Situation, Evolution, and Perspectives* (pp. 155--168).
- Rahimi, E., Barendsen, E. & Henze, I. (2018). An instructional model to link designing and conceptual understanding in secondary computer science education. In *Proceedings of the 13th Workshop on Primary and Secondary Computing Education* (pp. 67--70). ACM.
- Roth, W.-M. (1996). Teacher questioning in an open-inquiry learning environment: Interactions of context, content, and student responses. *Journal of Research in Science Teaching*, 33(7), 709--736.
- Sanders, G., Pieters, M., Schalk, H., Carelsen, F. & Kortland, J. (2016). *Het implementeren van contexten in onderwijsmateriaal: Een ontwerp-en analyse-instrument voor de natuurwetenschappelijke vakken*. Enschede: SLO.
- Schön, D. A. (1983). *The reflective practitioner: How professionals think in action*. New York: Basic Books.
- Schwaber, K. & Beedle, M. (2002). *Agile software development with Scrum*. Upper Saddle River: Prentice Hall.
- Sevian, H. & Talanquer, V. (2014). Rethinking chemistry: a learning progression on chemical thinking. *Chemistry Education Research and Practice*, 15(1), 10--23.
- Sheoratan, S., Henze, I., Barendsen, E. & De Vries, M. J. (2019). *Teachers' perspectives on scaffolding of design activities in the chemistry classroom*. Paper presented at ESERA 2019, Bologna, Italy.
- Shulman, L. S. (1986). Those who understand: Knowledge growth in teaching. *Educational researcher*, 15(2), 4--14.

- Stammes, H., Flipse, S., Henze, I., Barendsen, E. & De Vries, M. J. (2018). *Chemistry teachers' PCK development using Midstream Modulation focusing on formative assessment in design education*. (Paper presented at NARST 2018, Atlanta, GA)
- Stammes, H., Henze, I., Barendsen, E. & De Vries, M. J. (2019). *Bringing design practices into chemistry classrooms: Studying teachers' pedagogical ideas in the context of a professional learning community*. (Under review)
- Stammes, H., Henze, I., Barendsen, E. & De Vries, M. J. (2020). *Using design drawings for formative assessment of chemical thinking in a design-based unit*. (Under review)
- Tilgner, P. J. (1990). Avoiding science in the elementary school. *Science Education*, 74(4), 421--431.
- Van den Akker, J., Gravemeijer, K., McKenney, S. & Nieveen, N. (2006). *Educational design research*. Routledge.
- Van den Broek, L. M. (2018). *De individuele leerling in beeld. hoe docenten in een scheikundig ontwerpproject in 4 vwo zicht krijgen op de individuele kennisontwikkeling van leerlingen*. Doctoraalscriptie, Delft University of Technology.
- Van Driel, J. H. (2010). *Model-based development of science teachers' Pedagogical Content Knowledge*. (Paper presented at the International Seminar 'Professional Reflections', National Science Learning Centre, York, February, 2010)
- Van Gelder, L., Peters, J. J., Oudkerk Pool, T. & Sixma, J. (1973). *Didactische analyse*. Groningen: Wolters-Noordhoff.
- Vossen, T., Henze, I., Rippe, R., Van Driel, J. & De Vries, M. (2018). Attitudes of secondary school students towards doing research and design activities. *International Journal of Science Education*, 40(13), 1629--1652.
- Wendell, K. B. & Lee, H.-S. (2010). Elementary students learning of materials science practices through instruction based on engineering design tasks. *Journal of Science Education and Technology*, 19(6), 580--601.