***2.3. Augmented reality and interactive print in mathematics***

Research indicates that AR environments can help learners develop skills and knowledge in a more effective way (Dunser, Walker, Horner, & Bentall, 2012). For the purposes of this paper, AR will refer to a “technology that creates a reality that is enhanced and augmented” (Wu, Lee, Chang, & Liang, 2013). Creating environments with enhanced and augmented reality can increase students’ motivation and interest, further resulting in more effective and deeper understanding of content learning (Wu et al., 2013). Therefore, implementation of AR within mathematics instruction has the potential to enhance both kinds of mathematical activity, technical and conceptual, along with student motivation.

 The use of AR is aligned with effective instructional practices in the following five ways: 1) engagement in learning (Di Serio, Ibanez, & Kloos, 2013; Dunleavy, Dede, & Mitchell, 2009), 2) immersion and presence in content (Lee, 2012), 3) situate learning to a location or context (Dunleavy, Dede, & Mitchell, 2009; Kamarainen et al., 2013), 4) authenticate the content (Wu, Wen-Yu, Chang, & Liang, 2013), and 5) build community (e.g. collaboration, competition) (Dunleavy, Dede, & Mitchell, 2009). For example, Alien Contact (Dunleavy, Dede, & Mitchell, 2009) was a mobile app where students were given clues to a mystery in different physical locations. Results from the study revealed that students were engaged and motivated, while some students became competitive in teams. Researchers also found that the technology can become a barrier to learning, as well as the amount of information presented to students.

 Although research on the integration of digital objects within print materials spans 15 years (Billinghurst, Kato, Poupyrev, 2001), rapid advances in mobile technology and AR software programs have lead to an increase in availability and access in educational contexts. These blended systems are more recently referred to as interactive print. For example, the MagicBook project required users to hold a glasses-like display connected to a computer to interpret a graphic marker (Billinghurst, et al. 2001), while more recent studies used tablets and mobile devices as the computer interface. Until recently, the markers such as QR codes have been an essential part of the interactive print system as a mediator between the user and the content. This extra step in the process has been shown to negatively impact the user experience (Chen, Teng, & Lee, 2011). New software applications on mobile devices no longer need markers to activate content, but instead recognize the layout and design of the page as a whole to identify an interactive document. For example, instead of embedding a square marker on a page, the students can point the mobile device at that page and the AR content will instantly appear (Figure 1).

In addition to markers, few studies have utilized comparison groups in data collection. Dunser, Walker, Horner, & Bentall (2012) show gains in achievement and motivation when comparing books designed with AR and traditional print books. This result can be misleading, as the literature is clear that the use of technology in itself is highly motivating to students. In order to bring forward the evidence for the use of AR in education, studies should “focus on whether students are actually acquiring knowledge and to what extent their knowledge of the concepts and processes presented in AR environments is increased.” (Wojciechowski, & Cellary, 2013).

Within mathematics research, AR is in its early stages (Table 1), but shows powerful results. For example, research at the secondary level examined a student activity centered on the concept of scale using paper markers and a webcam. The study determined that students using AR demonstrated collaborative teamwork and problem solving (Sollervall, 2012). At the primary level, students used paper, QR codes, and a document camera to explore quadrilaterals, the protractor, and angles. Results indicated that the younger students were highly engaged in the activity and collaborated in teams (Bonnard, Verma, Kaplan, & Dillenbourg, 2012).

Existing research on AR and interactive print within mathematics has primarily conceptualized manipulatives (Bujak, et al., 2013), basic computation (Lee & Lee, 2008), and geometry content to have the greatest potential to enhance student learning. For example, two mathfocused mobile applications developed by PBS Kids allow young students to move shapes (CyberChase Patch the Path) and practice addition and subtraction (Fetch Lunch Rush). Although these uses match the affordances of AR, this is a narrow view focused only on one kind of mathematical activity, technical. There is a need for a closer examination of mathematical learning through AR and broadening applications in the classroom.

Researchers have just begun envisioning how interactive print and other AR experiences can address learning needs. This study adds to the foundational literature by examining student achievement and motivation in an interactive print activity. To determine the impact AR has on student learning and motivation we sought to answer the following research questions: (1) What impact, if any, does the use of AR have on student mathematical achievement? And (2) Does student motivation increase after completing an AR-enhanced mathematics activity?

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.

4.3 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.