

Waarop, wat, en hoe kan worden gepersonaliseerd in het onderwijs?

Een studie naar de effecten van adaptiviteit in digitale
leersystemen op leren en kansen voor toekomstig onderzoek hiernaar.

Marcel Tillema
Ministerie van Onderwijs, Cultuur en Wetenschap

Let op: dit is een aangepaste versie van het originele verslag.
Voor vragen: marceltillema@gmail.com



Ministerie van Onderwijs, Cultuur en
Wetenschap



Universiteit Utrecht

Inhoudsopgave

Inhoudsopgave.....	2
Samenvatting.....	3
Inleiding	5
Gepersonaliseerd leren	5
Adaptieve leersystemen.....	6
Learning Analytics	6
Doel en aanpak	8
Literatuuronderzoek	9
Complexiteit van adaptieve leersystemen	10
Drievoudige structuur van adaptiviteit.....	14
Potentiële factoren van adaptiviteit	20
Discussie.....	27
Literatuurlijst.....	31
Bijlage	36

Samenvatting

Er is de laatste jaren steeds meer aandacht voor onderwijs dat recht doet aan verschillen tussen leerlingen door rekening te houden met hun behoeften en capaciteiten. Dit wordt ook wel gepersonaliseerd leren genoemd. Deze aandacht wordt onder andere veroorzaakt door de opkomende mogelijkheid van slimme digitale leersystemen die een één-op-één tutor leerervaring kunnen nabootsen om een leerling zo efficiënt mogelijk te laten leren. Deze adaptieve leersystemen (ALS'en) maken gebruik van informatie van en over de leerling om het leerproces en de leeromgeving te optimaliseren. Daarnaast kan deze informatie worden gebruikt om de kwaliteit van het ALS zelf ook te blijven verbeteren door hier bijvoorbeeld onderzoek mee te doen. De literatuurstudie in dit verslag had als doel te inventariseren welke breed-geaccepteerde onderwijskundige variabelen in adaptieve context te onderzoeken. Hiervoor is eerst een literatuurstudie uitgevoerd met als onderzoeksvraag: waarop, wat, en hoe kan worden gedifferentieerd en wordt al gedifferentieerd.

Uit de literatuurstudie bleek dat onderzoek naar ALS'en vaak onsystematisch wordt uitgevoerd zonder een brug te slaan naar de praktijk. Daarnaast wordt er vaak geen antwoord gegeven op de vraag *waarom* het systeem efficiënt is voor de leerling om van te leren. Wel werd er consequent gevonden dat adapteren van moeilijkheid op basis van voorkennis effectief is. Adaptie op basis van persoonlijke kenmerken, zoals leerstijlen of intelligentieprofielen, bleken daarentegen niet bij te dragen aan een hogere effectiviteit van digitale gepersonaliseerde leermiddelen.

Meerdere onderwerpen voor toekomstig onderzoek zijn gevonden door breed-geaccepteerde onderwijskundige variabelen te analyseren op hun adaptieve potentie. Hier worden de belangrijkste genoemd. De eerste variabele is een opvallende voorspeller van latere prestatie, namelijk: de verwachting van de leerling zelf over zijn of haar toekomstige prestatie. De grote correlatie hiervan met daadwerkelijke prestatie zou een reden kunnen zijn om leerlingen zelf hun niveau te laten bepalen zonder hier een uitgebreide test voor te hoeven gebruiken. De tweede interventie is het belang om te differentiëren op de verschillende ontwikkelingsstadia die een leerling doorloopt. Adaptie hierop resulteert in een positief effect op leren. Ten slotte werd feedback gevonden als belangrijke beïnvloeder van leren. Feedback is per definitie persoonlijk omdat het aangepast is op de input van de lerende.

Naar aanleiding van de literatuurstudie is het advies om onderzoek naar ALS'en systematischer aan te pakken en te beginnen bij onderzoek over in welke context, welke vorm van adaptie werkt. Het is hierbij belangrijk duidelijk te beschrijven waarop, wat, en hoe wordt

gedifferentieerd. Per interessegebied van adaptie zou kunnen worden begonnen met een theoretisch review over de adaptieve mogelijkheid hiervan. Hierdoor wordt theorie gedreven onderzoek gedaan en kunnen weinig belovende aspecten eerder worden ontdekt voordat deze voor veel geld en moeite zorgen bij het implementeren in een ALS. Het is ook belangrijk dat er daarna bij experimenteel onderzoek goed wordt nagedacht over de controlegroep. Vaak is de controlegroep een groep die klassikaal onderwijs krijgt. Hierdoor kan er niets worden gezegd over de adaptieve werking van een aspect, maar alleen over het hele leersysteem als geheel. Hierdoor kan niet worden beantwoord *waarom* iets werkt. Ten slotte, zou een samenwerking in welke vorm dan ook moeten beginnen met het afstemmen van (pre-competitieve) doelen waarop samengewerkt kan worden. Hierbij is het nodig scholen vanaf het begin te betrekken zodat markt- en wetenschappelijk onderzoeken als deel van hetzelfde paradigma kunnen plaatsvinden. Daarnaast helpt deze betrokkenheid bij correcte implementatie van de leersystemen. Als volgende stap zouden gezamenlijke doelen en specificaties van een samenwerking moeten worden besproken met relevante partijen.

Inleiding

Traditioneel onderwijs kenmerkt zich door een gestandaardiseerde aanpak waarbij een groep leerlingen dezelfde stof aangeboden krijgen ongeacht hun voorkennis of voorkeur op dit gebied. De laatste jaren is er echter steeds meer aandacht voor onderwijs dat wel rekening houdt met deze verschillen tussen leerlingen. Enkele nieuwe onderwijsinitiatieven geven leerlingen bijvoorbeeld meer autonomie over hun leerweg of verdelen leerlingen over groepen gebaseerd op kennis, in plaats van op leeftijd. Daarnaast bieden ontwikkelingen in de IT ook mogelijkheden tot vergaande differentiatie in het onderwijs. Een voorbeeld hiervan is dat leerlingen niet meer afhankelijk zijn van één gestandaardiseerde bron van informatie, maar hun eigen tablet bij zich hebben met daarop een gepersonaliseerd leermiddel. Onderwijs dat recht doet aan verschillen tussen leerlingen door rekening te houden met hun behoeften en capaciteiten wordt dan ook wel *gepersonaliseerd leren* genoemd (Lee & Park, 2008). Andere benamingen zijn *gedifferentieerd onderwijs*, *adaptief onderwijs*, of *maatwerk*. In dit verslag worden deze begrippen als synoniemen van elkaar gebruikt.

Gepersonaliseerd leren

Er is ook veel aandacht voor gepersonaliseerd leren vanuit de overheid en verschillende publieke en private instellingen. Zo is er in een sectorakkoord tussen het Ministerie van Onderwijs, Cultuur en Wetenschap (MinOCW) en de VO-raad van 2014 opgenomen dat onderwijs uitdagend moet zijn voor elke leerling en dus recht doet aan verschillen. Daarnaast hebben het MinOCW, MinEZ, en de PO-, en VO-raad de handen ineengeslagen met het Doorbraakproject Onderwijs en ICT (DBP), om scholen te helpen gefundeerde keuzes te maken over de inzet van digitale adaptieve leermiddelen (MinOCW, 2015). Het DBP doet dit onder andere door onderzoek te doen naar praktijksituaties waarin gepersonaliseerd leren met ICT wordt ingezet.

Onderwijskundig onderzoek laat zien dat verschillen tussen leerlingen er voor zorgen dat er niet één gestandaardiseerde manier van lesgeven mogelijk is die in iedere situatie ideaal werkt (Reigeluth, 1996). Daarnaast blijkt dat leerlingen die les krijgen van een docent die rekening houdt met individuele leerbehoeften betere resultaten behalen dan leerlingen die les krijgen van een docent die hier geen rekening mee houdt (Ruiz-Primo & Furtak, 2007). Naast leerbehoeften is het ook belangrijk dat instructie aansluit bij eerder geleerde concepten van leerlingen. Het is een misconceptie van docenten om te denken dat een leerling “niet klaar” is voor bepaalde stof door bijvoorbeeld hun leeftijd (Willingham, 2008). Mogelijkheid tot leren

van de leerling hangt namelijk vooral af van beschikbare voorkennis waarop aangesloten kan worden met instructie (Bransford, Brown, & Cocking, 2000).

Adaptie op aanwezige voorkennis en leerbehoeften is dus een vereiste voor leren. In grote groepen vinden docenten dit echter moeilijk en houden zij maar zelden rekening met deze individuele behoeften (Ruiz-Primo & Furtak, 2007). Hierdoor worden de beste leeropbrengsten behaald in persoonlijke tutor sessies waarin een docent slechts één of enkele leerlingen begeleidt (e.g., Bloom, 1984; Cohen, Kulik, & Kulik, 1982). In deze situaties kan leren namelijk persoonlijk worden doordat instructie aansluit bij de voorkennis en leerbehoeften van een leerling. Met behulp van ontwikkelingen in de ICT wordt het mogelijk om één-op-één leerervaring na te bootsen door de rol van de docent over te hevelen naar of te laten ondersteunen door een digitale leeromgeving.

Adaptieve leersystemen

Een adaptief leersysteem (ALS) combineert de interactieve mogelijkheden van digitaal leer materiaal met een nagebootste één-op-één leerervaring van gepersonaliseerd leren. Het gebruik van digitaal leer materiaal neemt de afgelopen 10 jaar gestaag toe (Kennisnet, 2015). Deze groei is ook te vinden in de inzet van ALS'en (Vasilyeva, Puuronen, Pechenizkiy, & Rasanen, 2007). Het gebruik van ICT kan onderwijs onder andere effectiever en efficiënter maken mits dit op een goede en gedoseerde manier wordt ingezet (Kennisnet, 2015). Resultaten van onderzoek naar ALS'en zijn echter nog ambigue. Hoewel enkele reviews positieve resultaten laten zien van specifieke implementaties van ALS'en (e.g., Anderson, Corbett, Koedinger, & Pelletier, 1995; Mitrovic, Mayo, Suraweera, & Martin, 2001), beargumenteren (Vandewaetere, Desmet, & Clarebout, 2011) dat onderzoek naar deze leersystemen onsystematisch is uitgevoerd. Zo is het onderzoek verspreid over meerdere onderzoeksvelden zonder een brug te slaan naar praktische toepassingen. Daarnaast wordt er veel onderzoek gedaan naar het wel of niet werken van een bepaalde technische implementatie, in plaats van de vraag te stellen waarom dit werkt (Vandewaetere et al., 2011). Het is hierdoor nog niet mogelijk om dit soort onderzoek te vertalen naar praktijkimplicaties voor het ontwerpen van ALS'en (Marquenie, Opsteen, Brummelhuis, & Van der Waals, 2014; Vandewaetere et al., 2011).

Learning Analytics

ALS'en passen onderwijs aan op individuele kenmerken van de leerling. Dit is gebaseerd op beschikbare informatie over de leerling. Het gebruik van deze informatie van en

over leerlingen om het leerproces en de leeromgeving te optimaliseren wordt *learning analytics* genoemd (Johnson et al., 2013). Voorbeelden van dit soort data zijn de scores van een leerling op een toets of tussentijdse meting, maar ook de tijden waarop de leerling studeert en zelfs met welke vraag de leerling moeite had. Hieronder worden meer voorbeelden genoemd. Wetering (2016) onderscheidt twee niveaus van gebruik van data, *embedded* en *extracted*. Embedded gebruik van data is het voorbeeld van een ALS dat op basis van de input van de leerling (eventueel gecombineerd met bestaande kennis van de leerling) gepersonaliseerde feedback geeft of een opgave geeft op het niveau van de leerling. Als data niet door het leersysteem wordt gebruikt, maar geïnterpreteerd door een docent of iemand anders, wordt dit *extracted* gebruik van data genoemd (Wetering, 2016). Een voorbeeld hiervan is een docent die voortgangsgegevens van een leerling gebruikt tijdens een coaching gesprek.

Een andere vorm van *extracted learning analytics* is het gebruik van data voor het verbeteren van het leersysteem zelf (Romero & Ventura, 2007). Digitale leersystemen verzamelen veel (soorten) data die de mogelijkheid bieden om naast het voorspellen ook bepaalde leerprocessen van de leerling te verklaren. Hierdoor creëren deze leersystemen data die gebruikt zou kunnen worden voor onderwijskundig onderzoek. Doordat veel partijen deze data voor zichzelf houden is data niet altijd beschikbaar voor het doen van onderzoek. Hierdoor zijn de eigenaren van data op zichzelf aangewezen bij het innoveren terwijl er nog veel valt te ontdekken over wat wel en niet werkt. Het doel van onderzoek in het DBP is om meer te weten te komen over de succesfactoren van de inzet van ICT in het onderwijs en over gepersonaliseerd leren met ICT in het bijzonder. Daarnaast wordt er verkend of een publiek-private onderzoekagenda kan bijdragen aan het vergroten van dit inzicht en het versnellen van de toepassing van opgedane inzichten in de praktijk (MinOCW, 2015).

Doel en aanpak

Het doel van dit verslag is het komen tot (een aanzet voor) een onderzoeksagenda met betrekking tot gepersonaliseerd leren met ICT. Dit wordt gedaan door te inventariseren op welke gebieden samenwerking tussen partijen mogelijk is en door in kaart te brengen welke variabelen potentie tonen om onderwijs adaptief op aan te bieden en waar onderzoek zich dus op zou kunnen richten. Als de kwaliteit van ICT toepassingen niet gewaarborgd kan worden is het mogelijk dat het gebruik hiervan meer kwaad dan goed doet (Lei & Zhao, 2007). Het is daarom belangrijk dat er voldoende onderzoek wordt gedaan naar in welke situatie welke vorm van adaptiviteit werkt en in welke situatie juist niet. Door de complexiteit van ALS'en kost het echter veel tijd en geld om deze systemen te maken (Chung, Delacruz, Dionne, Baker, Lee, & Osmundson, 2007; Kelly & Tangney, 2006). Een publiek-private samenwerking zou hierbij kunnen helpen.

Door data en resultaten te delen, onderzoek te stapelen en gezamenlijk te werken aan antwoorden op gedeelde kennisvragen kan sneller een hogere kwaliteitsstandaard bereikt worden en hoeven partijen niet steeds dezelfde ontdekkingen opnieuw te doen. Door hier verschillende onderzoeksinstanties bij te betrekken kan een systematiek kan worden gecreëerd waarin nieuwe wetenschappelijke inzichten met betrekking tot ALS'en zo snel mogelijk worden ingezet in de praktijk. Door een pre-competitieve samenwerking tussen verschillende onderzoekende partijen zou dit proces kunnen worden versneld waardoor de kwaliteit van ALS'en sneller toeneemt. Om zo een samenwerking mogelijk te maken is het nodig dat partijen doelen hebben die gezamenlijk onderzocht kunnen worden. Daarnaast is een zekere mate van continuïteit in dit onderzoek belangrijk. Een gedeelde onderzoeksagenda zou hier aan kunnen bijdragen.

Om dit doel te bereiken is voor dit verslag een literatuuronderzoek uitgevoerd met de vraag wat en waarop zou kunnen worden gedifferentieerd om de kwaliteit van ALS'en toe te laten nemen. Ook wordt er voorzichtig gekeken naar variabelen die veelbelovend zouden kunnen zijn om (op) te adapteren om tot een conclusie te komen over mogelijke onderwerpen voor toekomstig onderzoek.

Literatuuronderzoek

Het literatuuronderzoek in dit verslag beantwoordt de vraag wat ALS'en adaptief zouden kunnen aanbieden. Hiervoor worden eerst twee deelvragen behandeld over de huidige stand van zaken met betrekking tot ALS'en. De eerste deelvraag is: *waarop, wat, en hoe kan een ALS differentiëren?* Dit is een brede vraag die de (technische) mogelijkheden van ALS'en in kaart brengt. De tweede deelvraag is: *wat is er bekend over huidige ALS'en?* Deze vraag probeert met behulp van recente reviews en effectstudies samen te vatten wat al wordt gebruikt in deze systemen en hoe dit invloed heeft op de kwaliteit van het leermiddel.

De hoofdvraag van het literatuuronderzoek is: *waarop, wat, en hoe zou kunnen worden gedifferentieerd?* Enkele breed-geaccepteerde onderwijstheorieën worden vanuit een adaptieve hoek benaderd om te kijken welke concepten tot hun recht zouden kunnen komen in een ALS. Het antwoord op deze vraag geeft aan waarop toekomstig onderzoek zich op zou kunnen richten. Dit kan de basis vormen van een gezamenlijke onderzoeksagenda. Een belangrijk doel van deze vraag is om te beantwoorden welke data van de leerling verzameld dient te worden. Volgens Wetering (2016) moet het verzamelen van grote hoeveelheden data altijd beginnen met de vraag welke data nuttig is om te verzamelen. Door bij de eerste deelvraag technische aspecten van ALS'en in kaart te brengen is het mogelijk te beoordelen of deze systemen in staat zijn data te registeren die nodig is om het leerproces aan te passen. Hierdoor kan dit literatuuronderzoek hopelijk ook de discussie versimpelen over welke data gedeeld zou moeten worden in een samenwerking tussen partijen.

Generaliseerbaarheid

Gepersonaliseerd leren is een containerbegrip waaronder verschillende vormen van onderwijs vallen. Blok en Breetvelt (2004) hebben een uitgebreide begripsanalyse uitgevoerd om tot een sluitende maar ruime definitie te komen van de term adaptief onderwijs, namelijk: "het doelbewust afstemmen van de onderwijsleersituatie op verschillen tussen leerlingen in dezelfde leergroep". In dit verslag wordt gesproken over ALS'en die de rol van de docent kunnen overnemen en dus het 'afstemmen van de onderwijsleersituatie' op zich nemen. Hierbij ligt de nadruk op controle door het leersysteem terwijl de voorkeur van de leerling slechts beperkt of niet wordt meegenomen. Uit onderzoek blijkt dat leerlingen over het algemeen niet in staat zijn om keuzes in hun leerpad te maken die bijdragen aan een positief leerresultaat (Brummelhuis, Kramer, Post, & Zintel, 2015). Door deze sturing over te laten aan het leersysteem kan onderwijs efficiënter worden vormgegeven (Marquenie et al., 2014).

Leerlingen geven zelf ook aan dat efficiëntie de belangrijkste reden is om leermateriaal adaptief aan te bieden (Harrigan, Kravčik, Steiner, & Wade, 2009). Bij het generaliseren van de resultaten van dit literatuuronderzoek dient er dus rekening te worden gehouden met deze afbakening dat er slechts leersystemen worden meegenomen die routinetaken automatiseren en data van de leerling in het systeem zelf gebruiken om het leerproces te personaliseren. Dit is een voorbeeld van embedded learning analytics. Er is in dit verslag geen aandacht voor het gebruik van sturing en coaching van docenten met behulp van extracted data.

Complexiteit van adaptieve leersystemen

Er zit veel verschil in de adaptiviteit, en hiermee de complexiteit, van leersystemen. Afhankelijk van het doel van de aspecten waarop een systeem moet adapteren wordt er onderscheid gemaakt tussen drie soorten ALS'en (Beldagli & Adiguzel, 2010; Mödritscher, Garcia-Barrios, & Gütl, 2004). Dit zijn: *macro-adaptieve instructie*, *aptitude-treatment-interaction*, en *micro-adaptieve instructie*. De complexiteit van deze systemen neemt toe naarmate de mogelijkheid tot adaptie ook toeneemt. Hieronder worden de drie benaderingen besproken en worden voor- en nadelen genoemd.

Macro-adaptieve instructie

Adaptie op het macro niveau betekent dat instructie wordt aangepast op de (persoonlijke) doelen en vermogens van de leerling (Park & Lee, 2004). ALS'en die ontworpen zijn met macro-adaptieve instructie gebruiken vaak een mastery learning aanpak (Carrol, 1963; Agodini et al., 2009), waarin leerlingen pas instructie of opgaven krijgen als ze aan alle vereisten hiervan hebben voldaan (Park & Lee, 2004). Adaptiviteit in deze systemen is daardoor beperkt tot het tempo waarin de leerling nieuwe stof eigen maakt. Macro-adaptieve instructie komt niet alleen voor in ALS'en, maar wordt als sinds het begin van de 20^e eeuw toegepast in het klaslokaal door leerlingen te groeperen op basis van kennis van een bepaald onderwerp en instructie hierop aan te passen. Een bepaalde basisbeheersing was dan nodig om aan te schuiven bij groepen van een hoger niveau.

Hoewel een mastery learning aanpak een positief effect heeft op leerresultaat (Agodini et al., 2009), is dit effect zeer verschillend tussen leerlingen en tussen scholen. Dit laat zien dat er andere (leerling) kenmerken zijn die van invloed zijn op het leerproces. De volgende benadering van ALS'en houdt hier rekening mee.

Aptitude-Treatment-Interaction (ATI)

ALS' en ontwikkeld vanuit een ATI benadering adapteren, op basis van profielkarakteristieken van de leerling, onder andere de instructievorm, gebruikte media, en de volgorde van de stof (Park & Lee, 2004). Dit is gebaseerd op het idee dat verschillen tussen leerlingen er voor zorgen dat zij op andere manieren het best leren (Cronbach, 1957; Riding & Rayner, 1998). Profielkarakteristieken bepalen de aanleg van een leerling voor een bepaalde vorm van instructie. Snow en Swanson (1992) onderscheiden hier twee soorten in, namelijk: cognitieve aanleg (e.g., intelligentie, leerstijlen, en voorkennis) en conatieve en affectieve aanleg (e.g., motivatie, interesse, en zelfwerkzaamheid). Hoewel sommige profielkarakteristieken op zichzelf in verband worden gebracht met leren, mist overtuigend bewijs dat differentiatie hierop bijdraagt aan beter leren (Park & Lee, 2004).

Er is veel kritiek op het adaptief aanbieden van onderwijs op basis van een pre-test die leerlingen indeelt in een bepaalde groep op basis van profielkarakteristieken. Ten eerste is het indelen van een leerling in een groep een oversimplificatie van de relatie tussen individuele kenmerken en leeruitkomsten (Cronbach & Snow, 1977; Park & Lee, 2004). Systematisch bewijs dat deze manier van adaptiviteit werkt mist dan ook. Een tweede punt van kritiek is dat de ATI benadering ervan uit gaat dat bepaalde kenmerken constant blijven over langere tijd terwijl dit vaak niet zo is. Hierdoor ontstaat een steeds grotere meetfout tussen de test en de daadwerkelijke kenmerken van de leerling. Ten slotte gaat de ATI benadering ervan uit dat leerlingen in staat zijn een pre-test over persoonskenmerken over zichzelf juist in te vullen en hier goed aan mee werken. Dit is echter niet vanzelfsprekend waardoor de interactie tussen kenmerken en onderwijs vanaf het begin al foutief wordt bepaald (Park & Lee, 2004).

ATI onderzoek naar adaptie op basis van verschillen in intelligentieprofielen (Kelly & Tangney, 2006) en leerstijlen (Assis, Danchak, & Polhemus, 2006; Reints, 2013; Sun, Joy, & Griffiths, 2007) laten zien dat dit niet werkt. Pashler, McDaniel, en Bjork (2008) benadrukken dat er nergens in de literatuur overtuigend bewijs te vinden is dat adaptiviteit op leerstijlen werkt. Ook zij erkennen dat iedere leerling in een bepaalde context beter of slechter leert, maar dit kan niet worden uitgelegd aan de hand van leerstijlen. Naast intelligentieprofielen en leerstijlen zijn er nog andere profielkarakteristieken die onder ATI adaptie vallen. Voorbeelden hiervan zijn motivatie, interesse, en zelfwerkzaamheid. Bewijs dat adaptie op dit soort profielen werkt mist echter (Park & Lee, 2004; Vandewaetere et al., 2011).

Slechts één cognitieve factor schijnt nut te hebben om mee te nemen bij het aanbieden van adaptie volgens de ATI benadering. Dit is de eerdere prestatie van een leerling binnen een bepaalde taak (Park & Lee, 2004). Meerdere studies hebben gevonden dat leerlingen die

eerder op een lager niveau presteerde meer ondersteuning nodig hadden op een daaropvolgende taak, terwijl leerlingen die hoger presteerde het juist beter deden als ze minder ondersteuning kregen (e.g., Tobias & Federico, 1984). Een bijkomend voordeel van deze vorm van adaptie van instructie is dat er geen meetfout plaatsvindt door het afnemen van een vragenlijst over de profielkenmerken van een leerling. Wel gaat adaptie op basis van voorkennis in de ATI benadering er nog van uit dat de eerdere prestatie van een leerling voor langere tijd de adaptiviteit van verdere instructie kan bepalen. Micro-adaptieve instructie daarentegen past zich aan tijdens het leerproces van de leerling.

Micro-adaptieve instructie

De ontwikkeling en onderzoeken naar ALS'en hebben de afgelopen jaren een ontwikkeling doorgemaakt naar een meer directe vorm van kleinschalige adaptie; micro-adaptieve instructie. Micro-adaptieve instructie past continue instructie aan op de specifieke behoeften van een leerling tot op taakniveau (Mödritscher, et al., 2004). Hierbij kunnen meerdere variabelen worden meegenomen, zoals informatie over de leerling, maar ook over het domein en de specifieke taak die moet worden opgelost (Vandewaetere et al., 2011). Een tutor die één-op-één instructie geeft is ook een voorbeeld van micro-adaptieve instructie (Park & Lee, 2004). Omdat bij deze vorm van instructie de beste leerresultaten worden bereikt bij leerlingen (Bloom, 1984; Cohen, et al., 1982), worden micro-adaptieve systemen ontwikkeld die dit soort instructie kunnen nabootsen. Deze systemen proberen zo goed mogelijk instructie van een tutor na te doen en zijn daardoor zeer complex.

Micro-adaptieve systemen gebruiken vaak drie modules die samenwerken om tot adaptieve instructie te komen. Deze modules zijn de *expert module*, *student module*, en *tutor module* (Beldagli & Adiguzel, 2010). De expert module bevat informatie over het domein en wat de relaties zijn tussen verschillen stukken informatie. Deze relaties kunnen, afhankelijk van het ALS, vooraf in het programma zijn geprogrammeerd of door een docent zijn aangebracht. De student module bevat informatie over de kennis, vaardigheden, en attitudes van de leerling (Beldagli & Adiguzel, 2010). Deze module verzamelt data van en over de leerling, gebruikt deze data om een beeld te schetsen over de huidige kennis en eventueel leerprocessen van de leerling, en voorspelt wat de student gaat antwoorden op een bepaalde taak. Deze voorspelling wordt na de invoer van de leerling weer gebruikt om het beeld van de leerling bij te stellen. Voor het voorspellen worden, afhankelijk van de context en het doel, verschillende algoritmes gebruikt. Deze worden verderop besproken. De laatste module is de tutor module. In deze module wordt informatie uit de andere modules gebruikt om te bepalen

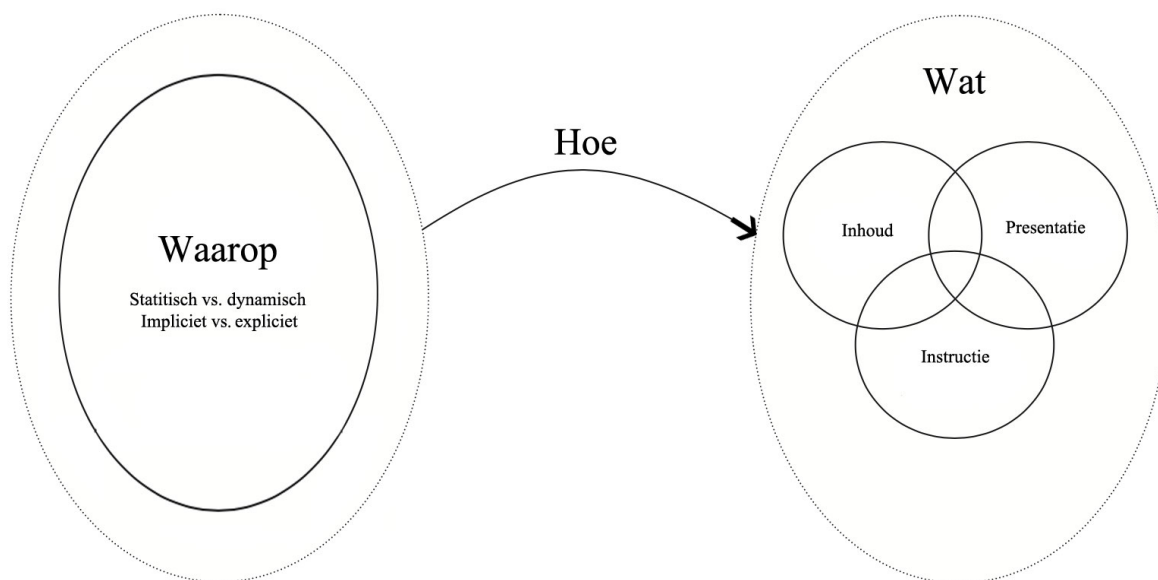
hoe en wanneer bepaalde taken of leermateriaal worden aangeboden aan de leerling (Beldagli & Adiguzel, 2010). In deze laatste module worden dus de beslissingen gemaakt over de adaptiviteit die wordt aangeboden aan de leerling.

Een voorbeeld van een specifiek soort ALS dat deze modules combineert zijn Intelligente Tutor Systemen (ITS'en). ITS'en zijn micro-adaptieve systemen die met behulp van zelflerende algoritmen een één-op-één tutor leerervaring zo goed mogelijk nabootsen. Dit doen deze systemen door relevante verklaringen, tips, en oefenopgaven te geven die op dat moment van toepassing zijn gebaseerd op analyses van het systeem (Phobun & Vicheanpanya, 2010). Deze systemen zijn complex en daardoor moeilijk om te ontwikkelen. Daarnaast is er veel moeite nodig om een expertmodel te creëren waaraan de leerling moet worden gekoppeld.

Resultaten van micro-adaptieve systemen en ITS'en laten positieve effecten zien op het leren van de leerling (Ben-Naim, Bain, & Marcus, 2009; Mitrovic, Koedinger, & Martin, 2003). Deze systemen worden vaak echter vanuit een technische of kunstmatige intelligentie benadering onderzocht. Een nadeel hiervan is dat er vaak geen conclusies worden getrokken over de didactisch toegevoegde waarde (waarom werkt het, werkt het efficiënt), maar slechts of het algoritme of de techniek erachter werkt (werkt het of niet). Er wordt dan ook vaak een controlegroep gebruikt die klassikaal onderwijs krijgt. Hierdoor verschillen er te veel variabelen om uitspraken te kunnen doen over waarom iets heeft gewerkt. Een ander nadeel van dit soort onderzoek is dat er vaak slechts wordt gekeken naar een momentopname terwijl de complexiteit in adaptiviteit van deze systemen vraagt om een langdurige aanpak (Vandewaetere et al., 2011). Graff en Lebens (2007) vergeleken het gebruik van het adaptieve systeem eFit met klassikale instructie voor een jaar. Zij vonden dat de leerlingen die gebruik maakten van eFit beter presteerden met betrekking tot wiskunde. Dit was echter alleen van toepassing voor de hoog presterende leerlingen. De laag presterende leerlingen deden het beter met klassikale instructie.

Drievoudige structuur van adaptiviteit

Aan de hand van de hierboven genoemde complexiteit van ALS'en zijn er al enkele voorbeelden van differentiatie genoemd. Een ander mogelijk onderscheid is waarop, wat, en hoe kan worden gedifferentieerd (Vandewaetere et al., 2011). Adaptief onderwijs is gebaseerd op deze drie vragen en de samenhang hiertussen (zie Figuur 1). Hieronder wordt per aspect besproken wat de mogelijkheden zijn in een ALS en wat voor resultaten al bekend zijn over dit soort adaptie. Er wordt geen onderscheid gemaakt tussen macro-, ATI-, en micro-adaptie.



Figuur 1. De drie aspecten van adaptief onderwijs inclusief samenhang. Model aangepast van Vandewaetere en collega's (2011).

Waarop kan worden gedifferentieerd

Dit is informatie over de leerling waarop adaptie gebaseerd wordt. Als het doel van adaptief onderwijs is dat iedere leerling op unieke wijze wordt behandeld door het systeem, is het nodig informatie van en over de leerling te gebruiken om op te adapteren. Hoewel er overeenstemming is over het belang van adapteren op verschillen tussen leerlingen (Brusilovsky & Millán, 2007), is er veel onenigheid over op welke variabelen zou moeten worden gedifferentieerd. Daarnaast worden veel voorgestelde variabelen in student-modellen niet empirisch getest en enkel theoretisch besproken of slechts in isolatie onderzocht (Vandewaetere et al., 2011). Ten slotte, blijven veel onderzoeken steken op de vraag of het werkt en wordt niet gekeken of het systeem ook efficiënt gebruikt kan worden om te leren.

Als ergens op wordt gedifferentieerd kan er gebruik worden gemaakt van statische en dynamische data (Karampiperis & Sampson, 2005). Voorbeelden van statische data zijn gegevens over de leerling waarvan verwacht wordt dat ze niet snel zullen veranderen zoals doelen en leervoorkeuren. Voorbeelden hiervan zijn de profielkenmerken waarop ATI systemen adapteren. Dit soort informatie wordt vaak al eerder verzameld of is al bekend. Dynamische data daarentegen wordt constant verzameld door het ALS en wordt gebruikt om het student model up-to-date te houden met bijvoorbeeld nieuw vergaarde kennis van en over de leerling. Statische data kan ook gecombineerd of zelfs gecontroleerd worden met dynamische data om de betrouwbaarheid en validiteit te verhogen (Vandewaetere et al., 2011).

Een ander onderscheid is tussen impliciet en expliciet verzamelde data. Statische data verzameld voorafgaand of tijdens het leerproces is vanzelfsprekend vaak expliciet. Vaak is expliciete uitvraag nodig om bijvoorbeeld het kennisniveau van de leerling te toetsen. Echter, als de leerling expliciet wordt gevraagd om iets in te vullen wordt het leerproces onderbroken. Dit kost leerlingen moeite om weer verder te gaan (Lo, Chan, & Yeh, 2012). Daarom moet er goed worden nagedacht wat de toegevoegde waarde is van expliciet verzamelde gegevens. Een minder ingrijpende bron van informatie is data die impliciet wordt verzameld. Dit is data die zonder tussenkomst van de leerling kan worden gebruikt. Voorbeelden hiervan zijn de tijd die een leerling nodig heeft voor het beantwoorden van een vraag en of de leerling wel alle pagina's heeft bezocht. Dit soort data zorgt voor de grote ongestructureerde big datasets en wordt ook wel meta-data genoemd.

Ondersteuning adapteren op basis van eerder prestatieniveau bleek al succesvol in een ATI systeem (Park & Lee, 2004). Op micro-adaptief niveau worden deze resultaten ook gevonden. Kalyuga en Sweller (2006) hebben aangetoond dat differentiëren van cognitieve belasting op basis van voorkennis van de leerlingen effectief is om deze belasting terug te dringen en om hen betere resultaten te laten behalen. Daarnaast adapteren veel huidige ALS'en puur door op basis van eerder gemaakte vragen leerlingen taken op hun eigen niveau toe te wijzen. Deze ALS'en worden besproken bij: Hoe kan worden gedifferentieerd.

Wat kan worden gedifferentieerd

Wat kan worden gedifferentieerd is hetgeen dat voor iedere leerling uniek wordt gemaakt. Leermiddelen worden vaak onderverdeeld in drie componenten, namelijk: de inhoud, de presentatie, en de instructie (Elen, 1993). Adaptie is mogelijk op al deze componenten, maar Vandewaetere en collega's (2011) laten zien dat veruit de meeste

programma's een combinatie van deze componenten adaptief aanbieden. Reints, Roll, en Wilkens (2014) noemen enkele voorbeelden bij ieder component. Adaptiviteit van de inhoud kan een goede manier zijn om de interesse van de leerling te wekken door leerteksten, voorbeelden, en afbeeldingen aan te passen. Een voorbeeld is het gebruik van de interesses van de leerling op Facebook om een som op aan te passen. Zo krijgt de ene leerling een som over 20 voetballen en de andere over 20 auto's. Adaptie van de presentatie gaat meer over de uiterlijke kenmerken en functionaliteit van een ALS. Een voorbeeld is het verstopten van een overslaan-knop de eerste paar seconden om een leerling te motiveren een som eerst te proberen. De laatste vorm van wat er adaptief kan worden aangeboden is de instructie. Instructie in een ALS is de feedback van het systeem op de input van de lerende. Dit kan feedback zijn in de vorm van een uitleg wat goed of fout was, maar kan ook het aanbieden van een nieuwe taak zijn aangepast, op het niveau van de leerling. Hieronder wordt feedback in ALS'en verder besproken.

Feedback heeft veel invloed op het leerproces van de leerling (Hattie & Timperley, 2007). Daarnaast is feedback per definitie persoonlijk omdat het is afgestemd op het persoonlijke proces en/of resultaat van de leerling. Effectieve vormen van feedback verschillen van een eenvoudige terugkoppeling over de juistheid van het gegeven antwoord tot specifieke hulp die een leerling helpt om het probleem op te lossen (Azevedo & Bernard, 1995; Black, Harrison, Lee, Marshall, & William, 2003). Daarnaast is het bekend dat feedback het effectiefst is als het precies wordt gegeven als de leerling het nodig heeft (Kester, Kirscher, & van Merriënboer, 2005). Vasilyeva en collega's (2007) noemen enkele aspecten waarop feedback adaptief zou kunnen worden aangeboden. Voorbeelden hiervan zijn niveau, persoonskenmerken, interesse, en humeur. Zij vinden echter in hun review slechts één artikel dat onderzoek heeft gedaan naar de adaptiviteit van feedback. Dit is de studie van Lüticke (2004) waarin feedback wordt aangepast op voorkennis, hoeveelheid fouten, voortgang door de taak, en persoonlijke voorkeur. Er werd een positief effect gevonden van het adaptief aanbieden van feedback op de leerresultaten. Uit onderzoek van Reints en collega's (2014) kwam echter dat leerlingen niet tot nauwelijks gebruik maken van feedback van een ALS. De soort feedback maakte hierbij niet uit.

Hoe kan worden gedifferentieerd

Tussen waarop en wat er moet worden gedifferentieerd zit een vertaalslag om van de bron van adaptie naar het doel van adaptie te komen. Om te bepalen wat er precies adaptief moet worden aangeboden naar aanleiding van bepaalde kenmerken van een individu worden

er verschillende algoritmes gebruikt met een spectrum van simpel tot zeer complex. In de kern kunnen al deze algoritmes worden gezien als een: “als...dan...” constructie.

De meest eenvoudige constructie is te vinden in *geprogrammeerde instructie* (Park & Lee, 2004). Het systeem heeft dan een reactie klaar staan voor ieder mogelijk antwoord. Hierdoor krijg de ene student een extra uitleg voor een bepaald soort fout terwijl de andere leerling gewoon kan doorwerken. Dit soort systemen maken adaptie op macro niveau mogelijk, maar bieden niet veel mogelijkheden voor adaptie op andere persoonskenmerken. Een andere vorm van geprogrammeerde instructie is *inplanting*. Een leersysteem hanteert dan bijvoorbeeld vier instructievormen die aansluiten bij bepaalde persoonskenmerken. Een leerling maakt van te voren een test en voert de uitslag hiervan in. Het systeem past hier dan bepaalde elementen op aan.

Ontwikkelingen in de IT hebben complexere algoritmes mogelijk gemaakt. Toch worden vaak dezelfde basisprincipes gehanteerd. In plaats van voor ieder mogelijk antwoord een bepaalde reactie in te programmeren worden leersystemen bijvoorbeeld voorzien van wiskundige modellen die voorspellen wat voor taak een leerling goed zal gaan beantwoorden. Op basis hiervan kiest het systeem een taak uit. Deze modellen hebben als voordeel dat zij geen gebruik maken van complexe expert modellen waaraan de leerling moet worden gematcht. Deze modellen gebruiken namelijk eerder verzamelde data van andere leerlingen om een voorspelling te doen over het leerproces van deze leerling. Enkele voorbeelden van dit soort modellen zijn ELO, Bayesian probability, en Markov modellen (Park & Lee, 2004). Deze worden hieronder kort toegelicht.

Het ELO model (Elo, 1978) komt vanuit de schaakwereld en werd gebruikt om de winkans van een speler te voorspellen met behulp van de niveaus van beide schakers. In ALS' en wordt dit toegepast door een niveau toe te kennen aan de leerling en een moeilijkheidsgraad aan de taak die moet worden opgelost (Pelánek, 2016). Aan de hand hiervan kunnen taken worden gekozen door het leersysteem die bijvoorbeeld een oplossingskans hebben van 60%. Hiervoor is dus data over de leerling en over de taken nodig. Deze wordt gegenereerd door het systeem zelf. Als een leerling een vraag goed beantwoord stijgt zijn of haar niveau. Daarnaast daalt de moeilijkheidsgraad van de vraag. Hierdoor sorteert het systeem zelf de volgorde van taken. Een nadeel is wel dat er een stabiliseringsperiode nodig is voordat de moeilijkheid van de taken bekend is of over het niveau van de leerling. Systemen met ELO modellen differentiëren dus de moeilijkheid van de vraag, gebaseerd op het niveau van de leerling. Uitbreidingen van adaptiviteit is moeilijk in ELO modellen, maar wel mogelijk doordat er keuzes moeten worden gemaakt over enkele constante variabelen in het voorspellingsmodel.

Voor systemen met een ELO model zijn er twee constanten waarover ontwikkelaars moeten nadenken. De eerste is het percentage van de oplossingskans. Aangezien de mate van uitdaging een belangrijke voorspeller is voor leersucces is het belangrijk om sommige leerlingen moeilijkere taken te geven dan andere leerlingen, ondanks dat zij hetzelfde niveau hebben. In plaats van een oplossingskans van 60% in het model te programmeren zou dit ook per leerling verschillend kunnen zijn gebaseerd op leerlingkenmerken. De tweede constante waarover na moet worden gedacht is de mate van stijging of daling van het niveau van de leerling en de moeilijkheidsgraad van de taak. Deze stijging of daling zou afhankelijk van het verschil tussen moeilijkheid kunnen worden aangeboden. Zo zou een leerling die een moeilijkere som oplost sneller stijgen in niveau dan een leerling die een makkelijkere som oplost. Hetzelfde geldt voor de moeilijkheid van de taak. Die zou in dit geval harder kunnen dalen voor de moeilijkere som omdat het niet werd verwacht dat een leerling met dit niveau deze vraag goed zou kunnen beantwoorden. Een andere mogelijkheid is het afhankelijk maken van de tijd. Hoe langer een leerling erover doet, hoe minder hard zijn of haar score stijgt of daalt bij een goed of fout antwoord. Dit is gebaseerd op het feit dat leerlingen die een som snel oplossen, de stof waarschijnlijk beter beheersen dan leerlingen die langer doen over dezelfde som.

Hoewel ELO modellen dus de mogelijkheid hebben tot uitbreiding van adaptie, is dit beperkt. Deze systemen gaan er namelijk in de kern vanuit dat iedere student op dezelfde manier, in hetzelfde tempo leert. Modellen die hier een oplossing voor zouden kunnen bieden zijn Bayesian probability of Markov modellen. In plaats van een taak aan te bieden gebaseerd op de input van een leerling, wordt er gewerkt met een model van de leerling die wordt vergeleken met andere student-modellen voor het aanbieden van een taak. Zo wordt bij het Bayesian probability model een pre-test afgenomen waarmee het slagingspercentage per taak wordt berekend en waarmee het niveau van de leerling wordt bepaald. Daarna laat dit model toe dat dit voorspellingsmodel iedere taak wordt bijgewerkt op basis van nieuwe input van de leerling. Hierdoor combineert dit model variabelen die iets zeggen over hoe de leerling het best leert, met factoren die het niveau van de leerling bepalen. Het Markov model voegt hier nog eens aan toe dat er rekening kan worden gehouden met willekeurige informatie en fouten in de data. Hierdoor is het model minder gevoelig voor onverwachte input die niet in het student-model past (Brusilovsky, 2001).

Nederlandse adaptieve leersystemen

Veruit de meeste Nederlandse ALS'en werken met wiskundige modellen die op basis van het niveau en/of de snelheid van reageren een persoonlijk pad of bepaalde moeilijkheid aan de leerling voorschotelt. Dit niveau wordt dynamisch vastgesteld aan de hand van eerdere input van de lerende of door een pre-test. Vergeleken met de mogelijkheden van ALS'en die hierboven zijn genoemd is dit een beperkte vorm van adaptie. De resultaten laten echter significante voordelen zien van het werken met deze vormen van adaptie. Hieronder worden enkele bekende ALS'en besproken die in het Nederlandse onderwijs worden gebruikt.

Het eerste systeem dat hier wordt besproken is Snappet. Snappet is een oefenprogramma voor meerdere disciplines voor op de tablet. Het systeem laat de leerling direct weten of het antwoord goed of fout is. Daarnaast past het systeem met behulp van ELO adaptie de moeilijkheid van de taken en het niveau van de leerling aan op basis van of het antwoord goed of fout was. Recente onderzoeken naar de effectiviteit van Snappet laten zien dat leerlingen in groep 6 een hogere vaardigheidsgroei lieten zien, in zowel spelling als rekenen dan de controlegroep (Molenaar, Van Campen & Van Gorp, 2016). In groep 4 was dit slechts het geval voor spelling. Verder bleek dat de mate van vaardigheidsgroei van leerlingen die met Snappet werkte meer parallel liep met leerlingen van een lager niveau dan leerlingen uit de controle groep (Molenaar et al., 2016). Dit zou kunnen betekenen dat leerlingen van een hoger niveau op een bepaald moment niet meer genoeg hebben aan klassikaal onderwijs, maar adaptieve programma's nodig hebben om te blijven groeien. Uit onderzoek van Faber en Visscher (2016) kwam dat alle leerlingen in groep 5 baat hadden bij werken met Snappet op het gebied van rekenen. Ook uit deze studie bleek dat leerlingen van het hoogste niveau de meeste baat hadden.

Een ander ALS dat gebruik maakt van adaptie met behulp van een ELO algoritme is Reken tuin van Oefenweb.nl. Dit online programma neemt daarnaast responsietijd mee in de mate waarin leerlingen dalen of stijgen qua niveau (Maas, Straatemeier, & Klinkenberg, 2010). Hierdoor stijgt een leerling meer als die een antwoord snel weet, maar daalt hij of zij ook harder als er snel een foutief antwoord wordt ingevuld. Onderzoek naar de effectiviteit van de Reken tuin laat een grotere groei zien bij leerlingen die gebruik maakten van het systeem in vergelijking met leerlingen die hier niet mee werkten (Meijer & Karssen, 2013). Opvallend is wel dat de effecten bij Snapper groter waren voor de leerlingen op hoger niveau, terwijl het gebruik van Reken tuin beter werkt voor leerlingen van een lager niveau.

Het adaptieve leersysteem Muiswerk werkt anders. Dit systeem past de taken en volgorde aan op basis van een pre-test die wordt afgenomen aan het begin. Ook feedback en

instructie wordt op basis hiervan gepersonaliseerd. Deze route en instructie worden iedere paar weken aangepast met behulp van een tussentijdse toets. Resultaten van Muiswerk laten zien dat leerlingen die werken met Muiswerk meer vragen per seconde goed maakten op het gebied van rekenen en wiskunde (Haelermans & Ghysels, 2013).

SlimStampen past geheugenmodellen toe door bij te houden wat de leerling waarover weet en dit te vergelijken met een ideaal model. Het systeem wordt gebruikt in meerdere taalmethoden en bepaalt op basis van de juistheid van een antwoord en de tijd die het de leerling heeft gekost om te reageren wanneer een woordje weer herhaald moet worden. Leerlingen die werkten met dit programma deden het beter dan leerlingen die zelf de volgorde mochten bepalen en dan leerlingen waarbij dit random gebeurde (Rijn, Maanen, & Woudenberg, 2009).

Potentiële factoren van adaptiviteit

Instructie is het effectiefst in een één-op-één setting tussen leerling en tutor (Bloom, 1984). Met gepersonaliseerd onderwijs wordt geprobeerd dit soort effectiviteit weer terug te brengen zodat iedere leerling zijn of haar potentieel maximaal kan benutten. Hiervoor worden ALS'en gebruikt die op basis van verschillende kenmerken van een leerling instructie adaptief kunnen aanbieden. Er is echter nog weinig bekend over welke variabelen, in welke context moeten worden gedifferentieerd om een specifiek leerdoel te behalen. Vandewaetere en collega's (2011) benadrukken dat veel onderzoek naar ALS'en tot nu toe werd gedaan vanuit een technische richting met de vraag: werkt het? Zij beargumenteren dat onderzoek naar ALS'en vanuit de onderwijskundige theorie zou moeten worden benaderd om te kunnen beantwoorden waarom iets werkt en of het efficiënt werkt. In deze laatste paragraaf wordt een start gemaakt met het beantwoorden van deze vraag door belangrijke onderwijskundige voorspellers te benaderen vanuit een adaptieve richting.

Het is belangrijk om te benoemen dat simpelweg het gebruiken van onderwijskundige voorspellers in een adaptieve setting niet betekent dat dit een efficiëntere manier van leren oplevert. Volgens Park en Lee (2004) worden er veel ALS'en ontwikkeld op basis van onbevestigde theoretische aannames. De resultaten die uit deze onderzoeksvraag komen moeten dan ook eerst nog in een adaptieve setting worden onderzocht. Hiervoor is een andere aanpak nodig dan nu wordt gebruikt. Normaliter worden effectstudies uitgevoerd met behulp van empirisch experimenteel onderzoek met twee of meer condities waarin slechts één of enkele variabelen worden aangepast. Hierbij worden persoonskenmerken teniet gedaan door aselechte toewijzing in condities. Hiermee kan er uitsluitend worden gegeven over de

effectiviteit van deze interventie. Kennis van dit soort onderzoek wordt daarna gebruikt om te implementeren bij grotere groepen leerlingen. Bij onderzoek naar gepersonaliseerd leren moeten echter verschillen tussen leerlingen het beginpunt zijn van het onderzoek. In plaats van het zoeken naar een interventie die voor alle leerlingen werkt, moet er worden onderzocht welke vorm van adaptie het maximale uit zoveel mogelijk, zo niet alle, leerlingen haalt.

Aanpak

Hieronder wordt de onderzoeksvraag beantwoord welke breed-geaccepteerde onderwijskundige voorspellers zouden kunnen worden gebruikt in gepersonaliseerd onderwijs om de kwaliteit hiervan te laten toenemen. Om deze vraag te beantwoorden zijn verschillende onderwijskundige reviews en meta-analyses geraadpleegd die effectieve onderwijskundige voorspellers, interventies, en theorieën benoemen. Echter, door de grote overlap tussen deze bronnen is ervoor gekozen om slechts de meest omvattende bron te gebruiken voor deze analyse. Dit is een samenvoeging van meer dan 800 onderwijskundige meta-analyses van Hattie (2008). Andere geraadpleegde bronnen zijn een boek van Bransford en collega's (2000) en een review van Scheerens, Luyten, Steen, en Luyten-de Thouars (2007). In het boek van Hattie wordt de invloed van belangrijke onderwijskundige variabelen vergeleken op basis van impact voor het onderwijs. Hiervoor wordt de effectgrootte *Cohens d* gebruikt (Cohen, 1988). Deze effectgroottes zijn berekend door het effect van een interventie te delen door de spreiding in het resultaat (de standaard deviatie). Hierdoor wordt een groot effect met een grote spreiding genuanceerd, terwijl een klein effect die voor veel leerlingen hetzelfde was, relevanter wordt. Hattie (2008) benadrukt dat interventies met een effectgrootte van *Cohens d* > 0.40 belangrijk zijn voor het onderwijs. $d = 0.40$ is de gemiddelde effectgrootte van alle onderzochte interventies. Hoewel ieder positief effect nuttig is voor het onderwijs, kiest Hattie opzettelijk een d van 0.40 als omslagpunt omdat anders de lat te laag wordt gelegd voor het onderwijs. Ter vergelijking, het verschil tussen één-op-één tutoren en klassikale instructie betreft een d van 2.00 (Bloom, 1984). Hattie (2008) noemt 66 variabelen met een d van 0.40 of hoger. Van al deze variabelen is in bijlage 1 kort benoemd op wat voor manier deze adaptief kunnen worden gebruikt. Hierbij is rekening gehouden met de drie aspecten van Vandewaetere en collega's (2011): waarop, wat, en hoe kan worden gedifferentieerd. De waarop-vraag test een voorspeller op de toegevoegde waarde om hierop te adapteren en dus data hierover op te slaan. De wat-vraag test of dit iets is wat adaptief zou moeten worden aangeboden. De hoe-vraag test of de theorie kan bijdragen aan de vertaalslag tussen waarop

en wat moet worden gedifferentieerd. De resultaten van deze drie vragen zijn te vinden in bijlage 1.

Resultaten

Bij het beoordelen van de belangrijke onderwijskunde variabelen op hun nut voor adaptief onderwijs werden zes overkoepelende thema's herkend: voorspellers, doelen en verwachtingen, voorkennis, feedback, individueel versus samenwerkend leren, en interventies. Bijna alle variabelen vielen in één of meer van deze thema's. Hieronder wordt per thema een korte uitleg gegeven voordat de resultaten worden besproken. Aangezien alle genoemde variabelen uit de review van Hattie (2008) komen, wordt hieraan gerefereerd met behulp van de rang van de desbetreffende variabele op basis van effectgrootte. Deze staat tussen haakjes achter de variabele van Hattie. Deze rang kan in de meest linker kolom van bijlage 1 worden teruggevonden.

Voorspellers. Voorspellers zijn variabelen die het mogelijk maken de latere prestatie van een leerling te voorspellen. Aangezien we slechts naar effectgroottes van groter dan 0.40 hebben gekeken zijn dit belangrijke voorspellers. Voorspellers zouden door ALS'en gebruikt kunnen worden om bijvoorbeeld de moeilijkheid van een taak op aan te passen. Een goed voorbeeld hiervan is de voorspeller eerdere prestatie (rang 4). Deze vorm van adaptie wordt al gebruikt in veel ALS'en, waaronder de systemen die gebruik maken van ELO-adaptie. Een voordeel hiervan is dat deze data dynamisch wordt verzameld tijdens het maken van taken. Een grotere correlatie met prestatie is echter gevonden voor zelf gerapporteerde cijfers (1). Blijkbaar zijn leerlingen zeer goed in staat hun toekomstige presteren te voorspellen. Dit brengt mogelijkheden met zich mee voor ALS'en omdat een nadeel van sommige systemen is dat niveau in te kleine stappen toeneemt bij het goed beantwoorden van een vraag. Beginnen met de leerling zijn of haar niveau zelf te laten inschatten is wellicht een betrouwbaar startpunt en scheelt het afnemen van een toets om het startniveau te bepalen. Het nadeel van deze eigen inschattingen is dat leerlingen zich zelf wellicht gaan aanpassen aan het prestatieniveau dat zij voor ogen hebben en hierdoor niet hun maximale potentieel bereiken. Zo noemt Hattie (2008) dat het zelfbeeld (60) van leerlingen invloed heeft op de latere prestatie van de leerling. Meer hierover bij 'Doelen en verwachtingen'.

Overige voorspellers die genoemd zijn door Hattie (2008) hebben te maken met de thuissituatie (31, 32), gewicht bij vroegtijdige geboorte (38), en de schoolgrootte (59). Dit zijn voorbeelden van statische expliciet uit te vragen data. Hoewel deze factoren latere prestatie

voorspellen en een systeem hier dus op zou kunnen adapteren, lijken dit omslachtige variabelen die expliciet gevraagd moeten worden en waar de leerling waarschijnlijk geen antwoord op heeft. Daarnaast kan het vragen naar de thuissituatie een sociaal wenselijk antwoord opleveren.

Doelen en verwachtingen. Veel variabelen die de prestatie van de leerling beïnvloeden hebben te maken met het stellen van doelen en de verwachtingen van de leerling over zichzelf en de verwachtingen van de docent over de leerling. Doelen kunnen te maken hebben met een bepaald gewenst niveau van de leerling of met een bepaald onderwerp waar de leerling meer over wil leren. Deze doelen zijn vaak uniek voor iedere leerling en zijn daarom belangrijk om mee te nemen in gepersonaliseerd onderwijs. Het stellen van doelen opzich heeft al een positieve invloed op prestatie (34). Helderheid in doceren draagt ook bij aan een betere prestatie van de leerling (8). Een belangrijk aspect van helderheid is dat de docent duidelijk communiceert wat de te behalen doelen zijn. Ook directe instructie, een lesmethode gecentreerd rondom het behalen van gestelde doelen heeft een positief effect op prestatie (26).

Uit de review van Hattie (2008) blijkt dat het effect van het stellen van doelen groter is als de verwachtingen hoger worden gesteld (34). Een docent die hoge verwachtingen heeft van zijn of haar leerlingen zorgt ervoor dat deze leerlingen beter presteren (58). Zelfs als deze verwachtingen niet gegrond zijn. Daarnaast zorgt het stellen van lage verwachtingen door het labelen van leerlingen als ‘onder gemiddeld’ ervoor dat leerlingen ook slechter gaan presteren (21). Kwaliteitskenmerken van doceren die het grootste positieve effect hebben op prestatie zijn het uitdagend aanbieden van de stof en het aansporen van de leerlingen om hoge verwachtingen van zichzelf te hebben (56). Dit heeft weer te maken met het eerder genoemde zelfbeeld. Leerlingen die een hoge verwachting van zichzelf hebben zullen ook beter gaan presteren (60).

ALS'en kunnen gebruik maken van deze informatie over doelen en verwachtingen door realistische, maar uitdagende doelen te stellen op basis van persoonlijke informatie van en over de leerling. Dit kan door bijvoorbeeld een unieke leerweg te genereren voor iedere leerling op basis van voorkennis. Dit vereist echter wel gedetailleerde informatie over wat de leerling precies beheerst en op welk niveau. Het volgende thema bespreekt variabelen die op basis van voorkennis instructie aanpassen of aangepast aanbieden.

Voorkennis. Veel interventies met betrekking tot gepersonaliseerd leren gaan er van uit dat het systeem weet wat de leerling weet en niet weet. Adaptie op microniveau maakt

bijvoorbeeld gebruik van een student model waarin informatie over de leerling wordt opgeslagen, maar adaptie op macroniveau gebeurt ook al op basis van voorkennis. Hattie (2008) noemt vier interventies met een effectgrootte van meer dan 0.40 die op basis van voorkennis van de lerende het onderwijs adaptief zouden kunnen aanbieden. Positieve effecten op prestatie werden gevonden voor mastery learning (29) en Keller's Gepersonaliseerde Instructiesysteem dat gebruikt maakt van mastery learning (40). In beide principes moeten leerlingen bewijzen dat ze bepaalde stof beheersen voordat ze door mogen naar de volgende stof. Dit is een beperkte vorm van macroadaptie waarin leerlingen vooral op eigen tempo door de stof heen werken. Andere interventies die gebruik zouden kunnen maken van de lerende om op te adapteren zijn *behavioral organizers* (61) en het spreiden van instructie in plaats van alles in één keer aan te bieden (12). Behavioral organizers zijn hulpmiddelen die op een abstracte manier samenhang tussen verschillende aspecten toont. Dit hulpmiddel zou meer effect kunnen hebben als rekening wordt gehouden met de voorkennis. Het spreiden van instructie wordt al toegepast in onder andere het ALS SlimStampen. Hier wordt herhaling van een woord aangepast op de tijd die het de leerling heeft gekost om het de vorige keer te vertalen. ALS'en zouden dit op grotere schaal kunnen toepassen waarbij instructie wordt gespreid op basis van voorkennis, betrokkenheid, motivatie, en andere factoren.

Een nadeel van adaptiviteit op basis van voorkennis is dat het systeem deze voorkennis ergens op moet baseren. Op macroniveau is dit niet ingewikkeld, maar op microniveau liggen er kansen voor ALS'en om instructie aan te passen op precies die aspecten die een leerling nog niet (goed) beheerst. Hiervoor moet de kennis en de cognitieve samenhang van bepaalde aspecten bij de leerling in kaart worden gebracht door het ALS. Hierdoor kan het ALS een foutenanalyse maken en in kaart brengen waarom een leerling bijvoorbeeld een bepaalde fout maakt. Het doel van Hattie (2008) was om variabelen te vinden die een positief effect hebben op de prestatie van de leerling en niet om manieren te noemen waarmee de voorkennis van de leerling in kaart kan worden gebracht. Toch is er één interventie gevonden die hier potentie voor toont. Dit is het maken van een concept map (33). Door leerlingen een concept map te laten maken met daarin samenhang van verschillende aspecten in de stof zal de leerling beter presteren. Daarnaast kan deze input worden gebruikt om (voor)kennis en samenhang tussen verschillende elementen van de leerling te gebruiken.

Feedback. Feedback is al eerder onderzocht in adaptieve context en de resultaten hiervan zijn al besproken. Hattie (2008) noemt dat feedback per definitie persoonlijk is omdat

het een reactie is op de input van de leerling. Feedback zelf heeft een groot positief effect op de prestatie van de leerling (10). Deze effecten kunnen echter ook negatief zijn afhankelijk van de soort feedback. Feedback die een vorm van formatieve evaluatie bevat heeft echter een groot positief effect op de prestatie van de leerling (3). Daarnaast is deze vorm van feedback het effectiefst als er gebruik wordt gemaakt van objectieve data van en over de leerling. Een ALS is hierdoor uitermate geschikt voor het geven van formatieve feedback over het leerproces van de leerling. Een kleiner effect is gevonden voor feedback in de vorm van een vraag aan de leerling (53). Veel ALS'en geven feedback in de vorm van een nieuwe taak of vraag naar aanleiding van de eerdere input van de leerling. De vraag moet uitdagend zijn, maar niet te moeilijk voor het grootste effect.

Doordat feedback al veel is onderzocht in de context van adaptiviteit is er literatuur beschikbaar die heeft onderzocht hoe feedback eruit zou moeten zien in digitale leersystemen. Vasilyeva en collega's (2007) noemen dat feedback direct na de input van de leerling moet worden gegeven en specifiek voor die input geldt, normatief moet zijn over de input, summatief moet zijn over cijfers, en constructief en ondersteunend moet zijn vormgegeven. Daarnaast geven ze een lijst waar feedback allemaal rekening mee zou kunnen houden. Ze noemen onder andere doelen, overtuigingen, persoonskenmerken, aandacht, eerdere prestatie, motivatie, en intelligentie.

Individueel versus Samenwerkend leren. De bevindingen met betrekking tot individueel en samenwerkend leren hebben niet direct nut voor het ontwikkelen van ALS'en. Echter, aangezien gepersonaliseerd leren met behulp van ALS'en op dit moment vooral uitgaat van een individueel leerproces is het nuttig om hier de effecten hiervan kort te beschrijven. Er wordt namelijk een groot effect gevonden voor coöperatief leren (63). Dit effect is nog groter vergeleken met individueel leren (24). Vergeleken met competitief leren doen coöperatieve methoden het ook beter (37). Dit is wellicht nuttig aangezien sommige ALS'en worden ontwikkeld met een competitief karakter waarin het doel is zoveel mogelijk punten te behalen. Samenwerken met medeleerlingen is wellicht effectiever.

Leerlingen kunnen ook veel van elkaar leren. Prestatie stijgt van leerlingen die elkaar tutoeren (36). Hierbij spelen vriendschappen en andere effecten wel weer een rol die positief en negatief kunnen uitpakken (41). Hoewel samenwerken dus werkt, presteren leerlingen beter in kleine groepen dan in grote klassen (48). Hierbij moet materiaal en instructie wel worden aangepast op het niveau van de kleine groep. Anders hebben de leerlingen alsnog geen extra baat bij het leren in kleine groepen.

Hoewel dit soort bevindingen wellicht weinig betekenen met betrekking tot gepersonaliseerd onderwijs, kunnen leerlingen in de toekomst misschien met hun ALS deelnemen in een online omgeving waarvoor bepaalde domeinen coöperatieve adaptieve instructie mogelijk is.

Interventies. Het grootste deel van de 66 geanalyseerde onderwijskundige variabelen van Hattie (2008) waren interventies die in een domeinspecifieke context de prestatie bevorderden. Voorbeelden hiervan zijn lesmethoden die bijvoorbeeld wiskunde, creativiteit, meta-cognitieve vaardigheden, of begrijpend lezen aanleerden. Onderzoek naar dit soort interventies mikten soms op een specifieke doelgroep zoals leerlingen met een leerprobleem. Andere interventies waren van toepassing op een algemenere populatie. Hoewel er bij deze interventies niet meteen een brug geslagen kan worden naar adaptiviteit, is het wel mogelijk dat ALS'en in de toekomst leerlingen met een bepaalde achterstand bepaalde methoden aan te bieden die dit remediëren. In dit verslag ligt de nadruk echter niet op gepersonaliseerd onderwijs op basis van het wel of niet toepassen van een bepaalde methode, maar meer op adaptiviteit binnen een leermiddel om de doelen efficiënter te behalen. Dit soort interventies worden hier besproken. Daarnaast zijn er al enkele interventies besproken bij 'voorkennis'. Deze interventies zullen hier ook niet worden besproken.

Twee interventies blijven over met zeer grote positieve effecten op prestatie van de leerling. De eerste zijn *Piagetian programs* (2). Hierbij wordt er van uitgegaan dat leerlingen zich ontwikkelen door verschillende stadia van Piaget. Onderzoek laat zien dat instructie aangepast op deze stadia een zeer groot effect oplevert voor de leerling. Hiervoor gelden echter wel de eerder genoemde nadelen van ATI adaptie, zoals het maken van meetfouten bij het vaststellen van het stadia van de leerling en het versimpelen van de invloed van persoonskenmerken op leren. Dit zou dus eerst moeten worden onderzocht in adaptieve context. De tweede interventie is acceleratie (5). Met acceleratie wordt versneld onderwijs bedoeld voor hoogbegaafde leerlingen. Deze interventie is terug te vinden in macro adaptieve systemen waarin leerlingen op hun eigen tempo door de stof heen werken.

Discussie

Het hoofddoel van het literatuuronderzoek was om erachter te komen waarop, wat, en hoe adaptieve leersystemen (ALS'en) zouden kunnen differentiëren om efficiënt leren mogelijk te maken en hiermee de kwaliteit van deze systemen te laten toenemen. Het antwoord op deze vraag kan gebruikt worden om de onderzoeksrichting van een potentiële gedeelde onderzoeksagenda te sturen, maar ook om informatie te bieden in de discussie over welke data gedeeld zou moeten worden om de kwaliteit van deze leersystemen te laten stijgen. Belangrijk om te zien is dat de meest gebruikte aspecten van ALS'en, ook genoemd worden in de wetenschappelijke literatuur als belangrijke variabelen voor het verhogen van de prestatie van leerlingen. Voorbeelden hiervan zijn het gebruik van eerdere prestaties om het niveau op aan te passen, differentiëren op doorloopsnelheid (en accelereren indien mogelijk), het gebruik van mastery learning, en natuurlijk persoonlijke terugkoppeling in de vorm van feedback.

Een nog niet gebruikt voorbeeld is het gebruik van behavioral organizers die op een abstracte manier de samenhang in de stof aanbieden. Deze organizers zouden gedifferentieerd kunnen worden aangeboden als de specifieke voorkennis van de leerling bekend is. De grootste winst valt hier waarschijnlijk te behalen als de leersystemen in staat zijn te analyseren wat de leerling nog niet weet. Feedback zou dan ook gepersonaliseerd aangeboden kunnen worden op basis van wat de reden is dat een leerling een bepaalde taak steeds verkeerd doet en doelen kunnen uitdagend worden gesteld met behulp van het ALS op basis van voorkennis.

Met betrekking tot het in kaart brengen van het niveau van de leerling om onderwijs hierop aan te passen is er één belangrijke voorspeller gevonden in de literatuur van Hattie (2008). Hieruit blijkt namelijk dat leerlingen in staat om hun eigen toekomstige prestatie zeer nauwkeurig te voorspellen. Onderzoek zou gedaan kunnen worden in hoeverre een ALS het niveau van een leerling zou moeten proberen vast te stellen als een leerling dit wellicht veel nauwkeuriger zelf kan. Met gebruik van complexere voorspel algoritmes is het bijvoorbeeld mogelijk om de leerling eerst zelf een inschatting van zijn of haar eigen kunnen te laten maken om dit vervolgens te verfijnen met dynamische input op de gegeven taken.

Toekomstig onderzoek

Los van de belangrijkste voorspellers en interventies met betrekking tot gepersonaliseerd onderwijs, zijn er een aantal algemene opmerkingen te maken over dit soort

onderzoek. Tot nu toe is onderzoek veelal vanuit een technische hoek gedaan zonder een vertaalslag te maken naar de onderwijskundige theorie of de praktijk (Vandewaetere et al., 2011). Onderzoek naar ALS'en en gepersonaliseerd leren zouden volgens hen dan ook vanuit onderwijskundige theorie gedreven moeten worden. Hierdoor is het mogelijk om uitspraken te doen over waarom iets werkt en of het efficiënt werkt. Daarnaast mist er vaak een betrouwbare controlegroep in huidig onderzoek naar ALS'en. De controlegroep is vaak gewoon klassikaal onderwijs waardoor niet adaptiviteit van een bepaalde variabele wordt gemeten, maar de invloed van het hele systeem ter vergelijking van dit klassikale onderwijs. Om de waarom vraag te beantwoorden is het nodig de experimentele conditie te vergelijken met een controlegroep die slechts op de variabele van interesse verschilt. Dit kan bijvoorbeeld door de controlegroep precies hetzelfde systeem aan te bieden waarbij de adaptiviteit volledig willekeurig is of waarbij de controle groep opzettelijk verkeerd wordt geadapteerd.

Verder noemen verschillende publieke en private partijen dat het maken van een review over de huidige stand van zaken een goede start van een gedeelde onderzoeksagenda is. Hierin zouden de mogelijkheden, huidige systemen, en doelen voor de toekomst nog eens nader bekeken kunnen worden. Hopelijk draagt dit verslag hier al deels aan bij. Een ander advies is om per aspect waar onderzoek naar gedaan zal worden, te starten met een specifiek review over dit aspect in adaptieve context. Een voorbeeld hiervan is de review van (Vasilyeva et al., 2007) over de adaptiviteit van feedback in digitale leersystemen. Hierdoor start een nieuw onderzoek altijd vanuit de theorie en zijn de adaptieve mogelijkheden geïnventariseerd. Mocht uit een review dan blijken dat de adaptieve effecten wellicht beperkt zijn, kan dit aspect van onderzoek stop worden gezet voordat er veel geld is gestoken in het ontwikkelen of aanpassen van een ALS.

Voordat er echter wordt gekeken naar nieuwe innovaties in het ontwikkelen van ALS'en, is het belangrijk om onderzoek te doen naar de huidige ALS'en. Systematisch onderzoek naar ALS'en ontbreekt namelijk. Er is veel vraag om naar de basis te gaan van gepersonaliseerd onderwijs en onderzoek te doen naar wat werkt, in welke context, voor welke leerling. De effecten van (soortgelijke) ALS'en lopen namelijk nog steeds flink uiteen door de context waarin ze worden ingezet (Klaveren, Vonk, & Cornelisz, 2013; Regian & Shute, 1992).

Een factor die bekend invloed heeft is de betrokkenheid van de docent bij de implementatie van een ALS (Ben-Naim et al., 2009). Hieronder worden enkele voorbeelden genoemd van factoren waar nog weinig over bekend is. Zo is er veel onderzoek gedaan naar gestructureerde kennisdomeinen zoals wiskunde en natuurkunde, terwijl er nog maar weinig

bekend is over de effectiviteit van ALS'en voor domeinen zoals aardrijkskunde of biologie. Onderzoek zou kunnen helpen af te bakenen waar dit soort leersystemen wel voor werken en waarvoor niet. Daarnaast worden er nog steeds grote verschillen gevonden tussen de groei in prestatie tussen leerlingen. Hierbij lijken beter presterende leerlingen meer baat te hebben bij een ALS, dan slecht presterende leerlingen. Er is echter nog weinig fundamenteels bekend over de oorzaak hiervan en het verschil in gebruik. Ten slotte blijkt uit de review van Hattie (2008) dat coöperatief leren in veel situaties beter werkt dan individueel leren. Onderzoek naar ALS'en zou zich ook nog kunnen richten op welke domeinen geschikter zijn voor individueel leren, welke voor gezamenlijk leren, en op wat voor manieren coöperatief leren kan worden geïncorporeerd in ALS'en.

Mogelijkheden voor een publiek-private onderzoeksagenda

Samenvattend lijken interventies die differentiëren op doorlooptijd of voorkennis de belangrijkste mogelijkheden te bieden voor gepersonaliseerd onderwijs. Vernooij (2009) noemt zelfs dat leerlingen eigenlijk vooral op hun voorkennis verschillen en dat iedere leerling een andere tijd nodig heeft met andere begeleiding om tot het einddoel te komen. Dit sluit ook aan bij de redenen van docenten en leerlingen om gebruik te maken van gepersonaliseerd onderwijs. Voor docenten zijn de belangrijkste redenen namelijk dat leerlingen individueel aan de slag kunnen en feedback krijgen op hun taken (Reints et al., 2014). Voor leerlingen zijn de belangrijkste redenen dat ze persoonlijke aandacht krijgen dat aangepast is op hun niveau en voorkennis (Harrigan et al., 2009). Onderzoek naar ALS'en die voorkennis beter in kaart brengen om hier persoonlijke feedback op te geven lijkt dus een potentieel gebied waar publieke en private partijen elkaar kunnen vinden.

Daarnaast zijn er nog veel fundamentele factoren, zoals de context van het ALS, waar nog weinig over bekend is. Dit soort onderzoek biedt mogelijkheden voor een gezamenlijke onderzoeksagenda, mits de deelnemende partijen dezelfde onderzoeksbehoefte ervaren. Hiervoor is het nodig om met geïnteresseerde partijen rond de tafel te zitten om de mogelijkheden te bespreken en op elkaar af te stemmen. Het advies is dan ook om naar aanleiding van deze potentiële onderzoeksagenda een brainstormsessie te organiseren waar publieke en private partijen kunnen meediscussiëren over de daadwerkelijke invulling van de onderzoeksprogrammering en onder welke condities men dat wil. Er dient wel rekening te worden gehouden met de notie dat sommige partijen wellicht niet hun data willen delen of willen vertellen waar zij op dit moment onderzoek naar aan het doen zijn in deze

gezamenlijke sessie. Hiervoor zouden beter één-op-één gesprekken kunnen worden gevoerd met geïnteresseerde partijen.

Literatuurlijst

- Anderson, J. R., Corbett, A. T., Koedinger, K. R., & Pelletier, R. (1995). Cognitive tutors: Lessons learned. *The Journal of the Learning Sciences*, 4, 167–207.
- Azevedo, R., & Bernard, R. M. (1995). A meta-analysis of the effects of feedback computer-based instruction. *Journal of Educational Computing Research*, 13, 109–125.
- Agodini, R., Harris, B., Atkins-Burnett, S., Heaviside, S., Novak, T., & Murphy, R. (2009). *Achievement Effects of Four Early Elementary School Math Curricula: Findings from First Graders in 39 Schools*. NCEE 2009-4052. National Center for Education Evaluation and Regional Assistance.
- Assis, A., Danchak, M., & Polhemus, L. (2006). *Optimizing instruction using adaptive hypermedia*. Proceedings of the Sixth IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT'06). Kerkrade, The Netherlands.
- Ben-Naim, D., Bain, M., & Marcus, N. (2009). A User-Driven and Data-Driven Approach for Supporting Teachers in Reflection and Adaptation of Adaptive Tutorials. *Educational Data Mining*, 21.
- Beldagli, B., & Adiguzel, T. (2010). Illustrating an ideal adaptive e-learning: A conceptual framework. *Social and Behavioral Sciences*, 2, 5755-5761.
- Black, P., Harrison, C., Lee, C., Marshall, B., & Wiliam, D. (2003). *Assessment for learning: Putting it into practice*. Buckingham, UK: Open University Press.
- Blok, H., & Breetvelt, I. (2004). Adaptief onderwijs: Betekenis en effectiviteit. *Pedagogische Studiën*, 81, 5-27.
- Bloom, B. (1984). The 2 sigma problem: The search of methods of group instruction as effective as one-to-one tutoring. *Educational Researcher*, 13, 3–16.
- Bransford, J. D., Brown, A. L., & Cocking, R. R. (2000). *How People Learn: Brain, Mind, Experience, and School*. Washington, DC: National Academy Press.
- Brummelhuis, A. ten., Kramer, M., Post, P. & Zintel, C. (2015). *Vier in balans monitor 2015. de laatste stand van zaken van ict en onderwijs*. Zoetermeer: Stichting Kennisnet.
- Carroll, J. B. (1963). A model of school learning. *Teachers College Record*, 64, 723–733.
- Brusilovsky, P. (2001). Adaptive hypermedia. *User modeling and user-adapted interaction*, 11, 87-110.
- Brusilovsky, P., & Millán, E. (2007). User models for adaptive hypermedia and adaptive educational systems. In P. Brusilovsky, A. Kobsa, & W. Nejdl (Eds.), *The adaptive web* (pp. 3–53). Heidelberg: Springer-Verlag.

- Chung, G.K.W.K., Delacruz, G.C., Dionne, G.B., Baker, E.L., Lee, J., & Osmundson, E. (2007). *Towards individualized instruction with technology-enabled tools and methods*. Proceedings of the Annual Meeting of the American Educational Research Association. Chicago, IL.
- Cohen, J. (1988). *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Cohen, P.A., Kulik, J.A., & Kulik, C.L.C. (1982). Educational outcomes of tutoring: A meta-analysis of findings. *American Educational Research Journal*, *19*, 237–248.
- Cronbach, L.J. (1957). The two disciplines of scientific psychology. *American Psychologist*, *12*, 674–684.
- Cronbach, L.J., & Snow, R.E. (1977). *Aptitudes and instructional methods: A handbook for research on interactions*. New York, NY: Irvington.
- Elen, J. (1993). Beoordelen van opleidingsmateriaal. Enkele theoretische bedenkingen. *Opleiding en Ontwikkeling*, *9*, 13-17.
- Elo, A. E. (1978). *The rating of chessplayers, past and present*. New York, NY: Arco Pub
- Faber, J.M., & Visscher, A.J. (2016). *De effecten van Snappet: effecten van een adaptief onderwijsplatform op leerresultaten en motivatie van leerlingen*. Twente: Universiteit Twente.
- Graff, M., & Lebens, M. (2007). *Web-based direct instruction in mathematics for low achievers*. Proceedings of the Sixth IASTED International Conference WEB-BASED EDUCATION. Chamonix, France.
- Haelermans, C., & Ghysels, J. (2013). *The Effect of an Individualized Online Practice Tool on Math Performance-Evidence from a Randomized Field Experiment*. TIER Working Paper.
- Harrigan, M., Kravčik, M., Steiner, C., & Wade, V. (2009, June). What Do Academic Users Really Want from an Adaptive Learning System?. In *International Conference on User Modeling, Adaptation, and Personalization* (pp. 454-460). Heidelberg: Springer Berlin.
- Hattie, J. (2008). *Visible learning: A synthesis of over 800 meta-analyses relating to achievement*. Abingdon, UK: Taylor & Francis.
- Hattie, J., & Timperley, H. (2007). The power of feedback. *Review of educational research*, *77*, 81-112.
- Johnson, L., Adams Becker, S., Cummins, M., Estrada, V., Freeman, A., & Ludgate, H. (2013). *NMC Horizon Report: 2013 Higher Education Edition*. Austin, TX: The New Media Consortium.

- Kalyuga, S., & Sweller, J. (2006). Rapid dynamic assessment of expertise to improve the efficiency of adaptive e-learning. *Educational Technology Research and Development*, 53, 83–93.
- Karampiperis, P., & Sampson, D. (2005). Adaptive learning resources sequencing in educational hypermedia systems. *Educational Technology & Society*, 8, 128-147.
- Kelly, D., & Tangney, B. (2006). Adapting to intelligence profile in an adaptive educational system. *Interacting with computers*, 18, 385-409.
- Kester, L., Kirschner, P. A., & van Merriënboer, J. G. (2005). Timing of information presentation in learning statistics. *Instructional Science*, 32, 233–252.
- Lee, J., & Park, O. (2008). Adaptive instructional systems. In J. M. Spector, M. D. Merrill, J. G. van Merriënboer, & M. Driscoll (Eds.), *Handbook of research on educational communications and technology* (pp. 469–484). New York, NY: Taylor & Francis.
- Lei, J., & Zhao, Y. (2007). Technology uses and student achievement: A longitudinal study. *Computers & Education*, 49, 284–296.
- Lo, J. J., Chan, Y. C., & Yeh, S. W. (2012). Designing an adaptive web-based learning system based on students' cognitive styles identified online. *Computers & Education*, 58, 209-222.
- Lütticke, R. (2004) Problem solving with adaptive feedback, in de P. Bra, and W. Nejd (Eds.), *Adaptive Hypermedia and Adaptive Web-Based Systems* (pp. 417-420). Eindhoven: Springer
- Maas, H., Klinkenberg, S., & Straatemeier, M. (2010). Rekentuin.nl: Combinatie van oefenen en toetsen. *Examens*, 4, 10-14.
- Marquenie, E., Opsteen, J., Ten Brummelhuis, A., & Van der Waals, J. (2014). Elk talent een kans. Verkenning van gepersonaliseerd leren met ict. Zoetermeer: Stichting Kennisnet
- Meijer, J., & Karssen, M. (2013). Effecten van het oefenen met Rekentuin: Technisch eindrapport. Amsterdam: Kohnstamm Instituut.
- Ministerie van onderwijs, cultuur en wetenschap (2015). Doorbraakproject onderwijs & ICT. Den Haag: Ministerie van onderwijs, cultuur en wetenschap.
- Mitrovic, A., Koedinger, K. R., & Martin, B. (2003). *A comparative analysis of cognitive tutoring and constraint-based modeling*. In Proceedings of the ninth international conference on user modeling UM 2003 (pp. 313–322). Heidelberg: Springer Berlin.
- Mitrovic, A., Mayo, M., Suraweera, P. & Martin, B. (2001). *Constraint-based tutors: A success story*. In L. Monostori, J. Vancza & M. Ali (Eds.), Proceedings of the

- 14th International conference on industrial and engineering applications of artificial intelligence and expert systems IEA/AIE-2001 (pp. 931–940). Budapest.
- Mödritscher, F., V. M. Garcia-Barrios, & C. Gütl, (2004). *The Past, the Present and the Future of adaptive E-Learning: An Approach within the Scope of the Research Project AdeLE*. In Proceedings of the International Conference on Interactive Computer Aided Learning.
- Molenaar, I., Van Campen, C., & Van Gorp, K. (2016). *Onderzoek naar Snappet: gebruik en effectiviteit*. Nijmegen: Radboud Universiteit.
- Park, O. & Lee, J. (2004). Adaptive Instructional Systems. In D. Jonassen (Ed.), *Handbook of Research on Educational Communications and Technology*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Pashler, H., McDaniel, M., Rohrer, D., & Bjork, R. (2008). Learning styles concepts and evidence. *Psychological science in the public interest*, 9, 105-119.
- Pelánek, R. (2016). Applications of the Elo rating system in adaptive educational systems. *Computers & Education*, 98, 169-179.
- Phobun, P., & Vicheanpanya, J. (2010). Adaptive intelligent tutoring systems for e-learning systems. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 2, 4064-4069.
- Regian, J. W., & Shute, V. J. (1992). *Cognitive approaches to automated instruction*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Reigeluth, C.M., 1996. A new paradigm of ISD? *Educational Technology and Society* 36, 13–20.
- Reints, A. (2013). *Leerstijlkenmerken van digitale leermiddelen en het effect op de leerprestaties van jongens en meisjes*. Utrecht: CLU.
- Reints, A., Roll, G., & Wilkens, H. (2014). *Adaptiviteit van Digitale Leermiddelen*. Utrecht: CLU.
- Riding, R., & Rayner, S. (1998). *Cognitive Styles and learning strategies*. London, UK: David Fulton Publishers.
- Romero, C., & Ventura, S. (2007). Educational data mining: A survey from 1995 to 2005. *Expert Systems with Applications*. 33, 135-146.
- Ruiz-Primo, M. A., & Furtak, E. M. (2007). Exploring teachers' informal formative assessment practices and students' understanding in the context of scientific inquiry. *Journal of research in science teaching*, 44, 57-84.

- Scheerens, J., Luyten, H., Steen, R., & Luyten-de Thouars, Y. (2007). *Review and meta-analyses of school and teaching effectiveness*. Department of Educational Organisation and Management, University of Twente: Enschede.
- Snow, E. R., & Swanson, J. (1992). Instructional psychology: Aptitude, adaptation, and assessment. *Annual Review of Psychology*, *43*, 583–626.
- Sun, S., Joy, M., & Griffiths, N. (2007). The use of learning objects and learning styles in a multi-agent education system. *Journal of interactive learning research*, *18*, 381–388.
- Tobias, S., & Federico, P. A. (1984). Changing aptitude-achievement relationships in instruction: A comment. *Journal of Computer-Based Instruction*, *11*, 111–112.
- Van Klaveren, C., Vonk, S., & Cornelisz, I. (2015). The Effect of Computerized Adaptive Practicing on Student Learning: Evidence from a Randomized Field Experiment. Working Paper.
- Van Rijn, H., van Maanen, L., & van Woudenberg, M. (2009). *Passing the test: Improving learning gains by balancing spacing and testing effects*. In Proceedings of the 9th International Conference of Cognitive Modeling (pp. 7-6).
- 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*, 118 – 130.
- Vasilyeva, E., Puuronen, S., Pechenizkiy, M., & Rasanen, P. (2007). Feedback adaptation in web-based learning systems. *International Journal of Continuing Engineering Education and Life Long Learning*, *17*, 337-357.
- Vernooij, K. (2009). *Omgaan met verschillen nader bekeken. Wat werkt?* Helmond: Onderwijs Maak Je samen
- Wetering, M.W. van (2016). *Kennisnet Trendrapport 2016-2017*. Zoetermeer: Stichting Kennisnet.
- Willingham, D. T. (2008). What is Developmentally Appropriate Practice? *American Educator*, *4*, 34-39.

Bijlage 1 - Belangrijkste variabelen uit de review van Hattie (2008) verdeeld over zes thema's, met korte uitleg, en eventuele mogelijkheden voor adaptieve leersystemen.

Tabel 1
Belangrijkste variabelen uit de review van Hattie (2009) verdeeld over zes thema's, met korte uitleg, en eventuele mogelijkheden voor adaptieve leersystemen.

Rang	Cohens d	Naam	Thema	Uitleg	Adaptieve mogelijkheden
1	1.44	Self-report grades	Voorspeller	Leerlingen zijn in staat hun toekomstige prestatie zeer nauwkeurig te voorspellen	De vraag is of een systeem beter niveau kan bepalen dan de leerling zelf. Controle bij de leerling leggen kan wel ook een nadeel met zich mee brengen doordat leerlingen zich gaan aanpassen aan wat ze denken te kunnen bereiken.
2	1.28	Piagetian programs	Interventie	Interventies gericht op het gebruiken van stadia van de leerling op basis van de ontwikkelingstheorie van Piaget om onderwijs op aan te passen.	Een kind ontwikkeld zich (in de theorie van Piaget) volgens een bepaald aantal stadia. Kennis over hoe een leerling denkt (op basis van deze stadia) kan worden gebruikt om onder andere taken, materiaal, en moeilijkheid adaptief aan te bieden.
3	0.90	Providing formative evaluation	Feedback	Het effect van formatieve evaluatie op de prestatie van een leerling.	Het effect van formatieve evaluatie is het grootst als er gebruik wordt gemaakt van objectieve data van de leerling i.p.v. een subjectieve beoordeling. ALS'en kunnen niet alleen deze objectieve data over het leren van de leerling gebruiken, maar zijn ook in staat om na iedere taak formatieve feedback te geven die uniek is voor de leerling.
4	0.88	Micro teaching		Interventies gericht op de professionalisering van de docent door hem/haar video's van hun doceren te laten terugkijken	
5	0.88	Acceleration	Interventie	Dit is de mogelijkheid voor (vaak hoogbegaafde) leerlingen om op een sneller tempo door de stof te gaan.	Dit is de kern van adaptief onderwijs op macroniveau. Dit wordt al gebruikt voor hoogbegaafde leerlingen m.b.v. plusklassen. Dit laat zien dat een andere verandering nodig is in het onderwijssysteem voordat dit kan werken.
7	0.77	Comprehensive interventions for learning disabled students	Interventie	Effect van interventies voor leerlingen met leerproblemen.	Leerlingen met leerproblemen hebben baat bij instructie die aandacht heeft voor de volgorde van het materiaal, stampen, herhalen, oefenen, en die de moeilijkheid controleren m.b.v. slimme feedback. Een ALS kan dit en is daardoor geschikt voor leerlingen met een leerprobleem.
8	0.75	Teacher clarity	Doelen	Leerlingen met heldere docenten presteren beter. Helderheid betekent onder andere goede communicatie over de te behalen doelen.	
9	0.74	Reciprocal teaching	Interventie	Interventie gericht op het aanleren van cognitieve strategieën (zoals samenvatten).	
10	0.73	Feedback	Feedback	Het effect van feedback op de prestatie van de leerling.	Feedback is per definitie gepersonaliseerd omdat het is aangepast aan de input van de leerling. In een ALS is iedere respons van het systeem een vorm van feedback. Het kan een positief, maar ook negatief effect hebben.
11	0.72	Teacher-student relationships		Een goede relatie met de leerling draagt bij aan een betere prestatie.	
12	0.71	Spaced vs. mass practice	Voorkennis / Interventie	Het effect van het spreiden van instructie vergeleken met een langere instructie in één keer.	Dit heeft ook te maken met de mate van herhaling. Een ALS kan het beste moment bepalen voor het herhalen van bepaalde stof. Dit gebeurt in het ALS SlimStampen.
13	0.69	Meta-cognitive strategies	Interventie	Interventies gericht op het aanleren van meta-cognitieve strategieën.	
14	0.67	Prior achievement	Voorspeller / Interventie	Eerdere prestatie is een sterke voorspeller van latere prestatie.	Dit is de kern van veel ALS'en die op basis van het niveau van een leerling de moeilijkheid van een nieuwe taak bepalen.
15	0.67	Vocabulary programs	Interventie	Interventies gericht op het aanleren van kennis van woorden.	
16	0.67	Repeated reading programs	Interventie	Interventies gericht op het herlezen van een korte zin tot dat er een acceptabel prestatieniveau is bereikt.	
17	0.65	Creativity programs	Interventie	Interventies gericht op het verbeteren van creativiteit	
18	0.64	Self-verbalization/self-questioning	Interventie	Leerlingen die zichzelf vragen stellen tijdens het leren presteren beter.	Vooraf laag scorende leerlingen hebben hier baat bij. ALS kan instructie aanpassen door laag scorende leerlingen uit te dagen zichzelf te bevragen.
19	0.62	Professional development		Het effect van docenten die zichzelf ontwikkelen.	
20	0.61	Problem-solving teaching	Interventie	Interventies waarin een probleem wordt geïdentificeerd, prioriteiten worden geselecteerd, en alternatieven worden bedacht voor het oplossen ervan. Sturing door de docent.	
21	0.61	Not Labeling students	Doelen	Leerlingen die door een docent (onbewust) worden gelabeld als bijvoorbeeld 'onder gemiddeld' zullen ook onder gemiddeld gaan scoren.	
22	0.60	Phonics instruction	Interventie	Interventies gericht op leren van het alfabet om het leren van woorden te verbeteren.	
23	0.60	Teaching strategies	Interventie	Interventies gericht op het aanleren van strategieën aan leerlingen om tijdens het leren te gebruiken.	
24	0.59	Cooperative vs. individualistic learning	Individueel VS Samen	Coöperatief leren werkt beter dan individueel leren	
25	0.59	Study skills	Interventie	Interventies gericht op het verbeteren van studievoordigheden (meta-cognitieve, cognitieve, en affectieve vaardigheden)	
26	0.59	Direct Instruction	Doelen / Interventie	Methode waarin de docent vanuit specifieke doelen een plan opstelt over hoe hij deze doelen gaat behalen met zijn klas en hiervoor betrokkenheid en motivatie kan creëren. Na de instructie is er ruimte voor het meten van de uitkomsten en het (individueel) herhalen van de stof.	
27	0.58	Tactile stimulation programs	Interventie	Interventies gericht op het verbeteren van sensorische verrijking	
28	0.58	Comprehension programs	Interventie	Interventies gericht op het verbeteren van taalbegrip	
29	0.58	Mastery learning	Voorkennis / Interventie	Leerlingen gaan pas naar de volgende taak/stof als zij het vorige begrijpen.	Dit is de kern van adaptief onderwijs op macroniveau. Hiervoor moet het systeem weten wat de leerling weet voordat een nieuwe taak kan worden aangeboden.
30	0.57	Worked examples	Interventie	Methode waarbij oplossingen volledig worden uitgeschreven waardoor cognitieve overbelasting wordt voorkomen en de leerling beter leert.	
31	0.57	Home environment	Voorspeller	De socio-psychologische omgeving thuis en intellectuele stimulatie zijn een voorspeller van prestatie.	
32	0.57	Socioeconomic status	Voorspeller	Socio-economische status is een voorspeller van prestatie.	
33	0.57	Concept mapping	Voorkennis / Interventie	Interventies waarbij leerlingen zelf een abstracte representatie van de geleerde stof maken.	De leerling geeft input in de vorm van een abstracte representatie. Dit kan gebruikt worden om voorkennis in kaart te brengen. Veel data van veel leerlingen over de samenhang tussen informatie kunnen ervoor zorgen dat het niet meer nodig is een expert model te creëren.

Tabel 1 (vervolg)

Belangrijkste variabelen uit de review van Hattie (2009) verdeeld over zes thema's, met korte uitleg, en eventuele mogelijkheden voor adaptieve leersystemen.

Rang	Cohens d	Naam	Thema	Uitleg	Adaptieve mogelijkheden
34	0.56	Goals	Doelen	Het stellen van doelen heeft een positieve invloed op prestatie van de leerlingen. Hierbij heeft het stellen van hogere doelen een groter effect.	Het stellen van doelen is persoonlijk. ALS'en kunnen op basis van doelen de instructie aanpassen om het gat tussen huidige kennis en het doel zo efficiënt mogelijk te overbruggen.
35	0.55	Visual-perception programs	Interventie	Interventies gericht op het verbeteren van letterkennis om lezen te verbeteren	
36	0.55	Peer tutoring	Individueel VS Samen	Prestatie stijgt als leerlingen elkaar helpen.	
37	0.54	Cooperative vs. competitive learning	Individueel VS Samen	Coöperatief leren werkt beter dan competitief leren	
38	0.54	Pre-term birth weight	Voorspeller	Het gewicht van vroeg geboren baby's voorspelt latere prestatie.	
39	0.53	Classroom cohesion		Het gevoel dat leerling en docent samenwerken aan het verbeteren van de leerprestatie helpt deze leerprestatie	
40	0.53	Keller's Personalized System of Instruction	Voorkennis / Interventie	Een specifieke vorm van gepersonaliseerd leren op basis van Mastery Learning en eigen tempo.	Dit is de kern van adaptie op macroniveau. Ondanks dat Kellers gepersonaliseerde instructiesysteem leerlingen op eigen tempo door de stof lieten gaan waren de leerlingen toch ongeveer dezelfde tijd bezig. Het systeem zorgde echter wel voor een betere prestatie op een post-test.
41	0.53	Peer influences	Individueel VS Samen	Vriendschap en andere effecten van medeleerlingen op prestatie. Kunnen positief en negatief zijn.	
42	0.52	Classroom management		Goed klaslokaal management zorgt voor betere prestatie van de leerlingen. Grotere effecten werden gehaald als docenten problemen snel identificeerden en objectief reageerden.	
43	0.52	Outdoor/adventure Programs	Interventie	Interventies gericht op het verbeteren van prestatie door naar buiten en op pad te gaan	
44	0.52	Interactive video methods	Interventie	Interventies waarbij interactieve video's worden gebruikt. Educatieve games vallen hier ook onder.	Omdat de leerling interacteert met de video(game) is er sprake van adaptiviteit. Er moet echter nog veel onderzoek worden gedaan naar voor welke inhoud dit gebruikt kan worden, de context, de soort feedback van het systeem, en nog veel meer.
45	0.51	Parental involvement		Invloed van ouders schommelt tussen grote negatieve en grote positieve effecten op de prestatie van de leerling. Positieve effecten worden behaald als ouders betrokken zijn bij het leren van de leerling.	
46	0.50	Play programs	Interventie	Interventies gericht op het spelenderwijs verbeteren van prestatie	
47	0.50	Second/third chance programs	Interventie	Interventies die leerlingen met een laag niveau in lezen in 12 tot 20 weken weer op niveau brengt.	
48	0.49	Small group learning	Individueel VS Samen	Leren in kleinere groepen werkt beter dan in grotere groepen.	Positieve effecten van leren in kleine groepjes worden alleen bereikt als de leerlingen materiaal en instructie krijgen dat aangepast (adaptief) is naar hun niveau. Slechtere effecten worden behaald met homogene kleine groepen.
49	0.48	Concentration/persistence/engagement		Een hoge mate van concentratie, doorzettingsvermogen, en betrokkenheid van de leerling zorgt voor een hogere prestatie. Dit is niet hetzelfde als een leerling die lijkt druk te werken.	
50	0.48	School effects		Het effect van verschillen tussen scholen.	
51	0.48	Motivation		Motivatie heeft een positief effect op prestatie. Nog belangrijker is dat demotivatie (door bijvoorbeeld slechte resultaten of conflicten met medeleerlingen of de docent) een veel groter negatief effect kan hebben. Dit wil je dus vermijden.	Een leerling kan gemotiveerd worden door bijvoorbeeld de inhoud van voorbeelden aan te passen aan de interesses van de leerling. Daarnaast kan een systeem eerder ingrijpen als slechte resultaten dreigen te worden behaald door eenvoudigere taken aan te bieden.
52	0.47	Early intervention	Interventie	Dit is de invloed van interventies gericht op de vroege herkenning van een leerprobleem.	
53	0.46	Questioning	Feedback	Dit is feedback in de vorm van een vraag aan de leerling. Dit verhoogt prestatie.	Het is belangrijk om een vraag te stellen die uitdagend, maar niet te moeilijk is voor de leerling. Veel ALS'en geven feedback op input van de leerling door een nieuwe taak (vraag) aan te bieden.
54	0.45	Mathematics	Interventie	Interventies gericht op het verbeteren van wiskunde.	
55	0.45	Preschool programs	Interventie	Voorschoolse interventies in het algemeen.	
56	0.44	Quality of Teaching	Doelen	Kwalitatief onderwijs zorgt voor betere prestaties. De grootste effecten werden gevonden als de stof uitdagend was en als de docent leerlingen aanspoort hoge verwachtingen van zichzelf te hebben.	Uitdagend onderwijs en het aansporen tot hogere verwachtingen zijn een vorm van het stellen van doelen en daarom zeer persoonlijk. ALS'en kunnen taken uitdagend aanbieden door dit aan te passen aan het niveau van de leerling.
57	0.44	Writing Programs	Interventie	Interventies gericht op het verbeteren van schrijven.	
58	0.43	Expectations	Doelen	Een docent die hogere verwachtingen heeft van een leerling (zelf als dit nergens op is gebaseerd) zorgt er voor dat deze leerling beter zal presteren	
59	0.43	School size	Voorspeller	De ideale schoolgrootte van middelbare scholen is 800 leerlingen. Slechtere prestaties worden gevonden op scholen met meer en minder leerlingen.	
60	0.43	Self-concept	Doelen	Leerlingen die hoge verwachtingen van zichzelf hebben zullen ook beter presteren. Deze invloed werkt twee kanten op aangezien prestatie ook het zelfbeeld aanpast.	
61	0.41	Behavioral organizers/Adjunct questions	Voorkennis / Interventie	Interventies waarbij gebruikt wordt gemaakt van hulpmiddelen die voorkennis van de leerling laten aansluiten bij nieuwe stof.	Hoewel deze hulpmiddelen op zichzelf al nuttig kunnen zijn om verbanden in de stof aan te tonen, werken deze beter als ze aansluiten bij de voorkennis van de leerling. Dit kan dus adaptief worden aangeboden.
62	0.41	Matching style of learning		Instructie aanbieden op de leerstijl van een leerling heeft een positief effect op de prestatie.	Ondanks de positieve resultaten is dit één van de weinige theorieën die Hattie zeer kritisch onder de loep neemt. Naast het kleine effect hiervan noemt Hattie veel methodische fouten en zwaktes in dit soort onderzoek.
63	0.41	Cooperative learning	Individueel VS Samen	Het effect van coöperatief leren in het algemeen	
64	0.40	Science	Interventie	Interventies gericht op het verbeteren van natuurkunde en/of andere exacte vakken	
65	0.40	Social skills programs	Interventie	Interventies gericht op het verbeteren van sociale vaardigheden	
66	0.40	Reducing anxiety	Interventie	Interventies gericht op het van het verlagen van angst voor toetsen en/of wiskunde.	