



# Virtual Reality & Augmented Reality in het primair onderwijs

-- een literatuurstudie en verkennend onderzoek --

Robin de Lange & Maarten Lodewijk

januari 2017

**VIRTUAL  
REALITY  
LEARNING  
LAB**



Universiteit Leiden

## 1 Introductie

In de Kennisrotonde van het Nationaal Regieorgaan Onderwijsonderzoek is vanuit het bestuur van een groep basisscholen een aantal vragen geformuleerd rond de toepassing van Virtual Reality (VR) en Augmented Reality (AR) in het primair onderwijs. In dit rapport geven we antwoorden op drie van deze vragen:

- (1) Bestaan er voorbeelden van de inzet van AR en VR in het basisonderwijs, wat zijn de ervaringen en wat zijn de ervaren opbrengsten?
- (2) Is er onderzoek naar de inzet van AR en VR in onderwijskundige context in relatie tot leeropbrengsten?
- (3) Welke verklaring biedt breinleren voor de relatie tussen inzet van AR en VR in een onderwijskundige context en leeropbrengsten?

Tegelijkertijd pogen we breder inzicht te geven in de huidige stand van de technologie, bestaand onderwijskundig onderzoek, interessante toepassingen en aanwijzingen voor positieve leereffecten. De focus zal hierbij liggen op het primair onderwijs, maar er zullen ook voorbeelden buiten dit veld voorbij komen.

## 2 Onderzoeksmethode & structuur

Augmented Reality en Virtual Reality zijn twee verzamelingen van technologieën die veel overlap hebben, maar ook duidelijke verschillen. Om het onderscheid te benadrukken hebben we gekozen om VR & AR te splitsen in de structuur van dit rapport.

De technologische ontwikkelingen op het gebied van Augmented en Virtual Reality gaan erg snel. Met name VR heeft zich de afgelopen vier jaar explosief ontwikkeld. Om een duidelijk overzicht te krijgen bespreken we betrekkelijk uitgebreid de state-of-the-art van beide technologieën, verschillende verschijningsvormen en onze interpretatie van de begrippen.

Om inzicht te krijgen van de huidige kennis van VR en AR als leermiddelen, voeren we een bibliografisch onderzoek uit naar de bestaande wetenschappelijke literatuur. Van deze literatuur maken we een globale analyse en zoeken in een selectie van de literatuur naar behaalde leerresultaten.

Veel van de ontwikkeling van applicaties voor VR en AR gebeurt door ontwikkelaars in hun vrije tijd, door startende bedrijven of grotere commerciële organisaties. In deze vormen is academische reflectie vaak verre van vanzelfsprekend. De hoeveelheid academische literatuur is hierdoor nog relatief beperkt, terwijl veel interessante applicaties niet vindbaar zijn in de literatuur.

Na de zoektocht naar concrete leerresultaten volgt hierom een meer kwalitatieve analyse van de potentie van VR en AR als leermiddelen. Het exploratieve onderzoek dat de hoofdauteur van deze studie heeft uitgevoerd voor zijn promotie vormt hier ook een belangrijke vorm van input. Dit onderzoek bestond o.a. uit breed literatuuronderzoek, gesprekken met docenten, programmeurs, scholen, onderwijsvernieuwers en bedrijven, zelf maken van VR en AR applicaties en het doceren van multidisciplinaire onderzoekscursussen waar studenten van de Universiteit Leiden zelf VR applicaties maakten voor het onderwijs. (de Lange, Virtual Reality for Science & Education 2016 - a review, 2016).

Hiernaast hebben medewerkers van de Kennisrotonde voor de beantwoording van vraag (1) interviews uitgevoerd met twee leerkrachten uit het primair onderwijs die AR en VR inzetten in hun onderwijs.

## 3 Virtual Reality

### 3.1 Geschiedenis en technieken

Gedurende de afgelopen decennia zijn verschillende interpretaties van Virtual Reality ontstaan in de academische en meer populairwetenschappelijke literatuur. Om de verschillende interpretaties te begrijpen en onze keuze hierin duidelijk te maken, is het goed om een aantal elementen uit de geschiedenis van Virtual Reality te bespreken.

Het idee dat een persoon zich via een medium in een volledig andere wereld kan begeven bestaat al veel langer. Zo kunnen panoramische schilderijen uit de 19<sup>e</sup> eeuw beschouwd worden als eerste pogingen om de illusie van *presence* te creëren. Ook stereoscopische fotografie wordt genoemd als significante bijdrage in de ontwikkeling van Virtual Reality.

Veel van de papers die we hebben bestudeerd voor deze studie verwijzen naar de Sensorama, gemaakt door Morton Heilig in de jaren '50 van de vorige eeuw. De gebruiker neemt plaats in deze installatie en ziet 3D video, met groothoeklenzen opgenomen. Daarbij wordt er ook gebruik gemaakt van ventilatoren, een vibrerende stoel en geuren. De Headsight uit 1961 was de eerste Head Mounted Display (HMD) met *head-tracking*, maar maakte nog steeds gebruik van videobeelden. Door magnetische *tracking* volgt een camera de hoofdbewegingen van de gebruiker, waardoor deze rond kan kijken in een andere ruimte.

In de jaren '60 en '70 van de vorige eeuw ontstonden ideeën van grafische interfaces voor de nieuwe elektrische computers, enorme machines waarvan er nog slechts een klein aantal op de wereld waren. De grootse, poëtische ideeën uit die tijd zijn nu nog steeds inspirerend, maar soms ook wellicht wat naïef. Zo fantaseerde Ivan Sutherland twintig jaar voor de Graphical User Interface van de Apple Lisa over *the Ultimate Display*, een kamer waarin alle materie zou kunnen worden gecontroleerd door een computer. Een dergelijk display kon ons intuïties geven over onbekende fysische systemen en zo ook een belangrijke onderwijskundige rol vervullen:

*"A display connected to a digital computer gives us a chance to gain familiarity with concepts not realizable in the physical world. It is a looking glass into a mathematical wonderland."*

(Sutherland, 1964)

Eind jaren '80 versnelden de ontwikkelingen rond driedimensionale computer interfaces. De eerste commerciële HMD's werden uitgebracht, de term Virtual Reality werd populair en er ontstond een grote VR-hype. De Virtual Reality industrie zou binnen enkele jaren uitgroeien tot een miljardenindustrie. De verwachtingen waren hooggespannen. In dit videocollege (Voshart, 2015) worden een aantal applicaties uit die tijd getoond, die mooi illustreren dat de grafische capaciteiten retrospectief veel te beperkt waren. De verwachtingen konden niet worden waargemaakt en VR kwam in de *Trough of Disillusionment* van de Gartner Hype Cycle. Gelijktijdig met de flop van de Nintendo Virtual Boy viel er een lange radiostilte rond Virtual Reality.

Bijna twee decennia was Virtual Reality geen populair onderwerp in de media, ontwikkelingen stonden echter niet stil. Er werd geëxperimenteerd met specialistische en kostbare toepassingen voor bijvoorbeeld entertainment, trainingstoepassingen en bouwkunde. Een belangrijk platform dat

hiervoor wordt ontwikkeld is de CAVE. Deze kostbare VR-kamers met meerdere projectieschermen boden een alternatief voor HMD's en konden met meerdere gebruikers worden gebruikt.

Tegelijkertijd ontwikkelden de grafische mogelijkheden van computers enorm. De game-industrie groeide sterk en games werden steeds vaker ingezet als onderwijsmiddel. In academische literatuur ontstond er een alternatieve interpretatie van Virtual Reality waar ook interactieve virtuele werelden op beeldschermen onder vielen. Andere auteurs maakten sindsdien het onderscheid tussen *immersive* en *non-immersive* Virtual Reality.

De aankondiging van de Kickstarter-campagne voor de Oculus Rift kwam voor velen als een verrassing. Na een lange radiostilte werd een Virtual Reality headset gelanceerd die beter was dan wat dan ook op de markt was, voor een prijs die binnen het bereik van consumenten lag. Dit heeft een enorme versnelling aan ontwikkelingen en explosieve marktgroei veroorzaakt. Met de komst van de Google Cardboard werd duidelijk dat voor VR ervaringen tegenwoordig niet veel meer nodig is dan een geavanceerde smartphone. Binnen *Mobile VR* bieden de Gear VR en de binnenkort verkrijgbare Google Daydream de beste ervaring. Binnen *Desktop VR* zijn de Oculus Rift en HTC Vive de huidige state-of-the-art.

Een groot verschil tussen verschillende huidige VR ervaringen wordt gevormd door de verschillen in interactiviteit. Ten eerste biedt Mobile VR veel minder interactieve mogelijkheden. Deze HMD's detecteren de oriëntatie van het hoofd en gebruiken bijvoorbeeld een touchscreen als extra interactiemiddel. Desktop VR HMD's bieden de mogelijkheid van *room-scale VR*, waarbij je tussen de neergezette sensoren kunt rondlopen in de virtuele wereld. Daarnaast heeft de gebruiker controllers die de precieze bewegingen van de handen volgen, wat veel interactiviteit mogelijk maakt.

Ook de twee verschillende manieren waarmee op dit moment Virtual Reality content wordt gemaakt veroorzaken verschillen in interactiviteit. Met 360° of sferische foto- en videocamera's kunnen evenementen in de echte wereld worden vastgelegd op een manier die visueel sterk overeenkomt met er zelf bij zijn. De interactiviteit bij het bekijken van dit soort opnames is meestal beperkt tot het bepalen van de kijkrichting. Rondlopen is niet mogelijk, aangezien de camera maar op één punt in de ruimte heeft opgenomen. Applicaties waarbij de computer een virtuele wereld genereert daarentegen bieden eindeloze interactieve mogelijkheden. In het VR-veld wordt 360° video niet door iedereen geaccepteerd als Virtual Reality.

### 3.2 Interpretatie Virtual Reality

We hebben ervoor gekozen om ons in dit onderzoek te beperken op HMD-gebaseerde Virtual Reality. Dit sluit volgens onze ervaring het beste aan bij het beeld dat de meeste mensen momenteel hebben bij Virtual Reality. Daarnaast is dit het gebied waar de afgelopen jaren de meeste ontwikkelingen in hebben plaats gevonden. CAVE installaties en schermgebaseerde Virtual Reality worden niet in beschouwing genomen. Hierdoor kunnen we ons onderzoek beperken tot literatuur die ná de lancering van de Oculus Rift in 2012 is uitgebracht. 360° video's vallen wel binnen onze interpretatie van Virtual Reality.

### 3.3 Zoekcriteria & selectie literatuurstudie

Voor het vinden van relevante artikelen over Virtual Reality als leermiddel hebben we een bibliografische zoekprocedure uitgevoerd. Met behulp van de software Publish or Perish (Harzing, 2007) hebben we de artikelendatabases Google Scholar en Microsoft Academic Search op 15 november 2016 doorzocht en geïndexeerd en geëxporteerd naar Excel. Omdat we wilden dat de

hoofdfocus van de artikelen ligt op de toepassing van Virtual Reality als leermiddel hebben we vereist dat alle termen steeds in de titel werden genoemd.

Vanwege onze interpretatie van Virtual Reality hebben we 2012 als ondergrens genomen voor het jaar van publicatie. Dubbele resultaten zijn verwijderd, alsook resultaten die door de auteurs van dit artikel buiten het bereik van dit onderzoek vallen. Dergelijke onderzoeken gingen bijvoorbeeld over fysieke revalidatie of behandeling van mentale stoornissen.

Tabel 1, 2 en 3 laten een eerste analyse zien van de meta-data van de gevonden papers.

<i>Tabel 1</i>	
<b>Zoekopdracht</b>	<b>Aantal resultaten</b>
allintitle: virtual AND reality AND education	165
allintitle: virtual AND reality AND learning	201
allintitle: virtual AND reality AND primary	4
allintitle: virtual AND reality AND elementary	5
allintitle: virtual AND reality AND k-12	4
allintitle: virtual AND reality AND assessment	40

<i>Tabel 2</i>	
<b>Jaar van publicatie</b>	<b>Aantal publicaties</b>
2016 >	71
2015	79
2014	75
2013	81
2012	85
<b>Onbekend</b>	26
<b>Totaal</b>	417

<i>Tabel 3</i>	
<b>Aantal citaties</b>	<b>Aantal papers</b>
0	216
>= 1	201
>= 11	25
>= 31	8
>= 61	3
92	1

### 3.4 Leerresultaten

Dit laat zien dat de laatste jaren een aanzienlijke hoeveelheid wetenschappelijke literatuur over Virtual Reality als leermiddel beschikbaar is gekomen. Een groot deel van deze literatuur bestaat echter uit nooit geciteerde (tabel 3), verkennende papers die de mogelijkheden van VR verkennen als medium en/of kwalitatief de ervaringen beschrijven. Veel papers hebben ook een sterk technologische insteek, waarbij vanuit de techniek wordt besproken wat de mogelijkheden voor het onderwijs zijn.

Om een beter beeld te krijgen van de effectiviteit van VR als leermiddel hebben we 23 onderzoeken geselecteerd en verder bestudeerd. Onder deze onderzoeken vallen veelgeciteerde of recente metastudies, case studies die wijzen op concrete leerresultaten of veelgeciteerde of recente analyses die we relevant achten.

De meeste geciteerde metastudie (Merchant, Goetz, & Cifuentes, 2014) stemt aanvankelijk hoopvol. In deze paper worden 67 studies geanalyseerd die leerresultaten hebben gemeten in hun studie en vindt concrete verbeteringen in leerresultaten. Deze analyse kijkt echter enkel naar onderzoeken gepubliceerd t/m november 2011. Dit is voor de komst van de Oculus Rift, de paper beschrijft dan ook enkel schermgebaseerde non-immersive Virtual Reality toepassingen. Ook (Chen Y.-L., 2016) beschrijft een VR toepassing een desktop-based VR toepassing. Hoewel het succes van 3D games en

virtuele werelden een waardevolle aanwijzing is naar de potentie van immersive Virtual Reality, bieden deze studies ons geen bruikbare resultaten.

In de geselecteerde literatuur is er geen studie te vinden die concrete leerresultaten heeft gemeten bij het inzetten van immersive Virtual Reality toepassingen in (de internationale equivalenten van) het PO of VO.

### 3.5 Breinleren en Virtual Reality

Om vraag (3) van de vraagsteller te beantwoorden zijn we op zoek gegaan naar studies met 'Virtual Reality' in de titel en 'fmri' of 'neuroscience' in de tekst. Deze zoekactie levert 26 resultaten, helaas zonder relevante resultaten voor deze studie. Er lijkt nog geen onderzoek gedaan te zijn waarbij hersenactiviteit wordt gemeten tijdens het dragen van een VR headset. Een belangrijke factor hierbij wordt vermoedelijk gevormd door de restricties om met elektrische apparatuur in de buurt te komen van een fMRI scanner.

Dit betekent uiteraard niet dat hersenonderzoek geen verklaringen kan bieden voor de waarde van Virtual Reality als onderwijsmiddel. Doordat dit twee betrekkelijk nieuwe onderzoeksgebieden zijn, is hier echter nog nauwelijks informatie over te vinden. In 'De lerende mens' (van der Helden & Bekkering, 2015), geschreven door twee neurowetenschappers, is een aantal aanknopingspunten te vinden. Ten eerste is er onderzoek dat aantoont dat een verarmde omgeving leidt tot minder vertakte neuronen. De neurale structuren van onze hersenen worden complexer door rijke omgevingen. Intensieve Virtual Reality ervaringen zouden een bijdrage kunnen leveren hieraan. Tegelijkertijd bestaat ook het gevaar op cognitieve overbelasting, zoals Pedro de Bruyckere benoemt in (Kennisnet, 2016).

*Embodied cognition* is een stroming die aan terrein wint en steeds meer wordt onderbouwd door onderzoek naar hersenactiviteit. Binnen deze stroming wordt nadruk gelegd op het belang van ons lichaam in het begrijpen van de wereld. Ook veel van de complexe talige concepten die we gebruiken blijken gebaseerd op patronen in lichamelijke activiteit (Johnson, 2007). In sterk interactieve Virtual Reality omgevingen kan deze lichamelijkeheid worden benut, waarmee de gebruiker abstracte informatie beter zou kunnen begrijpen door ermee te spelen.

Neurowetenschappelijk onderzoek kan een belangrijke bijdrage leveren aan onderwijsonderzoek, zo ook aan onderzoek naar Virtual Reality als onderwijsmiddel. Tegelijkertijd zijn we ook kritisch op de toegevoegde waarde van deze kostbare onderzoeksmethode. Of, zoals geformuleerd, door Daniel T Willingham: "*Do we need the brain for the claim?*"

### 3.6 Leerresultaten in de toekomst?

De gevonden literatuur voor Virtual Reality biedt geen positief antwoord op vraag (2) en (3). Een belangrijke vervolgvraag is of we mogen verwachten dat Virtual Reality in de toekomst wel positieve leeropbrengsten in het PO laat zien. We bespreken eerst een aantal kanttekeningen.

Ten eerste zijn Virtual Reality HMD's nog niet lang verkrijgbaar voor consumenten. Zoals ook geconcludeerd in (Verbeek, 2016) is het nog te vroeg om conclusies te trekken over de invloed van VR op leerresultaten. Voordat we conclusies kunnen trekken over de onderwijskundige waarde van Virtual Reality zullen er vele langlopende onderzoeken moeten worden afgerond waarin leerresultaten worden gemeten.

Verbeek plaatst ook een tweede kanttekening, namelijk dat het meten van leerresultaten bemoeilijkt zou kunnen worden doordat veel VR applicaties een ervaring bieden om ontdekkend te leren. De applicaties zijn hierdoor meer gericht op het leren van impliciete in plaats van expliciete kennis, hetgeen vaak moeilijker te toetsen is.

In (Moesgaard, Fiss, & Warming, 2015) zijn de leereffecten van Virtual Reality in een museum bestudeerd. Zij concluderen dat: *"it will be difficult to get real data on the effectiveness of learning through VR, as long as the novelty of VR is as distracting as it currently is."*

In (Ott, 2015) wordt een belangrijke reden genoemd waarom we niet op korte termijn onderzoek kunnen verwachten naar de leerresultaten van Virtual Reality in het primair onderwijs. De Oculus Rift en de Gear VR hebben een 13+ leeftijdsaanduiding gekregen. HTC Vive en Google Cardboard hebben geen dergelijke aanduiding maar adviseren jonge kinderen de hardware niet, of alleen onder begeleiding te gebruiken.

Ook is het goed om te realiseren dat de educatieve waarde van veel Virtual Reality apps nog beperkt is. Chris Fowler (Fowler, 2015) merkt op dat pedagogische overwegingen vaak nog ontbreken bij VR applicaties en studies. Veel applicaties worden ontwikkeld door een klein team van ontwikkelaars, vakdidactici en onderwijskundigen lijken daar nog geen grote rol bij te hebben. Een populaire app als Titans of Space slaagt er in een indrukwekkende reis te bieden door het zonnestelsel. De informatie over de planeten is echter vooral in tekstvorm af te lezen op het scherm van je ruimteschip. Deze informatie, die voor de gebruiker zinvol zou kunnen zijn om te leren, is niet geïntegreerd met de ervaring, waardoor de kracht van VR niet optimaal wordt gebruikt. Het maken van succesvolle educatieve content vraagt een combinatie van expertise die we nog niet veel zien.

Vanwege deze redenen zou het nog best wel even kunnen duren voordat we duidelijke leerresultaten zien van Virtual Reality in het primair onderwijs.

### 3.7 Mogelijkheden voor het onderwijs

Er zijn op dit moment nog geen duidelijke positieve of negatieve leeropbrengsten van VR bekend en het zou nog best even kunnen duren voordat deze resultaten er wel zijn. Dit betekent echter niet dat er niks zinvols valt te zeggen over de potentie van Virtual Reality in het onderwijs. Noch betekent het ons inziens dat deze resultaten moeten worden afgewacht alvorens te beslissen om te experimenteren met Virtual Reality in het onderwijs.

Ten eerste is er opvallend veel enthousiasme over Virtual Reality binnen het onderwijs. De toon van de academische literatuur is overwegend positief en doet verslag van geslaagde onderwijsexperimenten met gemotiveerde studenten. Ook in de onderwijspraktijk hebben we veel enthousiasme bemerkt. De verwonderde reacties die eerste VR ervaringen vaak opleveren speelt hier een belangrijke rol in. Daarbij levert het idee dat in de ultieme belofte van VR alles kan worden gemaakt wat we ons kunnen voorstellen, veel creativiteit op. Dit biedt namelijk ook de mogelijkheid om de volledige leeromgeving van een leerling vorm te geven.

Een veelgenoemd voordeel van Virtual Reality als leermiddel is de mogelijkheid om situaties te simuleren die normaal gesproken erg risicovol zijn. Chirurgen die operaties oefenen, piloten die vlieg oefeningen doen en boorplatformpersoneel dat noodsituaties oefent zijn voorbeelden van bestaande specialistische toepassingen. Hierin lijkt VR wel op het onderwijs in het algemeen. Binnen de veilige muren van het klaslokaal oefenen leerlingen Franse conversaties en maken bedrijfsplannen. Debatclubs bereiden leerlingen voor op discussies in het werkende leven en bouwkundestudenten oefenen met gebouwen ontwerpen die nooit echt gebouwd worden.

In de publicatie van Kennisnet over Virtual Reality (Kennisnet, 2016) wordt gesproken over het nut van aanschouwelijk maken van lesstof. Geschiedenislessen kunnen worden aangevuld met 360° foto's van historisch belangrijke plekken, aardrijkskundelessen met een afdaling in een vulkaan en biologielessen met diepzeebeelden. En dat zonder het klaslokaal te hoeven verlaten.

In het rapport van Kennisnet wordt ook het belang benadrukt van vormen van een les rond een VR ervaring. Door vragen te stellen de aandacht ergens op te richten en goed te evalueren kunnen ook applicaties die onderwijskundig minder goed in elkaar zitten worden gebruikt in het onderwijs. Google Expeditions heeft deze elementen op interessante wijze geïntegreerd in het platform. De leraar kan een les kiezen of zelf maken, waarna hij/zij de leerlingen langs verschillende plekken leidt, extra informatie geeft en vragen stelt.

Een andere manier om Virtual Reality in te zetten is door leerlingen of studenten zelf content te laten maken. Dit draagt ook bij aan mediawijsheid; leerlingen zijn zo niet alleen consumenten, maar ook makers. Ze kunnen bijvoorbeeld een 360° camera gebruiken om een journalistiek verhaal te vertellen, of misschien een werkstuk maken in de vorm van een ruimte in een platform als Beloola, JanusVR of Minecraft. Studenten voor de lerarenopleiding kunnen hun lessen opnemen met een 360° camera zodat ze later de dynamiek in de klas goed kunnen bestuderen.

De mogelijke toepassingen van Virtual Reality in het onderwijs zijn veel breder dan hier beschreven. Tijdens velen van de tientallen brainstormsessies die we met uiteenlopende groepen hebben gehouden ontstonden nieuwe ideeën voor onverwachte toepassingen. VR is een nieuw medium waarvan nog lang niet alle mogelijkheden, regels en beperkingen bekend zijn. Wij zien voldoende redenen om te experimenteren met Virtual Reality in het onderwijs, hetgeen ook invloed kan hebben op de ontwikkeling van het medium zelf. (de Lange, The dangers of techno-pessimism in education, 2016).

### 3.8 Praktijkervaring

Voor dit onderzoek hebben medewerkers van de Kennisrotonde een interview gehouden met onder anderen leerkracht Jasper Bloemsma (de Uitvinding, @JasperBloemsma).

Beiden gebruiken Virtual Reality als onderdeel van een normale les. Een filmpje op het digibord wordt bijvoorbeeld vervangen door het bekijken van het Pantheon door een VR-bril (Roman Pantheon Cardboard). Bij een les over vulkanen kunnen leerlingen met een VR-bril ervaren hoe het is om met een helikopter boven een uitbarsting te vliegen (Expedition to the heart of an active volcano Youtube). Ze hebben maar een zeer beperkt aantal brillen en telefoons tot hun beschikking dus leerlingen kijken om de beurt drie tot vijf minuten. Ze ervaren het gebruik van VR in hun lessen als waardevol omdat leerlingen enthousiast reageren. De leerlingen blijven de inzet van VR met onderwijskundige doeleinden leuk vinden, maar het oorspronkelijke niveau van enthousiasme wordt wel minder.

Met het gebruik van VR in het onderwijs lopen de docenten tegen een paar problemen aan. Ten eerste beschikken ze niet over voldoende headsets en telefoons om VR klassikaal in te zetten. Verder is nog vrijwel geen Nederlandstalig materiaal dat goed aansluit bij de lesinhoud en de basisschoolleerlingen. Beide leraren zouden graag zien dat er bruikbaar lesmateriaal wordt ontwikkeld voor het basisonderwijs.



## 4 Augmented Reality

### 4.1 Geschiedenis en technieken

#### 4.1.1 HMD's, smartphones en projectoren

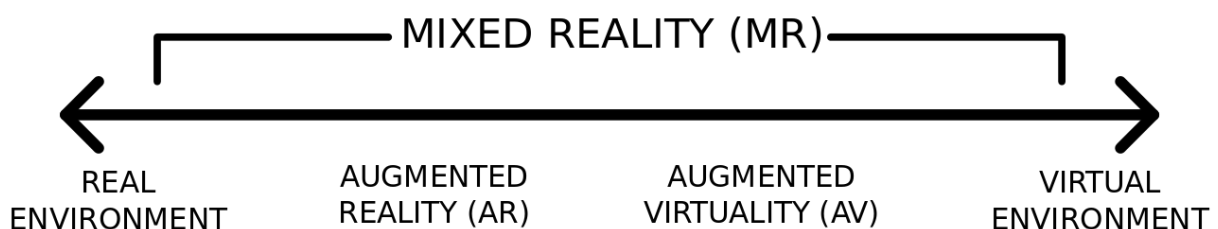
Waar bij Virtual Reality het doel is het ervaren van een totaal virtuele realiteit, draait Augmented Reality om het verrijken, of uitbreiden van de 'echte', fysieke wereld met virtuele elementen. Hoewel dit duidelijk een andere doelstelling is, overlappen de technologische uitdagingen van AR voor een belangrijk deel met die van VR. Hierdoor zijn veel van de vroege ontwikkelingen in de geschiedenis van VR ook essentieel voor AR geweest.

Augmented Reality heeft niet een grote hype gekend zoals VR in de jaren '90. In plaats daarvan heeft het veld zich gedurende langere tijd in specialistische toepassingen ontwikkeld, bijvoorbeeld voor straaljagerpiloten met kostbare AR HMD's. De smartphones die in het begin van deze eeuw populair werden, boden eigenlijk het eerste Augmented Reality platform voor een groter publiek. AR op smartphones en tablets (schermgebaseerd) is inmiddels een vrij volwassen medium met bekende toepassingen zoals Layar, Pokémon Go, Aurasma en Google SkyMap.

De Augmented Reality verschijningsvorm waar veel mensen naar uitkijken is een HMD dat zo comfortabel is dat je de bril altijd kunt dragen. Zo wordt gedurende de gehele dag je wereld verrijkt met relevante digitale informatie die volledig integreert met je waarneming van de wereld. Regelmatig wordt dit gezien als de ultieme interface met de digitale wereld. Bekende HMD's die de afgelopen jaren zijn uitgebracht, zijn Google Glass, Microsoft HoloLens en de Meta 2. Alle drie maken een andere afweging tussen draagcomfort, prijs en gebruikerservaring. De Google Glass is licht genoeg om altijd op te hebben, maar biedt een erg klein scherm. De HoloLens is erg duur (~€3000) en heeft een minder grote beeldhoek dan blijkt uit de reclamevideo's. De Meta 2 biedt een grote beeldhoek, maar moet gekoppeld zijn aan een krachtige pc. Belangrijk is dat alle aanbieders nog minimaal een aantal jaar verwijderd lijken van een product dat klaar is voor een groot publiek.

Een andere verschijningsvorm van AR is op basis van projectoren. Bij het spel Room Racers (van Velthoven, 2012) bijvoorbeeld vormen de objecten in je kamer de racebaan die van bovenaf op de vloer wordt geprojecteerd. (Reed, et al., 2014) beschrijft een "Augmented Reality sandbox" waar een hoogtekaart wordt geprojecteerd op een zandbak. Door het zand te verplaatsen verandert de geprojecteerde hoogte-informatie en stroomt het virtuele water naar de gemaakte ruimte.

In de academische literatuur is een wirwar van termen ontstaan om de verschillende combinaties van en wisselwerkingen tussen virtuele en echte elementen te beschrijven: Augmented Reality, Augmented Virtuality, Computer-mediated Reality, Hybrid Reality, etc. Het continuüm tussen een volledig echte en virtuele omgeving werd vaak omschreven met de verzamelterm Mixed Reality (Fig. 1). Recentelijk heeft de marketingafdeling van Microsoft deze term echter geïnterpreteerd als een specifieke vorm van interactie, waarbij hologrammen gekoppeld zijn aan elementen uit de echte wereld, waarmee de onduidelijkheid weer wat groter is.



Figuur 1

#### 4.1.2 Objectherkenning

De grootste extra uitdaging voor Augmented Reality toepassingen is om de virtuele elementen op een betekenisvolle manier te koppelen aan elementen uit de werkelijkheid. Hiervoor is het nodig om de computer dingen in de wereld te laten herkennen op basis van video input en andere sensoren. *Computer vision* is de naam van het onderzoeksveld dat zich bezig houdt met de *feature detection* die hiervoor nodig is. Een belangrijk doel is om bijvoorbeeld live objecten te volgen, zoals mensen dat ook kunnen doen. Zoals kenmerkend is voor de ontwikkeling van Kunstmatige Intelligentie, is de nabootsing van deze menselijke vaardigheden regelmatig vele malen moeilijker gebleken dan verwacht.

Tegelijk zien we ook veel ontwikkelingen in technieken. Een aantal jaar geleden waren QR-codes nog nodig voor AR, tegenwoordig kunnen ook zelf gekozen afbeeldingen worden gebruikt. Ook kunnen simpele 3D objecten worden herkend en live tekstherkenning begint ook steeds beter te worden. GPS-gegevens kunnen gebruikt worden om locatiegevoelige informatie weer te geven en dieptesensoren zoals de Kinect geven de app 3D informatie over de ruimte. Google's Project Tango bracht in 2016 deze functionaliteit naar de smartphone, hetgeen de prestaties van AR apps sterk kan vergroten.

#### 4.1.3 Interpretatie van Augmented Reality

We hebben gezien dat AR verschillende verschijningsvormen en interpretaties heeft. We kiezen voor dit onderzoek een brede interpretatie van AR waar verschillende vormen en verhoudingen tussen echte en virtuele elementen onder vallen. Vanwege deze brede interpretatie zijn we extra alert op verschillen in algehele kwaliteit, *immersiveness* en de relatie tussen de virtuele en echte elementen. Dit laatste biedt ons inziens de belangrijkste meerwaarde van AR ten opzichte van VR.

### 4.2 Zoekcriteria & selectie literatuurstudie

Voor het vinden van relevante artikelen over Augmented Reality als leermiddel hebben we een soortgelijke bibliografische zoekprocedure uitgevoerd als bij VR. Ook deze zoekopdracht is uitgevoerd op 15 november 2016.

Als ondergrens van de publicatiedatum hebben we 2010 genomen. Dit is na de komst van de iPhone die Augmented Reality voor het grote publiek mogelijk maakte. Dubbele resultaten zijn verwijderd, alsook resultaten die door de auteurs van dit artikel buiten het bereik van dit onderzoek vallen.

Tabel 4, 5 en 6 laten een eerste analyse zien van de meta-data van de gevonden papers.

Zoekopdracht	Aantal resultaten
allintitle: augmented AND reality AND education	289
allintitle: augmented AND reality AND learning	564
allintitle: augmented AND reality AND primary	8
allintitle: augmented AND reality AND elementary	17
allintitle: augmented AND reality AND k-12	6
allintitle: augmented AND reality AND assessment	16

Aantal citaties	Aantal papers
0	418

Jaar van publicatie	Aantal publicaties
2016 >	102
2015	139
2014	150
2013	151
2012	107
2011	112
2010	61
Onbekend	78
<b>Totaal</b>	<b>900</b>

>= 1	482
>= 11	94
>= 31	25
>= 101	6
285	1

### 4.3 Leerresultaten

De hardware waar de meeste AR apps op draaien, smartphones en tablets, hebben al een aantal jaar een hoge consumentenadoptie. Ook in het primair onderwijs zijn deze middelen vaak beschikbaar. Educatieve applicaties voor AR zijn hierdoor een stuk verder ontwikkeld dan voor VR. Tabel 3 en 6 laten zien dat de beschikbare literatuur over AR in het onderwijs ook een stuk omvangrijker is dan voor VR. De literatuur is ook wat verder ontwikkeld, met een aantal case studies die leerresultaten rapporteren en een aantal veelgeciteerde metastudies die een overzicht geven van AR als leermiddel. We hebben 26 onderzoeken geselecteerd en verder bestudeerd.

In (Elliot, 2011) presteert de groep die naast het lesboek ook Augmented Reality gebruikt voor het leren van wetenschapsvakken beter dan de groep die alleen het lesboek gebruikt. Er is echter geen vergelijking tussen het lesboek en de AR applicatie gemaakt. Ook (Yilmaz, 2015) rapporteert positieve leerresultaten, maar de kwaliteit van deze studie lijkt niet erg hoog. (Zhu, 2014) beschrijven een zorgvuldige globale analyse van 25 papers geselecteerd uit >2500 papers over het gebruik van AR in medisch onderwijs. 96% van deze papers is positief over het nut van AR voor het verbeteren van medisch onderwijs. (Renner, 2014) constateert positieve leereffecten van AR in scheikunde onderwijs met een AR applicatie, maar dit resultaat is kleiner dan dat van klassikaal onderwijs.

Ook bij Augmented Reality is de hoeveelheid studies met concrete leerresultaten nog beperkt. Ook zijn de vakgebieden en verschijningsvormen van AR uiteenlopend, waardoor het nog te vroeg is om harde conclusies te trekken over de effectiviteit van AR als leermiddel.

### 4.4 Breinleren en Augmented Reality

Ook voor Augmented Reality zijn we op zoek gegaan naar papers die verbanden leggen tussen AR en neurowetenschap. Een equivalente zoekactie als bij Virtual Reality leverde 3 studies op, zonder relevante resultaten.

In 'De lerende mens' (van der Helden & Bekkering, 2015) wordt de neurale werking besproken van een effect waar we allemaal wel bekend mee zijn. We leggen associaties tussen verschillende stukjes informatie als deze op hetzelfde moment op ons af komen. Neuraal kan dit uitgelegd worden met de versimpeling van de theorie van Donald Hebb: "*Neurons that fire together, wire together.*" Dit principe wijst op een belangrijk aspect van de onderwijswaarde van Augmented Reality. Met een AR headset kan informatie worden toegevoegd aan objecten in de omgeving, waardoor deze stukjes

informatie op precies hetzelfde moment worden getoond. Bij het leren van een taal bijvoorbeeld zou je hiermee sterkere associaties tussen het object en het woord kunnen vormen.

#### 4.5 Mogelijkheden voor het onderwijs

De verschillende literatuuroverzichten schetsen een beeld van de mogelijkheden en beperkingen van AR als leermiddel. Sommige studies zijn vooral een opsomming van bestaande onderzoeken, andere plaatsen resultaten in leertheorieën, identificeren uitdagingen en bespreken toekomstig onderzoek.

(Wu, 2013) wijst erop dat AR nieuwe leermogelijkheden biedt, maar dat sommige van deze mogelijkheden ook bestaan in andere digitale leeromgevingen. Daarbij creëert AR ook extra technologische en pedagogische uitdagingen. Het goed omgaan met een AR app kan zeker voor jongere kinderen best ingewikkeld zijn, waardoor er cognitieve overbelasting kan ontstaan. Ook moet goed worden nagedacht over hoe AR apps worden toegepast in de onderwijspraktijk. In tegenstelling tot conventioneel onderwijs waar de docent centraal is, staat bij een AR app volgens Wu vaak de individuele leerling centraal.

Een vorm van Augmented Reality applicaties is het gebruik als display voor 3D objecten. Construct3D (Kaufmann, 2002) is bijvoorbeeld een applicatie die door veel metastudies wordt aangehaald. Dit prototype werkt met een HMD en stelt de gebruiker in staat om te interacteren met driedimensionale geometrische figuren. Anatomy4D is een schermgebaseerde AR app van DAQRI, waarbij een lichaam wordt geplaatst op een geprinte *marker*. Door het scherm te bewegen rond de marker kan het 3D model worden bestudeerd. Beide apps gebruiken een AR app om een 3D model te bekijken. Maar er is eigenlijk geen relatie tussen de echte en virtuele wereld, de echte wereld is meer een soort achtergrond. We kunnen ons afvragen of dit wel echt Augmented Reality is en of Virtual Reality niet een geschiktere techniek zou zijn hiervoor.

Er zijn verschillende manieren waarbij wel de kracht wordt gebruikt van een betekenisvolle relatie tussen de virtuele en echte wereld. Bij een schooluitje naar een historische locatie of stadswandeling kunnen AR apps worden gebruikt om informatie te doseren en weer te geven wanneer leerlingen op een bepaalde locatie zijn. (Yuen, 2011) Of een bezoek aan een museum kan worden uitgebreid met extra informatie. Deze informatie kan gepersonaliseerd worden zodat het past bij het niveau en interessegebied van de leerling.

De opkomst van tekstherkenning in AR biedt veel mogelijkheden om contextgevoelige informatie weer te geven. De app Big Bird's Words helpt kinderen met woorden leren door ze op zoek te laten gaan naar simpele woorden in hun eigen huis en die te scannen. Op die manier wordt de lesstof binnen de context van hun eigen leefomgeving geplaatst, wat kan bijdragen aan een betekenisvollere leerervaring.

Een toepassing van AR die door docenten vaak wordt gebruikt is het koppelen van digitale informatie aan schoolboeken. In (Kennisnet, 2016) vertelt Britt van Dort hoe ze Aurasma gebruikt om uitlegvideo's te koppelen aan afbeeldingen in het boek. Op die manier kunnen de leerlingen de uitleg nog eens bekijken op het precieze moment dat ze het nodig hebben.

Ook voor Augmented Reality zijn een stuk meer toepassingen dan in dit rapport kunnen worden beschreven. AR brillen zijn voorlopig nog te ver weg. Maar voor schermgebaseerde AR hebben veel scholen nu al de mogelijkheden om te experimenteren.

## 5 Bibliografie

- Ahn, H.-S. &.-M. (2015). Analysis on the Effects of the Augmented Reality-Based STEAM Program on Education. *Advanced Science and Technology Letters*, 92, 125-130.
- Bower, M. e. (2014). Augmented Reality in education—cases, places and potentials. *Educational Media International*, 51(1), 1-15.
- Chang, G. P. (2010). Applications of augmented reality systems in education. *Proceedings of Society for Information Technology & Teacher Education International Conference*, 1. San Diego, CA.
- Chang, Y.-J. e. (2011). Investigating students' perceived satisfaction, behavioral intention, and effectiveness of English learning using augmented reality. *IEEE International Conference on Multimedia and Expo*. IEEE.
- Chen, Y.-L. (2016). The Effects of Virtual Reality Learning Environment on Student Cognitive and Linguistic Development. *The Asia-Pacific Education Researcher*, 25(4), 637 - 646.
- Chen, Y.-L. J.-L.-C. (2014). EFL Learning Scenarios: Effectiveness of Using 3D Virtual Reality. *Society for Information Technology & Teacher Education International Conference*.
- Cherenkova, N. (2013). Educational games within fully immersive 3D virtual reality environment and assessment of user's possible learning outcomes. University of Reading.
- Chiang, T. H. (2015). The effects of 5E learning strategies by image-based augmented reality of mobile learning for elementary students. *International Journal of Mobile Learning and Organisation*, 9(4), 301-314.
- de Lange, R. (2013, 5). Augmented Education. *ar[t] magazine*, 64-71.
- de Lange, R. (2016). *SURF Trendrapport - Virtual Reality hoofdstuk*.
- de Lange, R. (2016, 5). *The dangers of techno-pessimism in education*. Opgehaald van Virtual Reality Learning Lab: <http://vrlearninglab.nl/dangers-techno-pessimism-education/>
- de Lange, R. (2016). *Virtual Reality for Science & Education 2016 - a review*. Opgehaald van Virtual Reality Learning Lab: <http://vrlearninglab.nl/virtual-reality-education-2016-in-review/>
- Elliot, S. &. (2011). Improving Student Science Knowledge and Skills: A Study of the Impact of Augmented-Reality Animated Content on Student Learning. *Proceedings of Society for Information Technology & Teacher Education International Conference 2011* (pp. 2097-2105). Chesapeake, VA: Association for the Advancement of Computing in Education (AACE).
- Facer, K. (2011). *Learning Futures: Education, technology and social change*. New York, NY: Taylor & Francis.
- Fowler, C. (2015). Virtual reality and learning: Where is the pedagogy? *British journal of educational technology* 46.2, 412-422.
- Freitas, R. &. (2008). SMART: a System of Augmented Reality for Teaching 2 nd grade students. *Proceedings of the 22nd British HCI Group Annual Conference on People and Computers: Culture, Creativity, Interaction-Volume 2* (pp. 27-30). Swindon, UK: British Computer Society.
- Google. (2016). Google Expeditions.
- Harzing, A. (2007). *Publish or Perish*. Opgehaald van <http://www.harzing.com/pop.htm>

- Herson, B. (2016, November). Empathy Engines: How Virtual Reality Films May (or May Not) Revolutionize Education. *Comparative Education Review* 60(4), 853-862.
- Hwang, G.-J. e. (2015). Effects of an augmented reality-based educational game on students' learning achievements and attitudes in real-world observations. *Interactive Learning Environments*, 24(8), 1895-1906.
- Ibáñez, M.-B. e. (2016). Support for Augmented Reality Simulation Systems: The Effects of Scaffolding on Learning Outcomes and Behavior Patterns. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 9(1), 46-56.
- Janak, M. e. (2016). Virtual Reality As an Effective Simulation Tool for OSH Education on Robotized Workplace. *The 3rd International Conference on Industrial Engineering and Applications*, 68.
- Johnson, M. (2007). *The Meaning of the Body*.
- Jou, M., & Wang, J. (2013). Investigation of effects of virtual reality environments on learning performance of technical skills. *Computers in Human Behavior*, 29(2), 433-438.
- Jowallah, R. B. (2016). Virtual Reality” the next frontier for K-12 Education: Responding to Future Innovations. *Florida Distance Learning Association*. Florida.
- Kaufmann, H. (2002). Construct3D: an augmented reality application for mathematics and geometry education. *Proceedings of the tenth ACM international conference on Multimedia* (pp. 656-657). New York, NY: ACM.
- Kennisnet. (2016). *Virtual Reality in het onderwijs*.
- Kesim, M. &. (2012). Augmented reality in education: current technologies and the potential for education. *Procedia Social and Behavioral Sciences*, 297-302.
- Kim, S. e. (2015). The Effectiveness of Visualization System for Virtual Reality Learning. *International Journal of u-and e-Service, Science and Technology*, 151-160.
- Küçük, S. S. (2016). Learning anatomy via mobile augmented reality: effects on achievement and cognitive load. *Anatomical Sciences Education*, 9(5).
- Lartigue, J. T. (2014). Promoting k-8 learning using oculus rift: Employing virtual reality to increase learning outcomes in elementary biology. *E-Learn: World Conference on E-Learning in Corporate, Government, Healthcare, and Higher Education*, 1.
- Lee, K. (2012). Augmented Reality in Education and Training. *TechTrends*, 56(2), 13-21.
- Lin, C.-Y. e. (2016). The Effect of Literacy Learning via Mobile Augmented Reality for the Students with ADHD and Reading Disabilities. *Antona M., Stephanidis C. (eds) Universal Access in Human-Computer Interaction. Users and Context Diversity. UAHCI 2016*. 9739. Springer International Publishing.
- Lin, H.-C. K.-C.-K. (2015). Assessing the effectiveness of learning solid geometry by using an augmented reality-assisted learning system. *Interactive Learning Environments*, 23(6), 799-810.
- LLC, D. (n.d.). *Titans of Space*.

- Merchant, Z., Goetz, E., & Cifuentes, L. (2014). Effectiveness of virtual reality-based instruction on students' learning outcomes in K-12 and higher education: A meta-analysis. *Computers & Education, 70*, 29-40.
- Moesgaard, T., Fiss, J., & Warming, C. (2015). Implicit and Explicit Information Mediation in a Virtual Reality Museum Installation and its Effects on Retention and Learning Outcomes. *European Conference on Games Based Learning*. Academic Conferences International Limited.
- Molka-Danielsen, J. e. (2015). Creating safe and effective learning environment for emergency management training using virtual reality. *Norsk konferanse for organisasjoners bruk av IT*, 23.
- Noh, K.-H. H.-K.-H. (2010). Effect of Augmented Reality Contents Based Instruction on Academic Achievement, Interest and Flow of Learning. *The Journal of the Korea Contents Association, 10*(2), 1-13.
- Ott, M. &. (2015). A literature review on immersive virtual reality in education: state of the art and perspectives. *Conference proceedings of eLearning and Software for Education (eLSE) No. 01*. Universitatea Nationala de Aparare Carol I.
- Papert, S. (1980). *Mindstorms: Children, computers, and powerful ideas*. New York, NY: Basic Books, Inc.
- Parsons., T. D. (2013). Visuospatial processing and learning effects in virtual reality based mental rotation and navigational tasks. *International Conference on Engineering Psychology and Cognitive Ergonomics*. Springer Berlin Heidelberg.
- Patzer, B. (2014). The Effects of Training Modality on Anatomy Learning Outcomes: Augmented Reality vs. Fiberglass Models of the Heart. *Proceedings: 10th Annual Symposium on Graduate Research and Scholarly Projects. Wichita, Ks: Wichita State University*, (p. 141). Wichita: Wichita State University.
- Radu, I. (2014). Augmented reality in education: a meta-review and cross-media analysis. *Personal and Ubiquitous Computing, 18*(6), 1533-1543.
- Reed, S., Kreylos, O., Hsi, O., Kellogg, L., Schladow, G., Yikilmaz, G., . . . Sato, E. (2014). Shaping Watersheds Exhibit: An Interactive, Augmented Reality Sandbox for Advancing Earth Science Education. *American Geophysical Union (AGU) Fall Meeting 2014*.
- Renner, J. (2014). Does Augmented Reality Affect High School Students' Learning Outcomes in Chemistry. Grand Canyon University.
- Ryu, J. e. (2016). The Effect of 3D Immersive Virtual Reality on Virtual Presence and Perceived Usefulness in Machining Center Learning for Hearing Impaired Learners. *한국교육공학회/학술대회/발표자료집*, 16-17.
- Schofield, D. (2012). Mass effect: A chemical engineering education application of virtual reality simulator technology. *Journal of Online Learning and Teaching 8.1*, 63.
- Shewokis, P. A. (2015). Brain-in-the-Loop Learning Using fNIR and Simulated Virtual Reality Surgical Tasks: Hemodynamic and Behavioral Effects. *International Conference on Augmented Cognition*. Springer International Publishing.

- Slijepcevic, N. (2013). *The effect of augmented reality treatment on learning, cognitive load, and spatial visualization abilities*. Kentucky: University of Kentucky.
- Stefan, L. F. (2016). Evaluating a Mixed-Reality 3D Virtual Campus With Big Data and Learning Analytics: A transversal study. *Journal of e-Learning and Knowledge Society*.
- Sutherland, I. E. (1964). Sketchpad-A Man-Machine Graphical Communication System. *Proceedings of the SHARE design automation workshop* (pp. 6-329). ACM.
- Sytwu, T.-A. &.-H. (2016). An Investigation of the Effects of Individual Differences on Mobile-Based Augmented Reality English Vocabulary Learning. *Mobile Learning Design*, 387-410.
- Ternier, S. S. (2010). *Mobile Augmented Reality voor het Onderwijs*. Surfnet & Kennisnet, Innovatieprogramma.
- Thorsteinsson, G. (2013). Developing an Understanding of the Pedagogy of Using a Virtual Reality Learning Environment (VRLE) to Support Innovation Education. (L. Shavinina, Ed.) *The Routledge International Handbook of Innovation Education*, 456-470.
- tom Dieck, M. C. (2016). Enhancing art gallery visitors' learning experience using wearable augmented reality: generic learning outcomes perspective. *Current Issues in Tourism*, 1-21.
- Tsai, J.-P. Y.-C.-S. (2012). Investigating the effect of virtual reality application on teaching assistance for machine tools operation education. *IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM)*.
- van der Helden, J., & Bekkering, H. (2015). *De lerende mens*.
- van Velthoven, L. (2012). Room Racers: Design and Evaluation of a Mixed Reality Game Prototype. *Master's thesis, Media Technology, Leiden University, the Netherlands*. Opgehaald van Media Technology MSc. website:  
[http://mediatechnology.leiden.edu/images/uploads/docs/vanvelthoven-room-racers-design-and-evaluation-of\\_a-mixed-reality-game-prototype-thesis.pdf](http://mediatechnology.leiden.edu/images/uploads/docs/vanvelthoven-room-racers-design-and-evaluation-of_a-mixed-reality-game-prototype-thesis.pdf)
- Verbeek, D. (2016). Virtual Reality in Education?! *Edulearn Conference Proceedings*. Barcelona.
- Voshart, D. (2015, 1 31). *Architecture and VR: PT1 History of VR*. Retrieved 12 16, 2016, from YouTube: <https://www.youtube.com/watch?v=tdAaU0CRHng>
- Willingham, D. T. (2012). *When can you trust the experts?*
- Wu, H.-K. e. (2013). Current status, opportunities and challenges of augmented reality in education. *Computers & Education*(62), 41-49.
- Yilmaz, M. R. (2015). Effects of Augmented Reality Technology in Science Education on Students Achievements. , *Proceedings of International Academic Conferences*, (p. 615). Amsterdam.
- Yuen, S. G. (2011). Augmented reality: An overview and five directions for AR in education. *Journal of Educational Technology Development and Exchange*, 119-140.
- Zap, N. &. (2016). Virtual and Augmented Reality as Cognitive Tools for Learning. *Proceedings of EdMedia: World Conference on Educational Media and Technology 2016*, (pp. 1340-1347).
- Zhu, E. e. (2014). Augmented reality in healthcare education: an integrative review. *PeerJ*, 2.