

Technologie voor regulatie van leren: vormgeving, mechanismen en uitkomsten

Een reviewstudie en taxonomie

Caressa Janssen¹, Monika Louws¹, Nadira Saab², Ditte Lockhorst³, Liesbeth Kester¹

Eindrapport project 405-17-718

12 april 2019

¹Afdeling Educatie, Universiteit Utrecht

²Interfacultair Centrum Lerarenopleiding, Onderwijsontwikkeling en Nascholing, Universiteit Leiden

³Oberon, Utrecht



Dit project is gefinancierd door het Nationaal Regieorgaan Onderwijsonderzoek (NRO)

Inhoud

Publiekssamenvatting	4
1. Introductie	6
<i>1.1 Regulatie van het leerproces</i>	6
<i>1.2 Ict-toepassingen voor regulatie van het leerproces</i>	7
<i>1.3 Effectiviteit van de inzet van ict</i>	7
1.3.1 Leerprestaties (cognitie).....	8
1.3.2 Zelfregulatievaardigheden (metacognitie)	8
1.3.3 Motivatie van leerlingen (affectief)	8
<i>1.4 Werkzame ingrediënten</i>	9
<i>1.5 Opbrengsten voor wetenschap en praktijk</i>	9
2. Methode: dataverzameling en analyse	10
<i>2.1. Literatuuronderzoek</i>	10
2.1.1 Wetenschappelijke literatuur	10
2.1.2 Nederlandse “grijze” literatuur.....	13
<i>2.2 Analyse van literatuur</i>	14
3. Resultaten: de taxonomie	16
<i>3.1 Feedback van panel van praktijkexperts</i>	16
<i>3.2 Opbouw taxonomie</i>	16
<i>3.3. De taxonomie</i>	17
3.3.1 Oefenprogramma’s cognitieve vaardigheden	17
3.3.2 Games	24
3.3.3 Oefenprogramma’s metacognitieve vaardigheden.....	29
3.3.4 E-portfolio	37
3.3.5 Concept map programma’s	40
3.3.6 Intelligent tutor systeem	45
3.3.7 Augmented reality applicaties	49
3.3.8 Simulatieprogramma’s	55
3.3.9 Blended learning.....	60
3.3.10 Digitale instructie.....	64
3.3.11 Interactief Whiteboard.....	69
3.3.12 Programmeer software	71
4. Conclusie en discussie	75
<i>4.1 Antwoord op de onderzoeksvragen</i>	75
<i>4.3 Aanbevelingen voor vervolgonderzoek</i>	85
<i>4.4 Betekenis van de taxonomie voor de praktijk</i>	85

<i>4.5 Conclusie</i>	86
Referenties	86

Publiekssamenvatting

Het gebruik van ict in het onderwijs biedt leraren en leerlingen de mogelijkheid om het leerproces van leerlingen te ondersteunen en bevorderen. Dergelijke ict-toepassingen kunnen de *regulatie* van het leerproces *ondersteunen* door prestaties zichtbaar te maken voor leraar of leerlingen of de regulatie *deels overnemen* door voor de leerlingen te bepalen welke vervolgstappen ze in het leerproces zetten. Hoewel de inzet van ict voor het ondersteunen van het leerproces van leerlingen geen recente ontwikkeling betreft, blijkt dat het nog maar weinig wordt toegepast door leraren. Deze studie geeft een overzicht van de verschillende toepassingsvormen en mechanismen van ict voor ondersteuning van regulatie van het leren. Daarbij wordt de invloed van ict op leerprestaties, motivatie en zelfregulatie bij leerlingen beschreven.

Het reguleren van het leerproces door leraar en/of leerling wordt in dit rapport omschreven als het sturing geven aan het leerproces opdat leerdoelen worden behaald. Ict kan tijdens alle fasen van regulatie van het leerproces ondersteunen met het registreren, monitoren, analyseren en rapporteren van de voortgang van het leerproces. De variatie in ict-toepassingen wordt gekenmerkt door de regulatiefase waarin de ict wordt toegepast, op wie de ondersteuning is gericht (de leerling of de leraar) en het type rol dat de ict speelt (passief of actief). In deze overzichtsstudie wordt de regulatie van het leren van de leerlingen onderzocht vanuit een leraar-leerling-ict perspectief. Daarbij worden vier vormen van regulatie onderscheiden:

- 1) de leraar stuurt de regulatie van het leerproces aan en ict ondersteunt de leraar hierin;
- 2) de leerling reguleert het eigen leerproces en ict ondersteunt de leerling bij zelfregulatie;
- 3) het leerproces wordt voor zowel leraar als leerling gereguleerd en ict is ondersteunend voor beide actoren (gedeelde controle);
- 4) het leerproces van de leerling wordt (gedeeltelijk) gereguleerd door ict.

De volgende onderzoeksvragen vormen de leidraad in deze overzichtsstudie:

1. Welke verschijningsvormen en toepassingen van ict die de regulatie van leren van leerlingen ondersteunen zijn er te onderscheiden?
2. Welke effecten van ict-vormen en -toepassingen op leerprestaties, motivatie en zelfregulatievaardigheden van leerlingen worden er beschreven in de (inter)nationale literatuur?
3. Welke werkzame ingrediënten van ict toegepast bij regulatie van het leren van leerlingen zijn er bekend in de (inter)nationale literatuur?

De gevonden literatuur wordt in deze overzichtsstudie gepresenteerd als taxonomie. De taxonomie biedt een overzicht van effecten en werkzame ingrediënten per ict-toepassing op de driehoek leraar-leerling-ict gereguleerd onderwijs. De in de literatuur gevonden ict-toepassingen zijn geordend in clusters van soortgelijke toepassingen. Per cluster van type ict-toepassingen zijn de werkzame ingrediënten en effecten op leerprestaties, motivatie en zelfregulatievaardigheden gepresenteerd.

We onderscheiden 12 clusters waarbinnen ict-toepassingen op basis van overeenkomstige kenmerken zijn geordend. De volgende elementen blijken in meerdere clusters terug te komen en zo de kern te vormen van wat werkt: directe en positieve feedback, prompts en scaffolds,

expliciete aandacht voor zelfregulerende vaardigheden, overzichtelijk representeren van informatie, betekenisvolle context en betekenisvol doel. Randvoorwaarden voor effectieve implementatie zijn: professionalisering van leraren, duidelijke uitleg aan leerlingen, regelmatig gebruik van ict-toepassing geïntegreerd in de dagelijkse onderwijspraktijk en betrokkenheid van leraren en leerlingen.

1. Introductie

Het gebruik van ict in het onderwijs biedt leraren en leerlingen de mogelijkheid om het leerproces van leerlingen te ondersteunen en bevorderen (Kester et al., 2018), bijvoorbeeld door het verschaffen van onmiddellijke feedback op prestaties (Shute & Rahimi, 2017) of door de moeilijkheid van de online opdrachten aan te passen aan de kenmerken van de leerling (Vandewaetere et al., 2011). Dergelijke ict-toepassingen kunnen de *regulatie* van het leerproces *ondersteunen* door prestaties zichtbaar te maken voor leraar of leerlingen of de regulatie *deels overnemen* door voor de leerlingen te bepalen welke vervolgstappen ze in het leerproces zetten. Hoewel de inzet van ict voor het ondersteunen van het leerproces van leerlingen geen recente ontwikkeling betreft, blijkt dat het nog maar weinig wordt toegepast door leraren (Liu, 2011). Succesvolle inzet van ict in de onderwijspraktijk hangt samen met de kennis van leraren over het effectief en efficiënt inrichten van onderwijssituaties met ict (Voogt et al., 2011). Deze studie geeft een overzicht van de verschillende toepassingsvormen en mechanismen van ict voor ondersteuning van regulatie van het leren. Daarbij wordt de invloed van ict op leerprestaties, motivatie en zelfregulatie bij leerlingen beschreven. Hiermee draagt deze studie bij aan het vergroten van de kennis van leraren over het inrichten van hun onderwijs met ict.

Er zijn verschillende reviews gedaan naar het gebruik van ict-toepassingen door leraren, de werkzame ingrediënten van adaptieve software en zelfregulerend leren van leerlingen met behulp van ict (zie o.a. Harris et al., 2009; Sorgenfrei & Smolnik, 2016; Vandewaetere et al., 2011). Een literatuuroverzicht waarin deze verschillende vormen van regulatie van het leren ondersteund door ict gecombineerd worden is er echter nog niet. Bovendien is er een sterke focus in de verschillende reviews op cognitieve en meta-cognitieve uitkomsten, terwijl niet-cognitieve, affectieve uitkomsten nauwelijks zijn onderzocht. Ook wordt er vaak melding gemaakt van het toevoegen van '*learner control*' aan ict-toepassingen om leerlingen door interactie met de stof het leerproces zelf aan te kunnen laten sturen en daarmee autonomie te vergroten, maar wordt er tegelijkertijd gewaarschuwd dat dit averechts kan werken voor leerlingen met onvoldoende zelfregulerende vaardigheden (Winters, Greene, & Costich, 2008). Naast learner control kunnen er verschillende andere kenmerken van ict-toepassingen worden onderscheiden, zoals authenticiteit, personalisatie, scaffolding, interactie, prompts voor reflectie en prompts om eigen prestaties te kalibreren (Van Laer & Elen, 2017). Het is nog onduidelijk welke ict-toepassingen en de kenmerken van deze ict-toepassingen blijken te werken wanneer ict het leerproces van leerlingen ondersteunt.

1.1 Regulatie van het leerproces

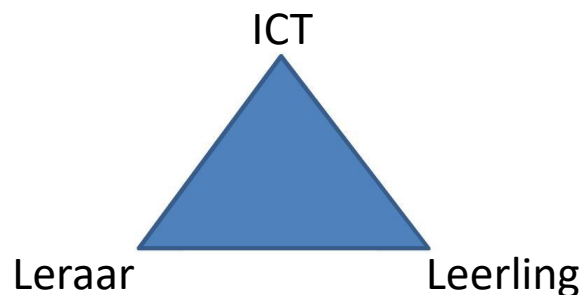
Het reguleren van het leerproces door leraar en/of leerling (Azevedo, Cromley, Winters, Moos, & Greene, 2006; Winters, Greene, & Costich, 2008; Corbalan et al., 2006) wordt in dit rapport omschreven als het sturing geven aan het leerproces opdat leerdoelen worden behaald (cf. Zimmerman, 2000). De literatuur over regulatie van het leerproces onderscheidt verschillende fasen van regulatie (Mooij, 2009; Pintrich, 2000; Zimmerman & Schunk 2011):

- a) voorafgaand aan het leren; vaststellen/evalueren van voorkennis, leerdoel vaststellen en bijbehorende leerstrategieën selecteren;
- b) tijdens het leren; uitvoeren, ondersteunen en monitoren van leerstrategieën;
- c) na afloop van het leren; evalueren van leeropbrengst en bijstellen van leerstrategieën (zoals in Steffens, 2006).

Ict kan tijdens alle fasen van regulatie van het leerproces ondersteunen met het registreren, monitoren, analyseren en rapporteren van de voortgang van het leerproces.

1.2 Ict-toepassingen voor regulatie van het leerproces

Eerder onderzoek heeft laten zien dat ict leerlingen kan ondersteunen bij het zelfregulerend leren en leraren bij het reguleren van het leerproces van hun leerlingen. Deze ict ondersteuning kan passief zijn, waarbij de ict-toepassing het leerproces van leerlingen inzichtelijk maakt, waarna de leraar en/of de leerling vervolgstappen kunnen/kan ondernemen op dat inzicht (bijv. nieuw leerdoel vaststellen of bijstellen leerstrategie) (zie Azevedo et al., 2006; Sorgenfrei & Smolnik, 2016; Voogt & Knezek, 2008; Van Leeuwen, Janssen, Erkens, & Brekelmans, 2014; Winters, Greene, & Costich, 2008; Zacharia et al., 2015). De ict-toepassing speelt een actieve rol wanneer het een gedeelte van het regulatieproces overneemt en voor de leerling bepaalt wat vervolgstappen zijn (bijvoorbeeld, moeilijkheid van de opdrachten bepalen) (zie Devolder, van Braak & Tondeur, 2012; Marquenie, Opsteen, Ten Brummelhuis & Van der Waals, 2014; Shute & Rahimi, 2017; Vandewaetere, Desmet & Clarebout, 2011). De variatie in ict-toepassingen wordt dus gekenmerkt door de regulatiefase waarin de ict wordt toegepast, op wie de ondersteuning is gericht (de leerling of de leraar) en het type rol dat de ict speelt (passief of actief).



Figuur 1. *Leraar-leerling-ict perspectief voor de regulatie van het leerproces.*

Samengevat wordt in deze overzichtsstudie de regulatie van het leren van de leerlingen onderzocht vanuit een leraar-leerling-ict perspectief (zie Figuur 1). Daarbij worden vier vormen van regulatie onderscheiden:

- 1) de leraar stuurt de regulatie van het leerproces aan en ict ondersteunt de leraar hierin;
- 2) de leerling reguleert het eigen leerproces en ict ondersteunt de leerling bij zelfregulatie;
- 3) het leerproces wordt voor zowel leraar als leerling gereguleerd en ict is ondersteunend voor beide actoren (gedeelde controle);
- 4) het leerproces van de leerling wordt (gedeeltelijk) gereguleerd door ict.

1.3 Effectiviteit van de inzet van ict

Ict kan worden ingezet om deze diverse vormen van regulering te ondersteunen en wordt gezien als een veelbelovend middel om dit efficiënt en effectief toe te passen. Een eerdere NRO-overzichtsstudie liet zien welke uitkomsten te verwachten zijn bij effectieve zelfregulatie van leerlingen, te weten cognitieve, metacognitieve en affectieve uitkomsten (Kostons, Donker & Opdenakker, 2014). Wij onderzoeken soortgelijke uitkomstmaten, te weten: leerprestaties (cognitie), zelfregulatievaardigheden (metacognitie) en motivatie van leerlingen (affectief), waarbij we naar effecten kijken van ict-toepassingen die het regulatieproces ondersteunen.

1.3.1 Leerprestaties (cognitie)

Verschillende studies hebben aangetoond dat de inzet van bepaalde toepassingsvormen van ict voor leerlingen tot positieve leerprestaties kan leiden, hoewel andere studies aantonen dat die effecten alleen worden bereikt onder bepaalde omstandigheden (type kennis, mate van ondersteuning etc.) en voor bepaalde leerlingen (cf. Sorgenfrei & Smolnik, 2016). Hier volgen twee voorbeelden van effecten op leerprestaties uit reviewstudies, namelijk interactieve instructieomgeving en digitale toetsprogramma's. In de reviewstudie van Thomas, Alexander, Jackson en Abrami (2013) wordt bijvoorbeeld geconcludeerd dat leerlingen die computer-assisted instructie (CAI) binnen een interactieve leeromgeving ontvangen betere prestaties laten zien dan leerlingen die instructie ontvingen zonder interactie van de leerling met het systeem. Onder *interactie* wordt hier verstaan het zelf kunnen navigeren van de leeromgeving door de leerling. De reviewstudie van Shute en Rahimi (2017) toonde aan dat voor effectief gebruik van computer-based assessment(-for learning) (CBAfL) er uitgebreide en duidelijke feedback gegeven moet worden aan leerlingen en dat leerlingen die feedback dan ook moeten gebruiken en dat het niet veel uitmaakt voor de leeruitkomsten hoe CBAfL wordt aangeboden, ofwel als aanvulling op reguliere lespraktijk of geïntegreerd in een leeromgeving.

1.3.2 Zelfregulatievaardigheden (metacognitie)

Met ict het leerproces ondersteunen kan de zelfregulatievaardigheden van leerlingen bevorderen wanneer de leerling door middel van ict geoefend raakt in het zelf sturen van het leerproces (Azevedo et al., 2006). Winters et al. (2008) geven in hun review aan dat veel ict-toepassingen de leerling vooral controle geven en dat de inzet van deze ict-toepassingen alleen effectief zijn als leerlingen over voldoende zelfregulatievaardigheden beschikken. Winters en collega's vonden dat de tools die in digitale leeromgevingen worden aangeboden verschillen in hun effect op zelfregulatieprocessen van leerlingen. Statische helpfuncties waar leerlingen uitleg over een concept kunnen vinden worden weinig geraadpleegd maar worden wel als behulpzaam ervaren en gaven een klein maar positief effect op planning van het leerproces, terwijl adaptieve scaffolding tools (zoals een virtuele docent die tips geeft tijdens het maken van opdrachten waarbij de ondersteuning van een virtuele docent afneemt bij correcte antwoorden, cf Azevedo et al., 2005) resulteerden in planning, monitoring, het gebruik van effectieve leerstrategieën en gunstige leeruitkomsten. In hun conclusies geven Winters e.a. aan dat er meer onderzoek nodig is naar de relatie tussen tools die zelfregulerend leren ondersteunen en leeruitkomsten van leerlingen.

1.3.3 Motivatie van leerlingen (affectief)

Eerder onderzoek heeft daarnaast laten zien dat het effectief inzetten van ict voor het reguleren van het leerproces niet alleen kan bijdragen aan de ontwikkeling van cognitieve en metacognitieve vaardigheden, maar ook gunstige effecten kan hebben op de motivatie van leerlingen (Devolder, van Braak, & Tondeur, 2012). Met name wordt ict-inzet geassocieerd met een grotere mate van autonomie voor de leerling en daarmee meer leermotivatie (McLoughlin & Lee, 2010). In studies naar digitale games in het onderwijs wordt vaak gesproken over de positieve werking van spel, authentieke spelomgevingen en fantasie voor de motivatie van leerlingen (Papanastasiou, Drigas, & Skianis, 2017). Verder bestaat het idee dat de ondersteuning die geboden wordt in een ict-toepassing (bijvoorbeeld, door concept mapping of een virtuele leraar), de self-efficacy van leerlingen verhoogt en daarmee de motivatie en interesse van leerlingen positief kan beïnvloeden (Stevenson, Hartmeyer, & Bentsen, 2017)

1.4 Werkzame ingrediënten

Een vaak genoemde voorwaarde voor effectieve ict-inzet met sturing vanuit leraren zijn de ict-competenties van leraren, met name hun pedagogisch-didactische aanpak om ict doelmatig in te kunnen zetten (Buabeng-Andoh, 2012; Ertmer, Ottenbreit-Leftwich, Sadik, Sendurur, & Sendurur, 2012; Harris, Mishra, & Koehler, 2009; Voogt & Knezek, 2008). Ict-competentie van leraren is hier een voorwaarde voor het effectief implementeren van ict-toepassingen en dit noemen we in ons voorstel ‘werkzame ingrediënten’. Een ander mogelijk ingrediënt is het aanpassen van de leeromgeving op leerlingkenmerken, wanneer bijvoorbeeld blijkt dat bepaalde ict-toepassingen zich beter lenen voor hoog-presterende leerlingen (Azevedo et al., 2006).

De volgende onderzoeksvragen vormen de leidraad in deze overzichtsstudie:

1. Welke verschijningsvormen en toepassingen van ict die de regulatie van leren van leerlingen ondersteunen zijn er te onderscheiden?
2. Welke effecten van ict-vormen en -toepassingen op leerprestaties, motivatie en zelfregulatievaardigheden van leerlingen worden er beschreven in de (inter)nationale literatuur?
3. Welke werkzame ingrediënten van ict toegepast bij regulatie van het leren van leerlingen zijn er bekend in de (inter)nationale literatuur?

1.5 Opbrengsten voor wetenschap en praktijk

De gevonden literatuur wordt in deze overzichtsstudie gepresenteerd als taxonomie. Met de taxonomie proberen we in kaart te brengen welke combinatie van actoren volgens de literatuur het beste werkt en onder welke voorwaarden. Eerst zijn de in de literatuur gevonden ict-toepassingen geordend in clusters van soortgelijke toepassingen. Vervolgens is per cluster vastgesteld hoe de beschreven toepassingen het leerproces reguleren, op basis van de belangrijkste actor: (1) de leerling, 2) de leraar, 3) de leerling en de leraar samen of 4) ict. Hierbij zijn de effecten op leerprestaties, motivatie en/of zelfregulatievaardigheden bij leerlingen en de aanwijzingen voor inrichting van het onderwijs die gegeven worden om de ict-interventie te laten slagen (i.e., de werkzame ingrediënten om vermeende effecten te bereiken) gerapporteerd. De taxonomie biedt een overzicht van effecten en werkzame ingrediënten per ict-toepassing op de driehoek leraar-leerling-ict gereguleerd onderwijs, welke leraren en schoolleiders kan ondersteunen in het selecteren van ict-toepassingen voor de onderwijspraktijk. We hebben geen compleet overzicht van alle beschikbare ict-toepassingen in Nederland of daarbuiten beschreven, maar we laten zien op welke ingrediënten er gelet moet worden bij het selecteren van een ict-toepassing. Ook biedt de taxonomie inzicht in de visie achter het gebruik van ict in het onderwijs; sommige toepassingen zijn het meest geschikt voor onderwijs waarin de leraar aan het stuur is, terwijl andere toepassingen zich beter lenen voor leerlinggestuurd onderwijs.

2. Methode: dataverzameling en analyse

Bij de dataverzameling en analyse is een aantal stappen doorlopen. Allereerst is de te includeren wetenschappelijke literatuur geselecteerd. Vervolgens is de te includeren Nederlandse “grijze” literatuur geselecteerd. Bij deze stap zijn experts op het gebied van onderwijsonderzoek en experts op het gebied van de onderwijspraktijk om literatuursuggesties gevraagd. De analyse van de geselecteerde literatuur is gestart met het indelen van de ict-toepassingen in clusters die in de wetenschappelijke literatuur werden beschreven. Vervolgens zijn de clusters aangevuld met ict-toepassingen die in de Nederlandse “grijze” literatuur zijn beschreven. Per cluster is een beschrijving gegeven van het type ict-toepassing in het cluster, zijn kenmerken van de geïncludeerde studies per cluster beschreven en zijn werkzame ingrediënten toegelicht. Ten slotte is aan de praktijkexperts feedback gevraagd op de clustering en is hen gevraagd hoe een taxonomie er volgens hen uit zou moeten zien om deze praktisch bruikbaar te laten zijn. In de volgende paragrafen worden de verschillende stappen in het dataverzameling – en analyseproces uiteengezet.

2.1. Literatuuronderzoek

2.1.1 Wetenschappelijke literatuur

Als startpunt voor de literatuurstudie werd een aantal keuzes gemaakt. De ontwikkeling van ict-toepassingen gaat erg snel. Om de meest recente ontwikkelingen in kaart te brengen, werd daarom de tijdsperiode ingesteld op 2007-2017. Vervolgens zijn alleen artikelen geselecteerd die in het Engels zijn gepubliceerd in wetenschappelijke tijdschriften, voortgangspapers, boekhoofdstukken en review studies binnen de Web of Science categorieën “Education Educational Research”, “Education Scientific Disciplines”, “Psychology Educational” en “Educational Special”.

De eerste stap om tot de taxonomie te komen, was het verzamelen en selecteren van geschikte internationale wetenschappelijke literatuur. Als wetenschappelijke literatuurdatabase is Web of Science doorzocht. In deze database werd gezocht naar artikelen waarmee een antwoord kon worden gevonden op onderzoeksvraag 1, dat wil zeggen, artikelen die gezamenlijk een overzicht geven van ict-toepassingen ten behoeve van de regulatie van leren van leerlingen in het primair en voortgezet onderwijs. Zoektermen en combinaties van zoektermen in twee categorieën werden gebruikt: a) termen die betrekking hebben op ict-toepassingen en b) termen die betrekking hebben op het type onderwijs en type controle:

- a) *ict OR online OR digital OR e-learning OR technology OR electronic OR "computer-based learning environments" OR agent OR instructor OR tutor AND*
- b) *"primary education" OR "secondary education" OR "learner control" OR "student control" OR "shared control" OR "teacher control" OR "self-regulated learning" OR "self-directed learning" OR "adaptive learning" OR "adaptive instruction"*

Deze zoektocht leverde 1598 documenten op ter verdere inspectie.

Ten tweede werd in de database gezocht naar artikelen waarmee een antwoord kon worden gevonden op onderzoeksvragen 2 en 3, dat wil zeggen, artikelen waarin onderzoek werd gedaan naar effecten van ict-toepassingen ten behoeve van de regulatie van het leren van leerlingen op leerresultaten, motivatie en zelfregulerend leren en die aanwijzingen zouden kunnen bieden voor werkzame ingrediënten van ict-toepassingen in de klas. Een c en d categorie werden aan de zoektermen toegevoegd: c) termen die betrekking hebben op de

uitkomstmaten en c) termen die betrekking hebben op effectstudies. Zo werden de volgende zoektermen en combinaties van zoektermen in de a, b, c en d categorieën gebruikt:

- a) *ict* OR *online* OR *digital* OR *e-learning* OR *technology* OR *electronic* OR "*computer-based learning environments*" OR *agent* OR *instructor* OR *tutor* AND
- b) "*primary education*" OR "*secondary education*" OR "*learner control*" OR "*student control*" OR "*shared control*" OR "*teacher control*" OR "*self-regulated learning*" OR "*self-directed learning*" OR "*adaptive learning*" OR "*adaptive instruction*" AND
- c) *learning* OR *motivation* OR *metacognition* OR "*self-regulated learning*" AND
- d) *intervention* OR *effect*

Deze zoektocht leverde 347 documenten op, waarvan 25 documenten *niet* overeenkwamen met de 1598 documenten ter beantwoording van onderzoeksvraag 1. Dit betekent dat er uiteindelijk 1623 wetenschappelijke documenten verder werden geïnspecteerd.

Het verder inspecteren van de documenten gebeurde aan de hand van een aantal criteria op basis waarvan documenten werden geïncludeerd (inclusiecriteria) of verworpen (exclusiecriteria). Een overzicht van de gebruikte inclusie- en exclusiecriteria is te vinden in Tabel 1. Artikelen werden gecodeerd op basis van de inclusie- en exclusiecriteria, wat inhield dat per artikel per inclusie criterium werd aangegeven of het betreffende artikel hier wel/niet aan voldeed. Het coderen gebeurde door een van de auteurs en een student-assistent. Om de interbeoordelaarsbetrouwbaarheid van de codering te bepalen werd Cohen's kappa berekend. Er bleek sprake te zijn van een kappa van .72, wat betekent dat de interbeoordelaarsbetrouwbaarheid voldoende tot goed is (Landis & Koch, 1977). De volgende stappen werden gezet: de titels en samenvattingen van de 1623 wetenschappelijke documenten werden gescand aan de hand van de inclusie- en exclusiecriteria. Documenten werden behouden of verworpen op basis van criteria die veelal al in de samenvatting naar voren komen, zoals informatie over de populatie en de context. De samenvattingen van de documenten die na deze scan overbleven, werden grondiger bekeken en naast de inclusie- en exclusiecriteria gelegd. Zevenentwintig reviewartikelen en 147 interventieartikelen werden behouden. De 147 interventieartikelen en de artikelen die in de 27 reviewartikelen werden samengevat, werden in het geheel gelezen. Uiteindelijk werden 129 wetenschappelijke artikelen geïncludeerd ter beantwoording van onderzoeksvraag 1 (artikelen die voldeden aan alle inclusiecriteria ter beantwoording van onderzoeksvraag 1), waarvan er 110 ook konden worden gebruikt voor het beantwoorden van onderzoeksvragen 2 en 3 (artikelen die voldeden aan alle inclusiecriteria ter beantwoording van zowel onderzoeksvraag 1 als onderzoeksvragen 2 en 3).

Tabel 1. *Overzicht van inclusie- en exclusiecriteria*

Categorie Onderzoeksvraag 1	Inclusiecriteria	Exclusiecriteria
Taal	Artikel geschreven in het Engels.	Artikel niet geschreven in het Engels.
Populatie	Representatieve steekproef, dat wil zeggen, leerlingen in het primair en voortgezet onderwijs zonder indicatie.	Leerlingen met een indicatie.
Context	Primair en voortgezet onderwijs.	Studies buiten de educatieve context. Studies in het hoger onderwijs. Studies in het speciaal onderwijs.
Beschikbaarheid	De volledige tekst van een studie moet beschikbaar zijn om te bekijken.	Studies waarvan de volledige tekst niet beschikbaar is om te bekijken.
Interventie	Het betreft een interventie. Het betreft een interventie waarin een ict-toepassing die de regulatie van het leren van leerlingen ondersteunt, centraal staat. De studie bevat een beschrijving van de interventie.	Het betreft een theoretisch model. Er wordt geen ict-toepassing gebruikt. De gebruikte ict-toepassing ondersteunt niet de regulatie van het leren van leerlingen. De studie bevat geen beschrijving van de interventie.
Extra criteria voor onderzoeksvragen 2 en 3		
Type studie	Kwantitatief	Kwalitatief
Interventie	Gedetailleerde beschrijving van de ict-toepassing in de interventie en de interventiecontext.	Geen gedetailleerde beschrijving van de ict-toepassing in de interventie en de interventiecontext.
Uitkomstmaten	De effecten van de ict-toepassing op uitkomstmaten zijn onderzocht. De uitkomstmaten bestaan uit de leerresultaten en/of motivatie (intrinsieke motivatie, extrinsieke motivatie) en/of betrokkenheid bij het leren en/of inzet en/of zelfregulerend leren (oriëntatie op en plannen van de taak, doorzettingsvermogen en zelf-effectiviteit, zelfevaluatie van product en proces) van leerlingen (leeftijd 4-18 jaar).	Geen effecten van de ict-toepassing of effecten niet gerelateerd aan de ict-toepassing zijn onderzocht. Andere uitkomstmaten dan leerresultaten, motivatie, betrokkenheid bij het leren, inzet en/of zelfregulerend leren zijn gebruikt.
	<i>Meetinstrument</i> Uitkomsten zijn gemeten met een individuele taak, een individueel leerproces wordt gemeten.	Uitkomsten zijn gemeten met een collaboratieve taak, een groepsleerproces wordt gemeten.
Onderzoeksofzet experimentele studies	Het experimentele design bevat een controlegroep (simultaan of niet-simultaan) en/of er is sprake van een voor- en nameting. Effecten kunnen duidelijk worden toegeschreven aan de gebruikte ict-toepassing. De interventie vindt plaats voorafgaand aan de afname van de uitkomstmaat. De voormeting heeft plaatsgevonden voorafgaand aan de start van de interventie.	Het experimentele design bevat geen controlegroep en/of er is geen sprake van een voor- en nameting. Er is alleen sprake van een nameting. Het is onduidelijk of effecten kunnen worden toegeschreven aan de gebruikte ict-toepassing. De interventie vindt plaats na afloop van de afname van de uitkomstmaat. De voormeting heeft niet plaatsgevonden voorafgaand aan de start van de interventie.
Statistische informatie	De studie rapporteert voldoende informatie om de effectgrootte te kunnen berekenen.	De studie rapporteert onvoldoende informatie om de effectgrootte te kunnen berekenen.

2.1.2 Nederlandse “grijze” literatuur

Omdat de taxonomie van ict-toepassingen als doel heeft de onderwijspraktijk te informeren en het daarom van belang is een beeld te krijgen van de huidige stand van zaken op het gebied van ict en van de ict-toepassingen die in het Nederlandse onderwijsveld bekend zijn, is er naast Engelse wetenschappelijke literatuur ook Nederlandse “grijze” literatuur verzameld en geselecteerd. Deze “grijze” literatuur bestaat uit vakpublicaties, beleidsdocumenten en teksten van websites gericht op onderwijsprofessionals. Bij het zoeken naar deze Nederlandse literatuur is de hulp ingeroepen van een expert op het gebied van onderwijsonderzoek en van praktijkexperts, dat wil zeggen, stafmedewerkers in het primair en voortgezet onderwijs. Om hen richting te geven, werden de praktijkexperts gevraagd naar literatuur die zij lezen over ict, in welke literatuur of op welke website zij informatie zoeken als ze iets met ict willen doen in hun school of in hun klas en of ze zelf ict-toepassingen gebruiken die de leerlingen helpen bij het plannen, uitvoeren en/of evalueren van taken. Een selectie van 16 stafmedewerkers van scholen die betrokken zijn geweest bij het Doorbraakproject Onderwijs & ICT (Landelijk onderzoek Doorbraak Onderwijs & ICT, 2018) werd uitgenodigd om als praktijkexpert deel te nemen aan het onderzoek. Zes stafmedewerkers hebben positief op de uitnodiging gereageerd; twee medewerkers uit het primair onderwijs (een stafmedewerker Onderwijs & ICT en een schoolleider) en vier medewerkers uit het voortgezet onderwijs (een mavo/havo leraar, een vwo leraar (teamleider), een vestigingsmanager en een ict-coördinator). Vier van de zes praktijkexperts (de twee praktijkexperts uit het primair onderwijs en twee praktijkexperts uit het voortgezet onderwijs) hebben literatuurbronnen aangedragen.

Op basis van suggesties van zowel de expert op het gebied van onderwijsonderzoek als de praktijkexperts zijn de bronnen doorzocht die zijn weergegeven in Tabel 2. Bij het doorzoeken van de bronnen is de kernzoekterm *ict* gebruikt en zijn vervolgens artikelen geselecteerd die in de periode 2007-2017 gepubliceerd zijn. Binnen deze selectie is ten slotte gericht gezocht naar artikelen die een overzicht geven van de stand van zaken op het gebied van ict en waarin een of meerdere ict-toepassingen ten behoeve van de regulatie van het leren van leerlingen besproken werden. Uiteindelijk zijn er 12 “grijze” artikelen door de eerste auteur geselecteerd. Het totaal aantal geselecteerde artikelen voor deze overzichtsstudie komt zo neer op 129 wetenschappelijk artikelen en 12 “grijze” artikelen.

Tabel 2. *Overzicht gebruikte bronnen voor het vinden van Nederlandse “grijze” literatuur*

Categorie	Website	Toelichting
Vaktijdschriften	<ul style="list-style-type: none"> • www.didactiefonline.nl • www.van12tot18.nl • www.praxisbulletin.nl 	<p>Vakblad voor het onderwijs</p> <p>Vakblad voor het voortgezet onderwijs</p> <p>Vakblad voor het onderwijs.</p>
Websites van de overheid	<ul style="list-style-type: none"> • www.onderwijsraad.nl • www.rijksoverheid.nl/ministeries/ministerie-van-onderwijs-cultuur-en-wetenschap • www.onderwijsinspectie.nl • www.poraad.nl • www.vo-raad.nl 	<p>O.a. document Doordacht Digitaal</p> <p>O.a. document De Staat van het Onderwijs</p>
Onderwijsadviesbureaus	<ul style="list-style-type: none"> • www.onderwijsmaakjesamen.nl • www.dialogic.nl • www.cps.nl • www.kpcgroep.nl 	
Ondersteuning bij professionele inzet van ict	<ul style="list-style-type: none"> • www.kennisnet.nl • www.schoolinfo.nl <p>Ook: www.leerling2020.nl</p>	<p>Onder andere: document Vier-in-balans-monitor, www.kennisnet.nl/ict-bekwaamheid-leraar, www.kennisnet.nl/digitale-leermiddelen-toetsen</p>
Onderwijsplatforms	<ul style="list-style-type: none"> • www.vives.nl • www.leraar24.nl • www.wij-leren.nl 	Onderwijsinnovatie & ict platform
Curriculum	<ul style="list-style-type: none"> • www.slo.nl • www.curriculum.nu 	
Specifieke ict-toepassingen	<ul style="list-style-type: none"> • https://nl.snappet.org/ • www.muiswerk.nl 	
Overzicht van ict-toepassingen	<ul style="list-style-type: none"> • www.wikiwijs.nl • www.kleppendicht.nl • http://public.atscholen.nl/de_organisatie/ict_innovatie/ipads/Paginas/Apps-in-het-onderwijs.aspx 	Tevens een boek, te bestellen via de website
Internationale ict-beurs	<ul style="list-style-type: none"> • www.bettshow.com 	Elk jaar georganiseerd in Londen

2.2 Analyse van literatuur

Als eerste stap in het analyseren van de literatuur werd per geïncludeerd wetenschappelijk artikel een korte beschrijving gegeven van de ict-toepassing en werd kort beschreven hoe de ict-toepassing werd ingezet, bij welk vak, bij welke doelgroep, in welke context (primair onderwijs/voortgezet onderwijs), welke regulatie (door de leraar, leerling, ict of een combinatie van actoren) door de ict-toepassing werd ondersteund en werd er indien van toepassing een korte beschrijving gegeven van de uitkomstmaten (leerresultaten, motivatie en/of zelfregulerend leren) en resultaten. Op basis van de beschrijvingen werden de artikelen vervolgens ingedeeld in verschillende clusters, groepjes waarin artikelen op basis van

overeenkomsten in type ict-toepassing bij elkaar werden gezet. Zo zijn er binnen de 129 geïnccludeerde artikelen 12 clusters onderscheiden:

1. Oefenprogramma's cognitieve vaardigheden
2. Games
3. Oefenprogramma's metacognitieve vaardigheden
4. E-portfolio
5. Concept map programma's
6. Intelligent tutor systeem
7. Augmented reality applicaties
8. Simulatieprogramma's
9. Blended learning
10. Digitale instructie
11. Interactief whiteboard
12. Programmeer software

In dit proces zijn nog 5 artikelen niet in verdere analyse meegenomen omdat de ict-toepassingen in deze artikelen niet binnen de 12 clusters pasten en op zichzelf stonden. Vervolgens is de Nederlandse "grijze" literatuur geanalyseerd. Indien er in een Nederlands artikel ("grijze" literatuur) een concrete ict-toepassing werd beschreven die paste binnen een van de 12 clusters, dan werd dit artikel aan het betreffende cluster toegevoegd. Drie Nederlandse artikelen zijn aan de clusters toegevoegd. Nederlandse literatuur waarin geen concrete ict-toepassing beschreven werd, maar die algemene informatie gaf over ict-toepassingen in het primair en voortgezet onderwijs werd niet verwerkt in de analyse. Deze werden, waar mogelijk, wel opgenomen in de inleiding en/of discussie. In de inleidingen en discussies van de 110 effectstudies werd per cluster naar verklaringen voor gevonden resultaten gezocht. Deze verklaringen boden input voor het formuleren van werkzame ingrediënten. Ten slotte werd met de clusters de taxonomie opgebouwd.

3. Resultaten: de taxonomie

3.1 Feedback van panel van praktijkexperts

De praktijkexperts werden betrokken bij de ontwikkeling van de taxonomie door hen uit te nodigen voor een bijeenkomst waarin een conceptversie van de taxonomie aan hen werd gepresenteerd en de praktijkexperts om feedback werd gevraagd aan de hand van vier vragen: 1) Voor welke situaties zou de taxonomie gebruikt kunnen worden? 2) Is het overzicht van clusters volledig? 3) Wat voor informatie in de taxonomie is nodig voor praktische toepasbaarheid? 4) Wat zijn jullie ervaringen met ict-toepassingen die – gedeeltelijk – het leerproces van leerlingen overnemen/ondersteunen? De vier vragen werden op een Padlet geplaatst, een online omgeving waarin notities als digitale post-its op een pagina kunnen worden ‘geplakt’. Drie praktijkexperts hebben deelgenomen aan de bijeenkomst, de overige drie praktijkexperts waren verhinderd.

In de feedback viel ten eerste op dat de praktijkexperts aangaven in mindere mate gebruik te maken van literatuur om op de hoogte blijven van ontwikkelingen op het gebied van onderwijs en ict. Voornamelijk wisselen ze ‘good practices’ uit met collega’s of wonen ze onderwijsbijeenkomsten bij, zoals onderwijs- en ict-beurzen. Daarnaast gaan ze gericht op zoek naar middelen en oplossingen als er een nieuwe schoolvisie wordt ontwikkeld of als ze tegen een instructieprobleem aanlopen. Vervolgens wordt er zelf geëxperimenteerd met innovatieve middelen of nieuwe onderwijsmethoden om uit te zoeken wat werkt binnen de eigen school of klas. Om de taxonomie aan te laten sluiten bij de behoeften van de schoolleiders en leraren in de po en vo onderwijspraktijk wordt daarom aangeraden uit te gaan van mogelijke onderwijsdoelstellingen en aan te geven welke ict-toepassingen bij welk doel passen en waarom.

Na het bekijken van de 12 clusters van ict-toepassingen gaven de praktijkexperts aan de clustering vrij volledig te vinden, maar de inzet van kunstmatige intelligentie en toepassingen ter ondersteuning van de ontwikkeling van 21^e eeuwse vaardigheden nog niet in de clusters terug te zien. Ze denken dat deze toepassingen op het moment sterk in opkomst zijn in het onderwijs en raden dan ook aan de taxonomie op een later moment uit te breiden met deze twee type ict-toepassingen. Ten slotte noemden de praktijkexperts een aantal concrete ict-toepassingen die binnen hun school of scholengroep worden ingezet om hun eigen ervaring met ict-toepassingen die – gedeeltelijk – het leerproces van leerlingen overnemen en/of het leerproces van leerlingen ondersteunen, te beschrijven. Ze zouden graag zien dat in de taxonomie een link wordt gelegd tussen de ict-toepassingen die in de literatuur worden onderzocht en de ict-toepassingen die in het Nederlandse onderwijs worden ingezet. Om hieraan tegemoet te komen, is bij het uitwerken van voorbeelden van ict-toepassingen als mogelijk gekozen voor een ict-toepassing die in het Nederlands onderwijs wordt ingezet. Ook wordt in de discussie een link gelegd tussen de uitkomsten van deze overzichtsstudie en informatie uit de Nederlandse artikelen.

3.2 Opbouw taxonomie

Met de informatie in de taxonomie en de bijbehorende tekst wordt antwoord gegeven op de drie onderzoeksvragen van deze studie. In de taxonomie worden de clusters van ict-toepassingen gepresenteerd op basis van gevonden aantal artikelen: eerst wordt het cluster beschreven waarin de meeste artikelen zijn opgenomen, vervolgens het cluster waarin iets minder artikelen zijn opgenomen enzovoort. Per cluster wordt in een tabel het type ict-toepassing dat centraal staat in het cluster genoemd, worden de werkzame ingrediënten beschreven en wordt per werkzame ingrediënt het bijbehorende type sturing gegeven en de uitkomstma(a)t(en) waar dit werkzame ingrediënt invloed op heeft. De artikelen binnen een

cluster zijn genummerd, aan de werkzame ingrediënten/type sturing/uitkomstmaten worden de nummers toegevoegd van de artikelen die als bron hebben gediend voor de betreffende informatie. Binnen de werkzame ingrediënten wordt onderscheid gemaakt in ingrediënten die gekoppeld zijn aan de type ict-toepassing en ingrediënten die van belang zijn voor effectieve implementatie van de ict-toepassing. Deze laatste soort ingrediënten noemen wij randvoorwaarden.

In de tekst behorende bij elke tabel wordt het type ict-toepassing beschreven, worden kenmerken van de geselecteerde studies benoemd en worden de effecten op de uitkomstmaten (positief, neutraal of negatief) en de werkzame ingrediënten die hierin een rol hebben gespeeld, verder uiteengezet. Een positief effect betekent dat de leerlingen in de experimentele groep op de nameting in vergelijking met de voormeting en/of in vergelijking met de leerlingen in de vergelijkingsgroep een significant hoger resultaat hebben behaald. Een negatief effect betekent dat de leerlingen in de experimentele groep op de nameting in vergelijking met de voormeting en/of in vergelijking met de leerlingen in de vergelijkingsgroep een significant lager resultaat hebben behaald. Een neutraal effect betekent dat er geen significant verschil in resultaten is aangetoond tussen voor- en nameting en/of tussen de leerlingen in de experimentele groep en de leerlingen in de vergelijkingsgroep.

3.3. De taxonomie

In de taxonomie worden 12 clusters onderscheiden: oefenprogramma's cognitieve vaardigheden, games, oefenprogramma's metacognitieve vaardigheden, e-portfolio, concept map programma's, intelligent tutor systeem, augmented reality applicaties, simulatieprogramma's, blended learning, digitale instructie, interactief whiteboard en programmeer software.

3.3.1 Oefenprogramma's cognitieve vaardigheden

Beschrijving oefenprogramma's cognitieve vaardigheden

Met oefenprogramma's worden regels inge oefend of vaardigheden getraind waarbij formatief getoetst wordt (*assessment for learning*, Koorsse, Olivier, & Greyling, 2014) als diagnosehulp voor de leraar en om de leerling inzicht te verschaffen in het eigen leerproces (o.a., Konert, Richter, Mehm, Göbel, Bruder, & Steinmetz, 2012). Oefenprogramma's geven directe (al dan niet adaptieve) feedback en bieden opgaven aan die al dan niet adaptief zijn aan kenmerken van de leerling (zoals het kennis- of vaardigheidsniveau van de leerling). Ook komt het voor dat scaffolds (ondersteuning die leerlingen helpt tot ideeën of strategieën te komen om taken uit te voeren die telkens iets moeilijker zijn dan het huidige kennis- en/of vaardigheidsniveau (Simons & Klein, 2007)) en prompts (stukjes informatie die leerlingen helpen te begrijpen wat ze moeten doen en/of hoe ze iets moeten doen om zo bijvoorbeeld een volgende stap te zetten bij het oplossen van een probleem (Thillmann, Künsting, Wirth, & Leutner, 2009) worden gegeven in de oefenprogramma's. Oefenprogramma's worden met name ingezet bij de vakken rekenen (in het basisonderwijs) en wiskunde (in het voortgezet onderwijs), taal/lezen/schrijven en science. Binnen het cluster oefenprogramma's kan onderscheid gemaakt worden in programma's die geheel aansluiten bij een reguliere boekmethode en programma's die naast een reguliere boekmethode kunnen worden ingezet. De directe, met name positieve, feedback in combinatie met de adaptiviteit in veel oefenprogramma's zou zorgen voor hogere leerresultaten en een hogere motivatie bij leerlingen (o.a., Faber, Luyten, & Visscher, 2017; Hattie & Timperley, 2007).

Kenmerken van de geselecteerde studies

Van de 27 geïncludeerde studies werden 11 studies ingezet in het voortgezet onderwijs (vo) en 16 studies in het primair onderwijs (po) (groep 4 t/m 8). De meeste oefenprogramma's betroffen programma's bedoeld voor het reken- (7) en wiskundeonderwijs (5). Zes programma's waren bedoeld voor het taal/lezen/schrijven onderwijs, 4 programma's voor het Science onderwijs, 1 programma werd ingezet in een cursus waarin meer geleerd werd over de eigen cultuur, 1 programma werd ingezet bij het vak geschiedenis en 3 programma's betroffen programma's die in alle vakken zouden kunnen worden ingezet. Omdat de belangrijkste kenmerken van oefenprogramma's bestaan uit de directe (al dan niet adaptieve) feedback en/of scaffolds/prompts en al dan niet adaptieve oefeningen, wordt hiernavolgend per categorie van oefenprogramma's aangegeven hoe de oefenprogramma's in de geïncludeerde studies op deze kenmerken variëren.

Met oefenprogramma's voor rekenen en wiskunde worden rekenkundige/wiskundige regels inge oefend om deze te automatiseren. In 5 van de 12 studies werd een oefenprogramma onderzocht waarin opgaven adaptief aan het niveau van de leerling werden aangeboden. Deze programma's werden met name in het po (4 in het po versus 1 in het vo) ingezet. In de andere 7 studies werd een oefenprogramma onderzocht waarin de opgaven niet adaptief aan het niveau van de leerlingen werden aangeboden. In alle oefenprogramma's was er sprake van directe feedback (alleen goed/fout of goed/fout en uitgebreidere uitleg). In 3 oefenprogramma's werd er naast goed/fout feedback en/of uitgebreidere uitleg ook gebruik gemaakt van scaffolds of prompts. In 1 studie werd een oefenprogramma onderzocht waarin feedback werd gegeven adaptief aan het 'falen', 'gedeeltelijk falen', 'gedeeltelijk slagen' of 'slagen' bij het maken van een opgave. In dezelfde studie, als ook in 2 andere studies, was er sprake van extra aandacht voor zelfregulerend leren, onder andere door voorafgaand aan het werken met een oefenprogramma leerdoelen op te stellen en deze na afloop te evalueren of door de leerlingen te laten aangeven hoe zeker ze van hun antwoord zijn voordat ze feedback krijgen.

Met oefenprogramma's voor taal/lezen/schrijven wordt geletterdheid in de eerste of een tweede taal getraind. Drie van de 6 programma's zijn bedoeld ter ondersteuning van het leren van het Engels als tweede taal. Via 2 van de 6 oefenprogramma's wordt tekstbegrip getraind. Via het laatste oefenprogramma wordt de leesontwikkeling ondersteund. In 4 studies werden oefenprogramma's onderzocht waarin sprake was van adaptiviteit van de inhoud. Enigszins afwijkend van de oefenprogramma's voor rekenen/wiskunde, houdt adaptiviteit in dat leerlingen te lezen teksten krijgen aangeboden passend bij het niveau van geletterdheid en/of de interesse van de leerlingen of dat de leerling met de voor hem/haar zwakke aspecten van geletterdheid aan de slag gaat. In de andere 2 studies werden oefenprogramma's onderzocht waarin geen sprake was van adaptiviteit van de inhoud. In 4 oefenprogramma's werd directe feedback gegeven (alleen goed/fout of goed/fout en uitgebreidere uitleg), in 1 programma werd er geen directe feedback gegeven, maar werden scaffolds of prompts gebruikt. In het laatste programma was er geen sprake van feedback of scaffolds/prompts, maar maakten leerlingen keuzes uit vertalingen van onbekende woorden die ze tegenkwamen in een Engelse tekst en maakten ze aantekeningen die ze uitwisselden met medestudenten.

Met oefenprogramma's voor science worden leerlingen bekend gemaakt met relevante science begrippen en doen ze oefeningen om kennis van deze begrippen en science processen toe te passen en misvattingen uit de weg te ruimen. In deze oefenprogramma's is er in mindere mate sprake van adaptiviteit, slechts in 1 van de 4 studies is een programma onderzocht waarin leeractiviteiten worden aangepast aan het kennisniveau van de leerlingen.

In alle studies is er sprake van directe feedback en/of scaffolds/prompts. Meer dan de andere type oefenprogramma's bevatten oefenprogramma's voor science elementen van andere clusters van ict-toepassingen, zoals games en simulaties.

Het oefenprogramma dat werd ingezet om meer te leren over de eigen cultuur en het oefenprogramma dat werd ingezet in het vak geschiedenis betroffen programma's waarin leerlingen vragen werden voorgelegd om te beantwoorden, in het eerste geval enigszins adaptief (nadat een vraag drie keer correct is beantwoord, wordt deze vraag niet nog een keer gesteld, als alle vragen behorende bij een onderwerp correct zijn beantwoord, dan heeft de leerling dit onderwerp behaald), in het tweede geval niet adaptief. In het eerste geval krijgt de leerling feedback in de vorm van prompts, in het tweede geval krijgt de leerling goed/fout en uitgebreidere feedback. De overige 3 programma's die geschikt zijn om in elk vak ingezet te worden, bestaan uit systemen via welke de leraar materiaal aan leerlingen aanbiedt, feedback geeft en de vorderingen van de leerlingen monitort (leraar kan zorgen voor adaptiviteit van inhoud) (2) ofwel systemen die geheel zelf gegevens van de leerlingen verzamelen, inhoud van het leermateriaal op deze gegevens aanpassen, feedback geven en de vorderingen van de leerlingen monitoren (ict zorgt voor adaptiviteit van inhoud) (1).

In de oefenprogramma's voor rekenen/wiskunde, taal/lezen/schrijven en science is er in alle gevallen sprake van sturing door ict, in de laatste categorie oefenprogramma's is er in 4 van de 5 gevallen sprake van sturing door ict. Ict neemt een deel van de controle over het leerproces van de leerling over door oefeningen aan te bieden aangepast aan bepaalde leerlingkenmerken of door het geven van een vorm van feedback (26 van de 27). In 6 van deze 26 oefenprogramma's wordt het leerproces alléén door ict gestuurd. Het betreffende oefenprogramma verzamelt gegevens van de leerling, past de inhoud van het leermateriaal op de gegevens aan, geeft feedback en monitort de vorderingen van de leerling. In 13 van de 26 oefenprogramma's is er naast sturing door ict ruimte voor sturing door de leerling zelf (maar niet voor sturing door de leraar). De leerling kan bijvoorbeeld uit opgaven kiezen, de volgorde van opgaven bepalen of zelf inschatten of en wanneer hij/zij hulp nodig heeft bij het oplossen van een opgave. In 4 van de 26 oefenprogramma's is er naast sturing door ict ruimte voor sturing door de leraar (maar niet voor sturing door de leerling). De leraar kan bijvoorbeeld bepalen met welke taken de leerlingen in het programma aan de slag gaan, kan instellingen van het programma wijzigen of heeft inzicht in de vorderingen van de leerlingen en kan feedback geven naast feedback door de ict. In 3 van de 26 oefenprogramma's is er naast sturing door ict ruimte voor sturing door zowel de leerling als de leraar. Dit houdt in dat beiden bepaalde keuzes kunnen maken in een oefenprogramma, bijvoorbeeld, de leraar bepaalt met welke opgaven een leerling aan de slag gaat, maar de leerling kan zelf bepalen in welke volgorde hij/zij de opgaven wil maken. In de laatste van de 27 oefenprogramma's is er geen sprake van sturing door ict, maar wordt het leerproces gestuurd door de leerling en de leraar samen. De leraar biedt materiaal aan de leerling aan via het programma, geeft feedback en monitort de vooruitgang van de leerling. Leerlingen kunnen in het programma op eigen wijze aan lessen werken, de eigen vooruitgang monitoren en interacteren met medeleerlingen. Onafhankelijk van het type sturing dat door het oefenprogramma wordt ondersteund, geldt voor alle oefenprogramma's dat via de ict zowel leraren als leerlingen inzicht wordt gegeven in het leerproces.

Tabel 3. *Werkzame ingrediënten oefenprogramma's cognitieve vaardigheden*

Ict toepassing	Wat werkt?	Sturing			Uitkomsten		
		Ict	Leer-ling	Leraar	Leer-resultaten	Zelf-regulerend leren	Motivatie
Oefenprogramma's cognitieve vaardigheden (27)	Werkzame ingrediënten ict-toepassing:						
	LEERRESULTATEN Directe feedback geeft leerlingen inzicht in het eigen leerproces. ^{1,2,4,5,6,8,12}	X			X ^{1,2,3,5,6,8,12}		
	Met adaptieve oefeningen wordt beter ingespeeld op de instructiebehoeften van leerlingen. ^{3,6,7,14}	X			X ^{3,6,7,14}		
	Adaptiviteit zorgt voor een passende belasting van het werkgeheugen. ¹²	X			X ¹²		
	Interactie met oefenprogramma's, onder andere via het gebruik maken van scaffolds/prompts, maakt leren aantrekkelijker, maakt leerlingen meer bewust van de eigen kennis en vaardigheden en maakt hen actiever. ^{3,10,11}	X	X		X ^{3,10,11}		
	Een hogere intensiteit van gebruik betekent meer oefening. ^{6,7}	X	X		X ^{6,7}		
	ZELFREGULEREND LEREN Extra aandacht voor het stimuleren van de inzet van metacognitieve controle strategieën. ^{8,19}	X	X		X ^{8,19}	X ^{8,19}	
	MOTIVATIE Veelal positieve feedback kan gevoelens van competentie bevorderen. ^{3,6}	X					X ^{3,6}
	Feedback die niet alleen gericht is op de inhoud van het antwoord op een opgave, maar (ook) op hoe de opgave beantwoord is (antwoord is incorrect/gedeeltelijk incorrect/gedeeltelijk correct/correct). ⁸	X	X				X ⁸
	Adaptieve oefeningen bieden passende belasting van het werkgeheugen. ^{3,6,16}	X					X ^{3,6,16}
	Werkzame ingrediënten implementatie: Het informeren van leerlingen over hoe en waarom een oefenprogramma adaptief is. ¹⁶						
	Ict-randvoorwaarden, zoals voldoende materiaal en een goede (draadloze) internetconnectie. ¹²						
	Professionalisering van leraren. ¹⁴						
	Feedbackomstandigheden in orde (feedback op de juiste onderdelen van het leren, de leraar beschikbaar voor vragen). ¹⁷						
	Voldoende uitdaging bij het digitaal oefenen. ¹⁷						
Voldoende tijd om aan het gebruik van het oefenprogramma te wennen en om voldoende met het programma te kunnen werken. ¹⁶							

- ¹ Potocki, Ecalle, & Magnan, 2013
- ² Maier, Wolf, & Randler, 2016
- ³ Hwang & Chang, 2011
- ⁴ Rodrigues & Oliveira, 2014
- ⁵ Chen & Chen, 2009
- ⁶ Faber, Luyten, & Visscher, 2017
- ⁷ Haelermans & Ghysels, 2017
- ⁸ Dresel & Haugwitz, 2008
- ⁹ Rutherford, 2017
- ¹⁰ Kara & Yeşilyurt, 2008
- ¹¹ Tekos & Solomonidou, 2009
- ¹² Hsu, Hwang, & Chang, 2013
- ¹³ Cecilia, Mascio, Tarantino, & Vittorini, 2014
- ¹⁴ Luo, Lee, & Molina, 2017
- ¹⁵ Abrami, Wade, Lysenko, Marsh, & Gioko, 2016
- ¹⁶ Vandewaetere, Vandercruysse, & Clarebout, 2012
- ¹⁷ Drijvers, Doorman, Kirschner, Hoogveld, & Boon, 2014
- ¹⁸ Nedungadi, & Raman, 2012
- ¹⁹ Lao, Cheng, Huang, Ku, & Chan, 2017
- ²⁰ Konert, Richter, Mehm, Goebel, Bruder, & Steinmetz, 2012
- ²¹ Tosheva, & Martinovska, 2012
- ²² Yarandi, Jahankhani, & Tawil, 2013
- ²³ Kuiper, & De Pater-Sneep, 2014
- ²⁴ Siozos, Palaigeorgiou, Triantafyllakos, & Despotakis, 2009
- ²⁵ Ebner, & Schoen, 2013
- ²⁶ Lin, Tseng, Weng, & Su, 2009
- ²⁷ Koorsse, Olivier, & Greyling, 2014

Wat werkt

In 19 studies zijn de effecten van oefenprogramma's op de uitkomstmaten onderzocht (rekenen/wiskunde: 7 van de 12, taal/lezen/schrijven: 6 van de 6, science: 3 van de 4, andere oefenprogramma's: 3 van de 5). De resultaten en werkzame ingrediënten zijn samengevat weergegeven in Tabel 3.

Leerresultaten

In 18 studies zijn effecten op leerresultaten onderzocht (rekenen/wiskunde: 6 van de 7, taal/lezen/schrijven: 6 van de 6, science: 3 van de 4, andere oefenprogramma's: 3 van de 5). Vijftien^{1 t/m 15} van deze studies hebben positieve resultaten opgeleverd.

Directe feedback geeft leerlingen inzicht in het eigen leerproces en biedt zo de mogelijkheid tijdens het leren leerstrategieën aan te passen.^{1,2,4,5,6,8,12} Het lijkt daarbij weinig uit te maken of er goed/fout en/of uitgebreidere feedback wordt gegeven (o.a., #2). De behoefte aan feedback kan per leerling verschillen. Bijvoorbeeld, uitgebreidere feedback kan te veel zijn als de leerling bij het beantwoorden van de vragen al veel moet lezen of als de leerling via alleen goed/fout feedback al voldoende leert.

Door **adaptieve oefeningen wordt beter ingespeeld op de instructiebehoeften van leerlingen.**^{3,6,7,14} Daarnaast wordt in #12 genoemd dat **adaptiviteit zorgt voor een passende belasting van het werkgeheugen.** Zowel laag presterende als hoog presterende leerlingen worden zowel voldoende ondersteund als voldoende uitgedaagd. Effecten van adaptiviteit op leerresultaten zijn echter gemixt. Bijvoorbeeld, in #7 lijkt adaptiviteit wel van invloed te zijn geweest op leerprestaties, terwijl in #16 er geen verschil in leerprestaties van leerlingen werd gevonden tussen een adaptieve en een non-adaptieve versie van het betreffende oefenprogramma. In #6 wordt geconcludeerd dat feedback bij heeft gedragen aan positieve effecten op leerresultaten, maar dat de bijdrage van adaptieve oefeningen aan positieve effecten op leerresultaten nog onduidelijk is.

Interactie met oefenprogramma's, onder andere via het gebruik maken van scaffolds/prompts, maakt leren aantrekkelijker, maakt leerlingen meer bewust van de eigen kennis en vaardigheden en maakt hen actiever.^{3,10,11} In #3 bijvoorbeeld, biedt het oefenprogramma niet het correcte antwoord aan als feedback op incorrect beantwoorde vragen, maar worden er hints gegeven om de leerling te helpen zelf het juiste antwoord te vinden. In #11 kunnen leerlingen op eigen tempo door de oefenprogramma's heenlopen en worden wetenschappelijke concepten visueel en aantrekkelijker gepresenteerd (want leerlingen kunnen met de presentaties interacteren), wat leerlingen helpt bij het herzien van hun initiële (foutieve) ideeën over wetenschappelijke concepten en processen. Via oefenprogramma's zoals beschreven in #3 en #11 leren leerlingen hoe ze zelf kennis en vaardigheden kunnen opdoen, zonder instructie van de leraar.

Een hogere intensiteit van gebruik betekent meer oefening.^{6,7} In #6 en #7 wordt uitgelicht dat oefenprogramma's over het algemeen meer oefeningen aanbieden dan leerboeken en dat er via oefenprogramma's meer opgaven in minder tijd kunnen worden gemaakt dan via het maken van oefeningen op papier. Dit is met name voordelig voor leerlingen die hoog presteren omdat de leraar meer mogelijkheden heeft om deze leerlingen verder te kunnen laten werken/extra werk te laten doen als zij dit nodig hebben (#6). Een kanttekening hierbij is dan niet alleen het aantal oefeningen dat gemaakt wordt van invloed is op de leerresultaten, maar ook hoe er wordt geoefend (het oefenen op zichzelf kan leerresultaten positief beïnvloeden, maar wordt er te snel door de oefeningen heen gegaan, dan kan er sprake zijn van een negatieve invloed op leerresultaten) (#7).

Zelfregulerend leren

In 2 studies zijn effecten op zelfregulerend leren onderzocht (rekenen/wiskunde: 2). Beide studies hebben positieve resultaten opgeleverd.^{8,19} Kenmerkend voor deze studies is dat er naast het oefenprogramma waarin al dan niet adaptieve oefeningen met directe feedback wordt aangeboden, **extra aandacht wordt besteed aan het stimuleren van de inzet van metacognitieve controle strategieën**. Mogelijk is dit nodig omdat er in het geval van veel controle over het leerproces door ict weinig ruimte overblijft voor zelfregulerend leren processen. In #8 wordt feedback gegeven adaptief aan het ‘falen’, ‘gedeeltelijk falen’, ‘gedeeltelijk slagen’ of ‘slagen’ bij het maken van een opgave. Een combinatie van deze adaptieve feedback en het stellen van metacognitieve controle vragen leidde tot een verbetering van de inzet van metacognitieve controle strategieën, niet de adaptieve feedback alleen. In #19 **formuleerden leerlingen leerdoelen** voordat ze aan de slag gingen met het oefenprogramma. Leerlingen die sterk gemotiveerd waren deze leerdoelen te behalen lieten een hoger niveau van zelfregulatie, kritisch denken en regulatie van inspanning zien tijdens het werken met het oefenprogramma dan leerlingen die weinig gemotiveerd waren de leerdoelen te behalen.

Motivatie

In 4 studies zijn effecten op motivatie onderzocht (rekenen/wiskunde: 2, taal/lezen/schrijven: 1, andere oefenprogramma's: 1). Al deze studies hebben positieve resultaten opgeleverd.^{3,6,8,16} Omdat de **feedback die in oefenprogramma's gegeven wordt veelal positief is, zou dit gevoelens van competentie kunnen bevorderen** en zo de motivatie voor leren vergroten.^{3,6} De motivatietraining in #8 met behulp van **adaptieve feedback**, dat wil zeggen, **feedback die niet alleen gericht is op de inhoud van het antwoord op een opgave, maar (ook) op hoe de opgave beantwoord is (antwoord is incorrect/gedeeltelijk incorrect/gedeeltelijk correct/correct)**, had als doel de leerling succes en falen aan de juiste variabelen toe te laten wijzen (succes aan het eigen presteren, falen aan gevarieerde variabelen) om zo **het zelfbeeld in het onderwijs te verbeteren, gevoelens van hulpeloosheid te verminderen en de kwaliteit van het leerproces te verhogen**. Deze adaptieve feedback kan op de korte termijn ook leerresultaten positief beïnvloeden. Voor effecten op leerresultaten op langere termijn moet de feedback continue gehandhaafd worden.

De passende belasting van het werkgeheugen die adaptieve oefeningen kunnen bieden (elke leerling krijgt voor hem/haar uitdagende oefeningen passend bij het eigen niveau) bevordert niet alleen de leerresultaten, maar ook de motivatie.^{3,6,16}

Implementatie

Twee studies hebben neutrale resultaten (taal/lezen/schrijven: 1¹⁶, andere oefenprogramma's: 1¹⁸) en een studie heeft negatieve resultaten opgeleverd op leerresultaten (rekenen/wiskunde: 1¹⁷). Naast discussie over de experimentele opzet van deze studies, wordt als verklaring voor de neutrale/negatieve resultaten genoemd dat leerlingen wellicht niet **voldoende tijd** hadden, zowel om te wennen aan het gebruik van het oefenprogramma als om voldoende met het oefenprogramma te werken (#16). Ook worden de **feedbackomstandigheden** en de **kwaliteit van het digitaal oefenen versus het oefenen op papier** bediscussieerd. In #17 werd feedback gegeven op de toegepaste probleemoplossingsstrategie en niet op de procedure waarmee de leerling tot de oplossing kwam. Daarbij werkten leerlingen individueel met het programma op school of thuis, waardoor de leraar dikwijls niet beschikbaar was voor vragen of feedback tijdens het werken met het programma. Dit zouden geen optimale feedbackomstandigheden zijn. Daarnaast wordt mogelijk het digitaal werken als eenvoudiger beschouwd dan het werken met pen en papier, waardoor leerlingen minder inspanning leveren bij het digitaal werken dan bij het werken met pen en papier. Het digitaal werken zou zo

prestaties op eenvoudigere opgaven bevorderen, maar weinig effectief zijn voor prestaties op complexere opgaven.

In #12 wordt genoemd dat **ict-randvoorwaarden, zoals voldoende materiaal en een goede (draadloze) internetconnectie**, belangrijk zijn voor implementatie van in ieder geval het oefenprogramma dat onderzocht werd in de betreffende studie. In #14 wordt genoemd dat **professionalisering van leraren** op het gebied van (adaptieve) oefenprogramma's effectiviteit van de implementatie ten goede komt. Ten slotte werd er in #16 gekeken naar effecten van perceptie van adaptiviteit. Mogelijk kan **het informeren van leerlingen over hoe en waarom een oefenprogramma adaptief is** de motivatie van leerlingen voor het leren via een oefenprogramma positief beïnvloeden.

Voorbeeld van een oefenprogramma voor cognitieve vaardigheden:

In de studie van Faber et al. (2017) wordt Snappet ingezet bij het vak rekenen. Leerlingen maken opgaven uit het reguliere curriculum op hun eigen Snappet tablets. Direct nadat ze een opgave hebben gemaakt, ontvangen leerlingen goed/fout feedback. De leerling kan de eigen voortgang volgen, correct gemaakte opgaven worden weergegeven met groene blokjes, incorrect gemaakte opgaven worden weergegeven met rode blokjes, gecorrigeerde opgaven worden weergegeven met oranje blokjes en nieuwe, nog niet gemaakte opgaven worden weergegeven met blauwe blokjes. Naast opgaven die horen bij de betreffende les, kunnen leerlingen aan plus-opgaven werken. Deze opgaven zijn adaptief aan het niveau van de leerling. Het vaardigheidsniveau van de leerling wordt telkens bepaald op basis van antwoorden op voorgaande afgeronde opgaven. De leraar bepaalt of leerlingen aan de opgaven behorende bij de les, de plus-opgaven of aan beiden werken. Gewoonlijk werken leerlingen eerst aan de opgaven behorende bij de les en gaan vervolgens verder met de plus-opgaven. Leraren volgen de vorderingen van de leerlingen via het dashboard. Leraren kunnen opgaven voor leerlingen selecteren en de vorderingen volgen van een individuele leerling of van de hele klas. Daarnaast kunnen leraren kiezen voor de quiz functie, een timer aanzetten of instructievideo's laten zien.

3.3.2 Games

Beschrijving games

Sinds de jaren '80 en '90 wordt het gebruik van games in het onderwijs populair. Educatieve games hebben het potentieel om een krachtige leeromgeving te bieden voor leerlingen vanwege de volgende redenen (Oblinger, 2004): a) ze zijn vaak gebaseerd op actief, ervaringsgericht of probleemgestuurd leren, b) ze activeren voorkennis van leerlingen omdat dergelijke kennis noodzakelijk is om verder te komen in het spel, c) ze geven onmiddellijke feedback als leerlingen een fout hebben gemaakt, d) ze bieden de mogelijkheid voor self-assessment vanwege het mechanisme van het verkrijgen van scores en het behalen van een volgend level, en e) steeds vaker worden de spellen gespeeld in een groep van spelers en daarmee benadrukken ze de sociale component van leren. Om bepaalde instructieve doeleinden te bereiken, dienen games te voldoen aan de volgende design principes: regels, duidelijke en uitdagende doelen, een fantasie- of verhaallijn gelinkt aan de leeractiviteiten, progressieve moeilijkheidsniveaus, mogelijkheid voor leerlingen om interactie met de game te hebben (dit wordt gezien als *student control*), onzekere uitkomsten en onmiddellijke, constructieve feedback (Prensky, 2001). Daarnaast bieden sommige games een authentieke, virtuele context waarbinnen de leerlingen bepaalde vaardigheden kunnen oefenen. Doordat veel educatieve games directe feedback geven op het leerproces wordt verondersteld dat daardoor leerlingen bewust worden van hun competenties en dat dit de leeruitkomsten en zelfregulerend leren kan promoten. De competitieve elementen (tegenspelers of eigen

highscore verbeteren) en de authentieke, virtuele context worden aangedragen als motiverend voor leerlingen.

Kenmerken van de geselecteerde studies

Binnen de 20 studies die voor deze review zijn geselecteerd, werden er 7 games gespeeld in het vo, 3 in het po en 2 voor leerlingen met een leeftijd tussen po en vo (middle school). In totaal zijn er 16 studies waarin specifieke vakkennis en/of vaardigheden centraal staan (aardrijkskunde, geschiedenis, wiskunde, biologie, science en computer science). De overige 4 studies rapporteren over een game waarin interdisciplinaire kennis en/of vaardigheden of vakoverstijgende kennis (mediabewustzijn) centraal staat. De games die gespeeld worden variëren in complexiteit; er zijn spellen die vrij simpel in design zijn, waarbij leerlingen oefenen met bepaalde wiskunde denkstrategieën. Leerlingen moeten puzzels oplossen en krijgen feedback op hun oplossingen. Er zijn ook spellen die uit meerdere werelden, niveaus of levels bestaan en waarin het aantal features rijk is. Zo zijn er bijvoorbeeld 2 studies met een spel waarin een detective verhaallijn centraal staat. Leerlingen moeten kennis uit verschillende contexten analyseren en integreren om tot een oplossing (wie heeft de moord gepleegd?) te komen. De complexere spellen worden vaak in groepjes gespeeld, terwijl de spellen waarin kennis en vaardigheden worden geoefend vaak individueel worden gespeeld. Er zijn tevens 4 studies die locatie-onafhankelijk (mobile) leren promoten; in 3 studies lopen leerlingen door een stad en moeten op locatie bepaalde puzzels oplossen en in 1 studie wordt er gewerkt met augmented reality waarbij AR-markers in het lokaal hangen en leerlingen telkens op zoek moeten naar de volgende aanwijzing in het lokaal.

Bij 11 van de 20 studies worden de leeractiviteiten door ict aangestuurd (zie Tabel 4).

Leerlingen worden gevraagd het spel te spelen en er is vervolgens nauwelijks sturing van de leraar of leerling over welke leerstof, volgorde of moeilijkheid er wordt gespeeld. Dat wordt door de game bepaald, die vaak in moeilijkheidsniveau stijgt naarmate de leerling verder gevorderd is in het spel. De leraar is bij 5 spellen echt afwezig omdat het spel buiten de lessen wordt gespeeld (huiswerk of summer school). Er zijn 8 studies waarin, naast ict, de leerling ook sturing heeft in het spel. De leerling heeft bijvoorbeeld toegang tot extra bronnen of een helpdesk en kan daarmee zichzelf verrijken van kennis om het spel uit te spelen. Of de leerling moet binnen het spel reflecteren op wat goed en minder goed gaat en krijgt daarmee inzicht in het eigen leerproces. De 2 studies waarin ook de leraar controle heeft in het spel, zijn spellen waarbij de leraar de inhoud van de puzzels kan aanpassen aan het curriculum en waarbij de leraar dit doet op basis van instructie-/leerbehoefte van leerlingen.

Tabel 4. *Overzicht van sturing en leerresultaten in de geïncludeerde studies in het games cluster*

Ict toepassing	Sturing	Leerresultaten	ZRL	Motivatie
Games (11)	Ict controle (11) #1, #4, #5 #7, #10, #12, #13, #14, #16, #17, #18	3x positief 6x neutraal 2x gemixt	1 x neutraal	4x positief 2x neutraal
	Leerling controle + ict controle (8 ^a) #2, #3, #9, #11, #15, #19, #20, #21	4x positief 1x gemixt	1x positief	4x positief 1x neutraal
	Leraar controle + ict controle (1) #8			1x positief
	Leraar controle + leerling controle (1) #6		1x positief	

^a Studie #21 bevatten een casestudy zonder systematische evaluatie; geen uitkomsten van opgenomen.

In Tabel 5 staan de werkzame ingrediënten van het games cluster beschreven.

Tabel 5. *Werkzame ingrediënten games*

Ict toepassing	Wat werkt?	Sturing			Uitkomsten		
		Ict	Leerling	Leraar	Leerresultaten	Zelf-regulerend leren	Motivatie
Games (20)	Werkzame ingrediënten ict-toepassing:						
	LEERRESULTATEN Game zorgt door competitieve element voor doelgerichtheid (goede antwoorden halen, volgende level halen) ^(1,3,7,10,13)	X ^{1,3,7,10,13}	X ³		X ^{1,3,10,13}		X ^{1,3,7}
	Wanneer een game vaker gespeeld wordt (herhaling), worden leerling vaker blootgesteld aan de lesmaterialen ^(1,13)	X ^{1,13}			X ^{1,13}		
	Een game moet niet te veel kenmerken hebben of een complexe interface hebben, want dat kan afleiden ^(5,8,9)	X ^{5,8,9}	X ⁹	X ⁸			X ⁸
	Game levert directe feedback op de prestaties van leerlingen ^(1,3,8,14,17)	X ^{1,3,8,14,17}	X ³	X ⁸	X ^{1,3,17}		X ^{1,3,8,14}
	Wanneer leerlingen samenwerken aan een game, dan kan het toevoegen van competitieve elementen averechts werken op de prestaties (m.n. voor laagpresterende leerlingen) ⁽¹⁸⁾	X ¹⁸					
	MOTIVATIE Game moet binnen een betekenisvolle, authentieke context gespeeld worden, want dat vergroot de interesse van leerlingen ^(2,14,19)	X ^{2,14,19}	X ^{2,19}		X ²		X ^{14,19}
	Om motivatie- en prestatie effecten te bereiken dient een game lang genoeg gespeeld te worden (langdurige periode). ^(5,11,16)	X ^{5,11,16}	X ¹¹		X ¹¹		X ¹⁶
	Om motivatie effecten te bereiken dient een simpele game niet te lang gespeeld te worden (verveling). Om dit te voorkomen moet de game complexer gemaakt worden: oplopen in moeilijkheid/ verschillende inhouden bevatten ⁽²⁰⁾		X ²⁰				X ²⁰
	Wanneer leerlingen binnen de game autonoom kunnen opereren (verkennen/ navigeren/ manipuleren / construeren) vergroot dit ervaring van leerling controle en daarmee leerlingmotivatie ^(13,19,20)	X ^{13,19}	X ^{19,20}				X ^{19,20}
Wanneer een game waarbij leerlingen in groepjes samenwerken in het spel een <i>mindtool</i> (om nieuw geleerde content overzichtelijk weer te geven) integreert, levert dit positieve effecten op motivatie/ prestatie op ¹⁵	X ¹⁵	X ¹⁵		X ¹⁵		X ¹⁵	

	ZELFREGULATIE Visualisatie van het gedrag van leerlingen binnen de game (bijv. tijd besteed aan opdracht, scores), kan de leraar en leerling inzicht bieden in leerproces ⁽⁶⁾		x ⁶	x ⁶		X ⁶		
	Wanneer ZRL prompts aangeboden worden in een game, dan moet dit gepaard gaan met instructie om self-explanation aan te leren ⁽⁴⁾	X ⁴						
	Werkzame ingrediënten implementatie:							
	Belang dat de vakspecifieke game aan te passen is voor de leraar zodat deze de puzzels/inhoud kan laten aansluiten op het curriculum ^(1,6,8)	x ^{1,8}	x ⁶	X ^{6,8}		X ⁶	X ⁸	
	Leerlingen met enige game-ervaring profiteren (leerresultaten) bij het spelen van complexe games ⁽⁹⁾	x ⁹	x ⁹		X ⁹			
	De (wiskunde)uitdagingen in de game waren niet gematcht met de competentieniveaus van de leerlingen, waardoor leerlingen antwoorden gingen gokken. De game moet plezierig uitdagend zijn. ¹⁴	X ¹⁴						

¹ Mavridis, Katmada, & Tsiatsos, 2017

² Dourda, Bratitsis, Griva, & Papadopoulou, 2014

³ Papastergiou, 2009

⁴ Hsu & Tsai, 2013

⁵ Annetta, Minogue, Holmes, & Cheng, 2009

⁶ Melero, Hernandez-Leo, Sun, Santos, & Blat, 2015

⁷ Furio, Gonzalez-Gancedo, Juan, Segui, & Rando, 2013

⁸ Katmada, Mavridis, & Tsiatsos, 2014

⁹ Jong, 2015

¹⁰ Admiraal, 2015

¹¹ Huizinga, Admiraal, Akkerman, & Ten Dam, 2009

¹² Castellar et al

¹³ Kebritchi et al

¹⁴ Ke, 2008

¹⁵ Sung & Hwang 2013

¹⁶ Chuang & Chen 2009

¹⁷ Ku, Chen, Wu, Lao & Chan, 2014

¹⁸ Ter Vrugte et al., 2015

¹⁹ Tüzün et al 2009

²⁰ Vos, van der Meijden & Denessen, 2011

²¹ Squire & Jan, 2007

Wat werkt

Het merendeel van de studies rapporteren positieve effecten op motivatie (9 van 12). De effecten op leerprestaties zijn minder eenduidig (7 van 16 positief). De overige studies rapporteren neutrale resultaten, waarbij de leerlingen in de interventiegroep eenzelfde leeruitkomst of motivatie bereiken als de leerlingen in de vergelijkingsgroep. Zelfregulerend leren werd in 3 studies gemeten in de vorm van strategie gebruik (positief, #20), self-assessment (positief, #6), en metacognitief bewustzijn (neutraal, #14).

Leerresultaten

Bij het ontbreken van een effect op leerresultaten wordt verklaard dat dit te maken heeft met de korte tijdsduur waarmee de leerlingen in aanraking kwamen met de game, leerlingen te weinig game-ervaring hadden of omdat er een heldere instructie ontbrak vooraf (door de game of de leraar) voor leerlingen om te weten voor welke kennis/vaardigheden ze de game konden gebruiken en inbedding van de game in het curriculum ontbrak. Wat betreft werkzame ingrediënten van games valt op dat het **competitieve element** ervoor zorgt dat leerlingen een sterkere doelgerichtheid laten zien; ze willen de stof begrijpen om zo correcte antwoorden te geven in de game en daarmee hun medeleerlingen af te kunnen troeven of om een volgend niveau in het spel te behalen. Een gemaakte fout in het spel zorgt ervoor dat je de opgave opnieuw moet maken voordat je verder kan in het spel, of dat je feedback krijgt op de gemaakte fout. **Feedback en herhaling** zorgen ervoor dat leerlingen vaker worden blootgesteld aan de lesmaterialen en concepten beter leren begrijpen. Van belang voor het leereffect is dat de **game niet te veel kenmerken of een complexe interface moet** hebben; dit kan afleiden van het bereiken van leerdoelen. Veel games hebben naast competitie een **sociale component** omdat leerlingen in groepjes samenwerken binnen de opdracht en daar meer van leren dan individueel doordat leerlingen hun keuzes aan elkaar moeten uitleggen, hun denkproces expliciet wordt gemaakt en gelijk wordt getoetst. In één studie is onderzocht (#20) dat samenwerking en competitie binnen een wiskunde-game een averechts effect kan hebben op de prestaties (m.n. voor laagpresterende leerlingen) als ze geen onderlinge afhankelijkheid ervaren voor het slagen van de samenwerkingsopdracht. Wanneer de game waarbij leerlingen in groepjes samenwerken in het spel een **mindtool (om nieuw geleerde content overzichtelijk weer te geven)** integreert, levert dit positieve effecten op prestaties en motivatie op.

Zelfregulerend leren

Slechts in 3 studies is zelfregulerend leren gemeten, maar in andere studies (#15 en #4) zijn tools ingezet om zelfregulerend leren te stimuleren. Op basis van deze 5 studies zijn ingrediënten gedestilleerd. **Visualisatie van het gedrag van leerlingen** binnen de game (bijv. tijd besteed aan opdracht, scores), kan de leraar en leerling inzicht bieden in leerproces en potentieel het bewustzijn over leerstrategieën vergroten. Wanneer ZRL prompts aangeboden worden in een game, dan moet dit gepaard gaan met instructie om *self-explanation* aan te leren. Hoewel, in de studie (#4) waarin dit is onderzocht geen positieve effecten zijn gemeten, beargumenteren de auteurs dat dit komt omdat de prompts te kort aangeboden werden, niet vergezeld waren van instructie om self-explanation aan te leren, en elke keer een prompt na een fout de flow experience verminderde (waardoor leerlingen het niet meer serieus invullen). Dergelijke ZRL prompts op zich zijn dus niet effectief.

Motivatie

De studies waar positieve resultaten op motivatie werden gerapporteerd schreven dit onder andere toe aan a) het **competitieve en doelgerichte karakter** (leerlingen zijn gemotiveerd om volgende level te bereiken), b) het aanbieden van **authentieke, betekenisvolle leeromgevingen** binnen de game, en c) **de duur** waarmee de game werd gespeeld (lang

genoeg om erdoor gegrepen te raken, maar ook weer niet te lang om verveeld te raken). Verder werden studies waarin de leerling veel controle had in het spel en **autonoom kon opereren** (bijv. zelf de virtuele wereld verkennen of zelf een game ontwikkelen) dit de leerlingmotivatie kon stimuleren. In 1 studie waar interactie met de leeromgeving aanwezig was (#13) resulteerde dit niet in hogere mate van motivatie, maar wel in verbeterde leerprestaties. Uit de kwalitatieve data van deze studie kwam daarnaast wel naar voren dat leerlingen de game effectief vonden vanwege de combinatie van leren en ‘fun’ en het verkennende of avontuurlijke karakter van de game.

Implementatie

De studies zijn weinig expliciet over hoe de game geïntegreerd werd binnen de schoolcontext. Dit omdat – zeker de oudere studies (2007-2009) – vooral geïnteresseerd waren in de vraag ‘werkt een game-based learning environment motivatie/prestatie verhogend voor leerlingen ten opzichte van traditioneel onderwijs?’. Deze studies rapporteren geen procesuitkomsten of een uitgebreide beschrijving van de implementatie van de game in de praktijk. De studies die hier wel over schrijven beschrijven dat bij het implementeren rekening gehouden moet worden met individuele verschillen tussen leerlingen. **Leerlingen met game-ervaring profiteren** bij het spelen van complexe spellen (d.w.z. met verschillende werelden, rollen, identiteiten) ten opzichte van leerlingen die nauwelijks game-ervaring hebben. Het spel moet daarnaast **goed aansluiten bij de competentieniveaus van leerlingen**. Wanneer het spel te moeilijk is gaan leerlingen antwoorden gokken (efficiëntie in het spel houdt in: vaker proberen) en leren ze er weinig van. Wanneer het te simpel is raken ze erop uitgekeken; de game moet **plezierig uitdagend** zijn. Voor leraren is het belangrijk om de game goed in te leiden vooraf en achteraf (**instructie/debriefing**) zodat leerlingen begrijpen welke voorkennis ze kunnen gebruiken en welke leerdoelen ermee bereikt worden. Verder is er een taak voor leraren weggelegd wanneer een **vakspecifieke game aan te passen** is door het zelf toevoegen van puzzels/inhoud; de opgaven dienen goed aan te sluiten op het curriculum en de voorkennis van leerlingen.

3.3.3 Oefenprogramma’s metacognitieve vaardigheden

Beschrijving Oefenprogramma’s metacognitieve vaardigheden

Deze programma’s zijn er specifiek op gericht metacognitieve vaardigheden te trainen. Tools helpen bij het plannen, monitoren en evalueren van het werk. Dit gebeurt door het visueel representeren van het leerproces en/of het geven van prompts waarmee de inzet van zelfregulerend leren strategieën wordt gestimuleerd.

De volgende elementen kunnen bijdragen aan het oefenen van metacognitieve vaardigheden; eigen leerdoelen opstellen, monitoring van zelfregulerend leren strategieën, zelfevaluatie bijvoorbeeld door zelf-assessment (nagaan of leerdoelen zijn bereikt), en feedback op het leerproces (e.g., Alevan & Koedinger, 2002; Paris & Paris, 2001; Zimmerman, Bonner, & Kovach, 1996).

Kenmerken van de geselecteerde studies

Binnen de 17 studies die voor deze review zijn geselecteerd, werd er 12 keer een toepassing geïmplementeerd in het vo, 4 keer in het po en 1 keer in po/vo. In Tabel 6 wordt een overzicht gegeven van de elementen die aanwezig zijn in de 9 studies om metacognitieve vaardigheden te trainen. Zo valt op dat de studies variëren wat betreft de ondersteuning van verschillende fasen van zelfregulerend leren (i.e., forethought, monitoring, assessment/ reflection, cf. Zimmerman). Voor alle studies geldt dat de leerling controle heeft op het leerproces, maar in een aantal gevallen heeft ook de leraar een rol (biedt instructie aan, controleert het leerproces) en soms speelt ook de ict toepassing zelf een rol (vaakst voorkomend: aanbieden van

prompts). De studies variëren ook wat betreft inhoud. Twee studies uit Taiwan betroffen het vergroten van leesvaardigheid van Engels, 11 studies gebruikten een tool voor bèta-vakken (wiskunde, natuurkunde, science), en twee studies betroffen een tool waar de leraar zelf content voor kon aandragen. Een dergelijke ‘algemene’ tool werd beschreven in het artikel van Steiner en collega’s (2009), maar niet onderzocht op (meta)cognitieve of affectieve effecten. Daarom is dit artikel niet meegenomen in de beantwoording van de vraag ‘wat werkt?’.

Tabel 6. *Kenmerken van de ict-toepassingen wat betreft metacognitieve vaardigheden training*

Studies	ICT- toepassing	Leerdoelen en planning	Monitoring	Feedback & toetsing	Reflectie	ict	student	docent
Steiner et al (2009)	iClass	x		x	x	x	x	x
Chen et al. (2014)	digital reading annotation system (DRAS)		x	x		x	x	x
Chen & Huang (2014)	attention-based self-regulated learning mechanism (ASRLM)	x	x	x		x	x	x
Shih et al. (2010)	Scaffolding support in trainen van ZRL vaardigheden	x	x	x	x		x	x
Wang (2011)	Peer-Driven Assessment module van het Web-based Assessment en Test Analysis (PDA-WATA)			x			x	
Kramarski & Dudai (2009)	Socially Shared Online Inquiry forum		x	x		x	x	x
Zhang & Quintana (2012)	Digital Idea-Keeper	x	x	x	x	x	x	
Pol et al. (2009)	Physhint.		x	x			x	
Gresch et al. (2017)	Decision making tool in science, technology society and environment (STSE) onderwijs	x		x	x		x	
Butler & Lumpe (2008)	Artemis, scaffolding tool		x				x	x
Manlove et al. (2007; 2009)	Process Coordinator	x	x			x	x	
Molenaar et al. 2011	Ontdeknet	x	x			x	x	
Zydney (2008; 2010)	Polution Solution		x		x	x	x	
Zhang et al (2015)	SeasonSim	x	x		x	x	x	

Tabel 7. *Werkzame ingrediënten oefenprogramma's metacognitieve vaardigheden*

Ict toepassing	Wat werkt?	Sturing			Uitkomsten		
		Ict	Leer- ling	Leraar	Leer- resultaten	Zelf-regulerend leren	Motivatie
Metacognitieve oefenprogramma's (17)	Werkzame ingrediënten ict-toepassing:						
	Leerresultaten						
	SCAFFOLDS/PROMPTS Regulatief/ organisatie/ structuur prompts Regulatieve/organisatie prompts vergroten conceptuele kennis van leerlingen ⁽¹³⁾	x	x		X ¹³		
	Regulatieve/organisatie prompts werken het best als de prompts verplicht zijn (embedded) ^{15,16}	x	x		X ^{15,16}		
	Scaffolds/prompts die regulatief zijn moeten ook gelinkt zijn aan domeinkennis, want alleen procedurele ondersteuning resulteert niet in betere (onderzoeks)vaardigheden ^{11,12}	x	x		X ^{11,12}		
	Wanneer leerlingen in de digitale leeromgeving een prompt krijgen wanneer ze hun aandacht verliezen (middels EEG-device), houden ze hun aandacht beter vast en voorspelt (lees)prestaties ³	x	x	x	X ³		
	Bij complexe opdrachten (bijv. onderzoek via internet), zorgt een stapsgewijze benadering en prompts voor elke stap, voor een duidelijke structuur zodat leerlingen zich op de inhoud van zoekopdrachten kunnen focussen ⁷	x	x		X ⁷		
	Leerprestaties en zelfregulerend leren						
	(meta)Cognitieve prompts Prompts gericht op het formuleren van leerdoelen en planning zorgen dat leerlingen doelgerichte activiteiten verrichten en hun eigen leerproces kunnen monitoren ⁷	x	x		X ⁷	X ⁷	
	Bij onderzoeksopdrachten/ probleemoplossingstaak zorgen metacognitieve prompts voor aanleren van onderzoeksvaardigheden, zoals hypothesen genereren, probleem beschrijven ^{6,7,8,14,15,16,17}	x	x	x	X ^{6,7,8,14,15,16,17}		
	Meta-cognitieve prompts zijn just-in-time herinneringen aan de (meta)cognitieve problemen die leerlingen tegenkomen tijdens het ontdekkend leren proces die ze anders niet zouden identificeren of negeren > dit vergroot monitoring activiteiten en mogelijkheid om bij te sturen. ^{15,16,17}	x	x			X ^{15,16,17}	
Prompts gericht op het expliciteren en verantwoorden van probleem oplossingsstrategieën (self-explanation/ self-justification) vergroot inzicht in eigen denkproces. ^{6,8,13}	X ^{6,13}	X ^{6,8,13}	X ⁶	X ^{6,8,13}			

Prompts gericht op het uitleggen van denkproces aan peers van een vergelijkbaar niveau ¹⁰		x	x	X ¹⁰		
Leerlingen met lage metacognitieve vaardigheden kunnen hun vaardigheden verbeteren met behulp van metacognitieve prompts ¹⁷	x	x			X ¹⁷	
ASSESSMENT EN LEREN MET PEERS Wanneer leerling eigen antwoorden vergelijken met peer om zo hun eigen competentie in te kunnen schatten en leerproces te monitoren ⁵		x			X ⁵	
Wanneer leerlingen hun eigen voortgang wat betreft competenties kunnen toetsen met een test (self-assessment) ⁵		x		X ⁵	X ⁵	
Wanneer een interface/ workspace toegang geeft tot beoordelingscriteria om eigen handelen te kunnen toetsen ¹⁷	x	x			X ¹⁷	
Vergelijken van eigen prestaties met een worked example ⁸		x		X ⁸		
Leerprestaties en motivatie						
Als de notities van leerlingen worden gereviewd/ aanbevolen door peers, geeft dit feedback op kwaliteit en werkt het motiverend ^{5,9,10}		x		X ^{9,10}		X ⁵
Wanneer het werk van leerlingen (bijv. annotaties) met een rangorde wordt weergegeven in een dashboard, motiveert dat leerlingen om hun werk zo goed mogelijk te verrichten ²	x	x	x	X ²		X ²
Werkzame ingrediënten implementatie:						
Overzichtelijke interface waardoor leerlingen hun eigen leerproces gemakkelijk kunnen overzien (resource management) ⁵						
Overzichtelijke interface: Als de omgeving aantekeningen en multimedia gebruik tijdens een complexe opdracht automatisch opslaat ^{7,10}						
Voor de inzet van meerdere tools (cognitief, metacognitief, regulatief) in hetzelfde programma is bekendheid met de tools van de leerlingen voorwaardelijk (of tijd om eraan te wennen) ^{15,16}						
Monitoring tools moeten het leerproces van leerlingen niet onderbreken (dus niet te veel tijd kosten om te gebruiken, makkelijk bereikbaar) omdat leerlingen het anders niet (uit zichzelf) gebruiken ¹²						
Scaffolds/prompts werken alleen als leerlingen actieve (domein) voorkennis hebben om de nieuwe opgedane informatie aan te kunnen relateren ¹⁵						
Laag-presterende leerlingen kunnen overbelast raken met regulatieve prompts/hints/tools, waardoor het hen te veel tijd kost om goed met de tools te leren werken. ¹⁵ of waardoor ze antwoorden gaan gokken en onvoldoende beredeneren ¹⁴						

	Voordat een leraar metacognitieve oefenprogramma's implementeert in het onderwijs, doet hij/zij er goed aan een needs assessment af te nemen; welke metacognitieve vaardigheden moeten leerlingen specifiek oefenen. ¹¹						
--	--	--	--	--	--	--	--

¹ Steiner et al (2009)

² Chen et al. (2014)

³ Chen & Huang (2014)

⁴ Shih et al. (2010)

⁵ Wang (2011)

⁶ Kramarski & Dudai (2009)

⁷ Zhang & Quintana (2012)

⁸ Pol et al. (2009)

⁹ Gresch et al. (2017)

¹⁰ Butler & Lumpe

¹¹ Manlove Lazonder & de Jong

¹² Manlove Lazonder & de Jong

¹³ Molenaar, van Boxtel & Slegers

¹⁴ Kim & Pederson

¹⁵ Zydney

¹⁶ Zydney

¹⁷ Wen-Xin Zhang, Ying-Shao Hsu, Chia-Yu Wang & Yu-Ting Ho

Wat werkt?

In 14 studies zijn effecten op leerresultaten gemeten, waarbij de wijze waarop resultaten gemeten zijn uiteenloopt (conceptuele kennis, kwaliteit van eindproducten en hogere orde denkvaardigheden), waarvan 10 studies positieve resultaten rapporteerden. Er zijn 2 studies die positieve effecten rapporteren op motivatie en 6 studies rapporteren positieve effecten op zelfregulerend leren. Alleen de studie van Shih et al. (2010) rapporteert geen positieve effecten op zelfregulerend leren vaardigheden van leerlingen. Desalniettemin vinden de auteurs dat leerlingen met initiële lage ZRL vaardigheden wél progressie laten zien na het werken met de ZRL tool. Zelf geven ze als verklaring voor het uitblijven van een overall effect dat de tijd wellicht te kort was (circa 3 weken) om ZRL vaardigheden van leerlingen te trainen. De andere studies die wel positieve effecten op ZRL rapporteren, zien dat leerlingen hun aandacht beter vast kunnen houden op de taak en vertonen ze vaker ZRL vaardigheden (o.a. doelen stellen, zichzelf vragen stellen, monitoren, evalueren). Als leerlingen al goede ZRL vaardigheden beheersen, kunnen ze meer profiteren van een oefenprogramma metacognitieve vaardigheden wat betreft hun leerresultaten (leesvaardigheid) dan leerlingen met zwakke ZRL vaardigheden (hier: annotaties en leesbegrip, cf Chen e.a. 2014). In de studie van Wang (2011) en Zhang et al (2015) kwam precies het tegenovergestelde naar voren; zowel zwakke als sterke ZRL leerlingen profiteerden van de tool en in de studie van Shih lieten alleen zwakke ZRL leerlingen progressie zien. Het lijkt sterk afhankelijk van de gebruikte ict-toepassing of er onderscheid gemaakt kan/moet worden naar zwakke en sterke leerlingen wat betreft hun metacognitieve vaardigheden. Veel toepassingen stimuleren het gebruik van metacognitieve leerstrategieën (bijvoorbeeld, een prompt om leerlingen aan te moedigen zich af te vragen of ze de juiste leerstrategie hanteren), maar controleren niet of leerlingen dat doen en geven leerlingen ook geen feedback op de manier waarop ze de metacognitieve strategie hebben gehanteerd. Het lijkt, in z'n algemeenheid, effectief als leerlingen door middel van een duidelijke interface en regelmatige en 'just-in-time' prompts/scaffolds worden geactiveerd om metacognitieve vaardigheden in te zetten.

De werkzame ingrediënten voor metacognitieve oefenprogramma's vallen uiteen in prompts/scaffolds, gebruik van assessment, samenwerkend leren en interface en implementatie van de tool in het onderwijs.

Leerresultaten en zelfregulerend leren

Prompts/scaffolds

De prompts/ scaffolds kunnen variëren in vorm en ZRL-fase. Variatie in vorm wordt onderscheiden in prompts gericht op de organisatie van leeractiviteiten (regulatief) en prompts gericht op denkprocessen (cognitief, meta-cognitief). Variatie in fase hangt samen met de verschillende fasen van zelfregulerend leren (cf. Zimmerman). Wanneer een prompt gericht is op de forethought fase van het ZRL, dan stelt de ict toepassing **de vragen over het formuleren van leerdoelen en het plannen van leeractiviteiten**. Dit zorgt ervoor dat leerlingen die gedurende een langere periode werken aan een onderzoeksopdracht doelgericht blijven werken en hun eigen leerproces kunnen bijsturen (Zhang & Quintana, 2012). Er bestaan ook ict-toepassingen die **door biomarkers (EEG) vastleggen wanneer bij een leerling de aandacht verslapt en die dan een prompt afgeven** (Chen & Huang). Leerlingen die dit gebruiken laten een betere spanningsboog (sustained attention) en leerresultaten zien. Een prompt kan ook gericht zijn op de monitoring-fase, **op het aan zichzelf uitleggen van gedachten of verantwoorden van beslissingen** (self-explanation / self-justification),

bijvoorbeeld, het expliciteren van probleem oplossingsstrategieën. Wanneer leerlingen expliciteren en verantwoorden hoe ze tot een oplossing komen aan peers (die daar ook feedback op geven), dan oefenen ze hun denkproces (Kramarski & Dudai, 2009). Self-questioning prompts zijn eerder effectief gebleken, maar in de studie van Kramarski en Dudai bleek dat het nóg beter werkt als leerlingen het denkproces niet alleen aan zichzelf, maar juist aan anderen (vergelijkbaar niveau) moeten uitleggen. Het sociale aspect en het vergelijken van verschillende oplossingsstrategieën versterkt zelfregulatie vaardigheden. Dan zijn er ook prompts gericht op de reflectie-fase waarin leerlingen hun producten/oplossingen kunnen vergelijken met een model of met anderen of een checklist invullen.

Regulatieve prompts. Het gebruik van regulatieve of organisatie prompts vergroot de conceptuele kennis van leerlingen. **Bij complexe opdrachten (bijvoorbeeld, onderzoek via internet), zorgt een stapsgewijze benadering en prompts voor elke stap, voor een duidelijke structuur** zodat leerlingen zich op de inhoud van zoekopdrachten kunnen focussen en voor het vasthouden van de aandacht (Zhang & Quintana, 2012). Een dergelijke omgeving (hier: Idea Keeper) zorgde voor minder, maar meer gerichte en betekenisvolle zoekactiviteiten in vergelijking met gewone online search via Google (Zhang & Quintana, 2012). Leerlingen die de scaffolded omgeving gebruikten waren minder snel hun aandacht kwijt en door het automatisch opslaan van informatie in de interface behielden ze het overzicht. Leerlingen in de controlegroep raakte bijvoorbeeld URL's kwijt van websites die ze gebruikt hadden, waardoor ze later in het proces weer terug moesten zoeken naar de originele bron. Dit zorgt voor inefficiëntie en frustratie in het leerproces. Uit 2 studies bleek dat **regulatieve/organisatie prompts het beste werken als ze verplicht zijn (embedded)** om verder te komen in het leerproces. Als de regulatieve/organisatie prompts te ver af staan van de inhoud van het geleerde, de domeinkennis, dan resulteert dit niet in betere vaardigheden.

(Meta)Cognitieve prompts. Deze prompts werden vooral gebruikt bij complexe problemen of taken die leerlingen moesten oplossen of moesten onderzoeken (ill-structured, inquiry). Metacognitieve prompts zijn just-in-time **herinneringen aan de (meta)cognitieve problemen die leerlingen tegenkomen tijdens het ontdekkend leren proces** die ze anders niet zouden identificeren of negeren. Dit vergroot monitoring activiteiten en mogelijkheid om bij te sturen. Bij onderzoekopdrachten/ **probleemoplossingstaak zorgen metacognitieve prompts voor aanleren van onderzoeksvaardigheden**, zoals hypothesen genereren, probleem beschrijven. Veelal zijn de prompts gericht op het vergroten van reflectie op het denkproces, bijvoorbeeld in de vorm van vragen, tips ('start met het bedenken wat het probleem is') of een checklist ('heb je activiteit X al ondernomen?'). Overlappend in deze type prompts is dat ze gericht zijn op (reflectie op) het denkproces. In 1 studie bleken de prompts effectief voor leerlingen met lage metacognitieve vaardigheden (#17); deze leerlingen groeiden sterk in metacognitieve vaardigheden na gebruik van de metacognitieve prompts.

Leerresultaten en motivatie

Assessment en samenwerkend leren

Het gebruik van peers kwam vaker terug in de ict toepassingen. Leerlingen konden bijvoorbeeld **zichzelf vergelijken met medeleerlingen via een rangorde** op een dashboard waardoor ze gemotiveerd raken om hun werk zo goed mogelijk te verrichten. Ook werd gebruik gemaakt van **peers om antwoorden met elkaar te vergelijken** om zo help seeking van leerlingen te stimuleren. Door te vergelijken met een ander voorbeeld, konden leerlingen

hun eigen competentie beter inschatten en als het andere voorbeeld beter is dan hun eigen competentie daarvan te leren (Wang, 2011). **Als de notities van leerlingen worden gereviewd/ aanbevolen door peers, geeft dit feedback op kwaliteit** en werkt het motiverend.

Implementatie

Een **duidelijke interface en een gestructureerde activiteiten overzicht** draagt ook bij aan het ontwikkelen van zelfregulerend leren voor leerlingen. Overzichtelijke interface zorgt ervoor dat leerlingen hun eigen leerproces gemakkelijk kunnen overzien (resource management) (Wang, 2011). Een overzichtelijke interface kan bijvoorbeeld aantekeningen en multimedia gebruik tijdens een complexe opdracht automatisch opslaan (Zhang & Quintana, 2012). Als de digitale leeromgeving meerdere tools bevat (cognitief, metacognitief, regulatief), dan resulteert dat niet automatisch in meer gebruik van zelfregulerend leren vaardigheden door leerlingen. Het is belangrijk dat leerlingen **eerst bekend raken met (het doel van) de tools** en tijd krijgen om ermee te leren werken. Ook is het van belang dat de monitoring **ZRL-tools het leerproces niet onderbreken** (d.w.z. niet te veel tijd kosten om te gebruiken, makkelijk bereikbaar in de omgeving), omdat leerlingen het anders niet (uit zichzelf) gaan gebruiken. Efficiënt tijdgebruik in het metacognitieve oefenprogramma is vooral voor laag-presterende leerlingen van belang. **Laag-presterende leerlingen kunnen overbelast raken met het aanbod van regulatieve prompts/ hints**, waardoor het hen te veel tijd kost om goed met de tools te leren werken of waardoor ze antwoorden gaan gokken en onvoldoende beredeneren. Voorwaardelijk voor effectief gebruik van scaffolds/prompts in het programma is de mate waarin leerlingen over **voldoende (domein) voorkennis beschikken** om de nieuwe kennis aan te kunnen relateren. Voordat de leraar het metacognitieve oefenprogramma in het onderwijs implementeert, doet hij/zij er goed **aan eerst een needs assessment af te nemen**: welke specifieke metacognitieve vaardigheden moeten leerlingen oefenen en wat is hun voorkennis over het onderwerp.

Voorbeeld van een oefenprogramma voor metacognitieve vaardigheden:

In de studie van Wang (2011) zet de ict toepassing genaamd PDA-WATA vooral in op de evaluatie van testresultaten (formatieve zelftoetsing). Leerlingen kunnen hun eigen leerproces monitoren en na zelftoetsing controleren hoeveel items ze goed hebben beantwoord. De juiste antwoorden krijgen de leerlingen niet te zien. Er worden binnen PDA-WATA een aantal zelfregulatiestrategieën gestimuleerd (help seeking, peer learning, effort regulation and organizing time). Met 'Adding Answer Notes' en 'Stating confidence' kunnen leerlingen uitleggen waarom ze een bepaald antwoord op een vraag gekozen hebben en hoeveel vertrouwen ze erin hebben dat dit het goede antwoord is. Met 'Reading Peer Answer Notes', 'Recommending Peer Answer Notes' en 'Querying Peers' Recommendation on Personal Answer Notes' kunnen leerlingen elkaars redeneringen bekijken en redeneringen aan elkaar aanbevelen. Het aanbevelen van redeneringen is een vorm van positieve feedback en door elkaars redenering te bekijken, kunnen leerlingen hulp zoeken voor het vinden van het juiste antwoord. De leeromgeving is zo gebouwd dat leerlingen zichzelf meerdere keren kan toetsen. Telkens als een leerling zichzelf toetst, krijgt de leerling vijf willekeurige vragen voorgeschoteld. Een vraag wordt als 'voltooid' aangemerkt als dezelfde vraag drie keer achter elkaar goed beantwoord is. Deze vraag komt niet meer voor in een volgende zelftoetsing. Als alle vragen in een level als 'voltooid' zijn aangemerkt, dan kunnen leerlingen slagen voor een level. Binnen deze ict-toepassing heeft vooral de leerling controle over het leerproces.

3.3.4 E-portfolio

Beschrijving e-portfolio

Het e-portfolio is een online portfolio dat dient om de drie cyclische fases in zelfregulerend leren (Zimmerman, 2000; Zimmerman & Tsikalas, 2005) te ondersteunen: zelfregulatie voorafgaand aan het uitvoeren van een taak (taakoriëntatie en planning, leerling stelt leerdoelen), zelfregulatie tijdens het uitvoeren van een taak (doorzettingsvermogen en zelfeffectiviteit, leerling werkt aan stukken of maakt opdrachten) en zelfregulatie na afloop van het uitvoeren van een taak (leerling evalueert het product en reflecteert op het leerproces). Er kan gebruik gemaakt worden van specifieke e-portfolio software, maar ook een online document zoals een powerpoint- of Google Docs-bestand kan ingezet worden als e-portfolio. Ondersteuning van zelfregulerend leren gebeurt via prompts (bijvoorbeeld, “Geef een korte beschrijving van de activiteit die je hebt uitgevoerd”, “Wat heb je van deze activiteit geleerd?”) of is ingebed in de software (bijvoorbeeld, de leerling wordt geleid naar een pagina waarop hij/zij de leerdoelen kan invullen, vervolgens wordt de leerling geleid naar een pagina waarop de leerling een activiteit kan beschrijven en documenten kan toevoegen). Het hangt af van de opzet en mogelijkheden van het portfolio welke stukken leerlingen aan het portfolio kunnen toevoegen. Via een e-portfolio kan een leerling niet alleen laten zien dat hij/zij de vooraf gestelde leerdoelen heeft behaald (*showcase*) en het eigen werk evalueren en/of het werk aan de leraar voorleggen ter beoordeling (*assessment*), maar ook laten zien hoe hij/zij aan de leerdoelen gewerkt heeft (*process*). Ook de leraar heeft toegang tot het e-portfolio, begeleidt de leerling, geeft feedback, kan de voortgang volgen en stukken beoordelen. Leraar en leerling delen controle over het leerproces en toetsing maakt onderdeel uit van de leerproces (*assessment as learning*, Koorsse et al., 2014). Ten slotte kunnen leerlingen stukken met elkaar delen en feedback met elkaar uitwisselen (e.g., Meyer, Abrami, Wade, Aslan, & Deault, 2010). Omdat via een e-portfolio zelfregulatievaardigheden direct worden aangesproken en de leerling o.a. leermateriaal organiseert, stappen in het eigen leerproces registreert en het eigen proces en de eigen producten evalueert en zo mogelijk ook kennisconstructie wordt ondersteund, wordt verondersteld dat gebruik van het e-portfolio zelfregulerend leren kan stimuleren en vaardigheden die belangrijk zijn in het onderwijs, met name lees- en schrijfvaardigheden, kan verbeteren.

Kenmerken van de geselecteerde studies

Van de in totaal 6 studies waarin de inzet van een e-portfolio werd onderzocht, betroffen 4 studies de inzet van een portfolio in de midden- en bovenbouw van het po (groep 5 t/m 8) en 2 studies de inzet van een portfolio in het vo (beroepsgericht onderwijs). Hoewel het e-portfolio een enkele keer bij een specifiek vak werd ingezet (dataverwerking/websitedesign), wordt aangegeven dat een e-portfolio geschikt is voor alle vakken. De e-portfolio's varieerden enigszins in opzet. In 4 studies werd vergelijkbare e-portfolio software gebruikt (zie beschrijving van dit type e-portfolio in kader).^{1 t/m 4} Aan 1 van deze e-portfolio programma's werd een mechanisme toegevoegd om de eigen en de door medeleerlingen gestelde leerdoelen te beoordelen.⁴ In 1 studie bestond het portfolio uit powerpointslides, specifiek bedoeld voor leerlingen in het primair onderwijs, met op iedere slide prompts om de leerlingen te helpen bij het vullen van het portfolio (bijvoorbeeld, “Geef een korte beschrijving van de activiteit die je hebt uitgevoerd”).⁵ In de laatste studie werd een weblog als e-portfolio ingezet.⁶ Leerlingen schreven essays en deelden deze met de leraar en medeleerlingen voor feedback. Leerlingen gaven feedback op elkaars werk via een feedback codeblad. Alle feedback werd gebruikt om essays aan te passen en nieuwe versies te schrijven. Per essay formuleerden leerlingen schrijfdoelen, evalueerden ze hun werk en reflecteerden ze op het eigen werkproces. Ten

slotte, in een Nederlands artikel uit het vakblad *Levende Talen Magazine*⁷ wordt een e-portfolio beschreven specifiek bedoeld voor het ondersteunen van de taalvaardigheid in zowel het po als het vo. Binnen een aantal rubrieken zoals *Dit ben ik*, *Verlagen* en *Werkstukken* wordt relevant taalmateriaal verzameld en behandeld. Door de leerling geschreven teksten worden bijvoorbeeld besproken en geanalyseerd tijdens een zogenaamde taalronde in de klas en door de leraar en/of medeleerlingen van feedback voorzien.

Een gemeenschappelijk kenmerk van de e-portfolio's is dat in alle gevallen sprake is van gedeelde sturing van het leerproces tussen leraar en leerling. De leerling deelt alle gemaakte opdrachten en/of al het verzamelde leermateriaal met de leraar (en medeleerlingen) en zowel de leraar als de leerling zelf evalueert het leerproces en de leerproducten. Beiden hebben zo inzicht in de ontwikkeling van de leerling.

Tabel 8. *Werkzame ingrediënten e-portfolio*

Ict toepassing	Wat werkt?	Sturing			Uitkomsten		
		Ict	Leer- ling	Leraar	Leer- resultaten	Zelf- regulerend leren	Motivatie
E-portfolio (7)	Werkzame ingrediënten ict-toepassing:						
	LEERRESULTATEN EN ZELFREGULEREND LEREN Expliciete aandacht voor zelfregulatievaardigheden zowel door de leraar als ingebed in het e-portfolio via prompts en direct aan de slag met taken die zelfregulatievaardigheden aanspreken (plannen, uitvoeren en aanpassen op basis van feedback, evalueren en reflecteren). ^{1,2,3,4,6}	X	X		X ^{2,3,6}	X ^{1,2,3,4}	
	Een e-portfolio faciliteert de uitwisseling van feedback, communicatie en interactie tussen leraar en leerling en tussen leerling en medeleerlingen. ^{1,2,3,4,6}	X	X		X ^{2,3,6}	X ^{1,2,3,4}	
	Werkzame ingrediënten implementatie: Regelmatig gebruik van het e-portfolio. ^{2,3,6}						
	Sterke integratie van het e-portfolio in dagelijkse instructie. ^{2,3}						
	Professionele ondersteuning van leraren bij de inzet van een e-portfolio. ^{2,3}						
	Om effectieve inzet van het portfolio te bewerkstelligen is het belangrijk dat leerling en leraar beiden weten hoe met het portfolio te werken, beiden de meerwaarde van het portfolio inzien en beiden gemotiveerd zijn het portfolio te gebruiken. ^{2,3}						

¹ Liang, Chang, Shu, Tseng, & Lin, 2016

² Abrami, Venkatesh, Meyer, & Wade, 2013

³ Meyer, Abrami, Wade, Aslan, & Deault, 2010

⁴ Chang, Tseng, Liang, & Liao, 2013

⁵ Theodosiadou, & Konstantinidis, 2015

⁶ Nicolaidou, 2013

⁷ Van Deelen-Meeng & Konijn, 2010

Wat werkt

In 5 studies zijn de effecten van een e-portfolio op leerresultaten en zelfregulerend leren onderzocht. Effecten op motivatie zijn in deze studies niet onderzocht. De resultaten en werkzame ingrediënten zijn samengevat weergegeven in Tabel 8.

Leerresultaten en zelfregulerend leren

In 3 studies zijn effecten op leerresultaten onderzocht (lees- en schrijfvaardigheden zoals gemeten met een gestandaardiseerd meetinstrument voor lees- en schrijfvaardigheden).^{2,3,6} In 4 studies zijn effecten op zelfregulerend leren onderzocht.^{1 t/m 4} Al deze studies hebben positieve resultaten opgeleverd. In de studies wordt geen onderscheid gemaakt in verklaringen voor de effecten op leerresultaten en de effecten op zelfregulerend leren.

Via een portfolio wordt er **expliciet aandacht besteed aan zelfregulerend leren vaardigheden** en gaat de leerling hier ook, begeleid door de leraar, **actief mee aan de slag**. Begeleiding door de leraar houdt in dat **de leraar scaffolds aanbiedt** om het zelfregulerend leren proces in leerlingen te stimuleren. Daarnaast **faciliteert een e-portfolio uitwisseling van feedback, interactie en communicatie met zowel leraar als medeleerlingen**.

Implementatie

Er worden echter een aantal voorwaarden genoemd voor de effectieve inzet van e-portfolio's. Het is belangrijk het e-portfolio **regelmatig te gebruiken en sterk te integreren in de dagelijkse instructie** om jongere leerlingen de tijd te geven te leren hoe het portfolio te gebruiken en oudere leerlingen de tijd te geven de overstap te maken van een door de leraar gestuurde onderwijsmethode naar deze onderwijsmethode met gedeelde sturing. Ook is van belang dat **ook leraren leren hoe een portfolio in te zetten en dat zij in hun professionele ontwikkeling worden ondersteund**. Ten slotte wordt aangegeven dat **zowel leraren als leerlingen de meerwaarde van het e-portfolio moeten inzien en beiden gemotiveerd moeten zijn** om met het portfolio te werken om effectief gebruik ervan te bewerkstelligen.

Voorbeeld van een e-portfolio:

In de studies van Abrami et al. (2013) en Meyer et al. (2010) werd ePearl (*Electronic Portfolio Encouraging Active and Reflective Learning*) ingezet. ePEARL is bedoeld voor leerlingen in zowel het po als het vo. Via ePEARL formuleren leerlingen onder andere leerdoelen voor een taak, geven aan welke leerstrategieën ze gaan gebruiken, schrijven en verbeteren stukken, reflecteren op hun leerproces en de ontvangen feedback van zowel de leraar als medeleerlingen en formuleren nieuwe leerdoelen voor een volgende taak. ePEARL bevat een tekstbewerker en audio recorder, die leerlingen de mogelijkheid geven elk type digitaal materiaal aan het portfolio toe te voegen (o.a., tekstdocumenten, video's, powerpointpresentaties, podcasts en foto's). De software leidt de leerling door de verschillende stappen in het zelfregulerend leren proces heen en biedt een overzicht van de uit te voeren taken en afgeronde taken op een index-pagina. De leraar heeft toegang tot elk onderdeel van het portfolio en kan zo de voortgang van leerlingen volgen en feedback geven. Ook kan de leraar ondersteuning bieden bij de verschillende stappen in het zelfregulerend leren proces, bijvoorbeeld door leerlingen prompts te geven om tot duidelijk geformuleerde, haalbare leerdoelen te komen. Ten slotte maakt de software het makkelijk documenten ook met medeleerlingen te delen en zo ook feedback met medeleerlingen uit te wisselen.

3.3.5 Concept map programma's

Concept map programma's ondersteunen het organiseren, analyseren en integreren van verzamelde informatie. Via een concept map wordt een verbaal-visuele representatie gecreëerd bestaande uit relevante begrippen en de relaties daartussen, waarin voorkennis aan

nieuwe kennis wordt gekoppeld (i.e., betekenisvol leren) (o.a., Hilbert & Renkl, 2008). In de geïncludeerde artikelen worden verschillende concept map programma's beschreven. Zo is er een programma dat de leerling via feedback en prompts helpt bij het creëren van een kloppende concept map, maar verwerken en representeren andere programma's de invoer van leerlingen slechts, wat leerlingen weliswaar helpt (scaffold) in het zetten van volgende stappen in het leerproces, maar geen feedback of prompts geeft en niet actief bijdraagt aan het komen tot een juiste uitkomst. Het creëren van concept maps ondersteunt betekenisvol leren en zou zo tot hogere leeruitkomsten leiden, terwijl het continue evalueren en bijstellen van concept maps de inzet van zelfregulerend leren vaardigheden zou stimuleren en deze vaardigheden zo zou verbeteren (o.a., Hwang, Shi, & Chu, 2011).

Kenmerken van de geselecteerde studies

In 2 van de 9 geïncludeerde studies werd een concept map programma in het vo ingezet (leerjaar vier en vijf), het ene programma gericht op het schrijven van een tekst, het andere programma gericht op het in kaart brengen van een historisch debat bij het vak geschiedenis. In de 7 andere geïncludeerde studies werd een concept map programma in het po ingezet (groep 6-7-8), 6 programma's bij het vak science, 1 programma bij het vak rekenen. De programma's worden veelal ingezet als ondersteuning bij onderzoekend leren, maar verschillen in de functie die ze hebben. In de meeste studies was het doel, bijvoorbeeld, vragen te beantwoorden en bood het programma hulp in de vorm van het weergeven van (al dan niet door de leerling gevonden) informatie in een concept map.^{1,2,4,6,7} In 2 studies boden concept maps begeleiding bij het stap voor stap oplossen van een rekenprobleem door het probleem in hiërarchisch geordende sub-problemen uiteen te zetten⁵, dan wel het lezen van science leerboeken door concepten en de relaties ertussen die in de boeken worden besproken, overzichtelijk weer te geven.³ In enkele studies was het doel een kloppende concept map te creëren en hielp het programma daarbij^{8,9}. In het eerste geval geven de programma's geen feedback terug over een juiste uitkomst, maar kunnen de programma's wel scaffolds bieden die richting geven aan het leerproces van de leerling. Zo is er een programma via welke voor- en tegenargumenten in een debat visueel worden gerepresenteerd.⁷ Via kleuren die de belangrijkheid van argumenten aangeven en de positie van de argumenten ten opzichte van de middenstip in een cirkel wordt weergegeven hoe het betreffende debat verloopt, wat de leerlingen input geeft voor het beschrijven van het debat in een essay. In een ander voorbeeld werken leerlingen in een leeromgeving voor het oplossen van problemen.⁴ Leerlingen zoeken naar informatie om antwoord te vinden op vragen. Via een concept map functie in de leeromgeving wordt de informatie die er tot dan toe gevonden is, weergegeven in een concept map. Een incomplete concept map laat de leerlingen zien welke informatie ze nog missen en zo welke volgende stap ze moeten zetten in het probleemoplossingsproces. In het tweede geval creëren leerlingen een concept map (in #8 en #9 op basis van observaties), wordt deze concept map vergeleken met een expert concept map samengesteld door de leraar, en geeft het programma hints om leerlingen te helpen tot een concept map zo dicht mogelijk bij de expert concept map te komen. Leerlingen kunnen aantekeningen maken bij het creëren van de concept map of hun concept map delen en bespreken met medeleerlingen.

In de concept map programma's waarin leerlingen toegang hebben tot overzichtelijk geordende informatie als hulpmiddel bij het leren of waarin de leerling informatie geeft die de programma's verwerken en tekstueel (in een hiërarchisch geordende lijst) of visueel (in de vorm van een concept map, figuren, kaarten, grafieken en/of tabellen) representeren, is er alleen sprake van sturing van het leerproces door de leerling. De representaties van informatie kunnen weliswaar als scaffolds dienen, maar het concept map programma speelt geen actieve rol in het leerproces. In de concept map programma's waarin de programma's feedback geven

op de input van de leerlingen, is er sprake van controle over het leerproces door ict en door de leerling zelf. Via hints wordt de leerling in de richting van een kloppende concept map gestuurd, maar wordt de leerling ook gestimuleerd stil te staan bij het eigen leerproces en zelf op zoek te gaan naar de juiste uitkomst. In beide type concept map programma's legt de leraar uit hoe leerlingen met het programma moeten werken en/of creëert de leraar voorafgaand aan het werken met het programma een expert concept map waarmee de concept maps van de leerlingen kunnen worden vergeleken, maar speelt de leraar geen rol meer nadat de leerlingen met het programma aan de slag zijn gegaan.

Tabel 9. *Werkzame ingrediënten concept map programma's*

Ict toepassing	Wat werkt?	Sturing			Uitkomsten		
		Ict	Leer- ling	Leraar	Leer- resultaten	Zelf- regulerend leren	Motivatie
Concept Map programmas (9)	Werkzame ingrediënten ict-toepassing:						
	LEERRESULTATEN EN ZELFREGULEREND LEREN De overzichtelijke ordening van concepten en de relaties ertussen en de tekstuele of visuele representatie van deze ordening ondersteunt betekenisvol leren. ^{1,2,3,4,5,6,7}		X		X		
	Overzichtelijke ordening van informatie maakt leerlingen bewust van de concepten die ze moeilijk vinden. Dit helpt leerlingen in het reflecteren op het eigen leerproces en stimuleert hogere-orde denkprocessen. ^{1,7,8,9}		X		X ^{1,7,8,9}	X ¹	
	Overzichtelijke ordening van informatie zorgt voor mindere belasting van het werkgeheugen ^{1,2,3,7,9}		X		X ^{1,2,3,7,9}		
	Werkzame ingrediënten implementatie: Naast instructie door de leraar gefocust op de technische aspecten van de ict-toepassing, is ook instructie gefocust op inhoudelijke aspecten van de ict-toepassing nodig. ⁷						

¹ De Smet, Brand-Gruwel, Leijten, & Kirschner, 2014

² Hwang, Yang, & Wang, 2013

³ Yang, Hwang, Hung, & Tseng, 2013

⁴ Hwang, Kuo, Chen, & Ho, 2014

⁵ Chen & Hu, 2013

⁶ Marty, Mendenhall, Douglas, Southerland, Sampson, Kazmer, Alemanne, Clark, & Schellinger, 2013

⁷ Janssen, Erkens, Kirschner, & Kanselaar, 2010

⁸ Hwang, Shi, & Chu, 2011

⁹ Hwang, Wu, & Ke, 2011

Wat werkt

In 8 studies zijn de effecten van concept map programma's op de uitkomstmaten onderzocht. De resultaten en werkzame ingrediënten zijn samengevat weergegeven in Tabel 9.

Leerresultaten, zelfregulerend leren en motivatie

In de 8 studies zijn effecten op leerresultaten onderzocht. Zeven^{1 t/m 5,8,9} van deze studies hebben positieve resultaten opgeleverd. Een studie heeft neutrale resultaten opgeleverd.⁷

In 1 studie zijn effecten op zelfregulerend leren onderzocht. Deze studie heeft neutrale resultaten opgeleverd.⁷ In 2 studies zijn effecten op motivatie onderzocht. Deze studies

hebben positieve resultaten opgeleverd.^{4,8} In de studies wordt ingegaan op verklaringen voor de effecten op leerresultaten, er worden nauwelijks specifiek verklaringen genoemd voor de effecten op zelfregulerend leren en motivatie.

In alle studies wordt genoemd dat de **overzichtelijke ordening van concepten en de relaties ertussen en de tekstuele of visuele representatie van deze ordening betekenisvol leren ondersteunt** en zo leerresultaten verbetert. Specifiek in #5 wordt uit de positieve resultaten afgeleid dat het uiteenzetten van een rekenprobleem in hiërarchisch geordende subproblemen het rekenkundig redeneren en het oplossen van rekenkundige problemen in leerlingen in korte tijd constructief kan stimuleren. Daarbij maakt de overzichtelijke ordening van de betreffende informatie **leerlingen bewust van de concepten die ze moeilijk vinden. Dit helpt leerlingen in het reflecteren op het eigen leerproces en stimuleert hogere-orde denkprocessen**, wat de ontwikkeling van zelfregulerend leren vaardigheden en leerresultaten ten goede komt.^{1,7,8,9} In #1 en #7, waarin het doel is teksten te schrijven, wordt aangegeven dat het via een concept map programma genereren, clusteren en ordenen van informatie in een vroeg stadium van het schrijfproces leerlingen dwingt na te denken over hiërarchische en structurele relaties tussen de verschillende onderdelen van en de argumenten in een tekst. Zo zou de aandacht van leerlingen verplaatst worden van tekstniveau naar een hoger, structuurniveau, hoeft er op een later moment in het schrijfproces geen aandacht meer te worden besteed aan het plannen en structureren van de tekst en neemt de cognitieve belasting tijdens het schrijven van een tekst af. Dit laatste sluit aan bij het merendeel van de andere studies waarin wordt beredeneerd dat overzichtelijke ordening van informatie voor **mindere belasting van het werkgeheugen** zorgt.^{1,2,3,7,9} Specifiek in de studies #8 en #9 wordt aangegeven dat de directe feedback op input van de leerlingen in de vorm van hints ervoor zorgt dat leerlingen zonder onderbreking voor tussentijdse evaluatie en beoordeling door de leraar door kunnen gaan met observeren en het verfijnen van hun concept maps. Er wordt geen directe link gelegd tussen de inzet van hints en effecten op de uitkomstmaten.

Implementatie

De neutrale effecten in #7 worden geweten aan te beperkte instructie. In instructie werd alleen aandacht besteed aan de technische aspecten van het concept map programma, niet aan hoe met het programma argumentatie op te bouwen en uit te werken. Er wordt daarom aangeraden technische en inhoudelijk instructie met elkaar te integreren, wat wil zeggen dat de leraar **naast instructie gefocust op de technische aspecten** van het concept map programma, **ook inhoudelijke instructie** over, in dit geval, het structureren en uitwerken van de argumenten in een tekst geeft en uitlegt hoe het concept map programma hierbij kan helpen.

Voorbeeld van een concept map programma:

In de studie van Janssen et al. (2010) werden een grafische en een tekstuele debatteer tool ingezet bij het vak geschiedenis. De debatteer tools hielp bij het analyseren en reconstrueren van een historisch debat, waarna de leerlingen een essay schreven over hun bevindingen. De tools hielpen bij het op een rij zetten van argumenten voor en tegen de beide posities in het debat. In de grafische tool plaatsten leerlingen argumenten aan de ene of de andere kant van de middenstip in een cirkel. De beide zijden van de cirkel representeerden de beide posities in het debat. Een argument vóór de betreffende positie werd groen gekleurd, een argument tegen de betreffende positie werd rood gekleurd. Relaties tussen de argumenten werden weergegeven met lijnen die de argumenten met elkaar verbonden. Ook konden leerlingen de kwaliteit van de argumenten beoordelen door het toekennen van sterren aan de argumenten. Ten slotte, in de grafische debatteer tool bewogen de argumenten in de cirkel steeds een stukje dichterbij de middenstip toe als er ondersteunende informatie voor de betreffende positie werd toegevoegd. Werd er informatie toegevoegd die de positie tegensprak, dan bewogen de argumenten verder van de middenstip weg. Zo was te zien welke positie het sterkst werd ondersteund. In de tekstuele debatteer tool werden argumenten toegevoegd aan ofwel een lijst behorende bij de ene positie ofwel een lijst behorende bij de andere positie. De tool bevatte geen andere mogelijkheden om onderscheid te maken tussen argumenten of de kwaliteit van de argumenten te beoordelen. In beide versies van de tool konden leerlingen de argumenten een titel geven, de bron van het argument toevoegen en een uitleg toevoegen en/of aangeven waarom het een argument voor of tegen de ene of andere positie betrof.

3.3.6 Intelligent tutor systeem

Beschrijving intelligent tutor systeem

Een intelligent tutor systeem (ITS) kan de twee hoofdtaken vervullen van een menselijke tutor tijdens het oplossen van, bijvoorbeeld wiskundige of natuurkundige, problemen: 1) het ITS houdt de prestaties van de leerling in de gaten en geeft context-specifieke instructie op het moment dat de leerling de instructie nodig heeft. Instructie bestaat uit hulp in de vorm van onder andere berichten, scaffolds, hints en feedback. Een ITS kan automatisch instructie geven op momenten dat dit volgens het systeem op basis van analyse van de individuele leerling nodig is, maar een ITS kan de leerling ook de mogelijkheid bieden zelf hints op te vragen als hij/zij denkt deze nodig te hebben. 2) Het ITS houdt het leerproces van de leerling in de gaten en selecteert al dan niet probleemoplossingsactiviteiten die passen bij het ontwikkelingsniveau van de leerling. Er is zo sprake van *assessment for learning*: formatieve toetsing (Koedinger & Corbett, 2006). De op de individuele leerling aangepaste begeleiding van cognitieve vaardigheden via een ITS wordt verondersteld het leren te bevorderen, onder andere door mindere belasting van het werkgeheugen. Daarnaast zou de scaffolding en instructie op het moment dat de leerling het nodig heeft onder andere de leerling het idee geven een game te spelen en frustratie bij het oplossen van problemen voorkomen, wat de motivatie voor leren positief kan beïnvloeden (Corbett, Koedinger, & Hadley, 2001). Ten slotte kan een ITS naast begeleiding bij de ontwikkeling van cognitieve vaardigheden ook begeleiding geven bij de ontwikkeling van metacognitieve vaardigheden ter bevordering van zelfregulerend leren (Roll et al., 2011).

Kenmerken van de geselecteerde studies

In 3 van de 10 geïnccludeerde studies werd de ITS ingezet in het vo (leerjaar drie t/m vijf) bij het vak wiskunde. In 3 studies werd de ITS ingezet in het po (groep 3 t/m 7) bij de vakken Engels en science. Één ITS is geschikt voor alle vakken. In 2 studies werd de ITS in zowel het po als het vo ingezet, om leesbegrip te bevorderen en bij het vak science, in 2 studies werd de

ITS ingezet in middle school (leerjaren tussen po en vo in), bij het vak rekenen/wiskunde. De ITS in de studies kunnen verdeeld worden in ITS die scaffolds, hints en/of feedback geven ter bevordering van cognitieve vaardigheden^{1,2,3,5,6,7,8} en ITS die scaffolds, hints en/of feedback geven ter bevordering van metacognitieve vaardigheden.^{3,7,9,10}

In #1, #2, #6 en #8 is de ITS gericht op het vergroten van rekenkundige/wiskundige vaardigheden. In #5 is de ITS gericht op het vergroten van leesbegrip. Instructie en scaffolds/hints/ feedback hebben betrekking op de structuur van een tekst. In enkele ITS is er sprake van adaptiviteit: in #2 wordt de context van algebraïsche verhaalproblemen aangepast aan de interesses van leerlingen (bijvoorbeeld, het probleem wordt geformuleerd binnen de context van muziek of sport), in #8 maakt de ITS op basis van de fouten die de leerling maakt een inschatting van het vaardigheidsniveau van de leerling en biedt rekenkundige/wiskundige verhaalproblemen aan adaptief aan dit vaardigheidsniveau.

In #7 is de ITS gericht op het vergroten van leesbegrip in een tweede taal (Engels) en biedt naast scaffolds/hints/feedback om de woordenschat in de tweede taal te vergroten, hulp bij het ontwikkelen en toepassen van leesstrategieën. In #3 worden weliswaar scaffolds/hints/feedback gegeven ter bevordering van wiskundige vaardigheden, maar de nadruk ligt op het geven van metacognitieve scaffolds/hints/feedback om het zoeken van hulp bij het leren te verbeteren, dat wil zeggen, om leerlingen te helpen te bepalen welke hulp (bijvoorbeeld, een weinig uitgewerkte hint bij een voor de leerling enigszins moeilijke opgave of juist een volledig uitgewerkte hint bij een voor de leerling zeer moeilijke opgave) ze in welke probleemsituatie nodig hebben. In #9 en #10 werd een *teachable agent* programma ingezet. Leerlingen onderwijzen een *agent* via het bouwen van causale concept maps. Door de *agent* vragen te stellen en haar te verzoeken haar antwoorden uit te leggen, kunnen leerlingen nagaan of hun concept map klopt. Het zoeken, structureren, controleren en analyseren van informatie vraagt om het toepassen van zelfregulerend leren strategieën. Bij het doorlopen van de verschillende stappen biedt een tweede *agent* hulp als mentor. Leerlingen kunnen advies aan hem vragen. Daarnaast geven beide *agents* zelf prompts, getriggerd door het activiteitenpatroon van de leerling, om leerlingen te helpen kennis te construeren en zelfregulerend leren strategieën toe te passen.

In #4, ten slotte, is de ITS verwerkt in een leermanagementsysteem. De ITS analyseert het gedrag en de ontwikkeling van de leerling in het systeem (hoe vaak logt de leerling in, hoeveel tijd spendeert de leerling aan werk voor elk vak, bij welk vak loopt de leerling op schema, bij welk vak loopt de leerling achter etc.) en stuurt berichten aan de leerling om het gedrag en de ontwikkeling aan hem/haar zichtbaar te maken en om suggesties voor vervolgstappen te geven (bijvoorbeeld, “Het is twaalf dagen geleden sinds je voor het laatst hebt ingelogd”, “Gefeliciteerd, je hebt de Rekenlessen afgerond”, “Let op, je hebt ... onderdelen van de les afgerond, maar ... onderdelen nog niet”, “Bekijk de inhoud van les ... nog eens”).

Elk ITS neemt voor een deel de controle over het leerproces van de leerling over. Het ITS biedt instructie aan op het moment dat de leerling instructie nodig heeft en biedt ondersteuning bij het leerproces aangepast aan de ontwikkeling van de individuele leerling. Daarnaast heeft ook de leerling voor een deel controle over het eigen leerproces als de leerling zelf keuzes kan maken in, bijvoorbeeld, wanneer hij/zij aan welke taak werkt of zelf het moment waarop hij/zij instructie nodig heeft en het niveau van instructie kan kiezen. Aangezien de ITS de rol van tutor van de leraar overneemt, is sturing van het leerproces door de leraar (anders dan uitleg over hoe met de ITS te werken) niet van toepassing.

Tabel 10. *Werkzame ingrediënten intelligente tutor systemen*

Ict toepassing	Wat werkt?	Sturing			Uitkomsten		
		Ict	Leer- ling	Leraar	Leer- resultaten	Zelf-regulerend leren	Motivatie
Intelligent tutor systeem (10)	Werkzame ingrediënten ict-toepassing:						
	LEERRESULTATEN Begeleiding waarbij (relevante) informatie (op het juiste moment) wordt gegeven. ^{1,3,5,7,9,10}	X	X		X ^{1,3,5,7,9,10}		
	Specifieke informatie als hulp bij het doorlopen van stappen binnen een concrete probleemcontext. ⁵	X	X		X ⁵		
	Een betekenisvol doel stimuleert het gebruik van scaffolds en hints in een ITS. ^{7,8}	X	X		X ^{7,8}		
	Het aanpassen van de inhoud van opgaven aan interesses van de leerling maakt een abstract probleem betekenisvoller voor de leerling. ^{2,5}	X	X		X ^{2,5}		
	ZELFREGULEREND LEREN Begeleiding in de vorm van scaffolds/hints/feedback gericht op het bevorderen van metacognitieve vaardigheden, waarbij (relevante) informatie (op het juiste moment) wordt gegeven. ^{3,7,9,10}	X	X			X ^{3,7,9,10}	
	Scaffolds/hints/feedback die reflectie op het leerproces door de leerling stimuleren zijn het meest effectief. ^{3,9,10}	X	X		X ³	X ^{3,9}	
	Werkzame ingrediënten implementatie: Hoe lang en intensief een ITS gebruikt wordt, speelt een rol in effecten op uitkomstmaten. ^{6,8}						
	Om positieve effecten te bewerkstelligen, moeten leerlingen eerst moeten weten hoe ze precies met het programma moeten werken. ¹⁰						
	Instructie moet gericht zijn op zowel technische als inhoudelijke aspecten van een ITS ¹⁰						

¹ Antonio Gonzalez-Calero, Arnau, Puig, & Arevalillo-Herraez, 2015

² Walkington, 2013

³ Roll, Alevan, McLaren, & Koedinger, 2011

⁴ Rodrigues, Joao, & Vaidya, 2010

⁵ Meyer, Wijekumar, Middlemiss, Higley, Lei, Meier, & Spielvogel, 2010

⁶ Koedinger, McLaughlin, & Heffernan, 2010

⁷ Proctor, Dalton, & Grisham, 2007

⁸ Beal, Arroyo, Cohen, & Woolf, 2010

⁹ Kinnebrew, Biswas, & Sulcer, 2010

¹⁰ Roscoe, Segedy, Sulcer, Jeong, & Biswas, 2013

Wat werkt

In 9 studies zijn de effecten van ITS op leerresultaten en zelfregulerend leren onderzocht. Effecten op motivatie zijn in deze studies niet onderzocht. De resultaten en werkzame ingrediënten zijn samengevat weergegeven in Tabel 10.

Leerresultaten

In de 9 studies zijn effecten op leerresultaten onderzocht. Elke studie heeft positieve resultaten opgeleverd.^{1,2,3,5,6,7,8,9,10} In de studies werd vooral gekeken naar de hoeveelheid en type hulp (scaffolds/hints/feedback gericht op het bevorderen van cognitieve vaardigheden) die er door de ITS wordt gegeven. Zo wordt geconcludeerd dat **begeleiding waarbij (relevante) informatie (op het juiste moment) wordt gegeven** effectiever is dan begeleiding waarbij geprobeerd wordt de leerling te onthouden van informatie.^{1,3,5,7,9,10} Studie #1 liet zien dat intensieve scaffolding in een ITS tot hogere leerresultaten bij het oplossen van algebraïsche woordproblemen leidt dan minder intensieve scaffolding in een ITS. Intensieve scaffolding hield in dit geval in dat 1) de leerling stap-voor-stap naar de oplossing van een probleem wordt geleid door telkens minder opties voor uit te voeren acties te geven, 2) de leerling via een drop-down menu kan kiezen uit de namen van hoeveelheden die van toepassing zijn (bijvoorbeeld, de leerling heeft uitgerekend dat het getal 3 moet zijn, uit het drop-down menu kan de leerling vervolgens selecteren dat het om 3 kilometers gaat), 3) de leerling een notificatie krijgt als hij/zij een actie niet goed heeft uitgevoerd en 4) de leerling ervoor kan kiezen hints te bekijken als hij/zij merkt niet over bepaalde kennis te beschikken. Een eerste hint biedt algemene informatie over hoe een probleem op te lossen, een volgende hint bevat tevens informatie binnen de context van het specifieke probleem waar de leerling moeite mee heeft, een derde hint, ten slotte, legt precies uit hoe het specifieke probleem waar de leerling moeite mee heeft, op te lossen. Minder intensieve scaffolding hield in dat alleen van de scaffolding strategieën 1 en 3 gebruik werd gemaakt. Een kanttekening die hierbij wordt geplaatst, is dat intensieve scaffolding mogelijk niet geschikt is voor elk type leerling. In studie #5 gingen leerlingen die uitgebreide feedback ontvingen via de ITS sterker vooruit op een gestandaardiseerd instrument voor het meten van leesbegrip dan leerlingen die alleen simpele feedback ontvingen (alleen goed/fout). Uit deze laatste studie komt ook naar voren dat niet alleen algemene informatie over hoe een probleem op te lossen moet worden gegeven, maar ook **specifieke informatie als hulp bij het doorlopen van stappen binnen een concrete probleemcontext**. In studie #7 interacteerden leerlingen die gebruik maakten van de scaffolding mogelijkheden in de ITS (o.a., coaches die de juiste inzet van strategieën demonstreren, woorden met hyperlinks naar bijvoorbeeld definities en voorbeeldzinnen en een read-aloud functie) betekenisvol met een tekst. Als hulp niet automatisch door de ITS wordt gegeven, stimuleert een **betekenisvol doel** het gebruik van de hulp. Het doel ‘pusht’ de leerlingen de scaffolding mogelijkheden te gebruiken, als leerlingen het gebruik van de scaffolding als waardevol voor hun leerproces zien, zal de scaffolding de leerlingen vervolgens aantrekken (‘pull’).^{7,8} Hier sluit bij aan dat **het aanpassen van de inhoud van opgaven aan interesses van de leerling een abstract probleem betekenisvoller maakt voor de leerling** en zo helpt bij het construeren en vervolgens oplossen van het probleem model.^{2,5}

Zelfregulerend leren

In 4 van de 9 studies zijn effecten op zelfregulerend leren onderzocht (hulpzoekend gedrag (#3), inzet van leesstrategieën (#7), inzet van zelfregulerend leren strategieën (het zoeken, structureren, analyseren en controleren van informatie) (#9 en #10)). Drie studies hebben positieve resultaten opgeleverd^{3,7,9}, 1 studie heeft een neutraal resultaat opgeleverd.¹⁰ Ook voor effecten op zelfregulerend leren geldt dat **begeleiding (dit keer in de vorm van scaffolds/hints/feedback gericht op het bevorderen van metacognitieve vaardigheden)**

waarbij (relevante) informatie (op het juiste moment) wordt gegeven effectiever is dan begeleiding waarbij geprobeerd wordt de leerling te onthouden van informatie.^{3,7,9,10} In studie #3, #9 en #10 werd aangetoond dat scaffolds/hints/feedback gericht op het bevorderen van metacognitieve vaardigheden indirect ook leerresultaten positief kunnen beïnvloeden. Hieruit wordt afgeleid dat het **type scaffolds/hints/feedback** van invloed is op het leerproces en dat **scaffolds/hints/feedback die reflectie op het leerproces door de leerling stimuleren**, sterker het leren bevorderen dan andere type scaffolds/hints/feedback (Shih, Koedinger, & Scheines, 2008).

Het neutrale resultaat houdt in dat de inzet van zelfregulerend leren strategieën door leerlingen na afloop van de interventie met het *teachable agent* programma weer afnam. De inzet van de strategieën werd slechts oppervlakkig gestimuleerd. Als hen de keuze wordt geboden, blijken leerlingen weinig gebruik te maken van de ondersteuning bij het zelfregulerend leren. Mogelijk ontbrak in deze studie een betekenisvol doel voor de leerlingen om de ondersteuning te gebruiken.

Implementatie

Hoe lang en intensief een ITS gebruikt wordt, speelt een rol in effecten op leerresultaten.^{6,8} Bij een *teachable agent* programma wordt opgemerkt dat het zelfregulerend leren kan stimuleren, maar dat **leerlingen eerst moeten weten hoe ze precies met het programma moeten werken** om positieve effecten op zelfregulerend leren te bewerkstelligen. **Instructie gericht op technische en inhoudelijke aspecten** van het *teachable agent* programma is van belang.

Voorbeeld concept map programma:

In de studie van Roll et al. (2011) wordt de Cognitieve Geometrie Tutor (CGT) ingezet. Dit programma analyseert hoe een leerling het oplossen van een geometrie probleem aanpakt. Op basis van de analyses maakt de CGT een inschatting van het kennisniveau van de leerling en geeft de leerling vervolgens stap-voor-stap begeleiding in het leerproces; de CGT bevat een begrippenlijst, geeft inhoudelijke feedback en biedt de leerling de mogelijkheid hints te bekijken tijdens het uitvoeren van elke stap in het probleemoplossingsproces als hij/zij hulp nodig heeft. De leerling kan kiezen tussen hints die minder uitgewerkt zijn en hints die verder uitgewerkt zijn. Er is ook een Hulp Tutor aan de CGT toegevoegd. Dit systeem helpt leerlingen bij het kiezen van de hints die passen bij het kennisniveau van de leerling. Bijvoorbeeld, kiest de leerling een uitgewerkte hint, maar zou de leerling het betreffende probleem op basis van zijn/haar kennisniveau ook met een minder uitgewerkte hint moeten kunnen oplossen, dan geeft de Help Tutor directe feedback (“Er is geen reden om je zo te haasten, lees de (minder uitgewerkte) hint goed door, het zou je moeten lukken het probleem zonder gebruik van volgende hints op te lossen”).

3.3.7 Augmented reality applicaties

Beschrijving Augmented Reality (AR) en Virtual Reality (VR)

AR-applicaties maken het mogelijk (3D-)modellen van objecten of complexe processen in een realistische omgeving te visualiseren (cf. Azuma, 1997). Volgens Azuma en collega's (2001) bestaat AR uit drie kenmerken: het combineert digitale applicaties met de echte wereld, AR zorgt dat digitaal en de echte wereld met elkaar in verband worden gebracht en AR wordt real-time en interactief toegepast. Met AR wordt digitale informatie gecombineerd met de wereld wat het mogelijk maakt voor leerlingen om in interactie met de omgeving leerervaringen met visuele ondersteuning op te doen (Kennisnet, 2016). Er zijn grofweg twee verschillende verschijningsvormen waarop AR ingezet wordt in het onderwijs waar bij beide nieuwe aanvullende content op het scherm verschijnt wanneer het mobiele device gericht

wordt op een specifieke locatie; image-based AR, waarbij het device gericht wordt op een plaatje en location-based AR waarbij het device gericht wordt op een specifieke locatie (Cheng & Tsai, 2012). AR wordt gezien als tool om de spatiele vaardigheden van leerlingen te ondersteunen en is uitermate geschikt voor lesinhouden die te klein of te groot zijn om waar te nemen, te gevaarlijk om in het echt te onderzoeken (bijvoorbeeld, giftige stoffen) of die niet waarneembaar zijn (bijvoorbeeld, elektromagnetische velden).

Een specifieke vorm van AR is het gebruik van Virtual Reality (VR). Een virtuele leeromgeving bootst een fysieke context na en wordt tot leven gebracht middels een scherm (desktop VR) of via een device/bril (mobile VR). Het grootste verschil tussen VR en AR is dat VR volledig digitaal plaats vindt, terwijl AR een combinatie is van de echte wereld en een digitale context. Volgens Lim-Lee, Wong en Fung (2010) is het belangrijk dat de VR-applicatie een realistische omgeving betreft waarin 'echte' objecten/personen herkend kunnen worden ('representational fidelity') en dat de leerling een zekere mate van controle heeft op de virtuele omgeving, bijv. omdat de leerling zich vrij kan bewegen in de virtuele omgeving en objecten kan aanraken ('immediacy of control').

Kenmerken van de geselecteerde studies

Van de 11 geselecteerde studies, beschrijven er 8 een AR-toepassing en 3 een VR-toepassing. Binnen de 8 AR-studies die voor deze review zijn geselecteerd, werd er 5 keer een AR-toepassing geïmplementeerd in het vo en 3 keer in het po. Vier AR-applicaties waren bedoeld om specifieke lesinhouden te verrijken in het science domein, 2 waren gericht op het vergroten van de Engelse taal (Second-Language-Learners) en 1 AR-applicatie was bedoeld om de creatieve vaardigheden van leerlingen te ondersteunen. Bij deze laatste studie moesten leerlingen zelf een 3D-model creëren gebruikmakend van AR-software. Van de 3 VR-studies, is de toepassing 2 keer onderzocht in het po (beide voor het leren van Engels) en 1 keer in het vo (voor biologie; het ontleden van een kikker).

Bij alle 11 AR/VR-studies worden de leeractiviteiten door de leerling aangestuurd. In 4 AR-studies is de AR-applicatie image-based en worden leerlingen gevraagd de ict-toepassing toe te passen tijdens de les (tablet/device richten op AR-markers) en er is vervolgens nauwelijks sturing van de leraar of de ICT. De leerling bepaalt hoe vaak en wanneer deze de AR-markers bezoekt en zo de basisstof verrijkt. In de studie waarbij leerlingen een 3D model creëren speelt de leraar wel een rol omdat instructie van de leraar wordt afgewisseld met het toepassen van AR in het ontwerpproces. In 3 studies werd de AR-applicatie ingezet op locatie (location-based) en gebruiken leerlingen hun tablet om in een botanische tuin of bij een vijver om te leren over flora cq ecosystemen. Hierbij speelt zowel de leerling als de leraar een rol omdat de leerlingen werden begeleid door een instructeur voorafgaand of tijdens de opdrachten die ze op locatie moesten doen. In een location-based AR studie (#7 waar geen effecten zijn gemeten) werd opgemerkt dat leerlingen (vo) moeite hadden om het AR-spel te spelen omdat ze niet begrepen wat het doel was van de activiteit (ze dachten dat het een speurtocht was waar een eenduidig antwoord uit zou voortkomen). Later bleek dat deze leerlingen vonden dat er te weinig structuur in het spel aanwezig was en dat ze nog niet een adequate wetenschappelijke houding hadden om een complex milieuprobleem op te lossen.

De 3 VR-studies kenmerken zich door desktop VR: leerlingen werken op een computer aan opdrachten in een virtuele omgeving, waarbij 1 studie ook nog gebruik wordt gemaakt van visuele sensoren (#10) waarbij de bewegingen van leerlingen ervoor zorgen dat ze antwoorden op quizvragen in een VR-omgeving kunnen manipuleren door er naar te wijzen. Leerlingen krijgen direct feedback van de VR-omgeving of ze de quizvraag goed hebben beantwoord (ook feedback op uitspraak van de Engelse taal).

Tabel 11. *Werkzame ingrediënten augmented reality applicaties*

Ict toepassing	Wat werkt?	Sturing			Uitkomsten		
		Ict	Leer-ling	Leraar	Leer-resultaten	Zelf-regulerend leren	Motivatie
Augmented Reality/ Virtual Reality (11)	Werkzame ingrediënten ict-toepassing:						
	LEERRESULTATEN EN MOTIVATIE						
	AR wekt interesse op bij leerlingen omdat het lesstof verlevendigt en fysieke omgeving verrijkt ^(3,5,6,11)		x		X ^{6,11}		X ^{3,5}
	VR werkt motiverend vanwege de ‘echtheid’ van de virtuele omgeving (<i>representational</i>) en het gevoel dat ze er onderdeel van uitmaken (<i>immersion</i>) ^(8,10)		x				X ^{8,10}
	Leerling interacteert (door navigatie/ manipulatie) met de AR/VR-applicatie wat het gevoel van controle bij leerling vergroot ^(1,3,5,6,8,10)		x		X ^{1,8}		X ^{1,3,5,6,8,10}
	Visuele ondersteuning geeft direct feedback op leerproces ^(1,2,5,6,10)		x		X ^{1,5,6,10}		X ²
	Bij voldoende uitdaging (moeilijkheid, complexiteit tool, mate waarin stof nieuw is) vergroot AR de flow van het leerproces ^(1,2,4)		x		X ^{1,4}		X ^{1,2}
	AR ondersteunt ontwerptaken en creatieve ontwikkeling ⁽³⁾		x	X	X ³		X ³
	location-based AR gecombineerd met inquiry-based activities * vergroot actieve houding van leerlingen, gevoelens van competentie ^(5,6) *Verrijkt met probeware (hints/feedback voor het interpreteren van data) wordt de inquiry leeractiviteit betekenisvol en beter hanteerbaar ⁽⁶⁾	x	x	X	X ⁶		X ^{5,6}
	AR/VR in combinatie met samenwerkingopdracht (d.m.v. chat functie) vergroot competentiegevoelens bij taalontwikkeling ^(9,11)		x	X	X ¹¹		X ⁹
	Werkzame ingrediënten implementatie: Tablet en het tegelijk scannen van een plaatje (image-based AR) hanteren werkt makkelijker met een tablet-standaard ⁽¹⁾						
Het ontwerp van de (desktop) VR omgeving moet door leerlingen als gebruiksvriendelijk en nuttig worden ervaren om een positief effect op leerresultaten en motivatie te bereiken ^(8,10)		x		X ⁸		X ^{8,10}	

	Wanneer leerlingen op locatie met AR werken, dan vergroot het toevoegen van een (lokale) instructeur de motivatie van leerlingen ⁽⁵⁾		x	X			X ⁵
--	---	--	---	---	--	--	----------------

¹ Ibanez et al, 2014

² Giasirani & Sofos, 2017

³ Wei et al, 2015

⁴ Hsu, 2017

⁵ Huang, Chen, & Chou, 2016

⁶ Kamarainen et al., 2013

⁷ Squire & Klopfer, 2007

⁸ Lim-Lee, Wong, & Fung, 2010

⁹ Zheng, Young, Brewer, & Wagner, 2009

¹⁰ Yang, Chen, & Jeng, 2010

¹¹ Liu, 2009

Wat werkt

In 7 studies zijn de effecten van Augmented Reality applicaties op de uitkomstmaten onderzocht. In 6 van de 7 studies leverde dit positieve resultaten op voor leerprestaties, motivatie of allebei. Zelfregulerend leren is niet gemeten. In een studie (Hsu, 2017) zijn twee AR applicaties met elkaar vergeleken waarbij enkel de mate van leerlingcontrole varieerde tussen de twee condities. Hieruit kun je geen conclusies trekken over de effectiviteit van AR als ict-toepassing.

In 3 studies zijn de effecten van Virtual Reality applicaties op de uitkomstmaten leerresultaten en motivatie onderzocht. Ze rapporteren alle drie positieve effecten.

Leerresultaten en motivatie

Een belangrijk kenmerk van AR is dat het de reguliere lesstof verrijkt doordat het extra informatie (in de vorm van instructie, simulatie of animaties) toont wanneer leerlingen hun tablet/device bij een AR-marker houden. Dit zorgt ervoor **dat leerlingen de lastige stof beter kunnen verbeelden of visualiseren** (sensory immersion) en daardoor makkelijker de aandacht kunnen vasthouden of dat ze het bestaan van microscopische of niet-logische concepten beter leren herkennen. Een tweede kenmerk is dat **de leerling interactie heeft met de AR-applicatie**, dat wil zeggen dat een leerling de leeromgeving zelf kan navigeren en manipuleren waardoor de leerling meer controle over het leerproces ervaart. Dit zorgt er voor dat leerlingen verschillende oplossingen kunnen uitproberen en daardoor complexe lesstof sneller eigen maken en bovendien vergroot het de interesse in het onderwerp. Als derde geeft de **AR/VR-applicatie direct feedback op het leerproces door de visuele ondersteuning van het getoonde concept** (simulaties) of door dat quizvragen ingebed zijn in de applicatie. In VR is het belangrijk dat de **leerlingen zich volledig kunnen onderdompelen in de virtuele leeromgeving (immersion) en dat ze de context als authentiek ervaren**.

Twee studies (#1 #2) vertrekken vanuit de Flow-theorie van Csikszentmihalyi (1990). “Flow describes a state of complete absorption or engagement in an activity that acts as a motivating factor in daily activities such as work, sport, and education” (Ibanez et al., 2014, p. 2). Deze studies rapporteren beiden een positief effect op de leeruitkomsten en de motivatie van leerlingen in de interventiegroep ten opzichte van de controlegroep die geen AR-applicatie tot hun beschikking hebben, maar wel werken in een digitale leeromgeving. Deze studies bewijzen dat leerlingen flow ervaren bij **voldoende uitdaging** (moeilijkheid, mate waarin stof nieuw is) van de opdrachten. Dat houdt in dat de opdrachten niet te moeilijk zijn, maar ook niet te makkelijk en dat daardoor de concentratie goed vastgehouden wordt en leerlingen zich competent voelen. Een soortgelijke uitkomst wordt vastgesteld in studie #4 waar leerlingen die de AR applicatie zelfgestuurd bedienen, daar voldoening uit halen doordat ze niet te veel, maar ook niet te weinig, mentale uitdaging en *language learning anxiety* ervaren.

In twee location-based AR leeromgevingen (#5, #6) zijn de opdrachten erop gericht om leerlingen op locatie metingen te laten verrichten en data te verzamelen om daarmee nieuw opgedane kennis gelijk aan de fysieke omgeving te kunnen koppelen. Deze **inquiry-based opdrachten** zorgen ervoor dat leerlingen snel een beeld krijgen bij de nieuwe kennis, dit kunnen koppelen aan reeds bestaande kennis en dat ze daarmee groeien in hun competentie-ervaring en een actieve leerhouding laten zien. In studie #6 werd gebruik gemaakt van **probeware in de AR leeromgeving** waarbij leerlingen bij het verzamelen van data stap-voor-

stap (just-in-time) hints en feedback kregen om de data te interpreteren. De gegevens werden daarmee gelijk betekenisvol voor leerlingen en verminderde daarmee de cognitive load.

Verschillende studies (#4,#9,#10,#11) waren erop gericht om Engelse taalvaardigheden van jonge leerlingen te vergroten waarvan Engels niet de moedertaal is. De applicaties die worden gebruikt in deze studies zijn er sterk op gericht om spontane en creatieve communicatie van deze leerlingen te bevorderen. In #11 werken leerlingen bijvoorbeeld met AR waarin ze op locatie (bijvoorbeeld, de bibliotheek) – met een virtuele tutor – in het Engels chatten in een authentieke context. **Het oefenen van de Engelse taal in een authentieke context**, waarin leerlingen communiceren met anderen (medeleerling of tutor), wordt vergemakkelijkt door AR en **vergroot het competentiegevoel voor taalontwikkeling**.

De studie van Wei et al. (2015) maakt inzichtelijk hoe **de AR-software leerlingen ondersteunt binnen een ontwerpopdracht**. Ook daar worden positieve effecten op leeruitkomsten (creativiteit) en motivatie van leerlingen vastgesteld (aandacht vastgehouden, relevant leermateriaal, meer vertrouwen in eigen vaardigheden, geeft meer voldoening).

Implementatie

Bij de implementatie van AR in lessituaties is het belangrijk dat er niet te veel tekstuele informatie in de digitale leeromgeving aangeboden wordt. **Tekstuele informatie is noodzakelijk om het leerproces te begeleiden, maar kan soms een afleidende component** zijn binnen AR waarbij visuele en zintuigelijke ervaringen voorop staan (#2). In een studie waar leerlingen hun tablet moesten richten op AR-markers en vervolgens op hun tablet opdrachten moesten maken (er verschijnt een nieuw scherm nadat je je tablet op de marker richt) bleek dat het tegelijk hanteren van tablet en ‘echte objecten’ fysiek uitdagend is en dat het de **gebruiksvriendelijkheid vergroot als leerlingen een standaard kunnen gebruiken** (#1). In studie #5 lieten leerlingen een hogere mate van motivatie zien als ze naast het gebruiken van AR-applicatie op locatie ook een instructeur hadden die hen van informatie voorzag over de botanische tuinen. Ze hadden met de AR-applicatie genoeg mogelijkheden om op eigen gelegenheid informatie over de planten op te zoeken, maar de lokale instructeur zorgde ervoor dat ze niet te veel taken tegelijk hoefden te doen (basis instructie, navigeren in het park). Praktisch bij het gebruik van **location-based AR is de inzet van een gids/instructeur om leerlingen te begeleiden**.

Voorbeeld van een augmented reality applicatie:

In de studie van Ibanez et al. (2014) werden leerlingen uit het VO gevraagd om via een digitale leeromgeving problemen op te lossen waarbij ze hun kennis over de basisbegrippen rondom elektriciteit, magnetisme en de wet van Lorentz moesten inzetten. Leerlingen in de experimentele groep maakte gebruik van Augmented Reality, leerlingen in de vergelijkingsgroep hadden beschikking over de digitale leeromgeving zonder AR. De leerlingen onderzochten de effecten van een magnetisch veld op een stroomvoerende draad. Deze activiteit duurde 40 minuten. Het oplossen van het probleem bestond uit vijf stadia. Beide applicaties bevatten dezelfde onderwijsinhoud en volgden hetzelfde pad al naargelang de voorkeuren van de leerlingen en hun antwoorden op toetsitems. Toetsitems in de vorm van meerkeuze- of fill-in-the-blank vragen en tekst en plaatjes maakten onderdeel uit van de onderwijsinhoud, gerelateerd aan de stadia van de opdracht en de op te lossen problemen. Het belangrijkste verschil tussen de digitale omgeving met AR-applicatie en zonder AR-applicatie: de AR-applicatie maakte het mogelijk elektromagnetische straling in een realistische omgeving te visualiseren. Leerling gaat van stadium naar stadium door het manipuleren van objecten die een onderdeel van het elektromagnetisch circuit nabootsen. De digitale leeromgeving zonder AR-applicatie bestond uit een website: leerling gaat van stadium naar stadium via navigatie hyperlinks (visualisaties niet mogelijk). De leerlingen die met de AR-applicatie werkten lieten meer kennis van electromagnetische concepten en fenomenen zien dan leerlingen die zonder AR-applicatie werkten.

3.3.8 Simulatieprogramma's

Beschrijving Simulatieprogramma's

Simulatieprogramma's maken het mogelijk (2D of 3D) concepten of processen te (re)construeren, te visualiseren en te toetsen op hypothesen. Zo kunnen leerlingen experimenten uitvoeren om (complexe) concepten en processen, vooral voor science vakken, te onderzoeken. Het is met name geschikt om leerlingen te laten onderzoeken wat er gebeurt als er verschillende parameters in een model gemanipuleerd worden (De Jong & Van Joolingen, 1998). Door het model zelf te manipuleren, maakt de leerling de kenmerken van het model/simulatie eigen, waardoor verwacht wordt dat de conceptuele kennis van leerlingen uitbreidt (De Jong & Van Joolingen, 1998). De onderzoeksresultaten van simulatieprogramma's op leerprestaties zijn echter uiteenlopend. Het is nog niet duidelijk of het gebruik van simulatieprogramma's ook tot betere leerresultaten leidt. Chang et al. (2008) beschrijven vijf condities voor simulatie-gebaseerd leren: a) leerlingen moeten over voldoende voorkennis beschikken voordat ze de simulatie gebruiken, b) leerlingen moeten hulp krijgen bij het genereren en bijstellen van hypothesen wanneer ze simulaties opereren, c) leerlingen moeten hulp krijgen om experimenten uit te voeren met een simulatie omdat er vaak te veel informatie(parameters) in een simulatie aanwezig is, d) leerlingen moeten hulp krijgen bij het interpreteren van de data ter verificatie/falsificering van de gestelde hypothesen, en e) leerlingen moeten hulp krijgen om het leerproces te reguleren (bijvoorbeeld, een logboek bijhouden zodat de leerling aantekeningen kan maken en zo het denkproces kan monitoren). Deze condities beschrijven vooral welke ondersteuning het programma of een instructeur moet bieden bij ontdekkingsgericht/ onderzoeksgerichte vorm van leren; een benadering die vaak wordt gehanteerd bij simulatieprogramma's. Het grote voordeel van simulatieprogramma's is het oefenen van complexe vakspecifieke hogere-orde denkvaardigheden specifiek voor een bepaald concept of proces wat moeilijk te realiseren is in een analoge les (Favier & van der Schee, 2014).

Kenmerken van de geselecteerde studies

Bij alle 9 studies worden de leeractiviteiten door de leerling aangestuurd omdat leerlingen worden gevraagd zelf de simulatie te manipuleren. In 4 studies (#1, #3 #6, #8) speelt ook ict een rol door zelf parameters te wijzigen of door parameters van het simulatiemodel vooraf vast te leggen. In de studie van Bowen et al. (2016) is daarnaast de leraar betrokken omdat die toegang heeft tot de parameters van het simulatiemodel en die kan wijzigen. Ook in de beide studies van Favier en Van der Schee speelt de leraar een rol omdat het simulatieprogramma wordt ingebed in het curriculum en de leraar een rol speelt bij het benoemen van leerdoelen en een hele-klas-discussie achteraf.

Binnen de 9 studies die voor deze review zijn geselecteerd, werd er 8 keer een simulatieprogramma geïmplementeerd in het vo en één keer in het po. De simulatieprogramma's zijn gericht op kennis en vaardigheden voor wiskunde, natuurkunde, rekenen, scheikunde en aardrijkskunde. Twee studies (#2, #3) beschreven een casestudie en zijn niet opgenomen in de *wat werkt* paragraaf, maar ze worden hieronder wel beschreven.

Voor natuurkunde (#1) oefenden leerlingen met virtuele modellen van bruggen. Bij het rekenprogramma (#2) werd gewerkt met ARI@ITALIS waarbij microworlds worden gepresenteerd met wiskunde probleemsituaties (bijv. betalen met bankbiljetten en munten) waarbij leerlingen de situaties kunnen manipuleren en berekeningen kunnen uitvoeren. In de Simulator kunnen de voorgestelde oplossingen door de leerling worden uitgebeeld in een video-player. Voor Scheikunde (#3) konden leerlingen met de simulatie de rol spelen van deeltjes binnen een multi-deeltjes omgeving om kennis op te doen over de structuur en eigenschappen van materie, specifiek de Lennard-Jones mechanisme (MeParticle–WeMatter).

Tabel 12. *Werkzame ingrediënten simulatieprogramma's*

Ict toepassing	Wat werkt?	Sturing			Uitkomsten		
		Ict	Leer- ling	Leraar	Leer- resultaten	Zelf-regulerend leren	Motivati e
Simulaties (9)	Werkzame ingrediënten ict-toepassing:						
	LEERRESULTATEN						
	Visualisatie van complexe (spatiele/ geometrische) concepten in een simulatieprogramma ondersteunt het leerproces ⁹		x		X ⁹		
	Meerdere iteraties met het model zorgen voor betere ontwerpvaardigheden (design, test en retest) ⁽¹⁾	x	x	x	X ¹		
	Om een sterk leerresultaat bij onderzoekend leren te ondersteunen, moet het simulatieprogramma in fasen worden opgeknipt, waarbij elke fase oploopt in moeilijkheid wat betreft denkvaardigheden (<i>model order progression</i> ipv <i>model elaboration progression</i>) ⁶	x	x		X ⁶		
	Wanneer learning support (hypothese generator, experimenteer prompts) wordt toegevoegd aan het simulatieprogramma dan vergroot dit de leerresultaten bij een experimentele opzet (t.o.v. een stap-voor-stap uitleg) ⁷		x		X ⁷		
	Voor leerlingen met lage interesse in het onderwerp, heeft het toevoegen van learner support (uitgewerkte voorbeelden/ probleem-oplossings-taken) aan de simulatieomgeving positieve invloed op de leerresultaten ⁸		x		X ⁸		
	MOTIVATIE						
	Interesse in het onderwerp wordt vergroot wanneer learner support (uitgewerkte voorbeelden) wordt toegevoegd aan het simulatieprogramma ⁸		x			X ⁸	
	Voor leerlingen met hoge interesse in het onderwerp moet er nog voldoende vrijheid zijn (niet te veel learner support) om met de simulatie te experimenteren (om learner control te vergroten) ⁽⁸⁾		x				
	Werkzame ingrediënten implementatie:						
Wanneer je simulatieprogramma combineert met traditionele instructie, is het mogelijk om minder tijd te besteden aan instructie van de theorie wanneer je leerlingen maar voldoende tijd geeft om met de simulatie te werken. Dit levert niet noodzakelijk betere concept-kennis op, maar wel betere procedurele vaardigheden (toepassen van concepten). ⁽⁴⁾		x	x	X ⁴			

	Wanneer een simulatieprogramma wordt geïntegreerd binnen een lessenserie moet de leraar aandacht hebben voor expliciete instructie vooraf, leerdoelen, feedback op het proces en reflectie achteraf ⁵		x	x	X ⁵		
--	--	--	---	---	----------------	--	--

¹ Bowen et al, 2016

² Bottino & Robotti, 2007

³ Langbeheim & Levy, 2016

⁴ Favier & van der Schee, 2012

⁵ Favier & van der Schee, 2014

⁶ Mulder, Lazonder, & de Jong, 2011

⁷ Chang, Chen, Lin, & Sung, 2008

⁸ Yaman, Nerdel, & Bayrhuber, 2008

⁹ Koklu & Topcu. 2012

Wat werkt

Leerprestaties

Visualisatie

In het algemeen komt uit de studies naar voren dat het belangrijkste ingrediënt van een simulatieprogramma, de visualisatie betreft van complexe concepten en processen. Dit wordt in een studie (#9) getoetst door een vergelijking met een reguliere les over wiskundige concepten. Het gebruik van een simulatieprogramma waarin leerlingen zelf vormen en grafieken kunnen tekenen en formules leren toepassen resulteerde in hogere leerprestaties.

Ontwerpen van een model

In de studie van Bowen et al. (2016) wordt een groep leerlingen die werken met het volledige programma (instructie, onderzoeksgedeelte met formatieve toetsing, online tutorial en werken met de simulaties) vergeleken met een experimentele groep die minder tijd besteed aan instructie en meer tijd aan iteraties met de bruggen-simulatie (paper tutorial voor uitleg over basis concepten, werken met simulatie). Leerlingen met meer inhoudelijke kennis over technologie en bouwkunde laten in eerste instantie hogere conceptuele kennis zien bij de post-test in vergelijking met de experimentele groep leerlingen. Echter, als leerlingen met minder inhoudelijke kennis over technologie en bouwkunde genoeg mogelijkheden krijgen om virtuele modelleer activiteiten uit te voeren, presteren leerlingen met minder inhoudelijke kennis net zo goed als leerlingen met meer inhoudelijke kennis op het toepassen van de conceptuele kennis op een ontwerp van een brug. Kortom, leerlingen moeten **voldoende mogelijkheden krijgen om de simulatie te manipuleren en daarvan te leren**. Daarnaast bleek dat de leerlingen in de experimentele condities betere ontwerpvaardigheden hadden ontwikkeld dan de leerlingen in de controle conditie. **Meerdere iteraties met het model zorgen voor betere ontwerpvaardigheden (design, test en retest).**

Leerresultaten en motivatie

Learner support

Een studie vond dat ondersteuning van de leerling in de vorm van metacognitieve prompts en stap-voor-stap uitleg voor betere leerresultaten zorgden dan het gebruik van een simulatieprogramma zonder leerlingondersteuning (#7). Verder bleek uit deze studie dat de metacognitieve prompts waarbij leerlingen worden aangezet tot zelf onderzoeken van de simulatieomgeving (experimenteren, hypothesen genereren) betere leerresultaten opleverde dan als leerlingen een stap-voor-stap uitleg aangeboden kregen. Dit advies lijkt wat tegenstrijdig ten opzichte van een andere studie die vond dat het gefaseerd aanbieden van opdrachten in het simulatieprogramma, oplopend in moeilijkheid, effectief is gebleken voor leerresultaten (*model order progression*, zie #6).

Wanneer het simulatieprogramma de leerling ondersteunt door het toevoegen van uitgewerkte voorbeelden (worked examples), vergroot dit de interesse in het onderwerp (#8). Dit is met name van belang voor leerlingen die vooraf een lage interesse in het onderwerp hadden. De learner support (uitgewerkte voorbeelden/ probleem-oplossings-taken) hadden namelijk voor deze groep leerlingen een positief effect op hun leerresultaten. Voor leerlingen die **vooraf hoge interesse in het onderwerp hadden is het belangrijk dat zij niet te veel learner support** (uitgewerkte voorbeelden/ probleem-oplossings-taken) aangeboden krijgen omdat zij liever de vrijheid hebben om zelf met de simulatie te experimenteren (#8).

Implementatie

In het simulatieprogramma (#4) van aardrijkskunde werkten leerlingen met GIS (Geographic Information Systems) waarin ze als onderdeel van een veldstudie data verwerken en visualiseren in een digitale landkaart. Aan de hand van de visualisatie kunnen ze hun

onderzoeksvragen beantwoorden. Deze laatste studie betrof een ontwerponderzoek waarbij vooral de implementatie van een geografisch onderzoek binnen het reguliere onderwijs werd onderzocht en de tool zelf niet noodzakelijk centraal stond in de evaluatie van het ontwerp. Eén van de lessen die de auteurs trokken uit het ontwerpproces is dat leerlingen niet noodzakelijk een uitgebreide instructie over GIS nodig hadden voorafgaand aan het onderzoeksproject, maar dat – aan de **hand van een gestructureerde hand-out** met een uitgewerkt voorbeeld **en nauwgezette monitoring van leraren bij het proces – leerlingen zelf aan de slag kunnen gaan met data verzameling en het visualiseren** van die data in GIS. Leerlingen leren het beste met GIS omgaan door er zelf mee te werken en de data zelf te manipuleren en analyseren. In een vervolgstudie (#5) werd geconcludeerd dat GIS geospaetieel denkprocessen van leerlingen stimuleert die moeilijk te realiseren zijn in analoge lessen waar leerlingen niet een grote database tot hun beschikking hebben en geen interactie kunnen ondernemen met de leerstof. Van belang voor het slagen van GIS binnen een lessenserie is **de rol van de leraar**. De leraar moet aandacht hebben voor expliciete instructie vooraf, leerdoelen, feedback op het proces en reflectie achteraf om zo het simulatieprogramma in te bedden in het curriculum.

Voorbeeld simulatieprogramma:

In de studie van Bowen et al. (2016) werd gewerkt met een computer simulatie pakket voor het ontwerpen van virtuele modellen van bruggen (Structures 2.0). Dit programma is bedoeld om leerlingen algemene conceptuele kennis te laten opdoen over de werking en het rendement van een brug (i.e., hoeveel gewicht kan de brug dragen). Nadat de leerling is ingelogd, begint het programma met een introductie waarin achtergrondinformatie over algemene brugontwerpprincipes wordt gegeven. Het volgende onderdeel van het programma, het onderzoeksgedeelte, geeft gedetailleerde informatie over het ontwerpen van trussen en het rendement van een brug. In het onderzoeksgedeelte zijn formatieve toetsen ingebouwd om begrip van de inhoud te testen. De leraar kan de vorderingen van leerlingen volgen in het leraar controle centrum. Als het onderzoeksgedeelte is afgerond, volgen de leerlingen een online tutorial waarin wordt gedemonstreerd hoe leerlingen de specifieke programma functies moeten gebruiken om een truss te ontwerpen. Vervolgens gaan leerlingen aan de slag met het ontwerpen van hun eigen bruggen. Als een leerling een truss heeft ontworpen, kan hij/zij het ontwerp testen om te zien hoeveel gewicht een truss kan dragen voordat hij instort. Elke test wordt geregistreerd als een iteratie en gebaseerd op de specificaties zoals vooraf bepaald door de leraar, kunnen iteraties in of buiten de specificaties vallen. Het programma registreert alleen de ontwerpen die binnen de specificaties vallen. Zodra de leerling een definitief ontwerp heeft bepaald, kan een template van de truss worden geprint voor het bouwen van het fysieke model. De leerlingen bouwen twee identieke trussen die samen worden gevoegd om een brug te vormen die kan worden getest op efficiëntie.

3.3.9 Blended learning

Beschrijving blended learning

Blended of hybrid learning houdt in dat face-to-face leren wordt geïntegreerd met online leren (Bonk & Graham, 2006). De flipped classroom, wat inhoudt dat leerlingen thuis bijvoorbeeld via het bekijken van online videoclips instructie krijgen en tijdens de lessen aan opdrachten werken, is een vorm van blended learning (o.a., Kong, 2014). Blended learning biedt aan leerlingen de mogelijkheid zelf te bepalen wanneer, waar, op welke manier en op welk tempo zij instructie willen ontvangen (Stalker & Horn, 2012; Sweller, 2005). De leraar kan instructie op een volgens hem/haar geschikte manier digitaal verwerken en aanbieden, waardoor er in een face-to-face les meer ruimte is voor diepgang, er extra stof kan worden behandeld of er direct aan opdrachten kan worden gewerkt. Doordat leerlingen het tempo van instructie zelf

kunnen bepalen en de instructie in stukjes kunnen verdelen, zou het werkgeheugen minder belast worden en het leerproces worden bevorderd (Mayer & Moreno, 2003). Ook motivatie zou verhoogd worden door de sterkere leerling-sturing van het leerproces via blended learning (o.a., Chao, Chen, & Chuang, 2015).

Kenmerken van de geselecteerde studies

In de 4 geïncludeerde artikelen waarin blended learning werd onderzocht, werd blended learning in het vo ingezet, in vier verschillende vakken (wiskunde (algebra), science, integrated humanities en Chinees (als eerste taal). Bij de vakken integrated humanities en Chinees was er sprake van een flipped classroom. Bij integrated humanities maakten leraar en leerlingen gebruik van een e-learning platform met vier hoofdsecties: een sectie waarin leerlingen materiaal konden vinden ter voorbereiding op een les (lesdoelen, brainstorm werkbladen, mind maps), een sectie om tijdens de les in te werken (e-textbook en geselecteerde websites, mind maps, presentaties en evaluatieformulieren), een sectie om na afloop van een les in te werken (leeroutput bekijken, zelfreflectie werkbladen, quizzes) en een discussie forum om het geleerde met medeleerlingen te bediscussiëren. Tijdens een les beantwoordden leerlingen vragen op basis van een papieren tekstboek en de e-learning materialen, vervolgens bediscussieerden de leerlingen hun antwoorden in kleine groepjes en ten slotte begeleidde de leraar presentatie en klassikale discussie van de vragen.² Bij Chinees werd een mobiel systeem voor het leren van het Klassieke Chinees ingezet. Dit systeem was geschikt voor verschillende interfaces, bevatte multimedia leermateriaal (leesactiviteiten, zelf-test en memorisatie activiteiten via mini units met daarin interactieve educatieve games en multimedia inhoud gerelateerd aan het onderwerp van een les), verzorgde directe evaluatie van het leren via het stellen van vragen en bevatte een functie om aantekeningen te maken. Leerlingen werden aangemoedigd de les voor te bereiden met behulp van het mobiele systeem. Tijdens de les demonstreerden de leerlingen de kennis die ze zo opgedaan hadden. De leraar voegde informatie toe als leerlingen informatie misten of moeite hadden met het begrijpen van bepaalde concepten.⁴

Bij het vak wiskunde (specifiek algebra) creëerde de leraar digitale multimedia lessen door algebraïsche vergelijkingen op te lossen via een interactief whiteboard of tablet computer, hierbij uitleg te geven en het geheel op te nemen als videoclips die elk 7-10 minuten duurden. De clips werden op de schoolwebsite geplaatst. Leerlingen bekeken de clips tijdens een les (leerlingen mochten de instructie pauzeren, terugspoelen etc.), maakten aantekeningen en gingen vervolgens 20 minuten aan de slag met opgaven uit een papieren tekstboek. Tijdens het werken was het mogelijk vragen te stellen aan de leraar. Het was mogelijk online opmerkingen te maken bij de clips en na de clips voor een eerste keer in de klas bekeken te hebben, mochten leerlingen de instructie te allen tijde terugkijken in en buiten de klas.¹

Bij het vak science werd web-technologie geïntegreerd in een onderwijsmethode: 1. Leerlingen maken gebruik van het internet bij het maken van huiswerk voorafgaand aan de les. Vervolgens bediscussiëren de leerlingen de gevonden referenties in de klas. 2. De leraar presenteert relevante begrippen via powerpoint en geeft real-life voorbeelden ter uitleg van de begrippen. 3. In groepen ontwerpen leerlingen een experiment. De groepen delen hun resultaten met elkaar en reflecteren op hun experimenten. 4. Leerlingen beantwoorden online vragen. De leraar evalueert de online activiteiten van de leerlingen. 5. Ten slotte introduceert de leraar methoden voor het onderzoeken van het onderwerp van de les. Leerlingen passen toe wat ze hebben geleerd tijdens de les en bediscussiëren problemen die ze zijn tegengekomen bij het uitvoeren van het experiment en wat mogelijke oplossingen voor deze problemen zouden kunnen zijn.³

Bij blended learning is er met name sprake van controle over het leerproces door de leerling zelf. De leerling maakt zelfstandig gebruik van digitale instructiematerialen die aangereikt worden om een les voor te bereiden, al dan niet tijdens een les mee te werken en/of om na afloop de les te evalueren. Daarnaast is er controle over het leerproces door de leraar, die de instructiematerialen creëert en aanbiedt en/of in de rol van begeleider tijdens een les extra informatie geeft of vragen van de leerling beantwoordt.

Tabel 13. *Werkzame ingrediënten blended learning*

Ict toepassing	Wat werkt?	Sturing			Uitkomsten		
		Ict	Leer- ling	Leraar	Leer- resultaten	Zelf- regulerend leren	Motivatie
Blended Learning (4)	Werkzame ingrediënten ict-toepassing:						
	LEERRESULTATEN EN MOTIVATIE Leerlingen kunnen op eigen wijze de instructie bekijken. ¹		X	X		X ¹	X ¹
	Controle over het leerproces en de rustigere omgeving zorgt voor een mindere belasting van het werkgeheugen. Leerlingen worden minder afgeleid en kunnen zich beter focussen. ¹		X	X		X ¹	X ¹
	Reflectie en discussie in de klas met uitleg en begeleiding door de leraar. ²		X	X		X ²	X ²
	Werkzame ingrediënten implementatie: Tijd in de les kan door de leraar efficiënter worden gebruikt om leerlingen bij het leren te ondersteunen. ^{1,2,4}						
Leraar en leerlingen moeten zelf goed weten hoe deze vorm van onderwijs werkt en wat er van hen verwacht wordt, ook de thuissituatie moet goed op de hoogte zijn en leerlingen in de lesvoorbereiding (en eventuele verwerking achteraf) ondersteunen. ⁴							
Professionalisering van leraren. ²							

¹ Smith & Suzuki, 2015

² Kong, 2014

³ Jang, 2009

⁴ Wang, 2016

Wat werkt

In 3 studies zijn de effecten van blended learning op leerresultaten en motivatie onderzocht. Effecten op zelfregulerend leren zijn in deze studies niet onderzocht. De resultaten en werkzame ingrediënten zijn samengevat weergegeven in Tabel 13.

Leerresultaten en motivatie

In de 3 studies zijn effecten op leerresultaten onderzocht. In 2 van de 3 studies had blended learning een positief effect op leerresultaten^{1,2}. In 1 studie werden neutrale effecten op leerresultaten gevonden, in deze zelfde studie werden ook effecten op motivatie onderzocht (positief).⁴ Er is geen duidelijk onderscheid in verklaringen voor effecten op leerresultaten en verklaringen voor effecten op motivatie.

In studie #1 werden aanwijzingen voor werkzame ingrediënten gevonden in positieve opmerkingen van leerlingen over de digitale multimedia lessen. De leerlingen vonden het prettig **op eigen wijze de instructie te bekijken**, bijvoorbeeld door de videoclips met daarin de instructie te kunnen pauzeren, terug te kunnen spoelen of meerdere keren te bekijken. Ook gaven ze aan tijdens de les in de klas **minder afgeleid te worden en beter te kunnen focussen**, doordat ieder voor zichzelf de videoclips bekijkt. Mogelijk **vermindert** de leerling controle over het leerproces en de rustigere leeromgeving **de belasting van het werkgeheugen** wat het leren bevordert (Mayer & Chandler, 2001). In studie #2 leidde inzet van het e-learning platform (online voorbereiding op een les, face-to-face interactie met medeleerlingen in de klas, online taken om kennis te delen en te bediscussiëren na afloop van de les) weliswaar tot een hoger niveau van informatie geletterdheid en verbetering van kritisch denken vaardigheden, maar leraren en leerlingen gaven aan meer tijd nodig te hebben voor **reflectie en discussie in de klas, waarbij ook uitleg en begeleiding door de leraar van belang is**.

In studie #4 lieten de leerlingen in de flipped classroom waarin het mobiele systeem om Chinees te leren werd ingezet een hogere motivatie zien in het voorafgaand aan de les bekijken van het leermateriaal. Deze leerlingen namen actief initiatief in het leren, terwijl de leerlingen in de flipped classroom waarin het mobiele systeem om Chinees te leren niet werd ingezet, zich passiever gedroegen. Hieruit wordt afgeleid dat naast controle over het leerproces door de leerling, **begeleiding door de leraar belangrijk blijft**. Wordt van leerlingen verwacht dat ze zich thuis oriënteren op de inhoud van de volgende les, dan blijken ze hier aansporing voor nodig te hebben, ofwel door de leraar, ofwel door gebruik te maken van een extra (digitaal) hulpmiddel die het aantrekkelijker maakt om met het voorbereiden van de les aan de slag te gaan. Bij het vormgeven van blended learning moet er daarom rekening mee worden gehouden dat niet elke leerling met meer controle over het leerproces om kan gaan en traditionele instructie prefereert (bijvoorbeeld, omdat de leerling denkt dat de flipped classroom betekent dat ze meer huiswerk moeten maken).

Implementatie

In studie #4 lieten leerlingen in de flipped classroom waarin het mobiele systeem om Chinees te leren werd ingezet net zoveel groei in leerresultaten zien als de leerlingen in de flipped classroom waarin het mobiele systeem om Chinees te leren niet werd ingezet. Dit neutrale effect werd verklaard door de beperkte toegang tot het internet dat de leerlingen thuis hadden en de beperkte vrijheid, en daardoor tijd, die ze hadden om thuis te werken. Om de flipped classroom succesvol te laten zijn, is het daarom belangrijk dat niet alleen **de leraar en leerlingen zelf goed weten hoe deze vorm van onderwijs werkt en wat er van hen verwacht wordt, maar dat ook de thuissituatie goed op de hoogte is en leerlingen in de lesvoorbereiding (en eventuele verwerking achteraf) ondersteunt**. De implementatie van blended learning kost wat meer tijd, maar vindt (digitale) instructie thuis plaats en bereiden leerlingen de les voor, dan blijkt dat de **tijd in de les efficiënter kan worden gebruikt om leerlingen bij het leren te ondersteunen**, onder andere omdat de leraar alle tijd kan besteden aan het beantwoorden van vragen en aan persoonlijke begeleiding.^{1,2,4} **Professionalisering van leraren** kan effectieve implementatie van de flipped classroom bevorderen.²

Voorbeeld van blended learning, in dit geval de flipped classroom:

In de studie van Jang (2009) is web technologie geïntegreerd in een onderwijsmethode waarbij leerlingen thuis leren en in de klas hun opgedane kennis toepassen: 1. Leerlingen maken gebruik van het internet bij het maken van huiswerk voorafgaand aan de les. Bijvoorbeeld, ze zoeken online naar methoden om gewicht te verliezen. Vervolgens bediscussiëren de leerlingen de gevonden referenties in de klas. Ze focussen hun aandacht op het onderwerp. 2. De leraar presenteert relevante begrippen via powerpoint en geeft real-life voorbeelden ter uitleg van de begrippen. 3. In groepen ontwerpen leerlingen een experiment om, bijvoorbeeld, het aantal calorieën in voedingsmiddelen te weten te komen. De groepen delen hun resultaten met elkaar en reflecteren op hun experimenten. 4. Leerlingen beantwoorden online vragen, een aantal vragen zijn bedoeld voor de individuele leerling, een aantal vragen zijn bedoeld voor de leerlingen in hun groepen. De leraar evalueert de online activiteiten van de leerlingen om de week en volgt zo hun vorderingen als individu en als groep. Individueel moeten leerlingen leren data te analyseren en ten minste twee keer een bijdrage leveren aan het discussie forum. Als groep moeten leerlingen online discussie voeren met elke andere groep. Ze moeten hun groepshuiswerk uploaden nadat ze tot overeenstemming zijn gekomen via discussie. 5. Ten slotte introduceert de leraar methoden voor het onderzoeken van calorieën in suiker, zetmeel en olie. Leerlingen passen op deze voedingsmiddelen toe wat ze hebben geleerd tijdens de les en bediscussiëren problemen die ze zijn tegengekomen bij het uitvoeren van het experiment en wat mogelijke oplossingen voor deze problemen zouden kunnen zijn.

3.3.10 Digitale instructie

Beschrijving digitale instructie

In dit cluster zijn ict-toepassingen samengenomen die digitale instructie bieden. Het gaat om multimediateprogramma's waarmee leerlingen toegang hebben tot verschillende soorten informatie tegelijkertijd (tekst, beeld, geluid) (Acha, 2009). In de geïncludeerde artikelen wordt per ict-toepassing onderzocht welke vorm van digitale instructie (mate waarin de leerling met het programma kan interacteren (zelf keuzes kan maken), mate van adaptiviteit, welke presentatievorm (alleen tekst of tekst en beeld etc.) het meest geschikt is. Een hoge mate van interactiviteit (leerling kan veelal zelf bepalen hoe hij/zij instructie wil ontvangen) en de juiste presentatievorm zou het werkgeheugen ontlasten en zo motivatie verhogen en leerresultaten verbeteren (o.a. Acha, 2009; Hii & Fong, 2010).

Kenmerken van de geselecteerde studies

Van de 9 geïncludeerde studies werd digitale instructie 5 keer in het vo ingezet, 3 keer in het po en 1 keer in middle school (schooljaren tussen het po en het vo in). Digitale instructie werd 5 keer ingezet bij het leren van Engels als tweede taal, 1 keer bij Chinees (als eerste taal), 1 keer bij rekenen/wiskunde, 1 keer bij geschiedenis en 1 keer werd digitale instructie niet bij een specifiek vak ingezet, maar werd het gebruikt om leesvaardigheden te bevorderen.

Omdat het hier niet één type ict-programma betreft met meerdere kenmerken, maar er binnen verschillende ict-programma's gevarieerd wordt in vormgeving van de instructie, zal er kort per geïncludeerde studie beschreven worden welke vormen van instructie met elkaar worden vergeleken.

#1: Aan leerlingen wordt tijdens het lezen van een Engelse tekst ofwel alleen de Spaanse vertaling (eerste taal) van Engelse woorden (tweede taal) gepresenteerd, ofwel alleen plaatjes van de betekenis van Engelse woorden, ofwel zowel de vertaling van Engelse woorden als plaatjes van de betekenis van Engelse woorden. Woorden met een dergelijke annotatie zijn aangemerkt in de tekst. De leerling krijgt toegang tot de bijbehorende vertaling/het bijbehorende plaatje door met de muis op een aangemerkt woord te klikken.

#2: Leerlingen werken aan multimedia leer materiaal binnen het vak geschiedenis. Materiaal wordt ofwel via één kanaal aan leerlingen gepresenteerd (materiaal bevat voornamelijk tekst, daarnaast statische graphics en afbeeldingen) ofwel via meerdere kanalen (materiaal bevat tekst, graphics en afbeeldingen, maar daarnaast ook audio, video en animaties). Er is sprake van controle door de leerling, bij beide presentatievormen kan de leerling geheel op eigen wijze door het materiaal heen navigeren en kiezen welke informatie hij/zij wil gebruiken.

#3: leerlingen ontvangen woordenschat lessen ofwel via SMS (weinig gedetailleerde tekstuele informatie) ofwel op papier (meer gedetailleerde tekstuele informatie).

#4: leerlingen werken in een multimedialprogramma om Engels (tweede taal) te leren. Ze bekijken animaties waarbij Engels gesproken wordt ofwel zonder ondertiteling, ofwel met Chinese (eerste taal) ondertiteling, ofwel met Engelse ondertiteling, ofwel met zowel Chinese als Engelse ondertiteling.

#5: Leerlingen leren Engelse woorden (tweede taal) ofwel via een woordenlijst met Japanse (eerste taal) vertalingen, ofwel via kaarten waarop het Engelse woord op de ene kant is gedrukt en de Japanse vertaling op de andere kant ofwel via de computer. Leerlingen zien het Japanse woord op het beeldscherm en typen vervolgens het woord in het Engels. De computer reageert met goed/fout feedback, inclusief de correcte vertaling in het geval van een foute respons.

#6: Leerlingen bekijken video's waarin Engels wordt gesproken met Engelse (tweede taal) en Chinese (eerste taal) ondertiteling. De ondertiteling is ofwel aangepast op (adaptief aan) het Engels niveau (laag, gemiddeld, hoog) van de leerlingen ofwel niet aangepast op (niet adaptief aan) het Engels niveau van de leerlingen. Aanpassing hield in dat een steeds groter aantal Engelse woorden niet voorkomt in de ondertiteling (aansluitend op een laag Engels niveau worden 220 hoogfrequente woorden weggelaten, aansluitend op een gemiddeld Engels niveau worden 1000 hoogfrequente woorden weggelaten, aansluitend op een hoog Engels niveau worden 2200 hoogfrequente woorden weggelaten).

#7: Leerlingen werken met een leesprogramma waarin liedjes, interactieve spellen, video's en digitale boeken zijn opgenomen waarmee leesvaardigheden worden geoefend. Drie manieren van instructie worden vergeleken: 1) leerling controle waarbij de leerling zelf lessen en activiteiten kan kiezen door op de bijbehorende plaatjes te klikken. 2) de leerling doorloopt de lessen in een vaste volgorde. 3) het doorlopen van de lessen wordt bepaald op basis van de vaardigheden die de leerling al dan niet beheerst. Bij instructievorm 2 en 3 vindt er periodieke toetsing plaats om de prestaties en voortgang van leerlingen te volgen. Deze drie manieren van instructie worden ook nog afgezet tegen een vergelijkingsgroep die geen digitale instructie ontvangt.

#8: Er is ofwel sprake van controle door ict ofwel sprake van leerling controle bij het werken met een programma voor het oefenen van optellen en aftrekken met gehele getallen. In beide versies lopen leerlingen door het programma heen door op de NEXT-knop te drukken na het beantwoorden van een opgave (er kan niet op de knop gedrukt worden als de opgave nog niet beantwoord is). Ict controle houdt in dat de leerling alle opgaven maakt en bijbehorende feedback krijgt en alle voorbeelden en alle informatieschermen te zien krijgt. Leerling controle houdt in dat leerlingen de mogelijkheid hebben opgaven en feedback/voorbeelden/informatie naar eigen inzicht over te slaan via het drukken op een SKIP-knop.

#9: leerlingen werken met een e-Book dat veel interactiemogelijkheden bevat (de leerling kan het leestempo, de volgorde van pagina's en media (geluid en animatie) zelf bepalen en de inhoudsopgave bestaat uit hyperlinks) of met een e-Book dat weinig interactiemogelijkheden bevat (de leerling kan alleen het leestempo zelf bepalen).

De beschrijvingen laten zien dat in een deel van de studies presentatievormen van leermateriaal met elkaar worden vergeleken waarin er sprake is van controle over het leerproces door de leerling. In het andere deel van de studies wordt de mate van leerling controle gemanipuleerd (de leerling zelf of ict heeft meer of minder controle over het leerproces). Controle over het leerproces door de leraar is niet van toepassing.

Tabel 14. *Werkzame ingrediënten digitale instructie*

Ict toepassing	Wat werkt?	Sturing			Uitkomsten		
		Ict	Leerling	Leraar	Leerresultaten	Zelf-regulerend leren	Motivatie
Digitale instructie (9)	Werkzame ingrediënten ict-toepassing:						
	LEERRESULTATEN EN MOTIVATIE Balans tussen de hoeveelheid informatie tijdens instructie en mate van leerling/ict controle over het leerproces, aangepast aan een hoog of laag kennis- en/of vaardigheidsniveau zorgt voor een adequate belasting van het werkgeheugen. ^{1,2,3,4,5,6,7,8,9}	X	X		X ^{1,2,3,4,5,6,7,8,9}		X ^{6,8}
	Bij een laag kennis- en/of vaardigheidsniveau is presentatie van heldere, behapbare informatie via een kleiner aantal kanalen al dan niet in combinatie met een grote mate van controle over het leerproces door ict effectief. ^{1,3,6,7,8,9}	X	X		X ^{1,3,6,7,8,9}		X ^{6,8}
	Is er sprake van leerling controle, dan is het voordeliger voor leerlingen met een laag kennis- en/of vaardigheidsniveau om met een programma te werken dat veel instructie biedt dan met een programma te werken dat weinig instructie biedt, omdat deze leerlingen minder geneigd zijn instructiestappen over te slaan. ⁸		X		X ⁸		
	Voor leerlingen met een hoog kennis- en/of vaardigheidsniveau kan informatie via meerdere kanalen (tekst, graphics en afbeeldingen en daarnaast audio, video en animaties) zorgen voor dieper begrip van het leermateriaal. ²	X	X		X ²		
	Voor dieper begrip is het wel noodzakelijk dat er tenminste sprake is van leerling controle over het tempo van het leerproces, zodat er voldoende tijd is om alle informatie te verwerken en overbelasting van het werkgeheugen te voorkomen. ^{2,8}	X	X		X ^{2,8}		

¹ Acha, 2009

² Hii & Fong, 2010

³ Lu, 2008

⁴ Lwo & Lin, 2012

⁵ Nakata, 2008

⁶ Hsu, 2015

⁷ Johnson, Perry, & Shamir, 2010

⁸ Kopcha & Sullivan, 2008

⁹ Wang & Yang, 2016

Wat werkt

In alle 9 studies zijn effecten op de uitkomstmaten onderzocht. In 8 studies zijn effecten op leerresultaten onderzocht, in één van deze studies zijn naast effecten op leerresultaten ook effecten op motivatie onderzocht. In 1 studie zijn alleen effecten op motivatie onderzocht. Effecten op zelfregulerend leren zijn in deze studies niet onderzocht. De resultaten en werkzame ingrediënten zijn samengevat weergegeven in Tabel 14.

Leerresultaten en motivatie

Omdat in de studies effecten van verschillende type instructie binnen een ict-toepassing met elkaar worden vergeleken, kan er niet gesproken worden van positieve of negatieve effecten op uitkomstmaten binnen een studie. Over alle studies heen zal beschreven worden welke kenmerken van instructie bijdragen aan gewenste effecten.

In de 9 studies wordt instructie gevarieerd vormgegeven, gericht op het bevorderen van uiteenlopende kennis- en vaardigheden. Desondanks zijn er overeenkomsten te ontdekken in de resultaten die de studies opleveren en aanwijzingen voor werkzame ingrediënten die aan de resultaten hebben bijgedragen. In elke studie wordt één of beide van de volgende factoren gemanipuleerd: de hoeveelheid informatie waarmee de leerling tijdens instructie wordt gepresenteerd (informatie via een groter of kleiner aantal kanalen, meer of minder gedetailleerde informatie) en de sturing van het leerproces (meer of mindere mate van controle over het leerproces door de leerling zelf, meer of mindere mate van controle over het leerproces door ict). Daarbij lijkt de meest geschikte vorm van instructie afhankelijk te zijn van het kennis- en/of vaardigheidsniveau van de leerlingen. **Balans tussen de hoeveelheid informatie tijdens instructie en mate van leerling/ict controle over het leerproces, aangepast aan een hoog of laag kennis- en/of vaardigheidsniveau zorgt voor een adequate belasting van het werkgeheugen.** Uit de studies komt naar voren dat met name bij een laag kennis- en/of vaardigheidsniveau presentatie van heldere, behapbare informatie via een kleiner aantal kanalen al dan niet in combinatie met een grote mate van controle over het leerproces door ict tot gewenste effecten op leerresultaten en motivatie leidt.^{1,3,6,7,8,9} Is er sprake van leerling controle, dan is het voordeliger voor leerlingen met een laag kennis- en/of vaardigheidsniveau om met een programma te werken dat veel instructie biedt dan met een programma te werken dat weinig instructie biedt, omdat deze leerlingen minder geneigd zijn instructiestappen over te slaan.⁸

Leerlingen met een hoog kennis- en/of vaardigheidsniveau kunnen beter met presentatie van informatie via een groter aantal kanalen overweg omdat zij beter in staat zijn beslissingen te maken over wat ze nodig hebben in hun leerproces en zo beter relevante informatie kunnen selecteren, reorganiseren en integreren met al aanwezige kennis.⁸ Informatie via meerdere kanalen (tekst, graphics en afbeeldingen en daarnaast audio, video en animaties) kan zelfs zorgen voor dieper begrip van het leermateriaal.² Voorwaarde hierbij is wel dat er tenminste sprake is van leerling controle over het tempo van het leerproces, zodat er voldoende tijd is om alle informatie te verwerken en overbelasting van het werkgeheugen te voorkomen.^{2,8}

Studies #4 en #6 vormen een uitzondering. In het geval van ondertiteling van filmpjes bij het leren van een tweede taal, lijken leerlingen met een laag kennis- en/of vaardigheidsniveau juist meer baat te hebben bij meer informatie (meer woorden in de ondertiteling of ondertiteling met zowel de woorden in de tweede taal als de vertalingen ervan) dan leerlingen met een hoog kennis- en/of vaardigheidsniveau. Als verklaring hiervoor wordt gegeven dat een minder vaardige leerling selectiever informatie opneemt, alleen informatie die de leerling opvalt (leerlingen leerden meer van geanimeerde afbeeldingen dan van de ondertiteling). Een vaardigere leerling neemt alle informatie op en kan afgeleid worden door te veel, voor deze leerling overbodige, informatie.

In studies #5 en #7 ten slotte, wordt bekeken welke presentatievorm het meest effectief is voor het leren van woorden (presentatie van woorden in woordenlijsten, op woordkaarten (met het te leren woord op de ene kant en de vertaling op de andere kant) of via de computer) of het trainen van leesvaardigheden (reguliere instructie versus leerling gestuurde instructie via de computer, versus lineaire presentatie van taken via de computer, versus presentatie van taken via de computer op basis van beheersing (als de leerling een taak beheerst, krijgt de leerling een volgende, iets moeilijkere taak aangeboden. Elke leerling doorloopt taken zo op een eigen volgorde)). Voor het leren van woorden was presentatie via de computer het meest effectief omdat de computer meer dan de andere twee presentatievormen mogelijkheden bood om in volgorde van woorden te variëren tijdens het leren, de pauzes tussen presentatie van het ene en van het andere woord te manipuleren etc. Voor het trainen van leesvaardigheden was het presenteren van taken via de computer op basis van beheersing effectiever dan reguliere instructie en leerling gestuurde instructie via de computer, maar even effectief als lineaire presentatie van taken via de computer. In beide studies blijkt de balans tussen leerling controle en ict controle over het leerproces van belang voor positieve effecten op de uitkomstmaten.

Voorbeeld van digitale instructie:

In de studie van Hii & Fong (2010) werden twee versie van multimedia leer materiaal ontwikkeld voor het vak geschiedenis. Beide versies hadden hetzelfde onderwerp, Nationalisme, maar de ene versie presenteerde informatie via verschillende kanalen tegelijkertijd (tekst, graphics en afbeeldingen met video, geluid en animatie), terwijl de andere versie bestond uit het omslaan van pagina's met voornamelijk tekst en statische graphics en afbeeldingen zonder video, geluid of animatie. In beide versies hadden leerlingen controle over het leerproces, waarbij instructie erop gericht was het werkgeheugen zo min mogelijk te belasten. Het multimedia materiaal brak lessen in te behappen stukjes, zette de verschillende delen van een les op een rij en liet de relaties tussen de verschillende delen van de les zien, en presenteerde de delen in een bepaalde volgorde. Leerlingen zagen een tekstparagraaf en een afbeelding (al dan niet met extra informatie in de vorm van video, geluid en animatie) per scherm in hypertext. Leerlingen konden het tempo van de presentatie controleren door op een 'doorgaan' knop te drukken. Ook konden leerlingen ervoor kiezen gebruik te maken van extra hints door te klikken op de hypertext of informatie over te slaan door op de 'exit' knop te klikken.

3.3.11 Interactief Whiteboard

Beschrijving interactief Whiteboard

Het interactief Whiteboard (IWB) ondersteunt de leraar bij het geven van instructie tijdens een klassikale les (De Koster, Volman, & Kuiper, 2013). Leraren kunnen digitale lesmaterialen op het IWB manipuleren en gebruik maken van functies als Powerpoint, Word en het internet zonder dat dit de teaching flow of het begeleiden en monitoren van de leerlingen onderbreekt. Tijdens de les kan de leraar lesmateriaal creëren, aanpassen en opslaan, aantekeningen maken, materialen integreren en fysiek interacteren met het materiaal. Ook kunnen multimediate bestanden in het materiaal worden geïntegreerd (Ting, Tai, & Lin, 2015). Het IWB zou de interactie tussen leraar en leerlingen bevorderen en leerlingen de mogelijkheid geven te leren door te doen, omdat ook leerlingen fysiek kunnen interacteren met het IWB. Zo worden lessen interessanter en leuker, wat leerlingen motiveert en het leren faciliteert (De Koster et al., 2013; Ting et al., 2015)

Kenmerken van de geselecteerde studies

In de drie geïncorporeerde studies waarin het IWB werd onderzocht, werd het in het po ingezet. Het IWB is een ict-toepassing die bij elk vak als hulpmiddel gebruikt kan worden. Omdat het

om één ict-toepassing gaat die in alle gevallen dezelfde functies heeft, maar die in verschillende contexten verschillend kan worden ingezet, wordt hier per studie kort beschreven van welke functies van het IWB in de betreffende context gebruik werd gemaakt.

#1: in deze studie wordt de interactie met het IWB vergeleken tussen twee scholen die traditioneel onderwijs geven (onderwijs grotendeels gebaseerd op tekstboeken, relatief weinig inbreng van leerlingen, met name directe instructie aan de hele klas, leerlingen verwerken de lesstof individueel of in tweetallen door te werken aan gestructureerde opgaven) en twee scholen die innovatief onderwijs geven (tekstboeken spelen een minder grote rol, leerlingen hebben meer te zeggen over leerinhoud en leeractiviteiten, werken vaak binnen onderzoeksprojecten met zelfbedachte onderzoeksvragen, minder klassikale instructie, leerlingen werken meer individueel of in kleine groepjes met ondersteuning van de leraar).

#2: leerlingen die hoog presteren op het leren van het Engels als tweede taal en leerlingen die laag presteren op het leren van het Engels als tweede taal ontvangen instructie via het IWB. Functies van het IWB kunnen helpen bij het opmerken (bijvoorbeeld, door woorden te highlighten) en het terughalen van woorden (bijvoorbeeld, door woorden te koppelen aan plaatjes) en het toepassen van opgedane kennis (bijvoorbeeld, door de woorden te gebruiken in schrijfoefeningen).

#3: leraren en leerlingen worden gevraagd naar volgens hen positieve en negatieve aspecten van het IWB.

Met een IWB wordt controle over het leerproces door de leraar ondersteund, maar het IWB biedt mogelijkheden om ook de leerling meer controle over het leerproces te geven.

Tabel 15. *Werkzame ingrediënten interactief whiteboard*

Ict toepassing	Wat werkt?	Sturing			Uitkomsten		
		Ict	Leerling	Leraar	Leerresultaten	Zelf-regulerend leren	Motivatie
Interactief Whiteboard (3)	Werkzame ingrediënten ict-toepassing: LEERRESULTATEN Het IWB helpt de aandacht te richten op (in dit geval) woorden als te leren items en licht belangrijke kenmerken van woorden eruit. Leerlingen beschouwen het IWB zo als een scaffold. ^{2,3}			X	X ^{2,3}		
	Het IWB bidet verschillende type hands-on activiteiten waarmee leerlingen (in dit geval) het terughalen van geleerde woorden uit het geheugen kunnen oefenen. Via deze activiteiten gaan leerlingen actief met het leren van woorden aan de slag. ^{2,3}		X	X	X ^{2,3}		
	Het IWB biedt mogelijkheden om met activiteiten aan te sluiten bij het kennis- en/of vaardigheidsniveau van de leerlingen. ^{2,3}		X	X	X ^{2,3}		

¹ De Koster, Volman, & Kuiper, 2013

² Ting, Tai, & Lin, 2015

³ Fekonja-Pekljaj & Marjanovič-Umek, 2015

Wat werkt

In slechts één van de studies werden effecten van het IWB onderzocht. Zowel leerlingen die hoog presteren als leerlingen die laag presteren op het leren van het Engels als tweede taal gingen met behulp van IWB-instructie significant vooruit in de vaardigheden woordklanken te koppelen aan woordvormen en woordvormen te koppelen aan woordbetekenissen.² Als verklaring hiervoor wordt gegeven dat het IWB helpt **de aandacht te richten op woorden als te leren items en belangrijke kenmerken van de woorden eruit licht**. Daarbij biedt het IWB **verschillende type hands-on activiteiten waarmee leerlingen het terughalen van geleerde woorden uit het geheugen kunnen oefenen**. Via deze activiteiten gaan leerlingen **actief** met het leren van woorden aan de slag. Leerlingen zelf gaven aan het IWB als extra **scaffold** te ervaren, naast hulp van de leraar of een competentere medeleerling. Ten slotte biedt het IWB **mogelijkheden om met activiteiten aan te sluiten bij het kennis- en/of vaardigheidsniveau** van de leerlingen. Zo kunnen aan leerlingen die hoog presteren activiteiten worden aangeboden waarbij hogere-orde leer- en denkprocessen ingezet moeten worden, wat hen de mogelijkheid geeft hun kennis te demonstreren, maar hen ook uitdaagt woorden op een creatieve manier te gebruiken. Aan leerlingen die laag presteren kunnen activiteiten worden aangeboden waarmee het ophalen van geleerde woorden uit het geheugen wordt getraind. Hoewel niet kwantitatief experimenteel getoetst, worden de genoemde werkzame ingrediënten ondersteund door uitspraken van leraren en leerlingen in studie #3 en uitkomsten van een flankerend onderzoek binnen een stichting voor primair onderwijs in Nederland door Fisser en Gerdevink Nijhuis (2007). De resultaten en werkzame ingrediënten zijn samengevat weergegeven in Tabel 15.

Voorbeeld van inzet interactief whiteboard:

In de studie van Ting et al. (2015) presenteerde de leraar woordenschatinformatie aan de leerlingen en moedigde hen aan het woord te bediscussieren in de groep. De leraar liet via het IWB een web pagina zien om leerlingen de betekenis van het woord in context te laten raden. De antwoorden van de leerlingen werden op de web pagina genoteerd. Vervolgens werd een nieuw woord geïntroduceerd. De leraar gebruikte highlight tools om kern elementen van woorden eruit te lichten. De betekenis van woorden werd met behulp multimedia gepresenteerd, via afbeeldingen, woordklanken en vormen van woorden in een flipchart. Om leerlingen te helpen de woorden te onthouden, werd de leerlingen hands-on activiteiten aangeboden. Een student werd gevraagd naar het IWB te komen en de woordklank naar de bijbehorende afbeelding te slepen of een spelling probleem op te lossen. De andere leerlingen werd gevraagd hun medestudent te helpen bij het vinden van het antwoord of te beoordelen of het antwoord van hun medestudent correct was. Ten slotte, om na te gaan of leerlingen het verschillend gebruik van woordbetekenissen in verschillende contexten hadden begrepen, werd het werk van sommige leerlingen gefotografeerd en verwerkt in een flipchart om beoordeeld te worden door de hele klas.

3.3.12 Programmeer software

Beschrijving programmeer software

Met programmeer software wordt het uitvoeren van programmeer stappen vereenvoudigd voor beginnende programmeurs (o.a., Koorsse, Cilliers, & Calitz, 2015). Via programmeer software schrijven leerlingen een syntax die bij uitvoer leidt tot, bijvoorbeeld, het bewegen van een robot door de ruimte of het bewegen van een avatar over het computerscherm. Programmeren in het po en vo heeft als doel om “het creatieve, oplossingsgerichte vermogen van leerlingen aan te scherpen, hun kennis van digitale systemen te vergroten” en computational thinking te trainen door problemen op te lossen met behulp van computer science concepten zoals abstractie en decompositie (Lye & Koh, 2014; Rapport ‘Computational Thinking in het Nederlandse onderwijs’, Kennisnet, 2016).

Kenmerken van geselecteerde studies

Van de 3 geïncludeerde studies werd programmeer software 2 keer in het vo ingezet, 1 keer in het vak informatica, 1 keer in het vak science, en 1 keer in het po in de vorm van een naschools programma. De resultaten en werkzame ingrediënten zijn samengevat weergegeven in Tabel 16.

In studie #1 bouwen leerlingen een LEGO robot en sturen vervolgens de robot aan in steeds ingewikkelder programmeertaken (bijvoorbeeld, eerst laten leerlingen de robot draaien, vervolgens manoeuvreren de leerlingen de robot door een doolhof (robot slaat links/rechts af), vervolgens laten de leerlingen de robot bewegingen herhalen (lopen) en ten slotte laten leerlingen de robot reageren op waarnemingen via contact- en lichtsensoren). Leerlingen schrijven de syntax door te kiezen uit acties, hier waarden aan toe te kennen en de acties samen te voegen in een visuele flowchart die de syntax representeert met behulp van icoontjes. In studies #2 en #3 voeren leerlingen opdrachten uit waarin problemen worden opgelost of processen worden onderzocht. Leerlingen schrijven een syntax met behulp van standaardcommando's, verslepen blokken die verschillende acties representeren en koppelen deze aan elkaar om zo tot een syntax te komen of kiezen acties, kennen hier waarden aan toe en voegen de acties samen in een visuele flowchart die de syntax representeert met behulp van icoontjes. De syntax leidt tot het bewegen van een robot over het computerscherm en het interacteren van deze robot met objecten in een wereld in de vorm van een kaart of het bewegen van een avatar over het computerscherm. De context van de uit te voeren opdrachten kan op verschillende manieren worden vormgegeven (verschillende avatars, verschillende werelden etc.).

Door de acties van de robot of de acties van de avatar op het computerscherm te bekijken, kan de leerling nagaan of de gecreëerde syntax klopt en het vooraf gestelde doel wordt behaald. Hoewel deze vorm van feedback als scaffold kan dienen, speelt ict in studie #1 en #2 geen actieve rol in het leerproces. Er is sprake van sturing van het leerproces door de leerling. In studie #3 worden er in de instructie van de opdrachten hints gegeven die de leerlingen helpen bij het uitvoeren van de opdrachten. In dit geval is er naast sturing door de leerling enige sturing van het leerproces door de 'leraar' (de handleiding met instructies).

Tabel 16. *Werkzame ingrediënten programmer software*

Ict toepassing	Wat werkt?	Sturing			Uitkomsten		
		Ict	Leer- ling	Leraar	Leer- resultaten	Zelf- regulerend leren	Motivatie
Programmeer software (3)	Werkzame ingrediënten ict-toepassing:						
	LEERRESULTATEN Het uittesten van science, engineering en technologie principes met een concrete en ‘speelgoed’ vorm van een computer zoals een robot, maakt dat leerlingen zich met de robot kunnen identificeren en helpt leerlingen de abstracte concepten op een functioneel niveau begrijpen. ¹		X		X ¹		
	Ook doen leerlingen via het werken met en het bouwen van een robot kennis op over de verschillende disciplines waarin een robot kan worden toegepast en leren ze hoe een complex systeem in elkaar zit. ¹		X		X ¹		
	In programmeer software is een heldere syntax waarmee het niveau van programmeren aansluit bij het niveau van de leerlingen (het programmeren niet te makkelijk en niet te moeilijk is) mogelijk belangrijk voor effecten op leerresultaten en motivatie. ²		X				
	Werkzame ingrediënten implementatie: Een focus op specifieke kennis- en vaardigheden. ²						
	Een duidelijk programmeerdoel. ²						

¹ Barker & Ansorge, 2007 (robotics)

² Koorsse, Cilliers, & Calitz, 2015

³ Weigend, 2014

Wat werkt

In 2 studies werden de effecten van programmeer software op leerresultaten onderzocht. Effecten op zelfregulerend leren en motivatie werden niet onderzocht.

Leerresultaten

In 1 studie werden positieve effecten gevonden.¹ Het aansturen van een LEGO robot in programmeertaken zorgde ervoor dat leerlingen science, engineering en technologie concepten leerden. Er worden enkele aanwijzingen voor werkzame ingrediënten gegeven. Het uittesten van science, engineering en technologie principes met een **concrete en ‘speelgoed’ vorm** van een computer zoals een robot, maakt dat leerlingen zich met de robot kunnen identificeren en helpt leerlingen de abstracte concepten op een functioneel niveau begrijpen (Nourbakhsh et al., 2005; Papert, 1980). Ook wordt gesuggereerd dat leerlingen via het werken met en het bouwen van een robot **kennis opdoen over de verschillende disciplines** waarin een robot kan worden toegepast en **leren hoe een complex systeem in elkaar zit** (Beer, Chiel, & Drushel, 1999; Papert, 1980; Rogers & Portsmore, 2004).

In 1 studie werden neutrale effecten gevonden.² Resultaten lieten geen positief of negatief effect zien op de kennis van programmeer concepten. Vragen over de bruikbaarheid van de programmeer software liet zien dat leerlingen de software nuttig vonden, maar moeite hadden met het begrijpen van sommige begrippen in de syntax of het werken met de software soms te makkelijk vonden, wat mogelijk leidde tot mindere motivatie om met de software te werken. Ten slotte lijkt focus op het trainen van specifieke kennis- en vaardigheden en een duidelijk programmeerdoel belangrijk voor leerlingen om het werken met de programmeer software positief te beoordelen. Hieruit kunnen **een heldere syntax waarmee het niveau van programmeren aansluit bij het niveau van de leerlingen (het programmeren niet te makkelijk en niet te moeilijk is), een focus op specifieke kennis- en vaardigheden en een duidelijk programmeerdoel** als mogelijke werkzame ingrediënten worden afgeleid.

Voorbeeld van programmeer software:

In de studie van Koorsse et al. (2015) wordt onder andere Scratch ingezet. In Scratch bouwen leerlingen scripts (“syntax”) door blokken die verschillende acties representeren aan elkaar te koppelen. De blokken worden stap voor stap belicht tijdens de uitvoer van een script zodat de leerling de uitvoer stap voor stap kan volgen en kan bekijken wat de graphische objecten en karakters op het beeldscherm doen op basis van het gebouwde script. Door het verslepen van blokken die verschillende acties representeren, is er geen sprake van een ingewikkelde programmeer syntax. Meer aandacht kan zo gegeven worden aan het plannen van programmeer oplossingen, bijvoorbeeld, welke instructies moeten in welke volgorde gegeven worden om een object van A naar B te brengen.

4. Conclusie en discussie

4.1 Antwoord op de onderzoeksvragen

De huidige overzichtsstudie had als doel ict-verschijningsvormen en -toepassingen die de regulatie van het leren van leerlingen ondersteunen, in kaart te brengen, effecten op cognitieve (leerresultaten), metacognitieve (zelfregulerend leren) en affectieve (motivatie) uitkomsten te beschrijven en werkzame ingrediënten van deze ict-verschijningsvormen en -toepassingen op een rij te zetten. Al deze drie elementen werden verwerkt in een taxonomie. Op basis van deze taxonomie kunnen we de drie onderzoeksvragen die in deze studie centraal staan, beantwoorden.

1. Welke verschijningsvormen en toepassingen van ict die de regulatie van leren van leerlingen ondersteunen zijn er te onderscheiden?

Op basis van de ict-toepassingen zoals deze in de wetenschappelijke artikelen worden beschreven, onderscheiden we 12 clusters waarbinnen toepassingen op basis van overeenkomstige kenmerken zijn geordend. De ict-toepassingen variëren in *functie en doel*, het *type sturing* dat wordt ondersteund en hoe getracht wordt het *betreffende doel te bereiken en het betreffende type sturing te bieden*. Omdat een variatie aan kenmerken van ict-toepassingen van invloed is op de uitkomstmaten en niet in elke cluster effecten op elke uitkomstmaat zijn onderzocht, is niet te zeggen welke toepassingen het beste werken voor welke uitkomstmaten. Daarom is per cluster van type ict-toepassingen genoemd welke werkzame ingrediënten een grote rol spelen in effecten op welke uitkomsten.

1) Oefenprogramma's cognitieve en metacognitieve vaardigheden, games.

Deze type ict-toepassingen hebben als doel kennis en vaardigheden te trainen en/of te toetsen (o.a., Faber et al., 2017). In veel gevallen neemt ict een deel van de controle over het leerproces van de leerling over. Via al dan niet adaptieve opgaven, oefeningen en spelactiviteiten met al dan niet adaptieve, directe, positieve feedback (goed/fout feedback en/of uitgebreidere uitleg bij een gegeven antwoord, scaffolds en/of prompts, feedback op het leerresultaat en/of op het leerproces) wordt nieuwe kennis opgedaan en worden vaardigheden ingeoefend. Zowel de leraar als de leerling zelf krijgen zo meer inzicht in het leerproces van de leerling. Met name de directe feedback die leerlingen inzicht geeft in hun voortgang en hen de kans geeft hun leerstrategie als nodig aan te passen lijkt een element dat leidt tot positieve effecten op leerresultaten. De effecten van adaptiviteit op leerresultaten zijn niet eenduidig, maar het aanpassen van opgaven en instructie aan de behoeften en interesses van de leerling lijkt wel een grote rol te spelen in effecten op motivatie. Omdat via deze type ict-toepassingen het leerproces veelal gestuurd wordt door ict, blijft er weinig ruimte over voor zelfregulerend leren processen (met uitzondering van de oefenprogramma's die metacognitieve vaardigheden trainen, omdat deze programma's erop gericht zijn het zelfregulerend leren te stimuleren). Om naast leerresultaten en motivatie ook zelfregulerend leren te bevorderen, lijkt extra aandacht voor zelfregulerend leren vaardigheden nodig (bijvoorbeeld door leerlingen te vragen voorafgaand aan het werken met de ict-toepassing leerdoelen op te stellen of leerlingen de juistheid van hun eigen antwoorden te laten inschatten).

2) E-portfolio, intelligent tutor systeem, blended learning, digitale instructie

Deze type ict-toepassingen zijn erop gericht onderwijs en instructie op een andere manier in te richten (o.a., Smith & Suzuki, 2015) om zo de leerling meer controle over het eigen leerproces te geven of tot meer gedeelde sturing tussen leraar en leerling te komen. Omdat de rol van instructeur helemaal (bijvoorbeeld, in het geval van een intelligent tutor systeem) of

voor een deel (bijvoorbeeld, in het geval van een e-portfolio) door de ict-toepassing wordt overgenomen, kan de leraar functioneren als mentor of coach. De leraar kan in plaats van het uitleggen van leerstof meer tijd besteden aan het begeleiden van leerlingen bij het werken met leermateriaal. Instructie wordt veelal vormgegeven met behulp van scaffolds of prompts. Scaffolds helpen leerlingen bij taken die telkens iets moeilijker zijn dan het huidige kennis- en/of vaardigheidsniveau, prompts helpen leerlingen te begrijpen wat ze moeten doen of helpen leerlingen een volgende stap te zetten bij het oplossen van een probleem. De ict-toepassing kan deze automatisch aanbieden op het moment dat het nodig is, maar er zijn ook toepassingen waarin de leerling deze zelf kan opvragen op het moment dat hij/zij deze nodig heeft of die de leraar de mogelijkheid bieden om scaffolds of prompts aan te bieden wanneer hij/zij dit nodig acht. In het geval van een e-portfolio of een intelligent tutor systeem vormen met name de scaffolds en prompts die op het juiste moment relevante informatie bieden een werkzaam ingrediënt dat tot positieve effecten op leerresultaten leidt. Scaffolds en prompts helpen leerlingen bij iedere stap in de taak of leercyclus en geven leerlingen richting in hun leerproces. Tevens gaan leerlingen via een e-portfolio of intelligent tutor systeem actief aan de slag met zelfregulerend leren activiteiten, wat positieve effecten op deze uitkomstmaat oplevert. Via een e-portfolio worden de verschillende fases in het zelfregulerend leren proces doorlopen, een intelligent tutor systeem vraagt leerlingen op het eigen leerproces te reflecteren. In beide clusters is geen onderzoek gedaan naar effecten op motivatie. In het geval van blended learning of digitale instructie lijkt voor zowel positieve effecten op leerresultaten als op motivatie met name van belang dat de mate van leerling controle past bij de behoeften van de leerling. In deze clusters is geen onderzoek gedaan naar effecten op zelfregulerend leren.

3) Concept map programma's, simulatieprogramma's, augmented reality programma's, programmeer software, interactief whiteboard

Deze laatste type ict-toepassingen bieden de leerling alleen ondersteuning bij het uitvoeren van opdrachten of ondersteunen de leraar bij het geven van instructie (o.a., Janssen et al, 2010). Via een concept map programma kan informatie overzichtelijk worden geordend en kunnen verbanden worden gelegd tussen verschillende stukjes informatie. Via simulatie- en augmented reality programma's kunnen processen en problemen in een realistische context worden gevisualiseerd en experimenteel onderzocht. Ook via programmeer software worden processen gevisualiseerd. Via programmeer software oefenen leerlingen met het uitvoeren van stappen in het programmeer proces, door de bewegingen te bekijken van de avatar die door de programmeerde syntax wordt aangestuurd, kan de leerling controleren of de syntax correct is. Via een interactief whiteboard wordt het de leraar onder andere mogelijk gemaakt belangrijke informatie eruit te lichten en multimediamateriaal te gebruiken bij instructie. Met name het ordenen van informatie, het visualiseren van begrippen en processen en de mogelijkheid bepaalde informatie te benadrukken draagt bij aan positieve effecten op leerresultaten en motivatie. Deze werkzame ingrediënten zorgen voor overzicht van te leren en te gebruiken informatie wat leidt tot mindere belasting van het werkgeheugen en laten de leerling reflecteren op het leerproces. Effecten op zelfregulerend leren zijn in deze studies niet onderzocht.

Overlap van kenmerken tussen groepen ict-toepassingen

Het onderscheid tussen de verschillende groepen ict-toepassingen zoals in deze paragraaf beschreven, is niet zo scherp. Regelmatig komt het voor dat ict-toepassingen kenmerken van meerdere type ict-toepassingen bevatten. Zo komt het geven van scaffolds en prompts zowel in oefenprogramma's als in intelligent tutor systemen en e-portfolio's voor. Een ander voorbeeld is dat een game augmented reality elementen kan bevatten. Ook de mate waarin er

sprake is van ict/leraar/leerling controle kan variëren binnen de type ict-toepassingen. Ten slotte, de ict-toepassingen worden voornamelijk ingezet in het vo (met uitzondering van het interactief whiteboard dat uitsluitend in het po wordt ingezet) en lijken vooral geschikt te zijn voor het vak rekenen/wiskunde, science en informatica vakken en vakken waarin de inzet en ontwikkeling van taal-, lees- en/of schrijfvaardigheden centraal staat.

2. Welke effecten van ict-vormen en -toepassingen op leerprestaties, motivatie en zelfregulatievaardigheden van leerlingen worden er beschreven in de (inter)nationale literatuur?

Om deze vraag te beantwoorden wordt in deze paragraaf per uitkomstmaat beschreven binnen welke clusters van type ict-toepassingen onderzoek is gedaan naar effecten op deze uitkomstmaat en welke werkzame ingrediënten uit dit effectonderzoek naar voren zijn gekomen.

Leerresultaten

In de meeste effectstudies (100 van de 110) in alle clusters werden effecten op leerresultaten onderzocht. Deze studies leveren op deze manier veel informatie op over eigenschappen van ict-toepassingen die een positieve invloed hebben op leerresultaten. Zo wordt er in cognitieve oefenprogramma's en games **directe feedback** gegeven die de leerling meer inzicht biedt in het eigen leerproces en leerlingen de kans geeft leerstrategieën aan te passen als dit nodig blijkt. Specifiek voor oefenprogramma's geldt dat met **adaptieve oefeningen** beter wordt ingespeeld op de instructiebehoeften van leerlingen en dat de grote hoeveelheid oefeningen die met de programma's kunnen worden gemaakt de leerresultaten ook positief beïnvloedt. Specifiek voor games geldt dat de **competitieve** (zorgt ervoor dat leerlingen doelgericht werken) **en sociale elementen** (als leerlingen keuzes aan elkaar moeten uitleggen) ook bijdragen aan positieve effecten op leerresultaten. Interactie met oefenprogramma's en games door problemen op te lossen met behulp van **scaffolds/prompts** maakt leerlingen meer bewust van de eigen kennis en vaardigheden en stimuleert hen actief aan de slag te gaan. Ook in intelligent tutor systemen worden leerlingen met behulp van scaffolds/prompts begeleid in het leerproces. **Begeleiding waarbij (relevante) informatie (op het juiste moment) gegeven wordt** is effectiever dan begeleiding waarbij de leerling onthouden wordt van informatie. Er kan algemene informatie gegeven worden over hoe een probleem op te lossen, maar voor effecten op leerresultaten is het **van belang dat ook specifieke informatie als hulp bij het doorlopen van stappen binnen een concrete probleemcontext wordt gegeven**. In oefenprogramma's voor metacognitieve vaardigheden worden **prompts/scaffolds gegeven gericht op de organisatie van leeractiviteiten (regulatieve prompts) en denkprocessen ((meta)cognitieve prompts)**. Deze prompts helpen leerlingen hun eigen leerproces te monitoren en kunnen leerresultaten positief beïnvloeden als de prompts ook gelinked zijn aan domeinkennis. Ditzelfde geldt voor prompts/scaffolds die gegeven worden in een e-portfolio. **Begeleid via prompts/scaffolds van de leraar doorloopt de leerling elke stap van het zelfregulerend leren proces**. Oefenen van de de leerinhoud stimuleert niet automatisch het zelfregulerend leren, maar **aandacht voor metacognitieve vaardigheden en zelfregulerend leren kan indirect wel een positief effect hebben op leerresultaten**. In het geval van blended learning en digitale instructie is het van belang dat er een **adequate balans is tussen leerling controle/leraar controle (blended learning) en leerling controle/ict controle over het leerproces (digitale instructie)**. Leerlingen moeten met leerling controle om kunnen gaan, wil blended learning en digitale instructie succesvol zijn. Het werkzame ingrediënt dat

de belangrijkste rol speelt in effecten op leerresultaten in de concept map programma's, augmented reality applicaties en simulatieprogramma's, is **de mogelijkheid informatie overzichtelijk te ordenen (concept map programma's) en begrippen en processen visueel te representeren en deze representatie al dan niet te manipuleren (concept map programma's, augmented reality applicaties en simulatieprogramma's)**. Zo wordt betekenisvol leren ondersteund. Het interactief whiteboard maakt het mogelijk **belangrijke te leren informatie eruit te lichten en biedt hands-on activiteiten aan om met de te leren informatie te oefenen**, wat tot effecten op leerresultaten leidt. Programmeer software kan positieve effecten op leerresultaten opleveren als er sprake is van een **heldere syntax waarvan het niveau past bij het kennis- en vaardigheidsniveau van de leerlingen**. Ten slotte geldt voor alle type ict-toepassingen dat het **overzichtelijk representeren van informatie** (bijvoorbeeld, een overzichtelijke interface of het aan leerlingen presenteren van een adequate hoeveelheid informatie tegelijkertijd), wat zorgt voor een **mindere belasting van het werkgeheugen**, als ook het werken aan opgaven **binnen een betekenisvolle context en met een betekenisvol doel** bijdraagt aan hogere leerresultaten. Figuur 2 geeft een overzicht van ict kenmerken en mediërende of conditionele factoren die van invloed zijn op het leerresultaat.

ICT kenmerk	Mediërend of conditioneel	Resultaat
<ul style="list-style-type: none"> • Directe feedback • Niveau-adaptatie • Competitie met zelf/peers • Scaffolds/prompts • Visuele representatie • Interactie/manipulatie • Hands-on oefenen • Helder syntax • Overzicht van informatie 	<ul style="list-style-type: none"> • Just-in-time • Hulp gericht op domein-context • Zorgen voor de juiste balans tussen leerling controle/ict controle of leerling controle/leraar controle • Aandacht voor ZRL • Sluit aan bij voorkennis leerling • Betekenisvolle context en doel 	<ul style="list-style-type: none"> • Leerresultaten

Figuur 2. Ict kenmerken, mediërende en controlerende factoren die van invloed zijn op het leerresultaat.

Zelfregulerend leren

Effecten op zelfregulerend leren werden in het minst aantal effectstudies onderzocht (20 van de 110). In de augmented reality applicaties, blended learning, digitale instructie, interactief whiteboard en programmeer software clusters is er niet gekeken naar effecten op zelfregulerend leren. In oefenprogramma's voor cognitieve vaardigheden is er veelal sprake van sturing van het leerproces door ict. Er blijft zo weinig ruimte over voor zelfregulerend

leren processen bij de leerling. Zelfregulerend leren wordt alleen gestimuleerd als er naast het oefenprogramma **extra aandacht wordt besteed aan bevordering van zelfregulerend leren**, bijvoorbeeld door de inzet van metacognitieve controle strategieën te stimuleren of leerlingen te vragen leerdoelen te formuleren voordat ze met het oefenprogramma gaan werken. **Visualisatie van het gedrag van leerlingen** binnen games kan reflectie op het leerproces bevorderen. Via oefenprogramma's voor metacognitieve vaardigheden wordt zelfregulerend leren getraind met behulp van onder andere **prompts gericht op het formuleren van doelen en planning**, wat monitoring activiteiten vergroot, en de **mogelijkheid de eigen voortgang te toetsen**. Een intelligent tutor systeem geeft begeleiding bij het verwerven van cognitieve vaardigheden, maar kan via **scaffolds/hints/feedback die reflectie op het leerproces door de leerling stimuleren** ook zelfregulerend leren bevorderen. Een e-portfolio heeft als doel het doorlopen van de stappen in het zelfregulerend leren proces te ondersteunen. De leraar biedt **scaffolds** aan als hulp bij het plannen van een taak, het uitvoeren van een taak en het reflecteren op een taak. **Het overzichtelijk ordenen en/of visualiseren van informatie** via concept map programma's helpt leerlingen te reflecteren op het leerproces en stimuleert hogere-orde denkprocessen, wat zelfregulerend leren bevordert. Ten slotte, het toevoegen van **learner support in de vorm van uitgewerkte voorbeelden** kan zelfregulerend leren stimuleren bij het gebruik van simulatieprogramma's. Figuur 3 geeft een overzicht van ict kenmerken en mediërende of conditionele factoren die zelfregulerend leren bevorderen.

ICT kenmerk	Mediërend of conditioneel	Resultaat
<ul style="list-style-type: none"> • Aandacht voor ZRL • Visualisatie van leergedrag (als feedback) • Prompt op doelen/planning • Self-assessment • Scaffolds/prompts/hints voor reflectie • Leraar scaffolds • Representatie van informatie • Uitgewerkte voorbeelden 	<ul style="list-style-type: none"> • Plannen van het leerproces • Monitoren/ bijsturen van het leerproces • Reflectie op het leerproces 	<ul style="list-style-type: none"> • Zelfregulerend leren

Figuur 3. *Ict kenmerken, mediërende en controlerende factoren die zelfregulerend leren bevorderen.*

Motivatie

In 34 van de 110 effectstudies werden effecten op motivatie onderzocht. Effecten op motivatie werden niet onderzocht in de e-portfolio, concept map programma's, intelligent tutor systeem, simulatieprogramma's, interactief whiteboard en programmeer software clusters. Samengevat hebben werkzame ingredienten die bijdragen aan positieve effecten op

motivatie betrekking op een of meerdere van de volgende processen: het vergroten van gevoelens van competentie, het verhogen van de interesse in het leren, het zorgen voor een adequate belasting van het werkgeheugen en het zorgen voor de juiste balans tussen leerling controle/ict controle of leerling controle/leraar controle. In oefenprogramma's voor cognitieve vaardigheden zou **positieve feedback** en/of **adaptieve feedback** (dat wil zeggen, feedback op *hoe* een opgave beantwoord is) gevoelens van competentie kunnen bevorderen. **Adaptieve oefeningen** zorgen voor een passende belasting van het werkgeheugen. Bij het spelen van games wordt de interesse van leerlingen vergroot als de game gespeeld wordt binnen een **betekenisvolle, authentieke context** en zorgt **de mogelijkheid autonoom te opereren** voor een passende mate van leerling controle. In het geval van oefenprogramma's voor metacognitieve vaardigheden werkt **feedback op kwaliteit** en **inzicht in de positie van het eigen werk ten opzichte van het werk van medeleerlingen** motiverend. Augmented reality applicaties **verlevendigt de lesstof** en **verrijkt de fysieke omgeving**, wat de interesse van leerlingen in leren vergroot. In het geval van virtual reality waarderen leerlingen **de 'echtheid' van de virtuele omgeving** en **het gevoel onderdeel uit te maken van deze omgeving**. **Interactie met een AR/VR applicatie** vergroot het gevoel van controle over het leerproces bij leerlingen. Ten slotte hebben een **gebruiksvriendelijke VR-omgeving**, **voldoende uitdaging** en **betekenisvolle leeractiviteiten met AR/VR** een positieve invloed op de gevoelens van competentie bij leerlingen. Ten slotte, bij blended learning en digitale instructie dragen een **juiste balans tussen leerling controle/leraar controle (blended learning)** en **tussen leerling controle/ict controle (digitale instructie)** en daarnaast **de presentatie van een passende hoeveelheid informatie tijdens instructie (digitale instructie)** bij aan positieve effecten op motivatie. Figuur 4 geeft een overzicht van ict kenmerken en mediërende of conditionele factoren die motivatie bevorderen.

ICT kenmerk	Mediërend of conditioneel	Resultaat
<ul style="list-style-type: none"> •Positieve feedback •Adaptieve feedback •Betekenisvolle, authentieke context •Autonoom opereren, interactie/manipulatie •Peer vergelijking •Verlevendigen lesstof •Verrijken fysieke omgeving •Gebruiksvriendelijke leer-omgeving •Voldoende uitdaging 	<ul style="list-style-type: none"> •Het vergroten van gevoelens van competentie •Het verhogen van de interesse in het leren •Gevoel onderdeel uit te maken van 'echte' omgeving •Het zorgen voor een adequate belasting van het werkgeheugen •Het zorgen voor de juiste balans tussen leerling controle/ict controle of leerling controle/leraar controle 	<ul style="list-style-type: none"> •Motivatie

Figuur 4. Ict kenmerken, mediërende en controlerende factoren die motivatie bevorderen.

3. Welke werkzame ingrediënten van ict toegepast bij regulatie van het leren van leerlingen zijn er bekend in de (inter)nationale literatuur?

De antwoorden op onderzoeksvraag 1 en 2 samengenomen, blijken de volgende elementen geïntegreerd in de ict-toepassingen in meerdere clusters terug te komen en zo de kern te vormen van wat werkt:

Directe feedback: is er sprake van sturing door ict, dan speelt directe feedback een grote rol in de effecten van de ict-toepassing op leerresultaten. Deze feedback maakt leerlingen bewust van hun leerproces en biedt de kans leerstrategieën aan te passen als nodig (Hattie & Timperley, 2007). Vooral in oefenprogramma's voor cognitieve en metacognitieve vaardigheden en games wordt directe feedback ingezet.

Prompts en scaffolds: is er sprake van (gedeeltelijke) sturing door de leerling, dan kunnen prompts en scaffolds helpen bij het nemen van stappen in het leerproces en zo leerresultaten positief beïnvloeden. Prompts en scaffolds geven geen uitgebreid antwoord op een vraag en/of leggen niet precies uit hoe de leerling een probleem aan moet pakken, maar geven stukjes informatie die de leerling de goede richting op sturen en tegelijkertijd de leerling zelf laten nadenken over het juiste antwoord/de oplossing (Simons & Klein, 2007). Zo kunnen prompts en scaffolds ook leiden tot positieve effecten op zelfregulerend leren. Vooral in e-portfolio's, intelligent tutor systemen, blended learning en digitale instructie worden prompts en scaffolds ingezet. Daarnaast komt het gebruik van prompts en scaffolds ook veel voor in oefenprogramma's voor metacognitieve vaardigheden.

Positieve feedback en adaptiviteit: directe feedback in het geval van sturing door ict is gerelateerd aan positieve effecten op leerresultaten, daarnaast zou de positiviteit van deze feedback gevoelens van competentie bij leerlingen vergroten en zo de motivatie verhogen (oefenprogramma's voor cognitieve en metacognitieve vaardigheden en games) (o.a., Faber et al., 2017). Ook met adaptiviteit van oefeningen aan het kennis- en/of vaardigheidsniveau van de leerlingen wordt getracht leerresultaten te verhogen, maar de effecten van dit type adaptiviteit op leerresultaten zijn niet eenduidig. Het aanpassen van oefeningen aan het niveau van de leerlingen en de interesse van de leerlingen (dit komt met name voor bij oefenprogramma's, games en intelligent tutor systemen) lijkt met name de motivatie positief te beïnvloeden (o.a., Walkington, 2013). Het aanpassen van de instructie aan de hoeveelheid informatie die de leerling kan verwerken en aan de mate van leerling sturing die voor de leerling geschikt is (dit komt met name voor bij blended learning en digitale instructie), zorgt voor een adequate belasting van het werkgeheugen en heeft zo een positieve invloed op zowel leerresultaten als motivatie (o.a., Kopcha & Sullivan, 2008).

Expliciete aandacht voor zelfregulerend leren vaardigheden: studies waarin onderzoek is gedaan naar effecten op zelfregulerend leren laten zien dat deze vaardigheden alleen gestimuleerd worden als er expliciete aandacht aan deze vaardigheden wordt besteed, bijvoorbeeld in het geval van een e-portfolio, via welke leerlingen stap voor stap hun werk plannen, monitoren en evalueren, en een oefenprogramma voor metacognitieve vaardigheden. Leerlingen moeten de mogelijkheid hebben en erin gestimuleerd worden over het eigen leerproces na te denken en erop te reflecteren om effecten op zelfregulerend leren te bewerkstelligen (o.a. Dresel & Haugwitz, 2008). In het geval van sturing door alleen ict is er weinig ruimte voor het inzetten van zelfregulerend leren vaardigheden. Daarom hebben, bijvoorbeeld, oefenprogramma's voor cognitieve vaardigheden niet automatisch invloed op

zelfregulerend vaardigheden, maar is hier een aanvullende zelfregulerend leren training voor nodig (Dresel & Haugwitz, 2008).

Het overzichtelijk representeren van informatie: dit werkzame ingrediënt heeft niet alleen betrekking op de specifieke ict-toepassingen met deze functie, zoals concept map programma's, maar ook op de interface van bijvoorbeeld een game of oefenprogramma. De mogelijkheid informatie te ordenen en/of te visualiseren en/of te manipuleren (met name van toepassing op concept map programma's, simulatieprogramma's, augmented reality programma's, programmeer software en het interactieve whiteboard), als ook een overzichtelijke digitale leeromgeving (met name van toepassing op e-portfolio's, intelligent tutor systemen, oefenprogramma's voor cognitieve en metacognitieve vaardigheden en games) en balans tussen de hoeveelheid informatie die wordt gepresenteerd en de hoeveelheid informatie die de leerling kan verwerken (met name van toepassing in het geval van blended learning en digitale instructie), zorgen voor mindere belasting van het werkgeheugen en dragen zo bij aan positieve effecten op leerresultaten en motivatie (o.a., Kopcha & Sullivan, 2008). Tenslotte stimuleert de overzichtelijk ordening van informatie ook reflectie op het leerproces en zo zelfregulerend leren (De Smet et al., 2014).

Betekenisvolle context en betekenisvol doel: voor alle type ict-toepassingen geldt dat het maken van opgaven en het oplossen van problemen in een betekenisvolle, al dan niet authentieke context het werken met een ict-toepassing voor leerlingen aantrekkelijker maakt (o.a. Walkington, 2013). Daarnaast hebben leerlingen een betekenisvol doel nodig dat via het werken met een ict-toepassing behaald kan worden. Met name in het geval van leerlingsturing bevordert een doel dat leerlingen nuttig en relevant vinden de motivatie om zelf aan de slag te gaan en het doel te behalen (o.a. Proctor et al. 2017).

Naast werkzame ingrediënten die geïntegreerd zijn in de ict-toepassingen wordt de verklaring voor de gevonden resultaten dikwijls gezocht in de implementatie van de ict-toepassingen in de klas. De volgende randvoorwaarden voor effectieve implementatie worden bij elk type ict-toepassing genoemd:

Professionalisering leraren: leraren moeten kennis hebben van een ict toepassing en weten hoe de ict toepassing zo effectief mogelijk ingezet kan worden, niet alleen om zelf met de ict toepassing te kunnen werken, maar ook om leerlingen goed uit te kunnen leggen hoe de ict toepassing gebruikt dient te worden.

Duidelijke uitleg aan leerlingen: leerlingen moeten goed weten hoe ze met een ict toepassing dienen te werken om er effectief gebruik van te kunnen maken.

De ict toepassing moet regelmatig gebruikt worden en sterk geïntegreerd zijn in de dagelijkse onderwijspraktijk, dat wil zeggen, de ict-toepassing vormt een standaard onderdeel binnen de vakken waarin de ict-toepassing wordt gebruikt: zo wordt leraren en leerlingen de tijd gegeven te wennen aan de ict toepassing en te leren in het gebruik ervan.

Betrokkenheid leraren en leerlingen: naast het inzetten van een ict toepassing zoals bedoeld, is het belangrijk dat zowel leraren als leerlingen de meerwaarde van de ict toepassing inzien en ertoe bereid zijn de ict toepassing op de zo bedoelde manier te gebruiken.

Het betreft hier randvoorwaarden op klasniveau. In de effectstudies worden de randvoorwaarden nauwelijks in detail uitgewerkt. Implementatiestudies waarin rekening wordt gehouden met de randvoorwaarden zijn nodig om tot concrete implementatie adviezen te komen. Hoewel in deze overzichtsstudie randvoorwaarden als werkzame ingrediënten naar voren zijn gekomen, valt het buiten het doel van deze studie om concrete handvatten voor implementatie te geven.

Toepassing in het Nederlandse onderwijs

In de “grijze” literatuur zien we terug dat specifiek in het Nederlandse po en vo onderwijs oefenprogramma’s voor cognitieve vaardigheden worden ingezet met als voornaamste doel te differentiëren tussen leerlingen (o.a. Haelermans, 2018; Voogt, Slighte, Beemt, Van de Braak, & Van Aesaert, 2016). Daarnaast komt uit deze literatuur duidelijk het gebruik van het interactief whiteboard, games, simulatieprogramma’s, programmeer software en het e-portfolio naar voren (Blockhuis, Fisser, Grievink, & Ten Voorde, 2016; Boonstra, 2016; Van Deelen-Meeng & Konijn, 2010; Van Dongen, Loeffen, & Van Son, 2012; Voogt et al., 2016). De inzet van oefenprogramma’s voor metacognitieve vaardigheden, een intelligent tutor systeem, blended learning, digitale instructie, concept map programma’s en augmented reality programma’s wordt minder genoemd. De praktijkexperts raden aan de taxonomie op een later moment uit te breiden met kunstmatige intelligentie toepassingen en toepassingen die de ontwikkeling van 21e eeuwse vaardigheden ondersteunen. Volgens de praktijkexperts zijn dergelijke toepassingen op het moment in opkomst.

Naast beleidsartikelen en artikelen uit vakbladen, bevat de “grijze” literatuur ook enkele onderzoeksrapporten, verslagen van onderzoek dat in Nederland is uitgevoerd door het Kohnstamm Instituut of opgepikt door Kennisnet. Dit onderzoek is veelal gericht op het gebruik en de implementatie van ict en hoewel er gekeken wordt naar effecten op uitkomstmaten, worden er weinig uitspraken gedaan over wat precies aan effecten op uitkomsten heeft bijgedragen. Desondanks bieden Meijer, Van Eck en Felix (2008, onderzoeksrapport, Kohnstamm Instituut) en Haelermans (2018, publicatie Kennisnet) enkele aanwijzingen voor werkzame ingrediënten die goed aansluiten bij de werkzame ingrediënten die in de huidige overzichtsstudie uit internationale wetenschappelijke literatuur naar voren zijn gekomen. Zo wordt aangehaald dat leerlingen met modelleer- en simulatieprogramma’s abstracte begrippen en processen kunnen ervaren, wat leidt tot meer inzicht (Meijer et al., 2008) en dat onder andere directe feedback in oefenprogramma’s voor cognitieve vaardigheden een grote rol speelt in positieve effecten op leerresultaten, met name rekenresultaten (Haelermans, 2018).

Gezien gebruik en implementatie van ict centraal staan in de “grijze” literatuur, en minder de ict-toepassingen zelf, wordt er veel aandacht besteed aan randvoorwaarden. Randvoorwaarden voor implementatie op zowel klasniveau, zoals professionalisering van leraren, als op schoolniveau, zoals het implementeren van een ict toepassing vanuit een duidelijke onderwijsvisie en het op orde hebben van de ict infrastructuur, worden besproken (o.a., *Doordacht Digitaal*, Onderwijsraad, 2017).

4.2. Reflectie op de gereviewde studies en beperkingen van het onderzoek

Het doel van de huidige overzichtsstudie was het in kaart brengen van ict-toepassingen voor regulatie van het leren van leerlingen in het po en het vo, als ook de effecten en werkzame ingrediënten van deze ict-toepassingen. Om dit doel te bereiken werd zowel Engelse wetenschappelijke literatuur als Nederlandse “grijze” literatuur verzameld. Op basis van de geïncludeerde artikelen was het mogelijk 12 clusters van type ict-toepassingen te onderscheiden, met bijbehorende effecten op uitkomstmaten en werkzame ingrediënten die handvatten geven voor het kiezen van het geschikte type ict-toepassing bij een bepaalde

onderwijskundige visie of bepaald onderwijskundig doel. Er kunnen echter een aantal kanttekeningen geplaatst worden bij de gevonden literatuur. Tijdens het selecteren van wetenschappelijke literatuur aan de hand van inclusie/exclusiecriteria viel op dat dikwijls te weinig details over de uitgevoerde interventie en de ict-toepassing werden gegeven om de ict-toepassing en de effecten ervan goed te kunnen beschrijven. In het geval van de “grijze” literatuur bleken weinig publicaties concrete beschrijvingen van ict-toepassingen te geven. Veelal werd het gebruik van ict geëvalueerd of werd besproken hoe ict effectief geïmplementeerd kan worden. Het selectieproces heeft zo geleid tot het includeren van 129 van de oorspronkelijke 1623 wetenschappelijke artikelen (waarvan 27 review studies die elke individueel doorzocht zijn op relevante studies) en slechts 12 Nederlandse artikelen in de taxonomie.

De praktijkexperts hebben aangegeven de taxonomie met 12 clusters vrij volledig te vinden, maar de inzet van kunstmatige intelligentie en toepassingen ter ondersteuning van de ontwikkeling van 21^e eeuwse vaardigheden nog te missen. Tijdens het zoeken naar literatuur zijn we dergelijke type ict-toepassingen nauwelijks tegengekomen, maar mogelijk zijn deze toepassingen op het moment in opkomst. De praktijkexperts suggereren dan ook deze twee type ict-toepassingen op een later moment aan de taxonomie toe te voegen. De clusters in de taxonomie zijn geordend van het cluster met het grootste aantal artikelen naar het cluster met het kleinste aantal artikelen. Het aantal artikelen per cluster varieert tussen 27 (oefenprogramma’s cognitieve vaardigheden) en 3 (onder andere interactief Whiteboard). Dit maakt dat er sterkere uitspraken gedaan kunnen worden over kenmerken, effecten en werkzame ingredienten van het ene dan van het andere type ict-toepassing. Daarbij bleken effecten op leerresultaten verreweg het meest onderzocht te worden (in 100 van de 110 effectstudies), vervolgens effecten op motivatie (34 van de 110 effectstudies) en ten slotte effecten op zelfregulerend leren (in 20 van de 110 effectstudies). Voor die laatste twee effectmaten zien we ook dat motivatie niet in elke studie (correct) wordt getoetst, maar dikwijls wordt afgeleid uit ervaringsbeschrijvingen van leerlingen, en dat zelfregulerend leren fragmentarisch wordt getoetst (bijvoorbeeld, alleen het zoeken van hulp wordt getoetst, niet elke fase van zelfregulerend leren). Ook toetsen de studies in deze overzichtsstudie vooral veelomvattende tools waarin leerlingen werken aan verschillende type opdrachten, over een langere periode, of waarin ze op verschillende wijzen worden ondersteund in hun leerproces. Dat betekent dat de bevindingen in deze studie vooral op relatief grote ict-toepassingen gebaseerd zijn en zich minder lenen voor kleinere tools die eenvoudiger in het reguliere onderwijs kunnen worden geïntegreerd. Een voorbeeld van een dergelijke kleinere ict-tool is een quiz ten behoeve van formatieve toetsing tijdens de les.

In deze studie werd gekeken naar effecten en werkzame ingredienten van ict-toepassingen die regulatie van het leren van leerlingen ondersteunen vanuit leraar-leerling-ict perspectief. De geïncludeerde studies zijn echter nauwelijks expliciet over de wijze waarop het leerproces wordt gereguleerd en welke actoren daarvoor verantwoordelijk zijn. In sommige studies wordt in het theoretisch raamwerk aandacht besteed aan literatuur over ‘leerling controle’ of over ‘adaptiviteit van ict op bepaalde leerlingkenmerken’. Deze studies geven zo al wat duidelijker aan wat de mate van autonomie of zelfstandigheid van de leerling is tijdens het werken met de ict-toepassing (i.e., leerling controle) of de wijze waarop ict een rol speelt in het aanpassen van de inhoud, volgorde, tempo, hints etc. op leerlingkenmerken (ict controle). Echter, de rol van de leraar voorafgaand of tijdens het werken met de ict-toepassing wordt nauwelijks toegelicht. Het was dan vaak ook geen expliciet doel van de studies om hierop de ict-interventie te manipuleren. Dit zorgde ervoor dat in veel gevallen de type sturing afgeleid moest worden uit de beschrijving van de onderzoeksprocedure of uit de limitaties en praktijkimplicaties van de studies.

Ten slotte, vergelijkbaar met de limitaties in de reviewstudie van Van Laer en Elen (2017) laat de kwaliteit van de onderzoeksdesigns regelmatig te wensen over: er worden effecten gerapporteerd terwijl er geen sprake is van een goede vergelijkingsgroep gericht op de manipulatie van een geïsoleerde variabele of de situatie in de vergelijkingsgroep wordt niet concreet beschreven waardoor het moeilijk is om te determineren wat de werkzame ingrediënten zijn bij gerapporteerde positieve effecten. Ook komt het voor dat verschillende variabelen tegelijkertijd worden gemanipuleerd waardoor het lastig vast te stellen is wat er precies heeft gewerkt in een interventie. Eveneens wordt in de conclusie en discussie van de studies vooral uitgelegd waarom iets níet heeft gewerkt bij het vaststellen van neutrale of negatieve resultaten, maar nauwelijks wat de onderzoekers veronderstellen waarom iets wél heeft gewerkt bij het vaststellen van positieve resultaten.

4.3 Aanbevelingen voor vervolgonderzoek

Een belangrijk doel van de overzichtsstudie was het in kaart brengen van effecten op uitkomstmaten en werkzame ingrediënten van ict-toepassingen die regulatie van het leren van leerlingen ondersteunen vanuit leraar-leerling-ict perspectief waarbij uitsluitend de leraar, leerling of ict controle heeft over het leerproces of waarbij sprake is van gedeelde controle door twee van de drie of alle drie de actoren. Zelden werd echter het type sturing in de geïnccludeerde studies besproken en in de effectstudies werd geen enkele keer een vergelijking gemaakt tussen leraar sturing, leerling sturing en ict sturing. Een aanbeveling voor vervolgonderzoek is daarom expliciet aandacht te besteden aan het type sturing dat door een ict-toepassing wordt ondersteund en de variabele ‘sturing’ in onderzoek te manipuleren om zo te bekijken welk type sturing bij welk type ict-toepassing welke resultaten oplevert. Daarnaast zou meer praktijkonderzoek moeten worden gedaan naar de gevonden relaties tussen werkzame ingrediënten en de leeruitkomsten. Onderzocht kan worden welke randvoorwaarden en mediërende factoren een rol spelen bij deze relaties in verschillende soorten praktijksituaties en hoe in de praktijk effectieve leeromgevingen kunnen worden ingericht passend bij de gewenste leeruitkomst.

4.4 Betekenis van de taxonomie voor de praktijk

Uit de feedback van de praktijkexperts is gebleken dat de ‘bronnen’ die ze gebruiken niet alleen informatief moeten zijn voor het handelen in de klas, maar ook betekenisvol voor wat betreft de inbedding van ict in het onderwijsprogramma en de onderwijsorganisatie (o.a.: budget, infrastructuur, schoolbeleid). De taxonomie, welke gebaseerd is op wetenschappelijke literatuur, laat voldoende duidelijk zien welke werkzame elementen ict-toepassingen bevatten en geeft zo aanwijzingen voor effectief gebruik van de toepassingen in de klas, maar biedt geen handvatten voor inbedding van ict in het onderwijs. Dit laatste is ook niet het doel van de taxonomie omdat de opzet ervan vertrekt vanuit een pedagogisch-didactisch perspectief over het leerproces van leerlingen en hoe specifieke ict-toepassingen het leerproces kunnen ondersteunen. De taxonomie is bedoeld als informatiebron en hulpmiddel bij het kiezen van ict-toepassingen die het best aansluiten bij de onderwijskundige visie en doelen van scholen. Scholen kunnen uitgaan van de doelen die ze hebben (effecten behalen op leerresultaten, motivatie of zelfregulerend leren of, bijvoorbeeld, meer of minder leerling gestuurd onderwijs) en vervolgens op basis van de werkzame ingrediënten bepalen welke ict-toepassing(en) het beste bij hun doelen passen. Scholen kunnen ook uitgaan van de ict-toepassing waarin ze geïnteresseerd zijn, bekijken welke doelen met de ict-toepassing behaald kunnen worden en welke werkzame ingrediënten daarin een rol spelen. De website www.regulerenvanleren.org biedt een toegankelijk platform voor de praktijk met informatie over de werkzame ingrediënten en ict-toepassingen die in dit rapport beschreven zijn.

4.5 Conclusie

In de huidige overzichtsstudie zijn via het analyseren van zowel internationale wetenschappelijke literatuur als Nederlandse “grijze” literatuur ict-toepassingen die regulatie van leerlingen ondersteunen in kaart gebracht, effecten op leerresultaten, zelfregulerend leren en motivatie beschreven om zo meer inzicht te verkrijgen in werkzame ingrediënten van deze ict-toepassingen. De studie heeft een taxonomie opgeleverd waarin type ict-toepassingen gelinked zijn aan type sturing en effecten op leeruitkomsten. We onderscheiden 12 clusters waarbinnen ict-toepassingen op basis van overeenkomstige kenmerken zijn geordend. De volgende elementen blijken in meerdere clusters terug te komen en zo de kern te vormen van wat werkt: directe en positieve feedback, prompts en scaffolds, expliciete aandacht voor zelfregulerende vaardigheden, overzichtelijk representeren van informatie, betekenisvolle context en betekenisvol doel. Randvoorwaarden voor effectieve implementatie zijn: professionalisering van leraren, duidelijke uitleg aan leerlingen, regelmatig gebruik van ict-toepassing geïntegreerd in de dagelijkse onderwijspraktijk en betrokkenheid van leraren en leerlingen. De taxonomie kan scholen helpen met het kiezen van ict-toepassingen die het beste passen bij hun onderwijskundige visie of de onderwijskundige doelen die ze willen behalen.

Referenties

Eerst volgen de referenties per cluster, daarna volgen de referenties in de overige tekst.

Tabel 3 Oefenprogramma’s cognitieve vaardigheden

Abrami, P. C., Wade, C. A., Lysenko, L., Marsh, J., & Gioko, A. (2016). Using educational technology to develop early literacy skills in Sub-Saharan Africa. *Education and Information Technologies, 21*(4), 945-964.

Cecilia, M. R., Di Mascio, T., Tarantino, L., & Vittorini, P. (2014). Designing TEL products for poor comprehenders: evidences from the evaluation of TERENCE. *IxD&A, 23*, 50-67.

- Chen, C. M., & Chen, M. C. (2009). Mobile formative assessment tool based on data mining techniques for supporting web-based learning. *Computers & Education*, 52(1), 256-273.
- Dresel, M., & Haugwitz, M. (2008). A computer-based approach to fostering motivation and self-regulated learning. *The Journal of Experimental Education*, 77(1), 3-20.
- Drijvers, P., Doorman, M., Kirschner, P., Hoogveld, B., & Boon, P. (2014). The effect of online tasks for algebra on student achievement in grade 8. *Technology, Knowledge and Learning*, 19(1-2), 1-18.
- Ebner, M., & Schön, M. (2013). Why learning analytics in primary education matters. *Bulletin of the Technical Committee on Learning Technology*, 15(2), 14-17.
- Faber, J. M., Luyten, H., & Visscher, A. J. (2017). The effects of a digital formative assessment tool on mathematics achievement and student motivation: Results of a randomized experiment. *Computers & Education*, 106, 83-96.
- Haelermans, C., & Ghysels, J. (2017). The effect of individualized digital practice at home on math skills—Evidence from a two-stage experiment on whether and why it works. *Computers & Education*, 113, 119-134.
- Hsu, C. K., Hwang, G. J., & Chang, C. K. (2013). A personalized recommendation-based mobile learning approach to improving the reading performance of EFL students. *Computers & Education*, 63, 327-336.
- Hwang, G. J., & Chang, H. F. (2011). A formative assessment-based mobile learning approach to improving the learning attitudes and achievements of students. *Computers & Education*, 56(4), 1023-1031.
- Kara, Y., & Yeşilyurt, S. (2008). Comparing the impacts of tutorial and edutainment software programs on students' achievements, misconceptions, and attitudes towards biology. *Journal of Science Education and Technology*, 17(1), 32-41.
- Konert, J., Richter, K., Mehm, F., Göbel, S., Bruder, R., & Steinmetz, R. (2012). Pedale-a peer education diagnostic and learning environment. *Journal of Educational Technology & Society*, 15(4), 27.
- Koorsse, M., Olivier, W., & Greyling, J. (2014). Self-Regulated Mobile Learning and Assessment: An Evaluation of Assessment Interfaces. *Journal of Information Technology Education: Innovations in Practice*, 13, 89-109.
- Kuiper, E., & de Pater-Sneep, M. (2014). Student perceptions of drill-and-practice mathematics software in primary education. *Mathematics Education Research Journal*, 26(2), 215-236.
- Lao, A. C. C., Cheng, H. N., Huang, M. C., Ku, O., & Chan, T. W. (2017). Examining Motivational Orientation and Learning Strategies in Computer-Supported Self-Directed Learning (CS-SDL) for Mathematics: The Perspective of Intrinsic and Extrinsic Goals. *Journal of Educational Computing Research*, 54(8), 1168-1188.

- Lin, H. Y., Tseng, S. S., Weng, J. F., & Su, J. M. (2009). Design and Implementation of an Object Oriented Learning Activity System. *Journal of Educational Technology & Society, 12*(3).
- Luo, T., Lee, G. L., & Molina, C. (2017). Incorporating Istation into early childhood classrooms to improve reading comprehension. *Journal of Information Technology Education: Research, 16*.
- Maier, U., Wolf, N., & Randler, C. (2016). Effects of a computer-assisted formative assessment intervention based on multiple-tier diagnostic items and different feedback types. *Computers & Education, 95*, 85-98.
- Nedungadi, P., & Raman, R. (2012). A new approach to personalization: integrating e-learning and m-learning. *Educational Technology Research and Development, 60*(4), 659-678.
- Potocki, A., Ecalle, J., & Magnan, A. (2013). Effects of computer-assisted comprehension training in less skilled comprehenders in second grade: A one-year follow-up study. *Computers & Education, 63*, 131-140.
- Rodrigues, F., & Oliveira, P. (2014). A system for formative assessment and monitoring of students' progress. *Computers & Education, 76*, 30-41.
- Rutherford, T. (2017). Within and between person associations of calibration and achievement. *Contemporary Educational Psychology, 49*, 226-237.
- Siozos, P., Palaigeorgiou, G., Triantafyllakos, G., & Despotakis, T. (2009). Computer based testing using “digital ink”: Participatory design of a Tablet PC based assessment application for secondary education. *Computers & Education, 52*(4), 811-819.
- Tekos, G., & Solomonidou, C. (2009). Constructivist learning and teaching of optics concepts using ICT tools in Greek primary school: A pilot study. *Journal of Science Education and Technology, 18*(5), 415-428.
- Tosheva, S., & Martinovska, C. (2012). Adaptive e-learning system in secondary education. *International Journal of Emerging Technologies in Learning (iJET), 7*(2012).
- Vandewaetere, M., Vandercruyse, S., & Clarebout, G. (2012). Learners' perceptions and illusions of adaptivity in computer-based learning environments. *Educational Technology Research and Development, 60*(2), 307-324.
- Yarandi, M., Jahankhani, H., & Tawil, A. R. (2013). A personalized adaptive e-learning approach based on semantic web technology. *Webology, 10*(2), Art-110.

Tabel 5 Games

- Admiraal, W. (2015). A role-play game to facilitate the development of students' reflective internet skills. *Journal of Educational Technology & Society, 18*(3), 301.
- Annetta, L. A., Minogue, J., Holmes, S. Y., & Cheng, M. T. (2009). Investigating the impact of video games on high school students' engagement and learning about genetics. *Computers & Education, 53*(1), 74-85.

- Castellar, E. N., All, A., De Marez, L., & Van Looy, J. (2015). Cognitive abilities, digital games and arithmetic performance enhancement: A study comparing the effects of a math game and paper exercises. *Computers & Education*, 85, 123-133.
- Chuang, T. Y., & Chen, W. F. (2007, March). Effect of computer-based video games on children: An experimental study. In 2007 First IEEE International Workshop on Digital Game and Intelligent Toy Enhanced Learning (DIGITEL'07) (pp. 114-118). IEEE.
- Dourda, K., Bratitsis, T., Griva, E., & Papadopoulou, P. (2014). Content and language integrated learning through an online game in primary school: a case study. *Electronic Journal of e-Learning*, 12(3), 243-258.
- Furió, D., González-Gancedo, S., Juan, M. C., Seguí, I., & Rando, N. (2013). Evaluation of learning outcomes using an educational iPhone game vs. traditional game. *Computers & Education*, 64, 1-23.
- Hsu, T. C. (2017). Learning English with augmented reality: Do learning styles matter?. *Computers & Education*, 106, 137-149.
- Hsu, C. Y., & Tsai, C. C. (2013). Examining the effects of combining self-explanation principles with an educational game on learning science concepts. *Interactive Learning Environments*, 21(2), 104-115.
- Huizenga, J., Admiraal, W., Akkerman, S., & Dam, G. T. (2009). Mobile game-based learning in secondary education: engagement, motivation and learning in a mobile city game. *Journal of Computer Assisted Learning*, 25(4), 332-344.
- Jong, M. S. (2015). Does online game-based learning work in formal education at school? A case study of VISOLE. *Curriculum Journal*, 26(2), 249-267.
- Katmada, A., Mavridis, A., & Tsiatsos, T. (2014). Implementing a Game for Supporting Learning in Mathematics. *Electronic Journal of e-Learning*, 12(3), 230-242.
- Ke, F. (2008). A case study of computer gaming for math: Engaged learning from gameplay?. *Computers & education*, 51(4), 1609-1620.
- Kebritchi, M., Hirumi, A., & Bai, H. (2010). The effects of modern mathematics computer games on mathematics achievement and class motivation. *Computers & Education*, 55(2), 427-443.
- Ku, O., Chen, S. Y., Wu, D. H., Lao, A. C., & Chan, T. W. (2014). The effects of game-based learning on mathematical confidence and performance: High ability vs. low ability. *Journal of Educational Technology & Society*, 17(3), 65.
- Mavridis, A., Katmada, A., & Tsiatsos, T. (2017). Impact of online flexible games on students' attitude towards mathematics. *Educational Technology Research and Development*, 65(6), 1451-1470.
- Melero, J., Hernández-Leo, D., Sun, J., Santos, P., & Blat, J. (2015). How was the activity? A visualization support for a case of location-based learning design. *British Journal of Educational Technology*, 46(2), 317-329.

- Papastergiou, M. (2009). Digital game-based learning in high school computer science education: Impact on educational effectiveness and student motivation. *Computers & Education*, 52(1), 1-12.
- Squire, K. D., & Jan, M. (2007). Mad City Mystery: Developing scientific argumentation skills with a place-based augmented reality game on handheld computers. *Journal of Science Education and Technology*, 16(1), 5-29.
- Sung, H. Y., & Hwang, G. J. (2013). A collaborative game-based learning approach to improving students' learning performance in science courses. *Computers & Education*, 63, 43-51.
- Ter Vrugte, J., de Jong, T., Vandercruyssen, S., Wouters, P., van Oostendorp, H., & Elen, J. (2015). How competition and heterogeneous collaboration interact in prevocational game-based mathematics education. *Computers & Education*, 89, 42-52.
- Tüzün, H., Yılmaz-Soylu, M., Karakuş, T., İnal, Y., & Kızılkaya, G. (2009). The effects of computer games on primary school students' achievement and motivation in geography learning. *Computers & Education*, 52(1), 68-77.
- Vos, N., Van Der Meijden, H., & Denessen, E. (2011). Effects of constructing versus playing an educational game on student motivation and deep learning strategy use. *Computers & Education*, 56(1), 127-137.

Tabel 7 Oefenprogramma's voor metacognitieve vaardigheden

- Butler, K. A., & Lumpe, A. (2008). Student use of scaffolding software: Relationships with motivation and conceptual understanding. *Journal of Science Education and Technology*, 17(5), 427-436.
- Chen, C. M., Wang, J. Y., & Chen, Y. C. (2014). Facilitating English-language reading performance by a digital reading annotation system with self-regulated learning mechanisms. *Journal of Educational Technology & Society*, 17(1), 102-114.
- Chen, C. M., & Huang, S. H. (2014). Web-based reading annotation system with an attention-based self-regulated learning mechanism for promoting reading performance. *British Journal of Educational Technology*, 45(5), 959-980.
- Gresch, H., Hasselhorn, M., & Bögeholz, S. (2017). Enhancing decision-making in STSE education by inducing reflection and self-regulated learning. *Research in Science Education*, 47(1), 95-118.
- Kim, H. J., & Pedersen, S. (2011). Advancing young adolescents' hypothesis-development performance in a computer-supported and problem-based learning environment. *Computers & Education*, 57(2), 1780-1789.
- Kramarski, B., & Dudai, V. (2009). Group-metacognitive support for online inquiry in mathematics with differential self-questioning. *Journal of Educational Computing Research*, 40(4), 377-404.

- Manlove, S., Lazonder, A. W., & de Jong, T. (2007). Software scaffolds to promote regulation during scientific inquiry learning. *Metacognition and Learning*, 2(2-3), 141-155.
- Manlove, S., Lazonder, A. W., & de Jong, T. (2009). Trends and issues of regulative support use during inquiry learning: Patterns from three studies. *Computers in Human Behavior*, 25(4), 795-803.
- Molenaar, I., van Boxtel, C. A., & Slegers, P. J. (2011). Metacognitive scaffolding in an innovative learning arrangement. *Instructional Science*, 39(6), 785-803.
- Pol, H. J., Harskamp, E. G., Suhre, C. J., & Goedhart, M. J. (2009). How indirect supportive digital help during and after solving physics problems can improve problem-solving abilities. *Computers & Education*, 53(1), 34-50.
- Shih, J. L., Chuang, C. W., & Hwang, G. J. (2010). An inquiry-based mobile learning approach to enhancing social science learning effectiveness. *Journal of Educational Technology & Society*, 13(4), 80-93.
- Steiner, C. M., Nussbaumer, A., & Albert, D. (2009). Supporting self-regulated personalised learning through competence-based knowledge space theory. *Policy Futures in Education*, 7(6), 645-661.
- Wang, T. H. (2011). Developing Web-based assessment strategies for facilitating junior high school students to perform self-regulated learning in an e-Learning environment. *Computers & Education*, 57(2), 1801-1812.
- Zhang, W. X., Hsu, Y. S., Wang, C. Y., & Ho, Y. T. (2015). Exploring the impacts of cognitive and metacognitive prompting on students' scientific inquiry practices within an e-learning environment. *International Journal of Science Education*, 37(3), 529-553.
- Zhang, M., & Quintana, C. (2012). Scaffolding strategies for supporting middle school students' online inquiry processes. *Computers & Education*, 58(1), 181-196.
- Zydney, J. M. (2008). Cognitive tools for scaffolding students defining an ill-structured problem. *Journal of Educational Computing Research*, 38(4), 353-385.
- Zydney, J. M. (2010). The effect of multiple scaffolding tools on students' understanding, consideration of different perspectives, and misconceptions of a complex problem. *Computers & Education*, 54(2), 360-370.

Table 8 E-portfolio

- Abrami, P. C., Venkatesh, V., Meyer, E. J., & Wade, C. A. (2013). Using electronic portfolios to foster literacy and self-regulated learning skills in elementary students. *Journal of Educational Psychology*, 105(4), 1188.
- Chang, C. C., Tseng, K. H., Liang, C., & Liao, Y. M. (2013). Constructing and evaluating online goal-setting mechanisms in web-based portfolio assessment system for facilitating self-regulated learning. *Computers & Education*, 69, 237-249.

- Liang, C., Chang, C. C., Shu, K. M., Tseng, J. S., & Lin, C. Y. (2016). Online reflective writing mechanisms and its effects on self-regulated learning: A case of web-based portfolio assessment system. *Interactive Learning Environments*, 24(7), 1647-1664.
- Meyer, E., Abrami, P. C., Wade, C. A., Aslan, O., & Deault, L. (2010). Improving literacy and metacognition with electronic portfolios: Teaching and learning with ePEARL. *Computers & Education*, 55(1), 84-91.
- Nicolaidou, I. (2013). E-portfolios supporting primary students' writing performance and peer feedback. *Computers & Education*, 68, 404-415.
- Theodosiadou, D., & Konstantinidis, A. (2015). Introducing e-portfolio use to primary school pupils: Response, benefits and challenges. *Journal of Information Technology Education: Innovations in Practice*, 14(1), 17-38.
- Van Deelen-Meeng, L., & Konijn, M. (2010). Webbased taalportfolio: Een instrument in overdracht po-vo. *Levende Talen Magazine*, 97(2), 26-30.

Tabel 9 Concept map programma's

- Chen, I. C., & Hu, S. C. (2013). Applying computerized concept maps in guiding pupils to reason and solve mathematical problems: *The design rationale and effect*. *Journal of Educational Computing Research*, 49(2), 209-223.
- De Smet, M. J., Brand-Gruwel, S., Leijten, M., & Kirschner, P. A. (2014). Electronic outlining as a writing strategy: Effects on students' writing products, mental effort and writing process. *Computers & Education*, 78, 352-366.
- Hwang, G. J., Kuo, F. R., Chen, N. S., & Ho, H. J. (2014). Effects of an integrated concept mapping and web-based problem-solving approach on students' learning achievements, perceptions and cognitive loads. *Computers & Education*, 71, 77-86.
- Hwang, G. J., Shi, Y. R., & Chu, H. C. (2011). A concept map approach to developing collaborative Mindtools for context-aware ubiquitous learning. *British Journal of Educational Technology*, 42(5), 778-789.
- Hwang, G. J., Wu, P. H., & Ke, H. R. (2011). An interactive concept map approach to supporting mobile learning activities for natural science courses. *Computers & Education*, 57(4), 2272-2280.
- Hwang, G. J., Yang, L. H., & Wang, S. Y. (2013). A concept map-embedded educational computer game for improving students' learning performance in natural science courses. *Computers & Education*, 69, 121-130.
- Janssen, J., Erkens, G., Kirschner, P. A., & Kanselaar, G. (2012). Task-related and social regulation during online collaborative learning. *Metacognition and Learning*, 7(1), 25-43.
- Marty, P. F., Alemanne, N. D., Mendenhall, A., Maurya, M., Southerland, S. A., Sampson, V., ... & Schellinger, J. (2013). Scientific inquiry, digital literacy, and mobile

computing in informal learning environments. *Learning, Media and Technology*, 38(4), 407-428.

Yang, C. C., Hwang, G. J., Hung, C. M., & Tseng, S. S. (2013). An evaluation of the learning effectiveness of concept map-based science book reading via mobile devices. *Journal of Educational Technology & Society*, 16(3).

Tabel 10 Intelligent tutor system

Beal, C. R., Arroyo, I., Cohen, P. R., Woolf, B. P., & Beal, C. R. (2010). Evaluation of AnimalWatch: An intelligent tutoring system for arithmetic and fractions. *Journal of Interactive Online Learning*, 9(1), 64-77.

González-Calero, J. A., Arnau, D., Puig, L., & Arevalillo-Herráez, M. (2015). Intensive scaffolding in an intelligent tutoring system for the learning of algebraic word problem solving. *British Journal of Educational Technology*, 46(6), 1189-1200.

Kinnebrew, J. S., Biswas, G., & Sulcer, W. B. (2010, November). Modeling and Measuring Self-Regulated Learning in Teachable Agent Environments. In AAAI Fall Symposium: Cognitive and Metacognitive Educational Systems.

Koedinger, K. R., McLaughlin, E. A., & Heffernan, N. T. (2010). A quasi-experimental evaluation of an on-line formative assessment and tutoring system. *Journal of Educational Computing Research*, 43(4), 489-510.

Meyer, B. J., Wijekumar, K., Middlemiss, W., Higley, K., Lei, P. W., Meier, C., & Spielvogel, J. (2010). Web-based tutoring of the structure strategy with or without elaborated feedback or choice for fifth-and seventh-grade readers. *Reading Research Quarterly*, 45(1), 62-92.

Proctor, C. P., Dalton, B., & Grisham, D. L. (2007). Scaffolding English language learners and struggling readers in a universal literacy environment with embedded strategy instruction and vocabulary support. *Journal of Literacy research*, 39(1), 71-93.

Rodrigues, J. J., João, P. F., & Vaidya, B. (2012). EduTutor: An intelligent tutor system for a learning management system. In *Intelligent Learning Systems and Advancements in Computer-Aided Instruction: Emerging Studies* (pp. 49-63). IGI Global.

Roll, I., Alevan, V., McLaren, B. M., & Koedinger, K. R. (2011). Improving students' help-seeking skills using metacognitive feedback in an intelligent tutoring system. *Learning and Instruction*, 21(2), 267-280.

Roscoe, R. D., Segedy, J. R., Sulcer, B., Jeong, H., & Biswas, G. (2013). Shallow strategy development in a teachable agent environment designed to support self-regulated learning. *Computers & Education*, 62, 286-297.

Walkington, C. A. (2013). Using adaptive learning technologies to personalize instruction to student interests: The impact of relevant contexts on performance and learning outcomes. *Journal of Educational Psychology*, 105(4), 932.

Tabel 11 Augmented reality programma's

- Giasiranis, S., & Sofos, L. (2017). Flow Experience and Educational Effectiveness of Teaching Informatics using AR. *Journal of Educational Technology & Society*, 20(4), 78-88.
- Hsu, T. C. (2017). Learning English with augmented reality: Do learning styles matter?. *Computers & Education*, 106, 137-149.
- Huang, T. C., Chen, C. C., & Chou, Y. W. (2016). Animating eco-education: To see, feel, and discover in an augmented reality-based experiential learning environment. *Computers & Education*, 96, 72-82.
- Ibáñez, M. B., Di Serio, Á., Villarán, D., & Kloos, C. D. (2014). Experimenting with electromagnetism using augmented reality: Impact on flow student experience and educational effectiveness. *Computers & Education*, 71, 1-13.
- Kamarainen, A. M., Metcalf, S., Grotzer, T., Browne, A., Mazzuca, D., Tutwiler, M. S., & Dede, C. (2013). EcoMOBILE: Integrating augmented reality and probeware with environmental education field trips. *Computers & Education*, 68, 545-556.
- Lim-Lee, E. A., Wong, K. W., & Fung, C. C. (2010). How does desktop virtual reality enhance learning outcomes? A structural equation modeling approach. *Computers & Education*, 55(4), 1424-1442.
- Liu, T. Y. (2009). A context-aware ubiquitous learning environment for language listening and speaking. *Journal of Computer Assisted Learning*, 25(6), 515-527.
- Squire, K., & Klopfer, E. (2007). Augmented reality simulations on handheld computers. *The Journal of the Learning Sciences*, 16(3), 371-413.
- Wei, X., Weng, D., Liu, Y., & Wang, Y. (2015). Teaching based on augmented reality for a technical creative design course. *Computers & Education*, 81, 221-234.
- Yang, J. C., Chen, C. H., & Jeng, M. C. (2010). Integrating video-capture virtual reality technology into a physically interactive learning environment for English learning. *Computers & Education*, 55(3), 1346-1356.
- Zheng, D., Young, M. F., Brewer, R. A., & Wagner, M. (2009). Attitude and self-efficacy change: English language learning in virtual worlds. *CALICO Journal*, 27(1), 205-231.

Tabel 12 Simulatieprogramma's

- Bowen, B. D., DeLuca, V. W., & Franzen, M. M. S. (2016). Measuring how the degree of content knowledge determines performance outcomes in an engineering design-based simulation environment for middle school students. *Computers & Education*, 92, 117-124.
- Bottino, R. M., & Robotti, E. (2007). Transforming classroom teaching & learning through technology: Analysis of a case study. *Educational Technology & Society*, 10, 174-186.

- Chang, K. E., Chen, Y. L., Lin, H. Y., & Sung, Y. T. (2008). Effects of learning support in simulation-based physics learning. *Computers & Education*, 51(4), 1486-1498.
- Koklu, O., & Topcu, A. (2012). Effect of Cabri-assisted instruction on secondary school students' misconceptions about graphs of quadratic functions. *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*, 43(8), 999-1011.
- Langbeheim, E., & Levy, S. T. (2016). ConfChem Conference on Interactive Visualizations for Chemistry Teaching and Learning: Learning by being playing particles in the MeParticle–WeMatter simulation. *Journal of Chemical Education*, 93(6), 1145-1147.
- Mulder, Y. G., Lazonder, A. W., & de Jong, T. (2011). Comparing two types of model progression in an inquiry learning environment with modelling facilities. *Learning and Instruction*, 21(5), 614-624.
- Favier, T. T., & Van der Schee, J. A. (2012). Exploring the characteristics of an optimal design for inquiry-based geography education with Geographic Information Systems. *Computers & Education*, 58(1), 666-677.
- Favier, T. T., & van der Schee, J. A. (2014). The effects of geography lessons with geospatial technologies on the development of high school students' relational thinking. *Computers & Education*, 76, 225-236.
- Yaman, M., Nerdel, C., & Bayrhuber, H. (2008). The effects of instructional support and learner interests when learning using computer simulations. *Computers & Education*, 51(4), 1784-1794.

Tabel 13 Blended learning

- Jang, S. J. (2009). Exploration of secondary students' creativity by integrating web-based technology into an innovative science curriculum. *Computers & Education*, 52(1), 247-255.
- Kong, S. C. (2014). Developing information literacy and critical thinking skills through domain knowledge learning in digital classrooms: An experience of practicing flipped classroom strategy. *Computers & Education*, 78, 160-173.
- Smith, J. G., & Suzuki, S. (2015). Embedded blended learning within an Algebra classroom: A multimedia capture experiment. *Journal of Computer Assisted Learning*, 31(2), 133-147.
- Wang, Y. H. (2016). Could a mobile-assisted learning system support flipped classrooms for classical Chinese learning? *Journal of Computer Assisted Learning*, 32(5), 391-415.

Tabel 14 Digitale instructie

- Acha, J. (2009). The effectiveness of multimedia programmes in children's vocabulary learning. *British Journal of Educational Technology*, 40(1), 23-31.
- Hii, S. C., & Fong, S. F. (2010). Effects of multimedia redundancy in History learning among 'deep and surface' students. *Asian Social Science*, 6(6), 119.

- Hsu, C. K. (2015). Learning motivation and adaptive video caption filtering for EFL learners using handheld devices. *ReCALL*, 27(1), 84-103.
- Johnson, E. P., Perry, J., & Shamir, H. (2010). Variability in reading ability gains as a function of computer-assisted instruction method of presentation. *Computers & Education*, 55(1), 209-217.
- Kopcha, T. J., & Sullivan, H. (2008). Learner preferences and prior knowledge in learner-controlled computer-based instruction. *Educational Technology Research and Development*, 56(3), 265-286.
- Lu, M. (2008). Effectiveness of vocabulary learning via mobile phone. *Journal of Computer Assisted Learning*, 24(6), 515-525.
- Lwo, L., & Lin, M. C. T. (2012). The effects of captions in teenagers' multimedia L2 learning. *ReCALL*, 24(2), 188-208.
- Nakata, T. (2008). English vocabulary learning with word lists, word cards and computers: Implications from cognitive psychology research for optimal spaced learning. *ReCALL*, 20(1), 3-20.
- Wang, P. Y., & Yang, H. C. (2016). The impact of e-book interactivity design on children's Chinese character acquisition. *Interactive Learning Environments*, 24(4), 784-798.

Tabel 15 Interactief Whiteboard

- De Koster, S., Volman, M., & Kuiper, E. (2013). Interactivity with the interactive whiteboard in traditional and innovative primary schools: An exploratory study. *Australasian Journal of Educational Technology*, 29(4), 480-495.
- Fekonja-Peklaj, U., & Marjanovič-Umek, L. (2015). Positive and negative aspects of the IWB and tablet computers in the first grade of primary school: a multiple-perspective approach. *Early Child Development and Care*, 185(6), 996-1015.
- Ting, Y. L., Tai, Y., & Lin, H. Y. (2015). The use of interactive Whiteboard in English vocabulary acquisition and learning effect on students with different proficiency level. *International Journal of Information and Communication Technology Education (IJICTE)*, 11(2), 41-56.

Tabel 16 Programmeer software

- Barker, B. S., & Ansorge, J. (2007). Robotics as means to increase achievement scores in an informal learning environment. *Journal of Research on Technology in Education*, 39(3), 229-243.
- Koorsse, M., Cilliers, C., & Calitz, A. (2015). Programming assistance tools to support the learning of IT programming in South African secondary schools. *Computers & Education*, 82, 162-178.
- Weigend, M. (2014). The Digital Woodlouse-Scaffolding in science-related Scratch

projects. *Informatics in Education*, 13(2), 293-305.

Referenties in overige tekst

- Acha, J. (2009). The effectiveness of multimedia programmes in children's vocabulary learning. *British Journal of Educational Technology*, 40(1), 23-31.
- Aleven, V. A., & Koedinger, K. R. (2002). An effective metacognitive strategy: Learning by doing and explaining with a computer-based Cognitive Tutor. *Cognitive Science*, 26(2), 147-179.
- Azevedo, R., Cromley, J. G., Winters, F. I., Moos, D. C., & Greene, J. A. (2005). Adaptive human scaffolding facilitates adolescents' self-regulated learning with hypermedia. *Instructional Science*, 33(5-6), 381-412.
- Azevedo, R., Cromley, J. G., Winters, F. I., Moos, D. C., & Greene, J. A. (2006). Using computers as metacognitive tools to foster students' self-regulated learning. *TECHNOLOGY INSTRUCTION COGNITION AND LEARNING*, 3(1/2), 97.
- Azuma, R. T. (1997). A survey of augmented reality. *Presence: Teleoperators & Virtual Environments*, 6(4), 355-385.
- Azuma, R., Bailiot, Y., Behringer, R., Feiner, S., Julier, S., & MacIntyre, B. (2001). *Recent advances in augmented reality*. NAVAL RESEARCH LAB WASHINGTON DC.
- Barker, B. S., & Ansorge, J. (2007). Robotics as means to increase achievement scores in an informal learning environment. *Journal of research on technology in education*, 39(3), 229-243.
- Blockhuis, C., Fisser, P., Grievink, B., & Ten Voorde, M. (2016). Leermiddelenmonitor. SLO (Nationaal Expertisecentrum Leerplanontwikkeling), Enschede.
- Buabeng-Andoh, C. (2012). Factors Influencing Teachers' Adoption and Integration of Information and Communication Technology into Teaching: A Review of the Literature. *International Journal of Education and Development using Information and Communication Technology*, 8(1), 136-155.
- Boonstra, W. (2016). Digitalisering van het onderwijs.
- Bonk, C. J., & Graham, C. R. (2006). The handbook of blended learning. San Francisco, CA: Pfeiffer.
- Bottino, R. M., & Robotti, E. (2007). Transforming classroom teaching & learning through technology: Analysis of a case study. *Educational Technology & Society*, 10, 174-186.
- Bowen, B. D., DeLuca, V. W., & Franzen, M. M. S. (2016). Measuring how the degree of content knowledge determines performance outcomes in an engineering design-based simulation environment for middle school students. *Computers & Education*, 92, 117-124.

- Chao, C. Y., Chen, Y. T., & Chuang, K. Y. (2015). Exploring students' learning attitude and achievement in flipped learning supported computer aided design curriculum: A study in high school engineering education. *Computer Applications in Engineering Education*, 23(4), 514-526.
- Cheng, K. H., & Tsai, C. C. (2013). Affordances of augmented reality in science learning: Suggestions for future research. *Journal of Science Education and Technology*, 22(4), 449-462.
- Corbalan, G., Kester, L., & Van Merriënboer, J. J. (2006). Towards a personalized task selection model with shared instructional control. *Instructional Science*, 34(5), 399-422.
- Corbett, A. T., Koedinger, K. R., & Hadley, W. H. (2001). Cognitive Tutors: From the research classroom to all classrooms. *Technology enhanced learning: Opportunities for change*, 235-263.
- Csikszentmihalyi, M. (1991). *Flow, the psychology of optimal experience, steps towards enhancing the quality of life*. Harper&Row, Publishers.
- De Koster, S., Volman, M., & Kuiper, E. (2013). Interactivity with the interactive whiteboard in traditional and innovative primary schools: An exploratory study. *Australasian Journal of Educational Technology*, 29(4).
- Devolder, A., van Braak, J., & Tondeur, J. (2012). Supporting self-regulated learning in computer-based learning environments: systematic review of effects of scaffolding in the domain of science education. *Journal of Computer Assisted Learning*, 28(6), 557-573.
- Ertmer, P. A., Ottenbreit-Leftwich, A. T., Sadik, O., Sendurur, E., & Sendurur, P. (2012). Teacher beliefs and technology integration practices: A critical relationship. *Computers & Education*, 59(2), 423-435.
- Faber, J. M., Luyten, H., & Visscher, A. J. (2017). The effects of a digital formative assessment tool on mathematics achievement and student motivation: Results of a randomized experiment. *Computers & education*, 106, 83-96.
- Favier, T. T., & Van der Schee, J. A. (2012). Exploring the characteristics of an optimal design for inquiry-based geography education with Geographic Information Systems. *Computers & Education*, 58(1), 666-677.
- Fekonja-Peklaj, U., & Marjanovič-Umek, L. (2015). Positive and negative aspects of the IWB and tablet computers in the first grade of primary school: a multiple-perspective approach. *Early child development and care*, 185(6), 996-1015.
- Harris, J., Mishra, P., & Koehler, M. (2009). Teachers' technological pedagogical content knowledge and learning activity types: Curriculum-based technology integration reframed. *Journal of Research on Technology in Education*, 41(4), 393-416.
- Hattie, J., & Timperley, H. (2007). The power of feedback. *Review of educational research*, 77(1), 81-112.

- Hii, S. C., & Fong, S. F. (2010). Effects of multimedia redundancy in History learning among 'deep and surface' students. *Asian Social Science*, 6(6), 119.
- Hilbert, T. S., & Renkl, A. (2008). Concept mapping as a follow-up strategy to learning from texts: what characterizes good and poor mappers?. *Instructional Science*, 36(1), 53-73.
- Hwang, G. J., Shi, Y. R., & Chu, H. C. (2011). A concept map approach to developing collaborative Mindtools for context-aware ubiquitous learning. *British Journal of Educational Technology*, 42(5), 778-789.
- Ibáñez, M. B., Di Serio, Á., Villarán, D., & Kloos, C. D. (2014). Experimenting with electromagnetism using augmented reality: Impact on flow student experience and educational effectiveness. *Computers & Education*, 71, 1-13.
- Kester, L., Cviko, A., Janssen, C., de Jonge, M., Louws, M., Nouwens, S., Paas, T., van der Ven, F., Admiraal, W., Post, L., Lockhorst, D., Buynsters, M., & Damstra, G. (2018). Docent en leerling aan het stuur: onderzoek naar leren op maat met ict. Eindrapport NRO 405-15-823. Universiteit Utrecht.
- Klopfer, E. (2008). *Augmented learning: Research and design of mobile educational games*. MIT press.
- Klopfer, E., & Squire, K. (2008). Environmental Detectives—the development of an augmented reality platform for environmental simulations. *Educational Technology Research and Development*, 56(2), 203-228.
- Koedinger, K. R., & Corbett, A. (2006). *Cognitive tutors: Technology bringing learning sciences to the classroom*. na.
- Konert, J., Richter, K., Mehm, F., Göbel, S., Bruder, R., & Steinmetz, R. (2012). Pedale-a peer education diagnostic and learning environment. *Journal of Educational Technology & Society*, 15(4), 27.
- Kong, S. C. (2014). Developing information literacy and critical thinking skills through domain knowledge learning in digital classrooms: An experience of practicing flipped classroom strategy. *Computers & Education*, 78, 160-173.
- Koorsse, M., Cilliers, C., & Calitz, A. (2015). Programming assistance tools to support the learning of IT programming in South African secondary schools. *Computers & Education*, 82, 162-178.
- Koorsse, M., Olivier, W., & Greyling, J. (2014). Self-Regulated Mobile Learning and Assessment: An Evaluation of Assessment Interfaces. *Journal of Information Technology Education: Innovations in Practice*, 13, 89-109.
- Kostons, D., Donker, A.S., & Opdenakker M.-C. (2014). Zelfgestuurd leren in de onderwijspraktijk: een kennisbasis voor effectieve strategie-instructie. Eindrapportage voor NRO-overzichtsstudie (NRO-PPO project 405-14-532), Rijksuniversiteit Groningen.

- Landis, J. R., & Koch, G. G. (1977). The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, 159-174.
- Langbeheim, E., & Levy, S. T. (2016). ConfChem Conference on Interactive Visualizations for Chemistry Teaching and Learning: Learning by Being: Playing Particles in the MeParticle–WeMatter Simulation. *Journal of Chemical Education*, 93(6), 1145-1147.
- Liu, S-H. (2011). Factors related to pedagogical beliefs of teachers and technology integration. *Computers & Education*, 56, 1012-1022.
- Mayer, R. E., & Chandler, P. (2001). When learning is just a click away: Does simple user interaction foster deeper understanding of multimedia messages?. *Journal of educational psychology*, 93(2), 390.
- Mayer, R. E., & Moreno, R. (2003). Nine ways to reduce cognitive load in multimedia learning. *Educational psychologist*, 38(1), 43-52.
- Marquenie, E., Opsteen, J., Ten Brummelhuis, A., & Van der Waals, J. (2014). Elk talent een kans: een verkenning van gepersonaliseerd leren met ICT. Onderzoeksnotitie ten behoeve van project Leerling2020
- McLoughlin, C., & Lee, M. J. (2010). Personalised and self regulated learning in the Web 2.0 era: International exemplars of innovative pedagogy using social software. *Australasian Journal of Educational Technology*, 26(1).
- Meyer, E., Abrami, P. C., Wade, C. A., Aslan, O., & Deault, L. (2010). Improving literacy and metacognition with electronic portfolios: Teaching and learning with ePEARL. *Computers & Education*, 55(1), 84-91.
- Mooij, T. (2009). Education and ICT-based self-regulation in learning: Theory, design and implementation. *Education and Information Technologies*, 14(1), 3.
- Oblinger, D. (2004). The next generation of educational engagement. *Journal of interactive media in education*, 2004(1).
- Papanastasiou, G., Drigas, A., & Skianis, C. (2017). Serious Games in Preschool and Primary Education: Benefits And Impacts on Curriculum Course Syllabus. *International Journal of Emerging Technologies in Learning (iJET)*, 12(01), 44-56.
- Paris, S. G., & Paris, A. H. (2001). Classroom applications of research on self-regulated learning. *Educational psychologist*, 36(2), 89-101.
- Pintrich, P.R. (2000). The role of goal orientation in self-regulated learning. In M. Boekaerts, P. Pintrich, & M. Zeidner (Eds.), *Handbook of self-regulation* (pp. 451-502). San Diego, CA: Academic Press.
- Prensky, M. (2003). Digital game-based learning. *Computers in Entertainment (CIE)*, 1(1), 21-21.

- Roll, I., Aleven, V., McLaren, B. M., & Koedinger, K. R. (2011). Improving students' help-seeking skills using metacognitive feedback in an intelligent tutoring system. *Learning and Instruction, 21*(2), 267-280.
- Shih, B. K. (2008). K. and Scheines, R. In A, Response Time Model for Bottom-Out Hints as Worked Examples in Educational Data Mining conference.
- Shute, V. J., & Rahimi, S. (2017). Review of computer-based assessment for learning in elementary and secondary education. *Journal of Computer Assisted Learning, 33*(1), 1-19.
- Simons K.D. & Klein J.D. (2007) The impact of scaffolding and student achievement levels in a problem-based learning environment. *Instructional Science 35*, 41–72.
- Smith, J. G., & Suzuki, S. (2015). Embedded blended learning within an Algebra classroom: a multimedia capture experiment. *Journal of Computer Assisted Learning, 31*(2), 133-147.
- Sorgenfrei, C., & Smolnik, S. (2016). The Effectiveness of E-Learning Systems: A Review of the Empirical Literature on Learner Control. *Decision Sciences Journal of Innovative Education, 14*(2), 154-184.
- Stalker, H., & Horn, M. B. (2012). *Classifying K-12 blended learning*. Mountain View, CA: Innosight Institute, Inc.
- Steffens, K. (2006). Self-regulated learning in technology-enhanced learning environments: Lessons of a European peer review. *European Journal of Education, 41*(3-4), 353-379.
- Steiner, C. M., Nussbaumer, A., & Albert, D. (2009). Supporting self-regulated personalised learning through competence-based knowledge space theory. *Policy Futures in Education, 7*(6), 645-661.
- Stevenson, M. P., Hartmeyer, R., & Bentsen, P. (2017). Systematically reviewing the potential of concept mapping technologies to promote self-regulated learning in primary and secondary science education. *Educational Research Review, 21*, 1-16.
- Sweller, J. (2005). Implications of cognitive load theory for multimedia learning. In R.E. Mayer (Ed.), *The Cambridge handbook of multimedia learning* (pp. 19–30). New York, NY: Cambridge University Press.
- Ting, Y. L., Tai, Y., & Lin, H. Y. (2015). The use of interactive Whiteboard in English vocabulary acquisition and learning effect on students with different proficiency level. *International Journal of Information and Communication Technology Education (IJICTE), 11*(2), 41-56.
- Thillmann, H., Künsting, J., Wirth, J., & Leutner, D. (2009). Is it merely a question of “what” to prompt or also “when” to prompt? The role of point of presentation time of prompts in self-regulated learning. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie, 23*(2), 105-115.

- Thomas, T., Alexander, K., Jackson, R., & Abrami, P. C. (2013). The differential effects of interactive versus didactic pedagogy using computer-assisted instruction. *Journal of Educational Computing Research*, 49(4), 403-436.
- Van Deelen-Meeng, L., & Konijn, M. (2010). Webbased taalportfolio: Een instrument in overdracht po-vo. *Levende Talen Magazine*, 97(2), 26-30.
- Van Dongen, J., Loeffen, E., & Van Son, H. (2012). Digitale schoolborden in de praktijk. KPC Groep, 's-Hertogenbosch, 2012
- Van Laer, S., & Elen, J. (2017). In search of attributes that support self-regulation in blended learning environments. *Education and Information Technologies*, 22(4), 1395-1454.
- Van Leeuwen, A., Janssen, J., Erkens, G., & Brekelmans, M. (2014). Supporting teachers in guiding collaborating students: Effects of learning analytics in CSCL. *Computers & Education*, 79, 28-39.
- Vandewaetere, M., Desmet, P., & Clarebout, G. (2011). The contribution of learner characteristics in the development of computer-based adaptive learning environments. *Computers in Human Behavior*, 27(1), 118-130.
- Voogt J. & Knezek G., (Eds.) (2008). International Handbook of Information Technology in Primary and Secondary Education. Springer, New York, NY.
- Voogt, J., Knezek, G., Cox, M., Knezek, D., & ten Brummelhuis, A. (2011). Under which conditions does ICT have a positive effect on teaching and learning? A Call to Action. *Journal of Computer Assisted Learning*, 29, 4-14.
- Voogt, J., Sligte, H., van den Beemt, A. A. J., Van Braak, J., & Aesaert, K. (2016). E-didactiek: Welke ict-applicaties gebruiken leraren en waarom? Amsterdam: Kohnstamm Instituut. (Rapport 950, project 20684)
- Voogt, J., Westbroek, H., Handelzalts, A., Walraven, A., McKenney, S., Pieters, J., & De Vries, B. (2011). Teacher learning in collaborative curriculum design. *Teaching and teacher education*, 27(8), 1235-1244.
- Wei, X., Weng, D., Liu, Y., & Wang, Y. (2015). Teaching based on augmented reality for a technical creative design course. *Computers & Education*, 81, 221-234.
- Weigend, M. (2014). The Digital Woodlouse--Scaffolding in Science-Related Scratch Projects. *Informatics in Education*, 13(2), 293-305.
- Winters, F. I., Greene, J. A., & Costich, C. M. (2008). Self-regulation of learning within computer-based learning environments: A critical analysis. *Educational Psychology Review*, 20(4), 429-444.
- Zacharia, Z. C., Manoli, C., Xenofontos, N., De Jong, T., Pedaste, M., van Riesen, S. A., ... & Tsourlidaki, E. (2015). Identifying potential types of guidance for supporting student inquiry when using virtual and remote labs in science: a literature review. *Educational technology research and development*, 63(2), 257-302.

- Zimmerman, B. J. (2000). Attaining self-regulation: A social cognitive perspective. In *Handbook of self-regulation* (pp. 13-39).
- Zimmerman, B. J., Bonner, S., & Kovach, R. (1996). *Developing self-regulated learners: Beyond achievement to self-efficacy*. American Psychological Association.
- Zimmerman, B. J., & Schunk, D. H. (2011). Self-regulated learning and performance. *Handbook of self-regulation of learning and performance*, 1-12.
- Zimmerman, B. J., & Tsikalas, K. E. (2005). Can computer-based learning environments (CBLEs) be used as self-regulatory tools to enhance learning? *Educational Psychologist*, 40(4), 267-271.