



CONNECTING THE DOTS

TAAKGERICHTE VIRTUAL REALITY VOOR HET TRAINEN VAN
SITUATIONAL AWARENESS IN MBO-TECHNIEKONDERWIJS

EINDRAPPORT

JANUARI 2023

UNIVERSITEIT TWENTE.

DIT PROJECT IS GEFINANCIERD DOOR:



PROJECTNUMMER: 40.5.18540.210

VOORWOORD

In het NRO onderzoeksprogramma 2016-2019 werd een toenemende aandacht geconstateerd voor applicaties die gebruik maken van levensechte taken om leerlingen zich voor te laten bereiden op beroepsuitoefening. Mogelijkheden om belangrijke leermomenten vast te leggen en achteraf terug te kijken zouden bij kunnen dragen aan feedback en reflectie. In het onderzoeksprogramma werd een behoefte geconstateerd aan nieuw onderzoek dat zich zou richten op het ontwerpen en gebruik van taakgerichte simulaties, serious games, en virtual en augmented reality toepassingen, met speciale aandacht voor hun integratie in het onderwijs. En dat is waar dit project zijn oorsprong vindt.

In een mooie en productieve samenwerking met docenten, scholen, het werkveld en onderzoek is een geavanceerde Virtual Reality (VR)-training ontwerpen en ontwikkeld die vervolgens in onderwijs en onderzoek is ingezet.

Uiteraard heeft het project ook wat “hobbels” gehad. De omstandigheden veroorzaakt door de Covid-19-crisis trokken een zware wissel op de voortgang van het project. Door de lock-down kwamen de pilots, de empirische studies en disseminatie, kennisbenutting en rapportage in de knel. Al met al heeft dat tot 13 maanden vertraging geleid en dat is veel tijd op een 3-jarig project. Een gevolg is ook dat experimenten en dataverzameling vertraging hebben opgelopen.

We zijn NRO zeer erkentelijk voor het meedenken en de flexibiliteit in deze uitdagende omstandigheden.

Er zijn in de loop van de tijd veel mensen bij dit project betrokken geweest. Onze dank gaat uit naar docenten, studenten en directie van het SOMA College en ROC van Twente, in het bijzonder Henk Roesink, Edwin van Hunen en Johan Hakkers. Daarnaast dank voor onze partners in het werkveld, het Aspari-netwerk, Bouwend Nederland, Heijmans, BAM. Uiteraard veel dank aan NRO die dit mooie project financieel mogelijk heeft gemaakt. Tot slot, ook veel dank aan het project-team die de afgelopen jaren ongelooflijk hard gewerkt hebben om dit project tot een succes te maken, in het bijzonder de collega's van de onderzoeksgroep Construction Management & Engineering van de Universiteit Twente (UT), prof. dr. ir. André Dorée, dr. Ir. Sergei Miller en dr. ir. Farid Vahdatikhaki, de onderzoekers van de vakgroep Onderwijskunde van de UT, dr. Ilona Friso-van den Bos en Evelien Ydo MSc. en student-onderzoekers Lilibeth Juarez Rojas MSc., Maaïke Bos, Inka Raestrup en Asri Maharani en de ontwikkelaars van de VR-omgeving, Sajad Mowlaei MSc., Lucia Rabago Mayer BSc. en Nobaiha Rayta.

Bas Kollöffel, projectleider.
(b.j.kolloffel@utwente.nl)

INHOUDSOPGAVE

VOORWOORD.....	2
SAMENVATTING	6
ACHTERGROND.....	10
Situational awareness	10
Wat is situational awareness?.....	10
Het meten van SA.....	11
Hoe wordt SA geleerd?.....	12
Kan SA op school geleerd worden?	12
Wat is er nodig om SA te trainen?.....	13
Virtual Reality training.....	13
Welke rol kan Virtual Reality spelen in training?	13
Het ontwerpen van VR-training: Technologie eerst of pedagogie eerst?.....	14
Onderzoeksvragen.....	15
ONTWERP VR TRAINING.....	17
Inleiding	18
Ontwerp	18
Stakeholders en behoefteanalyse	19
Ontwerpeisen	19
Ontwerpeisen	21
Identificatie kernparameters.....	21
Contextanalyse	24
Functionele eisen	25
Use cases	26
Implementatie	27
Hardwarecomponenten	28
Software componenten.....	28

ONDERZOEK.....	35
Studie 1: Validatie	36
Validatie-studie 1: Instructeurs en operators	36
Validatie-studie 2: Operators	42
Validatie-studie 3: Planners.....	44
Validatie-studie 4: Acceptatie door gebruikers (studenten en professionals).....	46
Studie 2: Trainingseffecten en normering.....	50
Methode.....	51
Resultaten	54
Studie 3: Debriefing en video-playback.....	57
Methode.....	57
Resultaten	59
DISCUSSIE EN CONCLUSIES.....	62
BRONNEN	69



Praktijk

Lisa rijdt op een wals. Zij en haar collega's zijn bezig om een nieuw stuk snelweg te asfalteren. Ze tuurt door de voorruit. Voor haar rijdt de asfaltspreidmachine langzaam vooruit terwijl die machine een dikke laag dampend nieuw asfalt uitspreidt. Lisa moet exact de juiste afstand houden tussen haar wals en de asfaltspreidmachine. Niet te dicht erop, want het asfalt is dan nog te heet voor verwerking, maar de afstand mag ook niet te groot worden, want dan is het asfalt teveel afgekoeld als haar wals er overheen rijdt. Ze kijkt over haar schouder. Schuin achter haar rijdt Mark op de tweede wals. Mark en zij moeten ook steeds de juiste afstand van elkaar houden. Mark kan soms wat afgeleid zijn, dus ze houdt een extra oogje in het zeil om ongelukken te voorkomen.

Lisa kijkt naar de lucht. Het was zonnig en warm, maar nu is het betrokken. Het lijkt erop dat het zo gaat regenen. Als dat gebeurt, zal het nieuwe asfalt sneller afkoelen. Ze moet haar snelheid en afstand tussen haar wals en de spreidmachine dan aanpassen. Als het hard zou gaan regenen, dan zullen meer mensen de auto nemen en wordt het drukker op de weg. Dan zullen de vrachtwagens die het verse asfalt van de fabriek aanvoeren mogelijk vertraging oplopen. Het is van groot belang dat die vrachtwagens precies op tijd arriveren. Lisa stuurt een simulator naar de asfaltfabriek om ze te instrueren de vrachtwagens eerder te sturen, zodat ze ondanks mogelijke drukte op tijd kunnen arriveren.

Opeens hoort Lisa de stem van haar docent: "Goed gedaan, Lisa! Je mag je VR-bril afzetten." Lisa zet haar VR-bril af. Ze zit op een stoel in haar klas. Haar klasgenoten zitten om haar heen. Ze hebben Lisa's verrichtingen kunnen volgen op het digibord dat voor in de klas hangt. "Okay", zegt de docent, "laten we je trainingssessie met z'n allen terugkijken en er stap voor stap doorheen gaan. Vertel ons welke stappen je hebt genomen en leg uit waarom je die genomen hebt. Daarna gaan we verder met het volgende scenario."

SAMENVATTING

Er is een groeiende behoefte aan hoogwaardige training voor aankomend professionals in de technieksector. Deze professionals moeten beschikken over vakkennis en -vaardigheden, maar daarnaast moeten zij ook in staat zijn om te gaan met variaties, onzekerheden en risico's in hun werk. Dat vereist dat ze bij het uitvoeren van hun werk het vermogen hebben om zich scherp bewust te zijn wat er om hen heen gebeurt. Dat wil zeggen dat ze weten hoe ze situaties waarin ze zich bevinden in moeten kunnen schatten, hoe ze deze moeten begrijpen en hoe ze kunnen anticiperen op hoe de situatie zich kan gaan ontwikkelen. Dit vermogen wordt *situational awareness* genoemd. Het helpt de professional om beslissingen te nemen en passende acties te ondernemen om mogelijke fouten of gevaren af te wenden, om de situatie onder controle te houden en deze in de gewenste richting te sturen. Dit vermogen wordt doorgaans niet verworven wordt in formele trainingen, maar ontwikkelt zich voornamelijk in de praktijk naarmate de professional meer werkervaring opdoet.

De opvatting dat situational awareness (SA) iets is wat zich in de werkpraktijk spontaan moet gaan ontwikkelen, heeft er mogelijk aan bijgedragen dat het ontwikkelen en trainen van SA in formele training en scholing grotendeels of geheel buiten beeld is gebleven. Echter, met de opkomst van technologie zoals Virtual Reality (VR) is het mogelijk om studenten realistische werksituaties te laten ervaren. In deze veilige, gecontroleerde, virtuele omgevingen kunnen studenten hun kennis en vaardigheden trainen onder leiding van hun docenten en instructeurs. Op deze manier kan VR een brug vormen tussen

de formele training in de school aan de ene kant en het informele en incidentele leren op de werkplek aan de andere kant. Door studenten in VR allerlei verschillende werksituaties en scenario's te laten ervaren, doen zij spelenderwijs werkervaring op. Mogelijk opent dit ook de weg om de SA van de studenten te trainen.

In dit door het NRO gesubsidieerde project is hier verder onderzoek naar gedaan in de context van mbo sector bouw en infra. In dit project is een VR-applicatie ontwikkeld voor het trainen van SA voor (aankomend) walsmachinisten. Daarbij is onder andere onderzoek gedaan naar de validering van de VR-training in de ogen van werkveld en gebruikers. Daarnaast is ook onderzoek gedaan naar de effecten van de training op SA. Tot slot is ook onderzocht of, en zo ja in welke mate debriefings na afloop van de VR-training bijdroegen aan het ontwikkelen van SA, en of het daarbij uitmaakt of in de debriefing gebruik gemaakt wordt van video-opnames om de taakuitvoering in de VR terug te kijken.

Validering van VR-training in de ogen van werkveld en gebruikers

Om antwoord te geven op de eerste onderzoeksvraag zijn een viertal validatiestudies uitgevoerd. De resultaten van de eerste validatiestudie laten zien dat de instructeurs over het algemeen tevreden zijn de het realisme van de VR-omgeving. De instructeurs waren redelijk positief over de mate waarin de VR-omgeving volgens hen helpt om vertrouwd te raken met taken in een asfalteringsoperatie. Een belangrijke indicator van de validiteit en

accuratesse van werkgerelateerde situaties en procedures is of professionals de omgeving ook geschikt vinden voor toepassing in hun eigen werkzaamheden. De bevindingen hierbij zijn veelbelovend en suggereren dat de VR-omgeving goed aan de eisen voldoet. Operators vinden dat de omgeving een sterk platform biedt voor het onderzoeken van verschillende verdichtingsstrategieën voorafgaand aan daadwerkelijke operaties. Uit de validatiestudie met planners tonen aan dat het mogelijk is echte/simulatieve gegevens in de simulator te gebruiken voor projectplanning en/of -evaluatie. Tot slot, *Technology Acceptance* is belangrijk voor een succesvolle implementatie van een technologie. Zowel studenten als operators scoorden relatief hoog op de wens om de simulator te blijven gebruiken.

Trainingseffecten en normering

In een zevental deelstudies is onderzoek gedaan naar de effecten of “gains” van de VR-training met betrekking tot SA voor verschillende groepen en de normering, dat wil zeggen hoe zij zich tot elkaar verhouden. In deze studie is begonnen met het vaststellen van een **benchmark**, gebaseerd op mbo leerjaar 1-studenten op instapniveau. Deze studenten zijn de beoogde doelgroep van de training. Door in verschillende mbo's verspreid over het land onderzoek te doen met mbo leerjaar 1-studenten, is de benchmark vastgesteld en uit de vergelijkingen tussen deze groepen van verschillende scholen bleek dat zij allen op een vergelijkbaar niveau van SA scoorden. Ook bleek dat zij qua prestaties niet verschilden van leken. De groep leken bestond hier uit schoolgaande jeugd die deelnam aan een informatiedag over vakopleidingen in de bouw- en infra sector.

Om de onderzoeksvraag goed te kunnen beantwoorden zijn de effecten van een aantal variaties onderzocht. In de eerste plaats een onderzoek naar het effect van de **moeilijkheidsgraad** van het scenario. Wanneer studenten mbo leerjaar 1 worden blootgesteld aan een moeilijker scenario (walsen in het donker in plaats van bij daglicht), bleken hun prestaties significant minder goed. In de tweede plaats zijn vergelijkende studies uitgevoerd met gevorderde studenten, namelijk derdejaars mbo-studenten. De SA-prestaties van de **mbo leerjaar 3-studenten** bleken veel beter te zijn dan die van hun mbo leerjaar 1-collega's. En wanneer de mbo leerjaar 3-studenten onder **tijdsdruk** stonden, dan waren hun prestaties nog beter. Ten derde is onderzocht wat het effect is van het uitbreiden van het **aantal VR-sessies en scenarios** van een naar vier. Het leereffect hiervan bleek zeer groot. Vooral in de tweede sessie werd grote vooruitgang geboekt. Daarna vlakke de stijging af. Deze studenten evenaarden nog niet het niveau van mbo leerjaar 3-studenten, maar het was een belangrijke stap in die richting.

Debriefing en video-playback

De onderzoeksresultaten laten zien dat er wat betreft de SA-scores geen verschillen zijn tussen studenten die geen debriefing krijgen, studenten die een debriefing zonder video krijgen en studenten die een debriefing met video krijgen. In de debriefing sessies met of zonder video werden grotendeels dezelfde onderwerpen besproken, maar video leek wel een rol te spelen in de interactie met studenten. Het is onduidelijk waarom debriefing geen effect had op SA-scores.

Ondanks dat de debriefing geen duidelijk effect op SA-scores liet zien, bleek de Virtuele omgeving bijzonder bruikbaar in lessen wanneer

video's van de VR gebruikt werden voor het bediscussiëren van walsstrategieën en de manier waarop de kwaliteit van het walsen verbeterd kon worden. In een serie lessen waarin een docent door middel van debriefing sessies feedback gaf op zijn observaties van leerlingen binnen de Virtuele omgeving waren weinig handvatten nodig om een levendige en scherpe discussie op gang te brengen. Tijdens de debriefing sessies werd duidelijk dat de docent de theoretische kennis die leerlingen tijdens de lessen hadden opgedaan helder toe kon lichten met behulp van video's en dat leerlingen snel begrepen op welke manier zij de kennis die zij hadden opgedaan toe moesten passen wanneer hun docent de onderwerpen aansneed. Zo kon de docent met behulp van de video opnames bijvoorbeeld gericht feedback geven over onderwerpen zoals het versporen met de wals en het gebruik van water tijdens het walsen.

Conclusies voor de praktijk

De Virtuele omgeving zoals deze in het huidige onderzoek gebruikt is, is een bruikbaar middel om leerlingen kennis te laten maken met het walsen en de specifieke handelingen die zij hierbij moeten uitvoeren. Leerlingen kunnen de bewegingen met de wals oefenen en daarbij gebruik maken van een verscheidenheid aan wegtypen, alsmede vertrouwd raken met de omgang met verschillende weertypes en veranderingen in de hoeveelheid licht waarmee zij kunnen werken. Een volgende stap in het ontwikkelen van de Virtuele omgeving is het

meer interactief maken van de omgeving. Zo zouden er bij het maken van fouten in het walsen bijvoorbeeld zichtbare beschadigingen in het Virtuele asfalt kunnen ontstaan om leerlingen zich bewust te laten worden van de gevolgen van eventuele fouten die zij kunnen maken. Tevens kan er in de toekomst gewerkt worden aan een docentomgeving, die een docent helpt om formatief met de prestaties van diens leerlingen om te gaan en vooruitgang in prestaties effectiever in kaart te brengen.

Conclusies voor de wetenschap

Ook zijn er een aantal belangrijke pijlers te formuleren voor het doen van vervolgonderzoek over Situation Awareness en Virtuele walstrainingen. Allereerst is het van groot belang om beter grip te krijgen op SA als construct: zoals uit de resultaten van dit onderzoek blijkt gaat het om een lastig te meten construct dat sterk ingebed is in een specifieke situatie en dat mogelijk ook sterk beïnvloed wordt door individuele verschillen in ervaring, kennis, motivatie en doelen. Om dit construct optimaal te kunnen trainen is het van belang om in kaart te brengen op welke manier prestaties op het construct afhankelijk zijn van verschillen in scenario's, verschillen tussen leerlingen, en de synergie tussen beide. Pas wanneer dit duidelijk is kan een afstemming gemaakt worden tussen de aangeboden scenario's en de feedback die hierop gegeven wordt aan de ene kant, en de kenmerken van de leerling aan de andere kant.

VR-trainingsomgeving: RollerSimulator 1.0



ACHTERGROND

In dit hoofdstuk worden de belangrijkste concepten in dit project besproken, namelijk Situational Awareness en VR-training. Er wordt ingegaan op vragen zoals wat situational awareness is, hoe het gemeten kan worden, hoe het geleerd en getraind kan worden en welke rol VR daarin kan spelen.

Situational awareness

Wat is situational awareness?

Situational awareness (SA) is het dynamisch waarnemen van wat er op een bepaald moment in een bepaalde situatie gebeurt, wat dat betekent, wat er mogelijk hierna gaat gebeuren en welke acties noodzakelijk zijn om de stroom van gebeurtenissen in de situatie te beheersen en te sturen (Bolstad et al., 2014; Endsley, 1995, 2015a, 2015b). Soms worden andere termen in plaats van SA gebruikt zoals *situation view* (Roszkowska & Burns, 2014) of *common sense* (Aboagye-Nimo & Raiden, 2016). Soms hebben bepaalde bedrijfstakken of industrieën hun eigen term, zoals *pit sense* in de mijnbouw (Kamoche & Maguire, 2011) of *site sense* in de bouw (Aboagye-Nimo & Raiden, 2016; Aboagye-Nimo et al., 2015). In dit rapport gebruiken we echter SA.

De meest gebruikte definitie van SA komt van Endsley (1995, p. 36). Zij definieert SA als: “*the perception of the elements in the environment within a volume of time and space, the comprehension of their meaning, and the*

projection of their status in the near future”. In haar definitie onderscheidt Endsley drie niveaus van SA: waarnemen, begrijpen en projecteren. Het eerste niveau van SA, *waarnemen*, bestaat uit het waarnemen van de situatie, eigenschappen en dynamiek van belangrijke elementen in de omgeving, bijvoorbeeld de snelheid van de wals, kenmerken van het asfalt (bijv. temperatuur, snelheid van afkoelen), atmosferische omstandigheden (bijv. temperatuur, luchtvochtigheid, wind) en de aanvoer van nieuw asfalt (bijv. geschatte aankomsttijden, mogelijke verkeerdrukke in de omgeving.) Het tweede niveau van SA gaat over het *begrijpen* van de situatie. De persoon heeft bepaalde doelen die bereikt moeten worden en op SA-niveau 2 weegt hij/zij af in hoeverre de elementen die op niveau 1 waargenomen zijn, bijdragen aan het bereiken van de gestelde doelen. De persoon verbindt al deze stukjes informatie van niveau 1 en vormt zich zo een beeld van de situatie. Bijvoorbeeld, de walsmachinist overziet de situatie en besluit of het asfalteerproces volgens plan verloopt en of mogelijke afwijkingen nog binnen acceptabele marges zijn. Het hoogste niveau van SA gaat over het vermogen om te voorzien of te voorspellen hoe de situatie zich op korte termijn kan gaan ontwikkelen. In het geval van de walsmachinist kan dat bijvoorbeeld zijn dat de machinist voorziet dat straks mogelijk een weersomslag gaat plaatsvinden die kan leiden tot een toename van verkeersdrukke in de omgeving en als gevolg daarvan invloed kan hebben op de aanvoer van nieuw asfalt.

Endsley ziet SA *niet* als een proces van het inschatten of beoordelen van een situatie. Zij ziet SA als de *uitkomst* van dat beoordelingsproces (Endsley, 1995, 2015b). Dus een persoon bevindt zich in een situatie en maakt op basis van zijn/haar kennis van vergelijkbare situaties en de huidige doelstellingen een inschatting of beoordeling van de situatie. De uitkomst hiervan is SA en op basis van deze SA kan de persoon besluiten dat de situatie om bijsturing vraagt en actie ondernemen. Deze actie verandert de situatie en het proces begint hier weer van voren af aan.

Endsley (1995) betoogt dat hoewel goede SA niet altijd een garantie is voor goede resultaten, het in ieder geval de kansen daarop verhoogt. Slechte resultaten vallen volgens haar te verwachten wanneer de SA incompleet of inaccuraat is, als correcte acties voor de situatie onbekend of niet voorhanden zijn, of als er beperkingen zijn in tijd of andere factoren zijn die de professional hinderen in het uitvoeren van de vereiste acties. Voor onderwijs en training betekent dit dat als studenten geholpen kunnen worden om SA te verwerven en te ontwikkelen, dit direct of indirect kan leiden tot betere taakuitvoering.

Het meten van SA

Veel wetenschappers zijn het erover eens dat standaard-assessments complexe competenties zoals SA niet nauwkeurig meten. De beoordeling van complexe competenties moet vormend zijn en gebaseerd zijn op authentieke en complexe taken (Binkley et al., 2012; Voogt & Roblin, 2012). Formatieve beoordelingen worden beschouwd als een diagnostisch instrument en een krachtige manier om het leren van studenten zichtbaar te maken, wat op zijn beurt kan bijdragen aan de professionele ontwikkeling van studenten en

docenten. Het gebruik van formatieve beoordeling bij authentieke en complexe taken impliceert dat de beoordelingsprocedure moet worden geïntegreerd in de VR-training en dit vereist een innovatief type beoordeling dat VR en beoordeling combineert. De Klerk, Veldkamp en Eggen (2018) hebben een raamwerk voorgesteld voor het ontwerpen en ontwikkelen van op multimedia gebaseerde prestatiebeoordelingen (MBPA) in het beroepsonderwijs. Dit raamwerk integreert geavanceerde vormen van computergebaseerd testen (bijv. animatie, video, VR) en prestatiegebaseerde beoordelingen. Het raamwerk is gebaseerd op bestaande raamwerken, namelijk de twaalf stappen van Downing (2006) voor effectieve testontwikkeling, de AERA Standards for Educational and Psychological Testing en het evidence-centered design (ECD) raamwerk van Mislavy, Steinberg en Almond (1999). De Klerk, Veldkamp en Eggen (2018) hebben het raamwerk gevalideerd met experts in het veld en in hun artikel laten ze zien dat het raamwerk inderdaad heeft bijgedragen aan het verbeteren van een MBPA. Het MBPA-framework zal ook in ons project worden gebruikt. Hier zal het gebruikt worden om het meten van SA in de VR-training te integreren.

Een veelgebruikte methode om SA te meten tijdens trainingssituaties is de Situation-Awareness Global Assessment Technique (SAGAT) (Endsley, Selcon, Hardiman, & Croft, 1998), die zich richt op het extraheren van de expliciete kennis van operators door middel van sondes tijdens de training. Bij deze methode moet de cursist tijdens de oefening vragen beantwoorden over de huidige situatie. Bijvoorbeeld: Wat is de huidige snelheid van uw wals? Wanneer komt volgens planning de volgende vrachtwagen met nieuw asfalt? Kaber et al. (2013) suggereren om de sondes te

integreren in de stroom van de ervaring. Bijvoorbeeld door "radiocommunicatie" op te nemen waarbij de operator (student) de supervisor (rol van de docent) op de hoogte houdt van de actuele situatie en de supervisor indringende vragen kan stellen tijdens de taakuitvoering van de operator. Een nadeel van SAGAT is dat het voor mensen misschien moeilijk is om hun kennis onder woorden te brengen. In het geval van ervaren operators kan dit zijn omdat hun kennis voornamelijk stilzwijgend is; bij de student kan het nadenken over en het beantwoorden van de vragen een cognitieve overbelasting veroorzaken. Lo, Sehic, Brookhuis en Meijer (2016) stellen dat het daarom belangrijk is om niet alleen te focussen op de antwoorden op sondes, maar ook om de besluitvorming en prestaties van de operators te beoordelen (bijvoorbeeld hoe goed de wegebouwtaken worden beheerd en of en hoe de doelen worden bereikt)

Hoe wordt SA geleerd?

Werksituaties correct en adequaat inschatten, te begrijpen wat ze betekenen, te weten wat er waarschijnlijk als volgende gaat gebeuren, het bepalen van wat er moet gebeuren en passende actie kunnen ondernemen, is een vermogen wat professionals doorgaans pas na afloop van hun opleiding gaan ontwikkelen als ze in de werkpraktijk aan de slag zijn (Aboagye-Nimo & Raiden, 2016; Aboagye-Nimo et al., 2015; Kamoche & Maguire, 2011; Sillitoe, 2002). Uit eerder onderzoek weten we dat veel van deze kennis nergens onderwezen of getraind wordt, althans niet in formele training of onderwijs (Aboagye-Nimo & Raiden, 2016; Aboagye-Nimo et al., 2015; Gherardi & Nicolini, 2002; Kamoche & Maguire, 2011). In plaats daarvan wordt het verworven door ervaringsleren (*experiential learning*) of leren door observeren, bijvoorbeeld

door het werk zelf te doen, door meer ervaren professionals gade te slaan als ze hun werk doen, door met hen te praten, door te luisteren naar hun instructies, maar ook door te luisteren naar hun verhalen, anekdotes over situaties die zich in het verleden hebben voorgedaan, hoe zij of anderen met die situaties zijn omgegaan en wat de resultaten van hun handelingen waren (Gherardi & Nicolini, 2002).

Kan SA op school geleerd worden?

Hoewel SA van groot belang is voor een goed taakuitvoeren en beroepsuitoefening, neemt het dus veel tijd om te ontwikkelen. Het wordt verworven als de professional wordt blootgesteld aan situaties die ongewoon of onzeker zijn en zelfs dan is het niet vanzelfsprekend. Het is bijvoorbeeld noodzakelijk dat de professional het vermogen en de bereidheid heeft om tijdens en na de situatie te reflecteren op de situatie en het eigen handelen daarbinnen en ook bereid en in staat is om daarvan te leren (Schön, 1995). Het leren van ongewone of onzekere situaties zal vaak incidenteel, weinig frequent en ongestructureerd zijn. Het kan daarom maanden of zelfs jaren duren om zo'n kennisbasis op te bouwen. Hoewel velen van mening zijn dat SA niet getraind kan worden in schoolsettings (Aboagye-Nimo & Raiden, 2016; Aboagye-Nimo et al., 2015; Gherardi & Nicolini, 2002; Kamoche & Maguire, 2011; Sillitoe, 2002), impliceren de voorgaande punten dat onderwijs toch een rol kan spelen bij het verwerven en trainen van SA. Ten eerste, formele training biedt de mogelijkheid om studenten in relatief korte tijd aan een veelheid aan verschillende situaties bloot te stellen. Mogelijk stelt dit de studenten in staat om hun expertise en ervaring in een veel hoger tempo op te bouwen. Ten tweede, biedt de school een veilige en gecontroleerde

omgeving om met situaties om te leren gaan en te experimenteren met verschillende oplossingen. Ten derde, de school kan de studenten reflectievaardigheden bijbrengen en laten trainen, zodat ze optimaal van hun ervaringen kunnen leren, niet alleen op school, maar ook later in hun werkzame leven.

Wat is er nodig om SA te trainen?

Uit het voorgaande komt naar voren dat voor het trainen van SA, de studenten moeten worden blootgesteld aan situaties die dichtbij echte werksituaties komen. De situaties moeten dus realistisch, authentiek en geloofwaardig zijn en ook de complexiteit van echte werksituaties zo goed mogelijk benaderen. Daarnaast moeten de studenten voldoende kennis en vaardigheden hebben. In het beroepsonderwijs en het algemeen en in het technisch beroepsonderwijs in het bijzonder is het vaak moeilijk om studenten te voorzien van trainingen en trainingsmaterialen die hen de mogelijkheden bieden om hun kennis en vaardigheden te trainen in realistische omgevingen die de complexiteit van het 'echte' werk voldoende reflecteren. Soms is er een gebrek aan omgevingen die een realistische ervaring van de werkplek bieden waarin studenten hun kennis en vaardigheden kunnen trainen en waar ze zelfs veilig kunnen experimenteren met verschillende gedragingen en handelingen. Soms kunnen scholen geen of onvoldoende realistische trainingsfaciliteiten bieden omdat de benodigde apparatuur te groot, te kostbaar, te complex, te onpraktisch of te onveilig is voor een schoolsetting. Een mogelijke oplossing hiervoor is het inzetten van computertechnologie, zoals Virtual Reality.

Virtual Reality training

Welke rol kan Virtual Reality spelen in training?

Mikropoulos en Natsis (2011, p. 769) beschrijven Virtual Reality (VR) vrij vertaald als: "technologieën die de creatie ondersteunen van synthetische, zeer interactieve drie dimensionale (3D) ruimtelijke omgevingen die werkelijke of onwerkelijke situaties voorstellen". VR-technologie, zowel hardware als software, worden steeds toegankelijker op de consumentenmarkt en begint ook vaste voet aan de grond te krijgen in training en onderwijs (Jang et al., 2017; Ntalakas et al., 2016). De 3D virtuele werelden in VR worden vaak onderscheiden van andere vormen in termen van *immersion* en *presence*. In het Nederlands vertaald betekent *immersion* iets als onderdompeling, ergens in verdiept of verzonken zijn, ergens in opgaan. In de literatuur wordt de term *immersion* op twee verschillende manieren gebruikt. Ten eerste wordt *immersion* gezien als het resultaat van technologie die multimodale, zintuigelijke stimuli produceert (Mikropoulos & Natsis, 2011; Slater & Wilbur, 1997; Wang et al., 2017). Met andere woorden, met behulp van apparatuur (bijv. VR-bril en hoofdtelefoon) worden zintuigen zoals ogen en oren afgedekt, waardoor stimuli uit de fysieke omringende wereld niet of sterk verminderd doordringen tot het individu. In plaats daarvan worden de persoon beelden van de virtuele wereld via de VR-bril en hoort bijbehorende geluiden via de hoofdtelefoon. De persoon is al het ware ondergedompeld in de apparatuur en de zintuigelijke waarnemingen die ze projecteren. In de andere opvatting van

immersion wordt het meer als een psychologisch fenomeen geduid. Witmer en Singer beschrijven immersion bijvoorbeeld als (vrij vertaald): “een psychologische toestand die gekenmerkt wordt door het waarnemen van zichzelf als omringd zijn door, opgenomen zijn in en interacteren met een omgeving die een continue stroom van stimuli en ervaringen biedt” (1998, p. 227). Hier ligt de nadruk dus minder op ondergedompeld zijn in hardware en meer op het ondergedompeld zijn of opgaan in een ervaring. Deze vorm van immersion wordt ook wel gezien als een vorm van het andere fenomeen, namelijk presence, namelijk de perceptie dat men “aanwezig is” in de virtuele omgeving (Calleja, 2014; Riva & Waterworth, 2014; Wang et al., 2017; Witmer & Singer, 1998).

Dalgarno en Lee (2010) zochten in de literatuur naar unieke kenmerken van 3D virtuele leeromgevingen. Zij vonden twee categorieën: *representational fidelity* en *learner interaction*. De eerste verwijst naar kenmerken zoals een realistisch weergave van de omgeving (bijv. perspectief en lichtval), soepele visuele overgangen en bewegingen en natuurlijke en realistische manieren waarop objecten in de virtuele omgeving zich gedragen en reageren op acties van de gebruiker. De tweede categorie, *learner interaction*, verwijst naar kenmerken zoals dat de gebruiker activiteiten kan ondernemen in de virtuele omgeving, bijvoorbeeld zich door de omgeving kan verplaatsen en virtuele objecten in de virtuele omgeving kunnen manipuleren. In de literatuur komt ook naar voren dat met name dat laatste kan leiden tot een verhoogde ervaring van presence (Calleja, 2014). Dalgarno en Lee (2010) komen tot de slotsom dat 3D virtuele leeromgevingen tot vijf leeruitkomsten in het bijzonder kunnen leiden, namelijk: (1) ruimtelijke kennis en oriëntatievermogen, (2) ervaringsleren

(*experiential learning*), (3) betrokkenheid (*engagement*), contextueel, gesitueerd leren en (5) samenwerkend leren.

Het ontwerpen van VR-training: Technologie eerst of pedagogie eerst?

Fowler (2015) stelt dat het ontwerpen van technologie voor leren vaak begint met de mogelijkheden die de te gebruiken technologie biedt en van daaruit wordt vervolgens gezocht naar de mogelijke voordelen die de technologie kan bieden voor het leren. Fowler vond bevestiging voor zijn idee in een studie van Mikropoulos en Natsis (2011) die 53 papers hebben gereviewd over de ontwerpen van virtuele leeromgevingen in VR. In hun review vonden de auteurs dat in heel weinig studies sprake was van een leeromgeving die op een duidelijk pedagogisch model was gebaseerd. Fowler (2015) betoogt dat het ontwerpen van technologische leeromgevingen vooral gebaseerd zou moeten zijn op pedagogische overwegingen in plaats van technologische overwegingen. In zijn artikel laat Fowler zien hoe zijn eigen *learning stages framework*, dat hij in 1999 samen met Mayes lanceerde (Mayes & Fowler, 1999), Bloom's (herziene) taxonomie (Anderson (Ed.) et al., 2001; Krathwohl, 2002) en Conole et al's (2004) *mini learning activities* met elkaar gecombineerd kunnen worden en zodoende samen een pedagogisch fundament kunnen vormen waarop VR-trainingen kunnen worden gebaseerd. In het framework van Mayes en Fowler (1999) wordt een leerervaring gekenmerkt door drie fasen: conceptualisatie, constructie en dialoog.

Fase 1: Conceptualisatie

In de conceptualisatiefase wordt informatie verstrekt aan de student met uitleg of een beschrijving van wat geleerd of getraind gaat worden. Er wordt bijvoorbeeld een concept geïntroduceerd, er wordt een nieuwe vaardigheid gedemonstreerd, of een taak wordt beschreven. In het geval van het trainen van SA, kunnen in deze fase de training of de trainingsscenario's geïntroduceerd worden. De scenario's bevatten informatie over de context waarin taken uitgevoerd moeten worden, de taakcondities en de te behalen doelen. Sommige delen van de scenario's kunnen vooraf met de studenten gedeeld worden, andere kunnen bijvoorbeeld deel uitmaken van de leeromgeving en de *flow* van (soms onverwachte) gebeurtenissen die de studenten in de leeromgeving tegen zullen komen en waar ze mee om moeten gaan.

Fase 2: Constructie

In de constructiefase verdiepen de studenten hun inzicht door het verkennen, onderzoeken, manipuleren of experimenteren met het nieuwe concept of de nieuwe vaardigheid. Deze fase is de feitelijke ervaring in de VR-omgeving waarin de student om moet gaan met situaties en streeft naar het uitvoeren van de missies en het behalen van de doelen die in het scenario gespecificeerd zijn. Dit vereist interactiviteit. De handelingen van de studenten in de virtuele omgeving leiden nu de stroom van informatie.

Fase 3: Dialoog

De derde fase in Mayes en Fowler's (1999) model, dialoog, neemt in ogenschouw dat leren vaak gesitueerd is in een sociale context. In deze fase kunnen studenten hun inzichten testen door erover te discussiëren met anderen. In een

onderzoek in de context van training met medische simulatoren werd gevonden dat feedback de factor in de training was die het sterkst bijdroeg aan de effectiviteit van de training (Issenberg et al., 2005). Een gebruikelijke manier van het geven van feedback in VR-training is door middel van *debriefing*. Gardner beschrijft debriefing als een bespreking en analyse van een ervaring, het evalueren en integreren van lessen die geleerd zijn in iemands kennis en bewustzijn (2013, p. 166). Of, zoals Crookall (2010, p. 907) het stelt: debriefing is het verwerken van de ervaring om deze om te zetten in leren. Volgens Gardner (2013) biedt debriefing mogelijkheden voor het exploreren en het duiden of geven van betekenis aan wat er gebeurd is tijdens een gebeurtenis of ervaring, het bespreken van wat goed ging en het identificeren van wat gedaan kan worden om dingen de volgende keer anders of beter te doen. Een nuttig instrument in debriefing is de inzet van videoplayback. Video-opnames stellen studenten in staat om daadwerkelijk te zien hoe ze hun taken hebben uitgevoerd, in plaats van te moeten vertrouwen op de eigen herinnering (Fanning & Gaba, 2007). Onderzoek laat positieve resultaten zien van videoplayback, maar niet consistent.

Onderzoeksvragen

Het doel van dit project was om een brug te slaan tussen het formele leren op school en het leren door ervaring op de werkplek. De training en de instrumenten werden in nauwe samenwerking met docenten en wetenschappers ontwikkeld. In het project stonden de volgende onderzoeksvragen centraal:

1. In hoeverre bieden de VR-training, de scenario's en de beoordelingen in de ogen van

vakdeskundigen (uit onderwijs, wetenschap en het veld) een valide en nauwkeurige weergave van de functiegerelateerde vraagstukken, situaties, en procedures?

2. Wat zijn de VR-trainingseffecten of voordelen met betrekking tot SA voor verschillende groepen (leken, studenten, professionals) en hoe verhouden deze zich tot elkaar?
3. Wat zijn de effecten van debriefing op de VR-training van SA, en wat zijn de effecten

wanneer videoweergave wordt gebruikt in de debriefing?

Om eerst een goed beeld te krijgen van de VR-training, worden in het volgende hoofdstuk het ontwerp en ontwikkelproces van VR-training gepresenteerd. In het hoofdstuk daarna worden de studies besproken die zijn uitgevoerd om de antwoorden te vinden op de hierboven gestelde onderzoeksvragen.



```
21712 function(scope, element, attr, ngSwitchController) {
21713   var watcher = attr.ngSwitch || attr.on,
21714       selectedTranscludes = [],
21715       selectedElements = [],
21716       previousElements = [],
21717       selectedScopes = [];
21718
21719   scope.$watch(watcher, function ngSwitchWatchAction(value) {
21720     var ii, i;
21721     for (i = 0, ii = previousElements.length; i < ii; ++i) {
21722       previousElements[i].remove();
21723     }
21724     previousElements.length = 0;
21725
21726     for (i = 0, ii = selectedScopes.length; i < ii; ++i) {
21727       var selected = selectedElements[i];
21728       selectedScopes[i].$destroy();
21729       previousElements[i] = selected;
21730       $animate.leave(selected, function() {
21731         previousElements.splice(i, 1);
21732       });
21733     }
21734
21735     selectedElements.length = 0;
21736     selectedScopes.length = 0;
21737
21738     if ((selectedTranscludes = ngSwitchController.cases['!' + value] || ngSwitchC
21739       scope.$eval(attr.change);
21740     forEach(selectedTranscludes, function(selectedTransclude) {
21741       var selectedScope = scope.$new();
21742       selectedScopes.push(selectedScope);
21743     });
21744   });
21745 }
```

ONTWERP VR TRAINING

In het projectvoorstel was voorzien dat de VR-software gebouwd zou worden door een extern bedrijf. In de beginfase van het project echter, is in overleg en met toestemming van NRO besloten om een Professional Doctorate Engineering (PDEng) kandidaat aan te stellen binnen het project voor het ontwikkelen van de software. In dit hoofdstuk wordt de ontwikkeling van de trainingsoftware besproken.



Inleiding

De huidige VR-training simulaties hebben een paar grote problemen: (1) ze zijn meestal statisch (d.w.z. ze weerspiegelen niet de mobiliteit en het verkeer tussen mens en materieel op de bouwplaats) en zijn daarom niet representatief voor de complexe context van bouwplaatsen, (2) ze hebben beperkte en vaak vooraf gedefinieerde trainingsscenario's. Dit betekent dat de trainingssimulatoren weinig flexibiliteit hebben om rekening te houden met de grote verscheidenheid aan trainingscurricula. Dit betekent dat de trainingssimulatoren weinig flexibiliteit hebben om rekening te houden met de grote verscheidenheid aan opleidingscurricula en werkomstandigheden op de bouwplaats. Daarom kunnen zij niet gemakkelijk worden aangepast aan de specifieke behoeften van de cursisten op basis van hun vaardigheidsniveau. Bovendien worden de voorgedefinieerde scenario's meestal ontwikkeld door programmeurs die geen of beperkte kennis hebben van bouwwerkzaamheden. Anderzijds hebben onderwijsdeskundigen en opleiders beperkte kennis over het technische aspect van de ontwikkeling van simulatoren. Hierdoor ontstaat een kloof tussen de ontwikkelaar van de educatieve inhoud en de ontwikkelaar van het platform. Dit kan leiden tot inconsistente en suboptimale opleidingen; 3) voor zover de auteur weet, zijn er momenteel geen trainingssimulatoren beschikbaar voor asfalteringswerkzaamheden, hoewel er wel trainingssimulatoren beschikbaar zijn voor kraan-, graaf- en nivelleerwerkzaamheden.

Doelstelling van het ontwerp

Op basis van de bovengenoemde problemen beoogt dit ontwerpproject een kader te

ontwikkelen voor een parametrische en context-realistische verdichtingssimulator. De simulator wordt context-realistisch genoemd omdat verschillende kenmerken en eigenschappen van de gesimuleerde wereld gebaseerd zijn op reële gegevens. Deze reële gegevens worden met behulp van sensoren vastgelegd op bouwplaatsen. Enkele voorbeelden van dit soort sensoren zijn voertuigsnelheid, asfalttemperatuur, de invloed van weersomstandigheden op de temperatuur en afmetingen van materieel. Een parametrische simulator betekent ook dat de scenario's niet star en vooraf gedefinieerd zijn. In plaats daarvan kunnen instructeurs specifieke scenario's genereren, rekening houdend met de specifieke behoeften van de beoogde cursisten.

Ontwerp

Om de doelstelling van dit project te verwezenlijken, werd de methodologie van het ontwerp onderzoek gevolgd die in figuur 1 is weergegeven. In het algemeen bestond de methodologie uit drie hoofdfasen, namelijk analyse van de belanghebbenden, ontwikkeling van het kader, en implementatie en validatie.

In fase 1 probeerde de onderzoeker de verwachtingen van verschillende belanghebbenden vast te leggen om de belangrijkste functionele eisen van het raamwerk te bepalen. Tijdens fase 2 werden de functionele eisen gebruikt als uitgangspunt voor de ontwikkeling van een raamwerk voor de parametrische en context-realistische verdichtingssimulator. Tenslotte werd het ontwikkelde raamwerk geïmplementeerd in een



prototype en toegepast in een aantal case studies om de functionaliteit en bruikbaarheid van de simulator te beoordelen vanuit het perspectief van de gebruikers. Elk van deze fasen wordt in de volgende paragrafen nader toegelicht.

Stakeholders en behoefteanalyse

In deze fase werden eerst de belangrijkste stakeholders van dit ontwerp geïdentificeerd. Vervolgens werden via interviewrondes hun belangrijkste behoeften vastgelegd. Het betrof een reeks open semi-gestructureerde interviews met docenten van SOMA en onderzoekers van OWK en CME-eenheden. De geïnterviewden werd gevraagd openlijk te praten over verschillende scenario's waarin zij de simulator willen gebruiken.

Er werden 5 belangrijke stakeholders voor het systeem geïdentificeerd, namelijk: (1) studenten die met de simulator werken om te trainen en hun vaardigheden te verbeteren. Zij ontvangen na elke sessie feedback van het systeem; (2) docenten en instructeurs die het systeem gebruiken om een opleidingssessie te leiden en studenten te beoordelen door hun resultaten te controleren; (3) Opleidingsscholen die de simulator in hun opleidingscurriculum gebruiken om de opleiding doeltreffender te maken; (4) Onderzoekers die de simulator gebruiken voor hun onderzoek op het gebied van onderwijskunde of bouwbeheer; (5) overheid en aannemers die baat hebben bij de simulatoren omdat het uiteindelijk kan bijdragen tot de verbetering van de kwaliteit van de wegen en de vermindering van ongevallen op de bouwplaats.

Tabel 1 bevat een gedetailleerde analyse van deze belanghebbenden in termen van hun rol, belangen en impact. Op basis van deze analyse

zijn de belangrijkste, d.w.z. belanghebbenden met een grote invloed op de verdichtingssimulator de instructeurs en de onderzoekers. Zoals hierboven vermeld werden deze belanghebbenden geïnterviewd om de behoeften/eisen van het systeem op hoog niveau vast te stellen.

Ontwerpeisen

Op basis van de besprekingen met potentiële eindgebruikers van het systeem zijn de volgende eisen op hoog niveau vastgesteld. De opleidingssimulator moet:

- 1) De mogelijkheid bieden om verschillende scenario's te ontwikkelen op basis van de opleidingsbehoeften van de beoogde cursisten;
- 2) Echte bouwgegevens kunnen gebruiken om context-realistische scenario's te ontwikkelen. Zoals hierboven vermeld heeft deze functie toepassingen die verder gaan dan opleiding, en kan zij ook worden gebruikt ter ondersteuning van de planning en evaluatie van wegenbouw;
- 3) Het gebruik van virtual reality-headsets ondersteunen die kunnen worden gebruikt om de perceptieve en cognitieve vaardigheden die nodig zijn voor het verkrijgen van een VVA te vergemakkelijken;
- 4) Realistisch zijn wat betreft rijervaring en uiterlijk;
- 5) Duidelijke maatstaven bieden voor de beoordeling van de prestaties van de cursisten;
- 6) De simulator kan worden gebruikt als virtueel prototype-platform om in een veilige omgeving te experimenteren met nieuwe technologische ideeën.

Tabel 1

Identificatie van stakeholders, rollen, belangen en impact

Stakeholder	Rol	Belangen	Impact
Docenten en instructeurs	Zij gebruiken de simulator in de klas, passen hem aan voor verschillende scenario's en gebruiken hem om studenten te beoordelen.	Een gebruikersvriendelijke interface voor het wijzigen van scenario's, realistische besturing, flexibiliteit om scenario's te wijzigen	Groot effect omdat het hoofddoel van het project erin bestaat de leerkrachten flexibiliteit te bieden om de opleiding te verbeteren. Als docenten niet tevreden zijn, mislukt het project
Studenten	Zij worden geacht met de simulator te oefenen als onderdeel van hun studie en krijgen feedback van het systeem	Gebruikersvriendelijke interface, realistische weergave van werkelijke operaties, nuttige feedback over hun prestaties	Lage impact omdat, hoewel zij de belangrijkste begunstigen van de simulator zijn, het vooral de instructeurs zijn die bepalen welke scenario's het beste zijn voor de opleiding en wat een realistische weergave is
Operators	Bestuurders gebruiken de simulator om verschillende soorten nieuwe technologieën te ervaren die in de wegebouw kunnen worden gebruikt	Gebruiksvriendelijke interface, realistische weergave van werkelijke operaties, nuttige feedback over hun prestaties	Weinig effect omdat zij meestal het onderwerp zijn van studies die door onderzoekers zullen worden uitgevoerd. Daarom hebben zij weinig inspraak in de elementen die in de simulator aanwezig moeten zijn. Dit zou drastisch anders zijn geweest indien de simulator ook zou worden gebruikt voor opleiding op de werkplek.
Onderzoekers	Ze definiëren scenario's om hun hypothese te testen en gebruiken de simulator om een workshop te leiden.	Flexibiliteit in de simulator, registratie van de prestaties van de deelnemer voor verdere analyse	Grote impact omdat zij weliswaar geen eindgebruikers zijn, maar hun behoeften de reikwijdte van de simulator bepalen.
Overheid en bedrijven	Zij dragen bij aan het ontwerp van de simulator door het verstrekken van eisen	Effectieve trainingssimulator die de volgende generatie operators bewust kan maken van de veiligheids-, productiviteits- en kwaliteitseisen van asfalteringswerkzaamheden.	Lage impact omdat zij de secundaire begunstigen van de simulator zijn. Aan hun belangen wordt voldaan wanneer de simulator inderdaad beantwoordt aan de behoeften van opleidingsscholen en onderzoekseenheden.



Ontwerpeisen

Op basis van de besprekingen met potentiële eindgebruikers van het systeem zijn de volgende eisen op hoog niveau vastgesteld. De opleidingssimulator moet:

- 7) De mogelijkheid bieden om verschillende scenario's te ontwikkelen op basis van de opleidingsbehoeften van de beoogde cursisten;
- 8) Echte bouwgegevens kunnen gebruiken om context-realistische scenario's te ontwikkelen. Zoals hierboven vermeld heeft deze functie toepassingen die verder gaan dan opleiding, en kan zij ook worden gebruikt ter ondersteuning van de planning en evaluatie van wegebouw;
- 9) Het gebruik van virtual reality-headsets ondersteunen die kunnen worden gebruikt om de perceptieve en cognitieve vaardigheden die nodig zijn voor het verkrijgen van een VVA te vergemakkelijken;
- 10) Realistisch zijn wat betreft rijervaring en uiterlijk;
- 11) Duidelijke maatstaven bieden voor de beoordeling van de prestaties van de cursisten;
- 12) De simulator kan worden gebruikt als virtueel prototype-platform om in een veilige omgeving te experimenteren met nieuwe technologische ideeën.

Identificatie kernparameters

Nadat de behoeften van de verschillende belanghebbenden waren vastgesteld, werd een workshop met vijf instructeurs gehouden op het SOMA college om de parameters vast te stellen waarmee rekening moet worden gehouden bij

het aanpassen van de trainingsscenario's. Deze workshop had de opzet zoals weergegeven in Tabel 2. Zoals uit de figuur blijkt, werd eerst het doel van de workshop aan de deelnemers uitgelegd. Vervolgens werd een formulier onder de deelnemers verdeeld om de kernparameters van de trainingsscenario's vast te stellen. Om de deelnemers een beter inzicht te geven in de omvang van de verwachte parameters, waren enkele parameters die de onderzoekers op grond van hun oordeel relevant vonden, al in het formulier opgenomen. Aangezien de deelnemers de vastgestelde parameters later ook moesten prioriteren, leidt het feit dat de onderzoekers een paar parameters als uitgangspunt in de figuur hadden opgenomen niet tot *bias*, omdat de deelnemers een lage prioriteit konden toekennen aan deze parameters. Zodra alle deelnemers het formulier hadden ingevuld, werden alle geïdentificeerde parameters samengevoegd en op het bord gezet. Vervolgens werd de deelnemers gevraagd om de parameters te prioriteren, met inbegrip van de vooraf door de onderzoeker vastgestelde parameters. Het resultaat van deze stap was de lijst van geprioriteerde parameters. Na een korte pauze werd de deelnemers gevraagd een open discussie te voeren over de parameters die in de vorige stap waren vastgesteld. De discussie draaide om het vaststellen van de mogelijke waarden voor de gegeven parameters en het effect dat de parameters zouden hebben op het trainingsscenario. De resultaten van deze discussie werden door de onderzoeker samengevat. Uiteindelijk resulteerde deze stap in een reeks parameters die in de gebruikersinterface van de trainingssimulator kunnen worden gebruikt om een aangepaste trainingssessie voor de beoogde cursisten samen te stellen.



Tabel 2
Opzet workshop

Stap	Toelichting	Duur
Introductie	De onderzoekers presenteren het doel van de workshop	10 min
Vaststellen kern-parameters	Alle deelnemers schrijven hun ideeën op een formulier en presenteren het aan de anderen.	30 min
Stellen prioriteiten	Alle gepresenteerde parameters krijgen cijfers van alle deelnemers, waarmee de relatieve prioriteit aangegeven wordt.	10 min
Pauze	-	15 min
Discussie over prioriteiten	Parameters met hoge en medium prioriteit worden bediscussieerd. Alle deelnemers identificeren verschillende toestanden van de gegeven parameters en geven aan wat hun effecten op de taak zijn.	30 min

Tabel 3
Prioritering kernparameters

Parameters		Prioriteit Laag ↔ Hoog				
		1	2	3	4	5
Geïdentificeerd door onderzoekers	Weg-geometrie			X		
	Omgevingstemperatuur			X		
	Weer en tijdstip					X
	Type asfalt					X
	Verkeerssituatie		X			
	Aantal walsen					X
Geïdentificeerd door docenten/instructeurs	Trommelwater systeem					X
	Dikte asfaltlaag				X	
	Wegprofiel					X
	Asfalt aanvoertemperatuur			X		
	Gedrag van meerlaags asfalt				X	

Op basis van de discussie met de instructeurs zijn de parameters in Tabel 3 vastgesteld. De prioriteiten die door alle instructeurs gezamenlijk aan elke parameter zijn toegekend, zijn eveneens weergegeven in Tabel 3. Zoals uit deze tabel blijkt, hebben de weersomstandigheden, het asfalttype, het aantal walsen, het trommelwatersysteem en de weghelling de hoogste prioriteit.

rekening moet worden gehouden, werd Tabel 4 ingevuld samen met alle instructeurs.

Om verder uit te leggen waarom deze parameters belangrijk zijn en met welke marges

Tabel 4

Kernparameters, range of opties en impact

Parameters	Range/Opties	Impact
Weg-geometrie	[Kruispunt, rotonde, dwarsverbinding]	Beïnvloedt de verdichtingsstrategie (bv. waar te beginnen, in welke richting te verdichten, hoe verdichtingstaken te verdelen en te coördineren tussen verschillende walsen, enz.)
Omgevings-temperatuur	[-10°, 50°]	Beïnvloedt de afkoelsnelheid van het asfalt
Weer en tijdstip	[Zon, Regen, Wind, Sneeuw, Mist]	Beïnvloedt de afkoelsnelheid van het asfalt. Ook regen, sneeuw en mist verminderen de zichtafstand. Op koudere dagen is het verdichtingsvenster kleiner. Bij harde wind heeft de windrichting invloed op de verdichtingsrichting. Ook de hoeveelheid daglicht is van invloed op de veiligheid van het werk
Type asfalt	[Steenmastiekasfalt, Poreus asfalt].	beïnvloedt het type wals dat nodig is voor de verdichting, de afkoelsnelheid van het asfalt, het verdichtingsvenster en het aantal verdichtingsgangen
Verkeerssituatie	[Geen verkeer, weinig verkeer, veel verkeer]	Beïnvloedt het ongevalrisico
Aantal walsen	[1, 3]	Beïnvloedt de verdichtingsstrategie (bv. waar te beginnen, in welke richting te verdichten, hoe verdichtingstaken te verdelen en te coördineren tussen verschillende walsen, enz.)
Trommelwater systeem	[Aan/Uit]	Water op de wals heeft een smerende functie om te voorkomen dat het asfalt aan de wals blijft kleven. Anderzijds wordt door het aanbrengen van water op heet asfalt de afkoeling van het asfalt versneld, waardoor het verdichtingsvenster kleiner wordt.
Dikte asfaltlaag	[3 cm, 5 cm, 9 cm]	De asfaltdikte is van invloed op het type wals dat nodig is voor de verdichting, de afkoelsnelheid van het asfalt en ook de lengte van de weg die per levering moet worden verdicht.
Wegprofiel	Mogelijke dwarsdoorsnede van de weg	Het dwarsprofiel van de weg is belangrijk voor de veiligheid van de weg en de dwarsdoorsnede van waterafvoer.
Asfalt aanvoertemperatuur	[120°, 180°]	Als het asfalt te warm aankomt, moeten de walsen wachten. Is de asfalttemperatuur daarentegen laag bij aankomst, dan moet de verdichting snel beginnen. Dit heeft ook gevolgen voor de afstand die nodig is tussen de walsen en de asfalafwerkmachine.
Gedrag van meerlaags asfalt	[1, 2]	Bij meerlaagse asfaltverdichting bestaat altijd het risico dat de bovenste laag wegschuift. Dit heeft ook gevolgen voor de goede aansluiting tussen de asfaltilagen



Opgemerkt moet worden dat de aan elke parameter toegekende prioriteiten in de eerste plaats vanuit het perspectief van de instructeurs komen en dus alleen betrekking hebben op hun wenselijkheid voor onderwijs-/opleidingsdoeleinden. Niettemin zijn niet alle parameters gelijk in termen van de ontwikkelingsinspanning die nodig is om ze in de simulator op te nemen. Terwijl het bijvoorbeeld relatief gemakkelijker is om de omgevingstemperatuur op te nemen, is de weergave van het gedrag van meerlaags asfalt zeer complex. Daarom hebben de onderzoekers hun professioneel oordeel gebruikt om de voor elke functie vereiste ontwikkelingsinspanning in overweging te nemen. Uiteindelijk zijn de prioriteiten van de instructeurs afgewogen tegen de vereiste ontwikkelingsinspanning om te bepalen welke parameters in dit project zullen worden opgenomen. Dit wordt toegelicht in de paragraaf over Functionele eisen op pagina 25.

Contextanalyse

De kernelementen van de context die in de simulator moeten worden opgenomen, zijn bepaald in overleg met CME-onderzoekers van de onderzoekseenheid Asphalt Paving Research and Innovation (ASPARi). De ASPARi-onderzoekers hebben eerder hun methodologie voor een context-realistische trainingssimulator gepresenteerd (Vahdatikhaki et al. 2019). Kort gezegd wordt context-realisme gedefinieerd als de afstemming tussen de echte en virtuele wereld in termen van (1) omgeving, (2) actoren/materialen, (3) operaties, en (4) producten. De omgeving vertegenwoordigt de omgeving van een operatie, met inbegrip van gebouwen, stadsmeubilair, enz. Actoren en materialen omvatten middelen die een operatie mogelijk maken, bv. walsen, straatstenen en asfalt. De operatie gaat over de realistische

voorstelling van hoe de operatie plaatsvindt, bv. het realistische gedrag van een wals die wordt bestuurd door de omgeving en niet door de student. Bij het product, ten slotte, gaat het om de veranderingen die door de handeling in de samenstelling van de omgeving worden aangebracht, bijvoorbeeld een verandering in de dikte van de asfaltlaag.

Wat de vereiste contextelementen in dit project betreft, is het weliswaar het uiteindelijke doel van de ASPARi-onderzoekers om al deze kernelementen in de trainingssimulator op te nemen, maar voor dit specifieke project ligt de nadruk op de weergave van (1) real-time asfalttemperatuur op basis van actuele projectgegevens, en (2) de beweging van de paver. In feite kan dus de begintemperatuur van het asfalt bij de levering en de snelheid waarmee het asfalt afkoelt, worden bepaald op basis van de door de ASPARi-onderzoekers verzamelde sensorische gegevens. Daartoe moet de simulator het bestand met temperatuurgegevens kunnen lezen en vertalen naar het temperatuurgedrag van het asfalt in het trainingsscenario.

Evenzo moet de trainingssimulator in staat zijn de bewegingsgegevens van de asfaltafwerkmachine, die met behulp van GPS op werkelijke projecten worden verzameld, te lezen en te vertalen naar de beweging van de asfaltafwerkmachine in het trainingsscenario. Dit zou ervoor zorgen dat de inherente variabiliteit in het temperatuurprofiel van het asfalt en ook de onderbreking van de beweging van de paver door de back-end logistiek realistisch worden weergegeven. Dit zou de studenten helpen hun vaardigheden te verbeteren om met deze variabiliteit om te gaan.

Zodra de behoeften van verschillende belanghebbenden, parameters en elementen van de context bekend waren, werden deze vertaald in een reeks functionele eisen waaraan het systeem moet voldoen. Dit gebeurde via een gedetailleerde analyse van de behoeften en de expertise/achtergrond van het onderzoek op het gebied van VR-ontwikkeling. De details van deze fase worden hieronder gepresenteerd.

Functionele eisen

Op basis van de hierboven besproken eisen, zijn de functionele eisen van de verdichtingssimulator ontwikkeld. Zoals vermeld in de paragraaf over Identificatie kernparameters zijn niet alle eisen gelijk wat betreft de vereiste ontwikkelingsinspanningen. Daarom combineerden de onderzoekers de prioriteiten

van de instructeurs met hun beoordeling van de vereiste ontwikkelingsinspanning om de functionele eisen te prioriteren. Dienovereenkomstig werd elke functionele eis beoordeeld als een must-have of een good-to-have functie. Tijdens de ontwikkelingsfase werd eerst de nadruk gelegd op de implementatie van de must-have functies. Na de implementatie van alle must-have functies werden de good-to-have functies in de resterende projecttijd geïmplementeerd op basis van de door de docenten gegeven prioriteitsscores. Opgemerkt moet worden dat de beperkte tijdspanne van het project niet toeliet om alle good-to-have functies te implementeren. De lijst met functionele eisen, hun prioriteiten en of ze wel of niet zijn geïmplementeerd en welke niet, wordt weergegeven in Tabel 5

Tabel 5

Lijst met functionele eisen

ID	Functionele eisen	Kernwoord	Prioriteit	Geïmplementeerd?
FR.1	De simulator moet cursisten in staat stellen een verdichtingssessie uit te voeren	Training	Must-have	Ja
FR.2	Het systeem moet een scenario builder module bieden om de asfalteringswerkzaamheden aan te passen. De mogelijkheid om waarden te specificeren voor de volgende parameters is vereist: (1) Vorm van de weg, (2) Weersomstandigheden, (3) Type asfalt, (4) Dikte van het asfalt, (5) Aantal walsen, (6) Duur van de oefening, (7) Aantal verdichtingsgangen, en (8) Verdichtingstemperatuurvenster.	Scenario builder	Must-have	Ja
FR.3	Het systeem moet voorzien in een wegontwerpmodule om de vorm van de weg te schetsen voor de werkzaamheden.	Wegontwerper	Good to have	Nee
FR.4	De wegontwerper moet het hebben van een helling op de wegen ondersteunen.	Weghelling	Good to have	Nee
FR.5	De dwarsdoorsnede van de weg in de scène moet realistisch zijn, zoals hieronder getoond:	Realisme dwarsdoorsnede	Good to have	Nee
FR.6	Het in- en uitschakelen van water op vaten moet worden gevisualiseerd en de impact op het asfalt moet worden gesimuleerd	Asfalt realisme	Good to have	Ja

```

function($scope, $element, attr, ngSwitchController) {
  $scope.$watch(attr.ngSwitch || attr.on,
    function(newValue, oldValue) {
      $scope.$broadcast('ngSwitchChange', {
        element: $element,
        ctrl: ngSwitchController,
        previousElement: oldValue,
        previousController: ngSwitchController,
        currentElement: $element,
        currentController: ngSwitchController
      });
    });
}

```

FR.7	De simulator moet een realistisch bedieningsmechanisme bieden	Bedieningsrealisme	Must-have	Ja
FR.8	De simulator moet details van de prestaties van gebruikers bewaken en registreren en opslaan voor gegevensanalyse, waaronder: (1) verdichtingskaart, (2) afstand tussen verdichter en paver, (3) snelheid, (4) schoudercontrole en blikrichting, (5) trajecttracing	Dataverzameling	Must-have	Ja
FR.9	De simulator moet de beweging van een tweede wals nabootsen alsof deze door een echte persoon wordt bediend voor scenario's met meer dan één wals.	Tweede wals AI	Must-have	Ja
FR.10	De simulator moet voorzien in een dashboard in de cabine van de wals om de status van de wals te controleren en te wijzigen, in termen van (1) trilfunctie, (2) watertankstatus, (3) brandstoftankstatus, (4) oliepeilstatus.	On-board scherm	Must-have	Ja
FR.11	De simulator moet de gebruikers een handleiding bieden.	Tutorial	Must-have	Ja
FR.12	De simulator moet studenten waarschuwen wanneer zij een fout maken.	Feedback	Good to have	Nee
FR.13	De simulator moet een VR-headset ondersteunen voor de beoordeling van het situationeel bewustzijn	VR support	Must-have	Ja
FR.14	De simulator moet het beeld van de speler delen op een groot scherm in de klaslokalen voor alle mensen in de zaal	Scherm delen	Must-have	Ja
FR.15	De simulator moet de prestaties van de leerlingen opnemen en een videoweergavemogelijkheid bieden om stap voor stap door de opleidingssessies te gaan	Video playback	Must-have	Ja
FR.16	Indien er meerdere schermen beschikbaar zijn, moet het systeem deze als spiegels gebruiken (in non-VR modus)	Meerdere schermen	Good to have	Ja
FR.17	De omgeving in de simulator moet dynamisch zijn en bewegende entiteiten bevatten (mensen, voertuigen).	Omgevingsrealisme	Good to have	Deels
FR.18	De simulator moet realistische geluiden produceren	Geluid realisme	Good to have	Deels
FR.19	De simulator gebruikt realistische 3D-modellen en voldoende details in de omgeving.	Visueel realisme	Good to have	Deels
FR.20	De omgeving dient gebaseerd te zijn op sensoren voor temperatuur en voertuigbewegingen.	Context-realismd	Must-have	Ja
FR.21	De simulator moet de visualisatie van de gesimuleerde en geplande projecten ondersteunen	Project planning	Must-have	Ja
FR.22	De simulator moet de toepassing van virtuele prototypes ondersteunen.	Virtual prototyping	Must-have	Ja

Use cases

Nu de functionele eisen bekend zijn, worden hieronder de use cases en het framework voor de simulator voor verdichtingstraining gepresenteerd. De eerste stap in de ontwikkeling van de applicatie is de identificatie van use cases

die betrekking hebben op de in Tabel 5 gepresenteerde functionele eisen. Vervolgens worden de use cases gebruikt als richting voor de ontwikkeling van het raamwerk. Een use case vertegenwoordigt de specifieke manier waarop

Tabel 6

Lijst met verschillende use-cases Simulator

ID	Use Case	Actor(en)	Functionele eis(en)
UC.1	Een aangepast trainingsscenario genereren	Docenten, Onderzoekers	2, 3, 20
UC.2	Ontwerp en uitvoering van tutorial/quiz	Studenten, Operators	11
UC.3	Uitvoeren van een trainingssessie in de simulator	Studenten, Operators	1, 4-7, 9, 10, 12, 16-19
UC.4	Beoordelen van de prestaties van de cursisten	Studenten, Operators, Docenten	8, 14, 15
UC.5	Situatiebewustzijn evalueren	Docenten, Onderzoekers	13
UC.6	Gesimuleerde/geplande projecten visualiseren	Planners, Onderzoekers	21
UC.7	Ondersteuning van virtuele prototypes	Onderzoekers, Operators	22

de gebruikers met het systeem interacteren om een taak uit te voeren. Daarom omvat een use case actoren, d.w.z. gebruikers, taken en de interactie tussen de actoren en de taken. Tabel 6 toont de zes belangrijkste use cases die door de trainingssimulator moeten worden ondersteund. Nadat de functionele eisen waren vastgesteld, begon de ontwikkelingsfase. In deze fase werden de functionele eisen vertaald in een reeks technische use cases. Een use case definieert verschillende manieren waarop gebruikers interageren met een ontwerpsysteem om bepaalde taken uit te voeren. Bij het bepalen van de doeltaken waren de functionele eisen leidend. De functionele eisen werden dus ingedeeld in een reeks goed gedefinieerde taken/functies die bepalen hoe gebruikers met het systeem moeten omgaan. De reden waarom de functionele eisen werden ingedeeld is dat niet voor alle functionele eisen een specifieke use case nodig is. Soms kan een enkele use case betrekking hebben op verschillende functionele eisen. Zo kunnen de twee functionele eisen (1) de instructeurs moeten de parameters van het trainingsscenario kunnen invoeren, en (2) de instructeurs moeten de werkelijke temperatuurgegevens kunnen gebruiken om de afkoelsnelheid van het asfalt in de simulator na te bootsen, beide worden opgenomen in de use case voor gebruikersinvoer. Een Unified Modeling

Language (UML) use case diagram werd gebruikt om de interactie tussen de gebruiker en de verschillende functies van het systeem vast te stellen. Na het vaststellen van de use cases werd de Simulator ontwikkeld. Use cases werden gebruikt als uitgangspunt voor de bepaling van verschillende modules van het systeem.

Implementatie

Een prototype van de voorgestelde simulator voor verdichtingsopleiding. Zoals getoond in figuur 21 bestaat het prototype uit 3 hoofdonderdelen, namelijk hardwarecomponenten, softwarecomponenten en een interface voor informatie-uitwisseling. Deze onderdelen zijn geïntegreerd in Unity3D (2022) als belangrijkste ontwikkelingsplatform. Unity 3D is gekozen als hoofdontwikkelingsplatform omdat het snel is en goed geïntegreerd is met VR-headsets. Het kan ook veel van de meest cruciale ingebouwde functies bieden die een spel/simulatie nodig heeft. Fysica, 3D-rendering en botsingsdetectie zijn voorbeelden van deze functies. Dit betekent dat je bij de ontwikkeling het wiel niet opnieuw hoeft uit te vinden. In plaats van een nieuw project te beginnen met het ontwerpen van een nieuwe physics engine vanaf de grond, waarbij



elke beweging van elk materiaal of de manier waarop licht op verschillende oppervlakken weerkaatst moet worden berekend, kan men bestaande assets en bibliotheken hergebruiken. Asset Store is in wezen een opslagplaats voor ontwikkelaars om hun werk te uploaden en beschikbaar te maken voor het publiek. Als we bijvoorbeeld een vuureffect nodig hebben, maar geen tijd hebben om er een vanaf nul te maken, kunnen we er misschien een online ontdekken. De volgende paragrafen schetsen de verschillende onderdelen van het systeem.

Hardwarecomponenten

In dit prototype werd de GameSeat Pro+ gebruikt als het hoofdplatform van de simulatie. Een platte LED TV (Samsung LED scherm, 43 inch) werd op het platform gemonteerd als scherm. Een Logitech G29 stuur en joystick werden gebruikt als bedieningselementen voor interactie met de gebruiker. Als verwerkingseenheid volstaat een laptop met de volgende specificaties: i7 H of K series CPU (H series zijn ontworpen voor gaming en VR doeleinden, K series zijn unlocked CPU's en ontworpen voor het bereiken van hoge kloksnelheden), en minstens een Nvidia RTX 2060 (de meest betaalbare VR ready grafische kaart op de markt).

Wat de VR-headset betreft, zijn er twee dominante merken op de markt, namelijk HTC Vive en Oculus rift. Het prototype systeem is

onafhankelijk van het type headset en beiden voldoen. Voor de ontwikkeling is echter gekozen voor Oculus omdat deze goedkoper is, en de totale prijs van ons product (ongeveer 400 euro) zal dalen. Een andere VR-optie zou de Oculus Quest kunnen zijn, een standalone-headset waarop toepassingen zonder pc kunnen worden uitgevoerd. Het wordt aangedreven door een Android OS en daarom kan het worden beschouwd als een ontwikkelingservaring en gebruikerservaring die behoorlijk lijkt op die van de Samsung Gear. Het zijn twee betaalbare opties, maar ze zijn beperkt in de verwerkingseenheid en er is een vermindering van de kwaliteit of nauwkeurigheid nodig om deze apparaten te gebruiken. PlayStation VR kan worden gebruikt voor pc-toepassingen, maar het heeft geen ingebouwde verwerkingseenheid, dus het heeft de PlayStation 4 nodig als verwerkingseenheid bij aansluiting op de pc. Bijgevolg is het geen betaalbare optie.

Software componenten

Scenario builder

De eerste component van het prototype is de scenario builder. Docenten of onderzoekers moeten eerst door een aantal parameters navigeren om een aangepast trainingsscenario op te zetten. Figuur 1 toont de interface die is ontwikkeld voor het ontwerpen van scenario's

Figuur 1

Scenario Builder interface

The screenshot shows a user interface for configuring simulation parameters. It consists of several rows of dropdown menus and input fields. The parameters and their current values are:

Parameter	Value
Type weg:	Snelweg
Lengte van de weg (voor snelweg):	50 meter
Duur simulatie:	30 seconden
Lichtstatus:	Dag
Beeldkwaliteit:	Weinig detail
Laagdikte:	3 cm
Type asfalt:	SMA
Omgevingstemperatuur (°C):	10
Weer:	Droog
Soort device:	VR bril

A "Save and Exit" button is located at the bottom right of the interface.

In de scenario builder kunnen de volgende parameters ingesteld worden:

1. Type weg: Deze kan ingesteld worden op “Snelweg”, “Kruising (T-splitsing)” of “Rotonde”. Het bepaalt de vorm van de weg om aan te werken. Ze zijn gesorteerd van gemakkelijk tot moeilijk. “Snelweg” wordt als de gemakkelijkste beschouwd en “Rotonde” als de moeilijkste. Het verwijst in feite naar de geometrie van de weg in het scenario. Sommige andere elementen van het scenario kunnen echter worden gewijzigd op basis van de geometrie. Als een snelweg wordt geselecteerd, begint de asfalteringsafwerkmachine vanaf de rand van wat koud asfalt. Aan twee kanten van de weg worden enkele afzettingen geplaatst. En er komt geen tweede rol. Als de kruising is geselecteerd, begint de

tweede rol te verdichten met de hoofdrol vanaf een andere kant van de kruising. De asfalteermachine begint vanaf de derde poot (de eerste en tweede poot van de kruising zijn al verhard). Als de rotonde is geselecteerd, begint de tweede wals ook te verdichten en is de helft van de rotonde al verhard.

2. Duur simulatie: Het bepaalt de duur van de simulator. Dit kan ingesteld worden van 30 seconden tot 10 minuten. Het is niet toegestaan door het systeem om de duur van meer dan 10 minuten in te stellen omdat het niet wordt aanbevolen om langer dan 10 minuten continu met een VR-bril te werken.

3. Beeldkwaliteit: Deze kan ingesteld worden op “Weinig detail” of “Veel detail”. Het verwijst naar de visuele details van het asfalt. Als de computer die u gebruikt

krachtig is, kunt u hoge details gebruiken, zo niet, gebruik dan de optie lage details om een daling van de beeldverversingssnelheid (frames per second, FPS) te voorkomen. De lengte van de weg is hier ook belangrijk, als een scenario met een lange weg gedefinieerd wordt, is het raadzaam om deze op lage details in te stellen. Regeneffect is ook zwaar om te verwerken, dus als een scenario met regen ingesteld wordt, dan moet dit op lage details ingesteld worden.

4. **Type asfalt:** Geeft het type asfalt aan. Gekozen kan worden uit steenmestiekasfalt (SMA), dicht asfaltbeton (DAB) of zeer open asfaltbeton (ZOAB).
5. **Weer:** Twee weersomstandigheden zijn geïmplementeerd, de normale toestand en regenachtig. Door het weer op regenachtig te zetten, vermindert het gezichtsvermogen, ook koelt het asfalt sneller af.
6. **Lengte van de weg (voor snelweg):** het geeft de lengte van de weg aan in meters. Deze parameter werkt alleen als het snelwegscenario geselecteerd wordt en bij het selecteren van andere parameters wordt deze genegeerd. Gekozen kan worden tussen 50 en 200 meter.
7. **Lichtstatus:** Deze kan ingesteld worden op "Dag" of "Nacht". Als het op nacht gezet wordt, gaan de lichten van het terrein en de machines automatisch aan. Over het algemeen is de operatie 's nachts moeilijker vanwege de beperking van het gezichtsvermogen.
8. **Laagdikte:** Deze parameter is de dikte van de laag asfalt. Deze kan ingesteld worden op 3 cm, 5 cm of 9 cm.
9. **Omgevingstemperatuur (°C):** Met deze parameter kun de omgevingstemperatuur

ingesteld worden. Het is onafhankelijk van de weersomstandigheden.

10. **Soort apparaat:** het heeft twee opties, "VR bril" en "Monitor(en)". De oriëntatie en plaatsing van monitoren die als spiegel worden gebruikt, wordt aangepast met Soma-simulators.

Asphalt Tiles Modifier

De weg wordt tijdens runtime gegenereerd (het is geen statisch model dat wordt geproduceerd door 3D-modelsoftware, de mesh wordt gegenereerd wanneer we het programma starten en de textuur wordt op de mesh toegepast), het geeft ons de flexibiliteit om te manipuleren de eigenschappen van de weg baseren zich op de behoeften van een scenario.

Temperature Manager

Er zijn 3 modi voor het berekenen van temperatuur geïmplementeerd: een data-gestuurde methode, een op vergelijkingen gebaseerde methode en een eenvoudige methode. Ontwikkelaars kunnen een van deze kiezen op basis van de behoeften van het scenario. Bij de data-gestuurde methode wordt een reeks vastgelegde gegevens van een daadwerkelijke bewerking gebruikt om de temperatuur van elke cel van het asfalt te berekenen. De dataset wordt opgeslagen in de StreamingAsset-directory. Deze methode is realistisch, maar is mogelijk niet geschikt voor sommige experimenten. In de meeste experimenten moeten we het proces versnellen om een sessie in 10 of 20 minuten af te ronden, dus realistische gegevens hebben in veel experimenten geen zin. Daarom komt de tweede methode voor temperatuurberekening, die is gebaseerd op een exponentiële vergelijking. Ten derde kan de scenario-ontwerper een

aangepaste koelcurve instellen die past bij het scenario.

Statistics Manager

Dit onderdeel volgt de actie van de gebruiker en legt deze vast. Het rapporteert de prestaties in 5 metingen: percentage volledig verdichte, oververdichte en onder-verdichte cellen en percentage cellen dat onder/boven het verdichtingsvenster is verdicht. Dit onderdeel bepaalt ook wanneer de sessie voorbij is, het einde van een sessie kan gebaseerd zijn op de duur of een speciale gebeurtenis.

Input Manager

Deze component maakt een laag tussen toetsen en acties zodat ze onafhankelijk van elkaar zijn. Het betekent dat het wijzigen van de sleutels geen wijzigingen in de simulator vereist.

Setup Scenario Manager

Deze component, zoals de naam al aangeeft, bereidt het geselecteerde scenario voor op basis van parameters die door gebruikers zijn

ingesteld. Het stelt de weersomstandigheden in, genereert de weg en plaatst de walsen en asfalteringsafwerkmachines in de juiste positie. Bereid ook de omgeving voor, bijvoorbeeld in het snelwegscenario moeten twee wegen aan twee kanten worden gevuld door auto's, of in sommige scenario's zijn enkele afzettingen nodig.

Unity Plugins

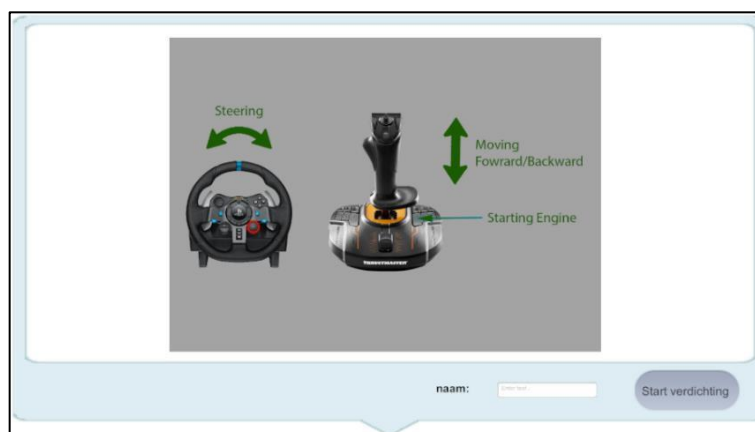
De volgende plugins werden toegepast in de applicatie: Pro builder, LeanLocalization, DrawCall Minimizer, MS Vehicle System, Mesh Baker, Rain Maker, Post-processor, Dotween, FleeFlyCamera, JetBrains Rider Editor en Visual Studio Code.

Tutorial

De onderdelen van de tutorial geven instructies over de bediening van de simulator. De tutorial is zodanig geïntegreerd met de inlogpagina dat de gebruikers tijdens het inloggen op de sessie het bedieningsmechanisme van de simulator kunnen bekijken, zoals getoond in Figuur 2.

Figuur 2

Onderdeel tutorial over bediening van Simulator





Naast de tekstuele en visuele handleiding werd tijdens de implementatie besloten dat misschien ook een audiobeschrijving van het scenario de cursisten/operators kan helpen het doel van het scenario beter te begrijpen. Daarom is een audiotutorial in de simulator opgenomen. De audiotutorial wordt onmiddellijk na de tekstuele/visuele tutorial aan de gebruiker gepresenteerd.

Na de tutorialvensters krijgen de gebruikers een virtuele werkvergadering te zien, ingeval de simulator wordt gebruikt voor SA-beoordelingsdoeleinden. In deze stap kunnen de gebruikers informatie krijgen over aspecten als hun werk, de vereiste verdichtingsstrategieën en de weersomstandigheden, zie Figuur 3. Gebruikers krijgen de gewenste informatie door op vragen te klikken, waarna het antwoord eronder verschijnt

Figuur 3

Interface met informatie voor de gebruiker gepresenteerd als werkvergadering





Figuur 4

Interfaces met (a) quiz en (b) directe feedback

Hoe wals je de daglas aan?

Haaks, met steeds een halve rolbreedte versporen

Dwars, met steeds vijf centimeter versporen

(a)

Met welk weer moet je rekening houden?

Vrieskou

X Hitte

Regen

✓ Normale temperaturen

Next

(b)

Vervolgens krijgt de gebruiker de relevante quizzen te zien die de retentie van de in de werkvergadering gepresenteerde informatie beoordelen, ingeval de simulator wordt gebruikt voor SA-beoordelingsdoeleinden, zoals getoond in Figuur 4a. Indien nodig kunnen scenario-ontwerpers de set vragen bewerken. Trainees/operators kunnen het resultaat van de

quizzen onmiddellijk zien na hun antwoorden, zoals getoond in Figuur 4b.

De dynamische component ten slotte is verantwoordelijk voor de simulatie van het omringende verkeer en ook AI-gestuurde walsen en stratenmakers. Figuur 5 toont deze dynamische elementen in de simulator.


```
function(scope, element, attr, ngSwitchController) {  
  scope.$watch(attr.ngSwitch || attr.on,  
    function(newValue, oldValue) {  
      scope.$broadcast('ngSwitchChange', newValue);  
    });  
}
```

Interface voor informatie-uitwisseling

Deze component is speciaal ontwikkeld voor projectplanning en contextimport use cases. Een mogelijke toepassing van de simulator is het gebruik ervan als instrument voor projectplanning. Het idee is om de uitkomst van een processimulatiemodel te koppelen aan de simulator, zodat de resultaten kunnen worden gevisualiseerd en de planners onmiddellijk de

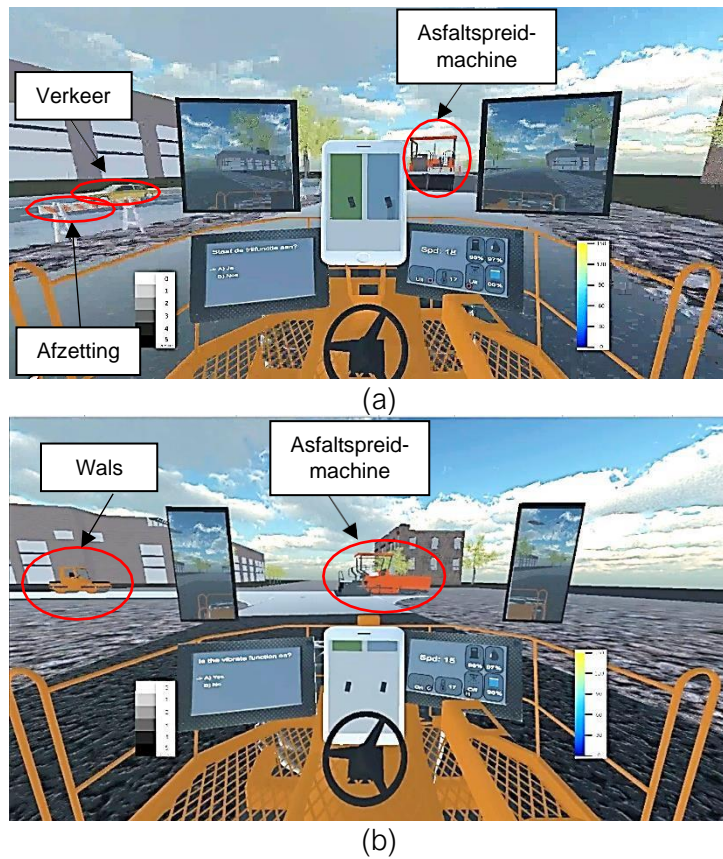
gevolgen van hun besluitvorming kunnen waarnemen.

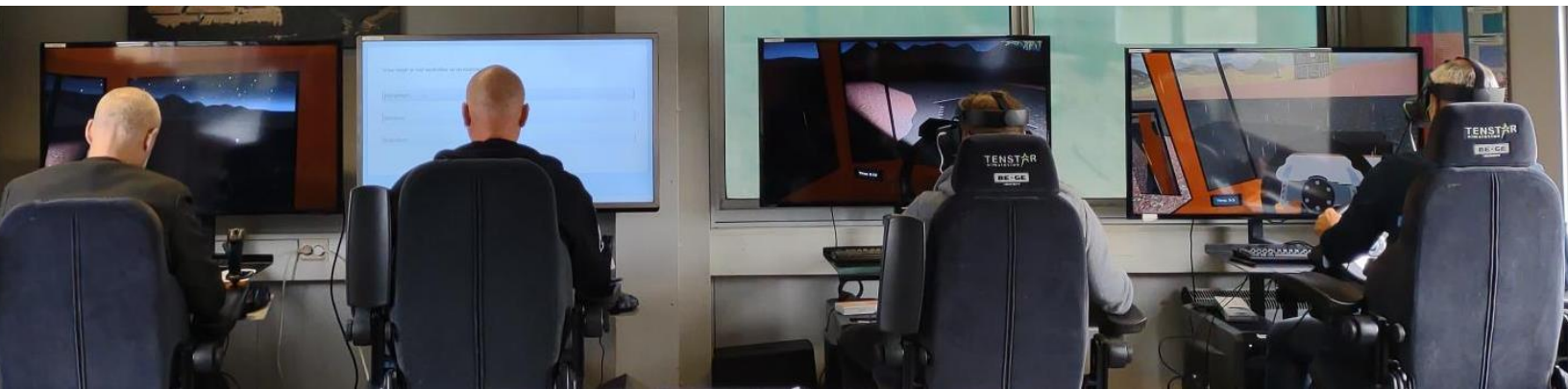
Validatie-studies

In het volgende hoofdstuk zullen onder andere de validatiestudies besproken worden die met verschillende stakeholders (docenten, studenten, professionele operators en planners) zijn uitgevoerd om zicht te krijgen op de validiteit, bruikbaarheid en acceptatie van de simulator

Figuur 5

Dynamische elementen in de simulator





ONDERZOEK

In dit hoofdstuk worden de verschillende studies en hun resultaten gepresenteerd. De conclusies en discussies worden in het volgende hoofdstuk besproken.



Studie 1: Validatie

Studie 1 draait voornamelijk om de externe validiteit van de training en de instrumenten. In deze studie worden verschillende groepen stakeholders, namelijk studenten, docenten en experts vanuit het veld betrokken om kwantitatieve en kwalitatieve data te verzamelen omtrent de materialen. Het doel van de studie is het beantwoorden van onderzoeksvraag 1:

In hoeverre geven de VR training, de scenario's en de assessments in de ogen van materiedeskundigen (uit onderwijs, wetenschap en praktijk) een valide en accurate weergave van de werkgerelateerde onderwerpen, situaties en procedures?

Om onderzoeksvraag 1 te beantwoorden zijn een viertal validatiestudies uitgevoerd met verschillende doelgroepen. Aan validatie-studie 1 namen instructeurs en cursisten (operators die een training volgden) deel. Daarbij werden vier verschillende aspecten of categorieën van de simulator onderzocht, namelijk Aanpasbaarheid (Customizability), Realisme, Nut en *Usability*. In de validatiestudies 2 en 3 werd verder ingezoomd op de vraag in hoeverre de simulator een valide en accurate weergave van de werkgerelateerde onderwerpen, situaties en procedures geeft. We zijn hierbij gestart vanuit de aanname dat het beste bewijs voor een valide en accurate weergave zou zijn dat professionals de simulator geschikt zouden vinden om in hun eigen werkzaamheden te gebruiken. Daartoe hebben we in validatie-studie 2 onderzoek gedaan met operators. Daarbij hebben we onder andere gekeken naar de mate waarin deze professionals de simulator geschikt achten om verschillende verdichtingsstrategieën in de VR uit

te proberen voorafgaand aan daadwerkelijke operaties. Vervolgens is in validatie-studie 3 met professionele planners onderzocht in hoeverre onze simulator gebruikt zou kunnen worden ter ondersteuning van de planning en evaluatie van wegenbouw. Tot slot is in de validatie-studie 4 de acceptatie door gebruikers (studenten en professionals) van de simulator en trainingstechnologie onderzocht. *Technology Acceptance* is belangrijk voor een succesvolle implementatie van een technologie.

Validatie-studie 1: Instructeurs en operators

Methode

De simulator is in verschillende workshops met beoogde eindgebruikers getest. In deze validatiestudie werd aan 5 instructeurs en 34 operators (die deelnamen aan een aanvullende training) gevraagd de simulator in een opleidingscontext te gebruiken. De instructeurs werd gevraagd de scenario-builder te gebruiken om een aangepast scenario te ontwikkelen en een trainingssessie te voltooien. De operators, vanaf hier aangeduid als 'trainees' om hun rol als lerende in deze context te benadrukken, werd gevraagd een standaard trainingssessie te voltooien. Aan het eind van deze sessie werd een vragenlijst afgenomen bij de deelnemers verdeeld. In deze vragenlijst werden vier verschillende aspecten of categorieën van de simulator onderzocht, namelijk Aanpasbaarheid (Customizability), Realisme, Nut en *Usability*. Deze worden hieronder kort toegelicht. De vragen worden daarna gepresenteerd in Tabel 7.



Aanpasbaarheid (Customizability)

Het hoofddoel van dit ontwerpproject was om instructeurs een VR-omgeving te bieden waarin ze scenario's kunnen aanpassen op basis van de leerdoelen. Drie factoren zijn hier belangrijk: het vermogen om verschillende scenario's te definiëren, het vermogen om verschillende moeilijkheidsgraden te definiëren, het vermogen om scenario's te bouwen die de complexiteit van de taken in echte operaties kunnen vertegenwoordigen. Vier vragen in de validatievragenlijst die instructeurs hebben ingevuld, hadden betrekking op deze functie van het systeem.

Realisme

Realistische ervaring is cruciaal voor educatieve VR-trainingen. VR-omgevingen moeten een bijna echte ervaring bieden in termen van beeld, geluid en gevoel. In ons geval moet de context ook realistisch zijn. De context betekent de eigenschappen van elke fysieke substantie in de omgeving, inclusief machines, asfalt, weer, obstakels, mensen. Bijvoorbeeld de temperatuur, de afkoelsnelheid van het asfalt, de

grootte en snelheid van de voertuigen. In de validatievragenlijst worden 5 vragen geassocieerd met realisme. Ze richten zich op betrokkenheid, geluiden, controllers, beelden en reactievermogen.

Nut

Bij dit onderdeel ging het om de mate waarin de VR-omgeving hielp om vertrouwd te raken met taken in een asfalteringsoperatie en in hoeverre de gebruikers vinden dat het werken met de VR-omgeving de noodzaak van een oefensessie met een echte roller vermindert. 8

Usability

Tot slot waren 8 vragen gewijd aan gebruiksgemak van de scenario Builder en de bruikbaarheid en gebruikerstevredenheid van het systeem als geheel.

De vragenlijst werd ingevuld met behulp van 5-punts schalen, variërend van (1) helemaal oneens, (2) oneens, (3) neutraal, (4) eens, (5) helemaal eens.



Tabel 7

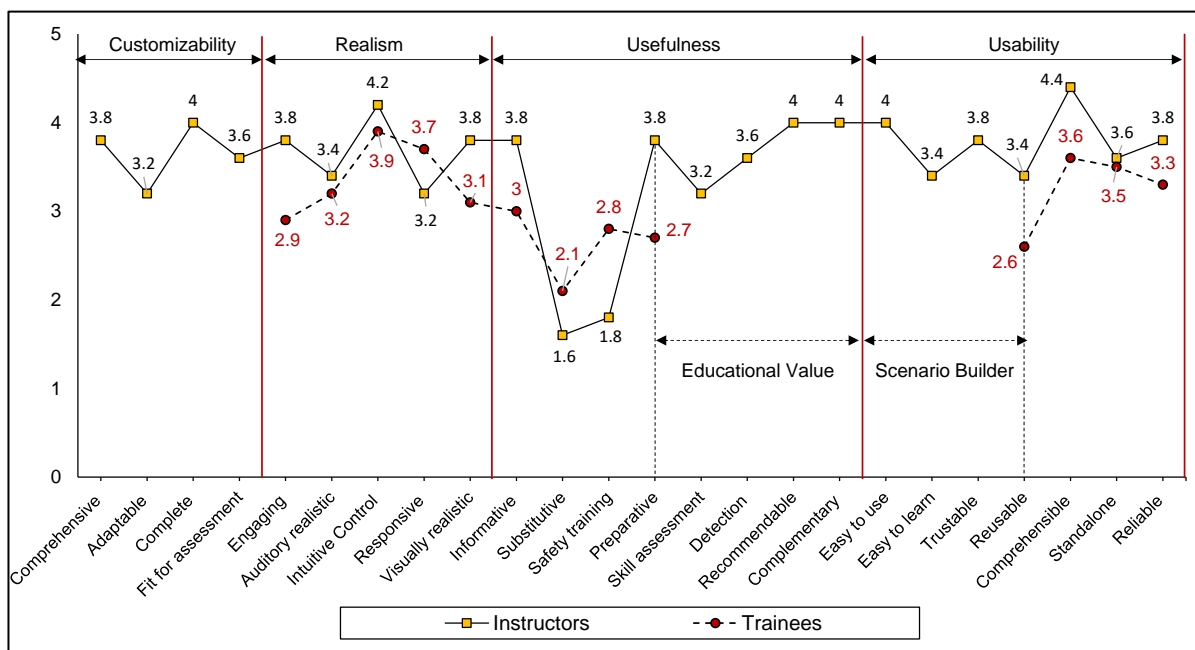
Items vragenlijst validatiestudie

Item	Doelgroep
Aanpasbaarheid (<i>Customizability</i>)	
De VR-omgeving kan worden gebruikt om verschillende werkscenario's te bouwen	Instructeurs
Het systeem kan verschillende moeilijkheidsgraden voor een scenario dekken.	Instructeurs
De VR-omgeving kan worden gebruikt om mijn wensen en verwachtingen over een VR-training uit te drukken	Instructeurs
De VR-omgeving kan worden gebruikt om mijn studenten met verschillende vaardigheidsniveaus te beoordelen	Instructeurs
Realisme	
Ik voelde me gestimuleerd door de virtuele omgeving	Instructeurs + Trainees
Ik heb geluiden correct geïdentificeerd in de virtuele omgeving	Instructeurs + Trainees
De controllers (stuur en joystick) leiden me af van het uitvoeren van toegewezen taken.	Instructeurs + Trainees
De virtuele omgeving reageerde op de acties die ik inzette.	Instructeurs + Trainees
De visuele aspecten van de virtuele omgeving spraken mij aan.	Instructeurs + Trainees
Nut	
De VR-omgeving heeft me geholpen om vertrouwd te raken met taken in een asfalteringsoperatie	Instructeurs + Trainees
Werken met de VR-omgeving vermindert de noodzaak van een oefensessie met een echte wals	Instructeurs + Trainees
De VR-omgeving heeft me bewust gemaakt van de veiligheidsregels	Instructeurs + Trainees
De VR-omgeving heeft me geholpen me voor te bereiden op toekomstig werk met een echte machine	Instructeurs + Trainees
De VR-omgeving kan worden gebruikt om de vaardigheden van mijn studenten te beoordelen	Instructeurs
De VR-omgeving kan worden gebruikt om gebieden te identificeren waarop moet worden gefocust voor verbetering	Instructeurs
Ik raad mijn collega's aan om deze VR-omgeving voor onderwijs te gebruiken	Instructeurs
De VR-omgeving kan een aanvulling zijn op het theoretische of praktische onderwijs.	Instructeurs
Usability	
Ik dacht dat de scenariobouwer gemakkelijk te gebruiken was	Instructeurs
Ik moest veel dingen leren voordat ik aan de slag kon met deze scenariobouwer	Instructeurs
Ik heb er alle vertrouwen in om de scenariobouwer te gebruiken	Instructeurs
Ik denk dat ik dit systeem vaak zou willen gebruiken	Instructeurs + Trainees
Ik vond de visuals in de VR-omgeving duidelijk	Instructeurs + Trainees
Ik vond de controllers (stuur, joystick) in deze VR-omgeving goed geïntegreerd	Instructeurs + Trainees
Ik denk dat ik de steun van een technisch persoon nodig heb om dit systeem te kunnen gebruiken	Instructeurs + Trainees
Ik heb er alle vertrouwen in om de VR-omgeving te gebruiken	Instructeurs + Trainees



Figuur 6

Resultaten van validatiestudie van simulator



Resultaten

Figuur 6 en Tabel 8 bevatten de resultaten van deze validatiesessie.

Aanpasbaarheid (Customizability)

Uit de resultaten komt naar voren dat instructeurs het er in het algemeen over eens zijn dat het systeem voldoende flexibiliteit biedt. De resultaten zijn positief niet spectaculair. We moeten hier vermelden dat omwille van het gebruiksgemak de flexibiliteit (aantal parameters) die in de scenariobouwer aan de instructeurs in de workshop werden gepresenteerd, is beperkt. Omdat we geen kans hadden op de tweede workshop en er geen mogelijkheid was voor UI/UX-studies, is besloten het risico te verkleinen dat instructeurs overstelpt zouden worden met complexe parameters. In het geval van het toevoegen van

alle mogelijke parameters en het werken aan UI/UX ernaast, kan het resultaat beter worden.

Realisme

De resultaten laten zien dat de instructeurs over het algemeen tevreden zijn de het realisme van de VR-omgeving. Trainees waren ten aanzien van twee punten wat kritischer dan de instructeurs, namelijk de mate van betrokkenheid die ze ervoeren en de integratie van de controllers. Gemiddeld waren ze niet ontevreden, maar ook niet geheel tevreden. Wat betreft het andere punt, controller integratie, er waren bij de validatiewerkshops inderdaad nog een aantal onvolkomenheden. Soms leek het of de gebruiker in de VR niet helemaal recht achter het stuur zat.



Tabel 8
Resultaten van validatiestudie van simulator

Categorie Item	Instructeurs (n = 5)		Trainees (n = 34)	
	Gemiddelde	St.dev.	Gemiddelde	St.dev.
Aanpasbaarheid (<i>Customizability</i>)				
De VR-omgeving kan worden gebruikt om verschillende werkscenario's te bouwen	3.8	0.83		
Het systeem kan verschillende moeilijkheidsgraden voor een scenario dekken.	3.2	1.09		
De VR-omgeving kan worden gebruikt om mijn wensen en verwachtingen over een VR-training uit te drukken	4	0		
De VR-omgeving kan worden gebruikt om mijn studenten met verschillende vaardigheidsniveaus te beoordelen	3.6	0.54		
Realisme				
Ik voelde me gestimuleerd door de virtuele omgeving	3.8	0.44	2.9	0.81
Ik heb geluiden correct geïdentificeerd in de virtuele omgeving	3.4	0.54	3.2	1.12
De controllers (stuur en joystick) leiden me af van het uitvoeren van toegewezen taken.	4.2	1.17	3.9	1.15
De virtuele omgeving reageerde op de acties die ik inzette.	3.2	0.83	3.7	1.11
De visuele aspecten van de virtuele omgeving spraken mij aan.	3.8	1.3	3.1	0.97
Nut				
De VR-omgeving heeft me geholpen om vertrouwd te raken met taken in een asfalteringsoperatie	3.8	0.44	3	1.08
Werken met de VR-omgeving vermindert de noodzaak van een oefensessie met een echte wals	1.6	0.89	2.1	1.06
De VR-omgeving heeft me bewust gemaakt van de veiligheidsregels	1.8	0.44	2.8	1.14
De VR-omgeving heeft me geholpen me voor te bereiden op toekomstig werk met een echte machine	3.8	0.2	2.7	0.87
De VR-omgeving kan worden gebruikt om de vaardigheden van mijn studenten te beoordelen	3.2	0.83		
De VR-omgeving kan worden gebruikt om gebieden te identificeren waarop moet worden gefocust voor verbetering	3.6	0.54		
Ik raad mijn collega's aan om deze VR-omgeving voor onderwijs te gebruiken	4	0.7		
De VR-omgeving kan een aanvulling zijn op het theoretische of praktische onderwijs.	4	0.7		
Usability				
Ik dacht dat de scenariobouwer gemakkelijk te gebruiken was	4	0		
Ik moest veel dingen leren voordat ik aan de slag kon met deze scenariobouwer	3.4	0.8		
Ik heb er alle vertrouwen in om de scenariobouwer te gebruiken	3.8	0.44		
Ik denk dat ik dit systeem vaak zou willen gebruiken	3.4	0.54	2.6	1.04
Ik vond de visuals in de VR-omgeving duidelijk	3.4	0.89	2.56	0.79
Ik vond de controllers (stuur, joystick) in deze VR-omgeving goed geïntegreerd	3.8	0.44	2.58	1.04
Ik denk dat ik de steun van een technisch persoon nodig heb om dit systeem te kunnen gebruiken	3.6	0.49	3.5	1.30
Ik heb er alle vertrouwen in om de VR-omgeving te gebruiken	3.8	0.44	3.3	0.66



Realisme (vervolg)

Belangrijkste punt van kritiek van instructeurs betreft de grafische weergave van het asfalt. Met elke walsgang, dus met elke keer dat de wals over het asfalt rijdt, verandert de dichtheid en de structuur van het asfalt en verandert ook het uiterlijk van het oppervlak. In echte werksituaties, is deze visuele informatie, het uiterlijk van het walsoppervlak essentieel in de besluitvorming van de walsmachinist over de vraag of meer verdichting nodig is of niet. Het was dus van cruciaal belang dat in de VR-training, het walsoppervlak zo realistisch mogelijk was en dat met elke walsgang in de VR, het walsoppervlak mee zou veranderen op een zo natuurgetrouw mogelijke wijze. (Later zou blijken dat dat uiterst complex was om dat niveau in een virtuele weergave te bereiken. Er is heel veel tijd en energie geïnvesteerd, maar uiteindelijk werd een niveau bereikt dat waarvan de instructeurs aangaven dat het voldoende realistisch was.)

Nut

Instructeurs waren redelijk positief over de mate waarin de VR-omgeving volgens hen helpt om vertrouwd te raken met taken in een asfalteringsoperatie. Trainees waren daar iets terughoudender in. Zij waren gemiddeld gezien neutraal (niet positief, niet negatief). Over de vraag of de VR-omgeving de noodzaak van een oefensessie met een echte wals vermindert, waren trainees en instructeurs negatief, met de instructeurs meer uitgesproken negatief. Wellicht ten overvloede, het doel van de VR-training is niet om oefensessies met echte walsen overbodig te maken. Dit is een terugkerend thema geweest in de gesprekken met instructeurs tijdens het project (maar ook daarbuiten in andere domeinen en werkvelden). Instructeurs blijven benadrukken dat de zintuiglijke waarneming op echte walsen

onontbeerlijk blijft, het voelen waar de wals heen gaat, de trillingen, hoe het voelt om over asfalt van verschillende dichtheden te rijden, de geur van het asfalt, het aanzien van het asfalt onder verschillende lichtvallen, enz.) Dit kan (voorlopig) niet met VR overgebracht worden, maar dat is niet het doel. We zijn dat punt dus eens met de instructeurs (en trainees) en zien het dus niet als fout in de software dat die aspecten niet expliciet aan bod komen.

Veiligheidsbewustzijn richt zich vooral op de mate waarin de gebruikers ervaren dat ze zich meer bewust worden van het veiligheidsaspect en de mate waarin ze denken dat de VR hen voorbereidt op toekomstig werk met echte machines. Over het eerste aspect (veiligheidsbewustzijn) zijn instructeurs niet overtuigd. De mate waarin ze van mening zijn dat de applicatie voorbereid op het "echte" werk is wel positief. Trainees houden zich wat meer op de vlakte. Zij zijn neutraal tot licht negatief over beide punten.

Over de bruikbaarheid van de applicatie voor het beoordelen van vaardigheden van studenten, het identificeren van verbeterpunten, het vormen van een aanvulling op theorie- en praktijklessen en de vraag of de instructeurs hun collega's deze VR-training aan zouden raken, waren de instructeurs gematigd positief tot positief.

Usability

De instructeurs waren positief over het gebruiksgemak van de Scenario Builder en hadden zelfvertrouwen ten aanzien van hun gebruik van de Scenario Builder. Over het algemeen hadden ze niet het idee dat ze veel moesten leren om ermee te kunnen werken.



Bij dit onderdeel werden instructeurs en trainees bevraagd ten aanzien van betrokkenheid (engagement), duidelijkheid van beelden, integratie van controllers, gebruiksgemak en zelfredzaamheid. Het beeld dat naar voren kwam uit de data was niet altijd eenduidig.

Instructeurs waren gematigd positief over de vraag of ze dit systeem vaak zouden willen gebruiken. Trainees waren daar gematigd negatief over. Ten aanzien van de visuals in de VR-omgeving, waren instructeurs gematigd positief over de duidelijkheid, trainees waren hier opnieuw gematigd negatief. Ook bij de integratie van de controllers (stuur, joystick) in de VR-omgeving kwam dit beeld naar voren. Het klopt trouwens dat de integratie van controllers ten tijde van de workshops redelijk was, maar nog niet perfect. Zowel instructeurs als trainees waren gematigd positief dat zij het systeem zonder technische ondersteuning zouden kunnen gebruiken. Tot slot waren trainees licht positief en instructeurs positief over de vraag of ze er vertrouwen in hadden om de VR-omgeving te gebruiken.

Validatie-studie 2: Operators

Door operators kan de simulator worden gebruikt als virtueel prototype-platform om in een veilige omgeving te experimenteren met nieuwe technologische ideeën. Om de geschiktheid van de simulator voor dit doel te beoordelen, werden verscheidene workshopsessies gehouden. In totaal namen 50 operators aan deze validatie deel. Figuur 7 toont enkele voorbeelden van workshops.

Aan het begin van elke workshop werden de deelnemers door middel van een presentatie vertrouwd gemaakt met de simulator.

Figuur 7

Validatie workshops



Later kreeg de groep een tutorial over de bediening van de simulator. Dit werd gedaan om het effect van onbekendheid met de simulator op de validatieresultaten te verminderen. Vervolgens voerden de deelnemers een verdichtingsoperatie uit op een snelwegtraject. In dit scenario was er een tweede AI-gestuurde wals. De deelnemers werd gevraagd twee keer over de asfaltlaag te gaan binnen het temperatuurvenster van [80-120 °C]. Zij kregen de instructie om alle drie de ondersteuningsmodi te gebruiken om ze te kunnen vergelijken. Aan het eind van de sessie kreeg elke deelnemer de in tabel 6 opgenomen vragenlijst om het nut van de simulator voor het doel van de technologiebeoordeling te beoordelen. Er zij op



gewezen dat de deelnemers in dezelfde validatiesessies werd gevraagd de bruikbaarheid van elke ondersteuningsmodus systematisch te vergelijken en te contrasteren. De vragenlijst werd ingevuld met behulp van 5-punts schalen, variërend van (1) helemaal oneens, (2) oneens, (3) neutraal, (4) eens, (5) helemaal eens. De criteria en items worden hieronder gepresenteerd in Tabel 9.

Resultaten

In Figuur 8 worden de uitkomsten van deze validatiesessie gepresenteerd. Zoals aangegeven in deze figuur scoorden de deelnemers de adequaatheid van het gebruik van de simulator als VP-platform. Ze zijn dus gematigd positief over de vraag of de simulator nuttig is voor het

vergelijken en contrasteren van verschillende technologische oplossingen in een veilige omgeving. Niettemin vonden de respondenten dat de simulator baat zou kunnen hebben bij een realistischer besturing en geluid. Dit wordt verder gestaafd door de relatief lage score op het grafisch/fysisch realisme van de simulator (2,84). Hierbij moet worden opgemerkt dat er in deze versie onvolkomenheden waren in het besturingsmechanisme en de audiokwaliteit van de simulator. Ook bleek het in de simulator gebruikte 3D-model van de wals niet erg nauwkeurig. Hierdoor scoorden veel deelnemers het realisme van de simulator lager. Na afloop van deze sessie zijn aanpassingen gedaan om deze onvolkomenheden te ondervangen.

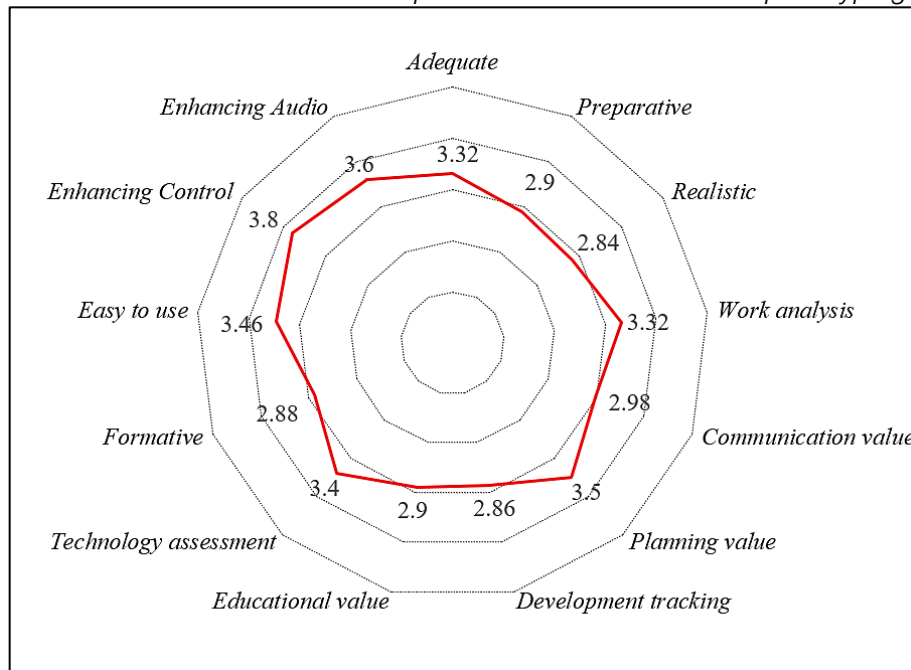
Tabel 9

Criteria en items vragenlijst operators VR voor virtual prototyping

Criterion	Item
Adequaat (<i>Adequate</i>)	VR is een geschikt medium om verschillende oplossingen voor operatorondersteuning te evalueren/vergelijken
Vorbereidend (<i>Preparative</i>)	VR helpt u zich voor te bereiden op toekomstig werk met de echte machine
Realisme (<i>Realistic</i>)	VR geeft de scène en de uitrusting op een realistische manier weer
Werk analyse (<i>Work analysis</i>)	VR kan worden gebruikt om verschillende werksenario's te verkennen en te evalueren
Communicatieve waarde (<i>Communication value</i>)	VR kan worden gebruikt om uw wensen, verwachtingen en suggesties over oplossingen voor bedienersondersteuning kenbaar te maken
Planning waarde (<i>Planning value</i>)	VR kan worden gebruikt om uw verdichtingsstrategie te testen vóór de eigenlijke projecten.
Meten vooruitgang (<i>Development tracking</i>)	VR kan worden gebruikt om uw vaardigheden en vooruitgang te beoordelen (als opleidingsinstrument)
Opleidingswaarde (<i>Education value</i>)	U raadt uw collega's aan het VR-platform te gebruiken voor opleiding
Beoordeling technologie (<i>Technology assessment</i>)	U beveelt het gebruik van het VR-platform aan voor de evaluatie van nieuwe technologieën
Feedback (<i>Formative</i>)	Het VR-platform geeft voldoende feedback over je prestaties
Gebruiksgemak (<i>Easy to use</i>)	Het gebruik van alle bedieningselementen (stuur, pedalen en knoppen) is gemakkelijk
Toegevoegde waarde VR (<i>Enhancing Control</i>)	Het VR-platform kan realistischer worden met behulp van extra joysticks & VR-brillen.
Toegevoegde waarde audio verbetering (<i>Enhancing Audio</i>)	Het VR-platform kan realistischer worden met behulp van extra geluidsbegeleiding



Figuur 8
Resultaten validatie-onderzoek operators nut VR voor virtual prototyping



Daarnaast suggereren de resultaten dat deelnemers de simulator ook zien als een sterk platform voor het onderzoeken van verschillende verdichtingsstrategieën voorafgaand aan daadwerkelijke operaties, waarvoor een score van 3,5 wordt gegeven. De resultaten van deze validiteitsstudie zijn veelbelovend en suggereren dat het geïmplementeerde prototype goed aan de eisen voldoet.

Validatie-studie 3: Planners

Een belangrijk aspect voor de training van (toekomstige) walsmachinisten is dat zij leren vooruitzien, niet alleen ten aanzien van de directe uitvoering van de operatie, maar ook op het vlak van planning en logistiek. Om dat doel te bereiken is het noodzakelijk dat echte bouwgegevens gebruikt kunnen worden om context-realistische scenario's te ontwikkelen.

Dit is het geval bij onze simulator, maar de vraag is of dit valide genoeg is voor realistische planningsvraagstukken, -praktijken en -strategieën. Om dit vast stellen is een validatiestudie uitgevoerd waarbij drie ervaren planners betrokken waren. De vraag die voorlag was onze simulator gebruikt zou kunnen worden ter ondersteuning van de planning en evaluatie van wegebouw. De redenering hierachter was dat als ervaren planners dat inderdaad bevestigen, dan zijn de operationale, tactische en strategische aspecten voldoende aanwezig en wordt voldoende recht gedaan aan de inhoud en complexiteit van asfalteringsoperaties.

De studie begon met een presentatie van het raamwerk en het prototype. Vervolgens werd via een open discussie met de planners het nut van het planningsinstrument onderzocht.



Tabel 10
Categorieën, criteria en items vragenlijst planners

Categorie	Criterium	Item
Gebbruiksvriendelijkheid (<i>User friendliness</i>)	Gebbruiksgemak	Hoe gemakkelijk is het geïntegreerde model te gebruiken?
Nut (<i>Usefulness</i>)	Uitgebreidheid	Hoe nuttig is het om het hele proces te simuleren (transport, bestrating, verdichting)?
	Visualisatie	Hoe nuttig is het om de strategie te visualiseren in een virtuele realiteitsomgeving?
	Feedback	Hoe nuttig is het om operationele kwaliteitsfeedback te ontvangen?
	Standardisatie	Hoe nuttig is het geïntegreerde model om de huidige planningspraktijken te standaardiseren?
Veelzijdigheid (<i>Versatility</i>)	Veelzijdigheid	Hoe nuttig is het geïntegreerde model om verschillende planningsstrategieën te beoordelen?
Awareness	Awareness	Hoe nuttig is het geïntegreerde model om de gevolgen van verdichtingsstrategieën voor de operationele kwaliteit beter te laten zien?
Teamwork	Teamwork	Hoe nuttig is het geïntegreerde model om de coördinatie en samenwerking te verbeteren?

Ten slotte werd de deskundigen gevraagd de in Tabel 10 opgenomen vragenlijst in te vullen om na te denken over de bruikbaarheid van het instrument.

Tabel 11 bevat de resultaten van deze validatiestudie. In het algemeen werd de simulator als planningsinstrument zeer goed gewaardeerd. De planners benadrukten vooral het nut van het instrument om de besluitvormers en planners bewust te maken van de gevolgen van hun beslissing die verder gaan dan wat momenteel haalbaar is in conventionele planningspraktijken. Het instrument werd ook zeer nuttig geacht voor het geven van kwaliteitsgerelateerde feedback aan de planners en voor het vergelijken en

contrasteren van verschillende verdichtingsstrategieën. Het vermogen van het planningsinstrument om de samenwerking tussen verschillende planningsniveaus (d.w.z. tactische en strategische planning) te bevorderen, kreeg een lagere score dan andere criteria.

Om het effect van het gebruik van het instrument op de verbetering van de huidige planningspraktijken verder uit te werken, werd de planners gevraagd dezelfde vragenlijst in te vullen, maar nu voor de conventionele planningsmethoden op papier. Figuur 9 toont het resultaat van deze vergelijking

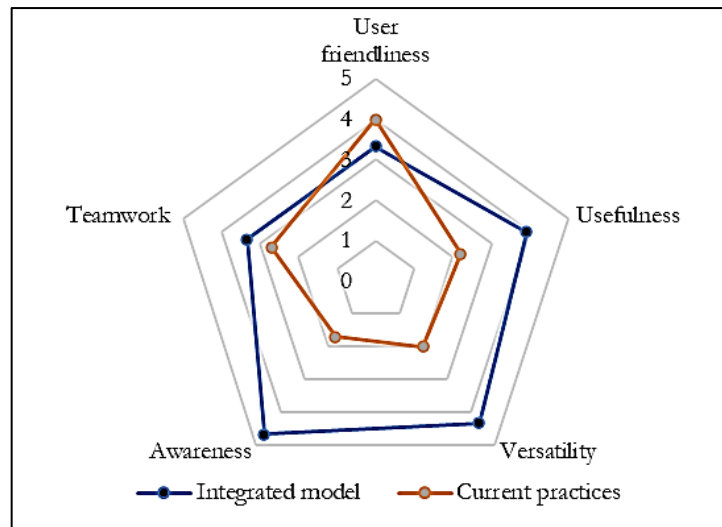
Tabel 11
Resultaten vragenlijst planners

Categorie	Criterium	Gemiddelde	St.dev.
Gebbruiksvriendelijkheid (<i>User friendliness</i>)	Gebbruiksgemak	3.3	0.94
Nut (<i>Usefulness</i>)	Uitgebreidheid	4	0
	Visualisatie	4	0
	Feedback	4.33	0.47
	Standardisatie	3.33	0.94
Veelzijdigheid (<i>Versatility</i>)	Veelzijdigheid	4.33	0.47
Awareness	Awareness	4.67	0.47
Teamwork	Teamwork	3.33	0.47



Figuur 9

Vergelijking simulatie als planningsinstrument met conventionele planningsmethoden (Revollo, 2021)



Zoals uit Figuur 9 blijkt, scoorde het voorgestelde planningsinstrument veel beter in alle categorieën behalve gebruiksvriendelijkheid. De planners vonden vooral de navigatie door de VR-simulator een beetje overweldigend. Hoewel op een indirecte manier, tonen de resultaten van deze validatie-studie aan dat het mogelijk is echte/simulatieve gegevens in de simulator te gebruiken voor projectplanning en/of -evaluatie.

Validatie-studie 4: Acceptatie door gebruikers (studenten en professionals)

Tot slot is er een validatie-studie verricht naar de mate van *Technology Acceptance* onder de beoogde gebruikers (studenten en professionals). *Technology Acceptance* is een construct dat weergeeft in welke mate een vorm van technologie geaccepteerd wordt als bruikbaar. *Technology acceptance* wordt veelal

in kaart gebracht door middel van het Unified Theory of Acceptance and Use of Technology (UTAUT) model (Venkatesh et al., 2003). Het doel van dit model is om op basis van de percepties van de gebruikergroepen te voorspellen in welke mate zij een bepaalde technologie, in dit geval de VR-training, zullen omarmen. Als mensen deze technologie omarmen, betekent dat dat zijn van plan zijn deze te gaan of te blijven gebruiken. *Technology Acceptance* is dus belangrijk voor een succesvolle implementatie van een technologie. Deze voorspelling wordt gedaan aan de hand van vijf factoren die met behulp van 17 items gemeten worden:

- **Verwacht nut** geeft aan in welke mate de gebruiker denkt diens werkprestaties te kunnen verbeteren middels de technologie (4 items)
- **Verwachte kosten** geeft aan in welke mate iemand denkt de technologie



gemakkelijk te kunnen gebruiken (4 items)

- **Benodigheden** geeft aan in welke mate de gebruiker gelooft dat er een organisatorische en technische infrastructuur bestaat binnen de organisatie om de technologie te gebruiken (3 items)
- **Sociale invloed** is de mate waarin iemand belang hecht aan de mening van anderen in diens omgeving over het gebruik van de technologie (4 items)
- **Gebruiksintentie** geeft weer in welke mate de gebruiker van plan is de technologie nogmaals te gebruiken (2 items)

Naar mate mensen verwachten dat het nut groter is, de verwachte kosten lager, alle benodigheden aanwezig zijn en ook de directe omgeving van de gebruiker positief staat tegenover de technologie, des te groter zal de kans zijn dat mensen de technologie willen gaan gebruiken.

Deelnemers

Voor dit onderzoek is gebruik gemaakt van twee groepen deelnemers uit de beoogde gebruikersgroepen van de VR-training, namelijk studenten en professionals. Aan het onderzoek namen 28 professionals deel. Ongeveer een derde van deze deelnemers had ervaring als walsmachinist. De overige deelnemers bekleedden een andere functie die betrekking had op het asfalteren. Daarnaast namen 45 studenten van mbo's in de bouw en infra deel aan het onderzoek.

Meetinstrument Technology Acceptance

Het meetinstrument bestaat uit een vragenlijst met 17 stellingen zoals 'Ik vind deze VR training nuttig voor mijn beroep' (Performance expectancy). De deelnemers aan het onderzoek konden door middel van 7-punts Likert schalen aangeven in hoeverre ze het eens waren met de stellingen. De 7-punts schalen liepen van 'volledig mee oneens' tot 'volledig mee eens'.

Nadat de vragenlijst was afgenomen, zijn de betrouwbaarheid en validiteit getoetst. De Cronbach's Alfa bedroeg .91, wat betekent dat de vragenlijst een zeer hoge mate van betrouwbaarheid en interne consistentie heeft. Factor analyse (oblique-rotatie) bevestigde daarna de verwachte factorstructuur grotendeels. (Zie Tabel 12.) Alleen in het geval van benodigheden lijkt er enige overlap met verwachte kosten.

Procedure

Aan het begin van de sessies, kregen de deelnemers een algemene uitleg over de doelen en bediening van de VR. Zij konden daarna plaatsnemen achter een van de beschikbare computers en doorliepen de VR, waarbij de onderzoekers aanwezig waren om vragen te beantwoorden en assistentie te verlenen wanneer dat nodig was. De deelnemers doorliepen daarna twee scenario's: een rotonde en een kruispunt scenario. Van deze scenario's was er bij een sprake van daglicht en regen, en bij de ander was het droog en donker. De deelnemers mochten de simulatie afbreken wanneer zij daar behoefte aan hadden of andere activiteiten wilden gaan doen. Na de simulatie werd de deelnemers gevraagd de Technology Acceptance vragenlijst over de simulatie in te vullen.



Tabel 12
Factorloadingen Technology Acceptance Model items

Categorie Item	Component			
	1	2	3	4
Verwacht nut				
Ik vind deze VR training nuttig voor mijn toekomstige beroep	-,81			
Het gebruik van de VR helpt mij om mijn taken sneller te doen	-,90			
Het gebruik van de VR helpt mij mijn productiviteit te verhogen	-,84			
Het gebruik van de VR verhoogt mijn kansen om dingen te bereiken die belangrijk zijn voor mij	-,91			
Verwachte kosten				
Het is mij duidelijk hoe ik de Simulator moet bedienen		,90		
Ik vind de Simulator makkelijk te gebruiken		1,02		
Het is voor mij makkelijk om de Simulator te leren gebruiken		,90		
Het is voor mij makkelijk om goed te worden in het gebruiken van de Simulator		,61		
Benodigheden				
Ik heb de middelen die ik nodig heb om de Simulator te gebruiken			,85	
Ik heb de kennis die ik nodig heb om de Simulator te gebruiken		,61	,39	
De VR training sluit goed aan bij andere technologie die ik gebruik		,57		
Ik kan hulp krijgen van anderen wanneer ik moeilijkheden ervaar bij het gebruik van de VR training		,40	,41	
Sociale invloed				
Mensen die belangrijk zijn voor mij vinden dat ik de VR training moet gebruiken				,81
Mensen die invloed hebben op mijn gedrag vinden dat ik de VR training moet gebruiken				,93
Mensen wiens mening ik belangrijk vind vinden dat ik de VR training moet gebruiken				,92

Resultaten

Inspectie van de vragenlijst wijst uit dat de deelnemers gemiddeld gezien gematigd positief waren over de simulator, en dat er veel variatie bestond in de mate waarin de technologie acceptabel werd bevonden (zie Tabel 13). Opvallend hierbij is dat met name de items die draaien om het voornemen de simulator nogmaals te gebruiken relatief hoog gescoord werden. Echter, items die betrekking hadden op gebruikersgemak werden onder het theoretisch

gemiddelde gescoord, wat aangeeft dat een betrekkelijk groot deel van de deelnemers moeite had met de bediening van de simulator. Dit gegeven wordt gesteund door de observatie van de onderzoekers dat er relatief veel ondersteuning geboden moest worden met betrekking tot het bedienen van de virtuele wals.



Tabel 13
Gemiddelden en standaarddeviaties leeftijd en Technology Acceptance scores operators en mbo-studenten

	Operators (n=28)		Mbo-studenten (n=45)	
	M	SD	M	SD
Leeftijd	46,08	13,26	16,91	0,51
Verwacht nut	4,16	1,67	4,28	1,26
Verwachte kosten	4,04	1,79	3,24	1,58
Benodigdheden	4,02	1,57	3,49	1,36
Sociale invloed	4,96	1,56	4,82	1,61
Gebruiksintentie	5,02	1,75	4,73	1,78

Daarnaast valt op dat er sprake is van een betrekkelijk hoge spreiding, en dat er voor iedere factor zowel aan de onderkant van de schaal als aan de bovenkant van de schaal gescoord is. Deze spreiding geeft aan dat er binnen de groep deelnemers variabiliteit was in de acceptatie van de aangeboden technologie. Verder onderzoek moet uitwijzen welke verdere ontwikkeling en ondersteuning nodig is om ook de deelnemers die laag scoren op deze schalen een aanbod te kunnen geven dat zij zien als een bruikbare bijdrage aan hun vakgebied.

Verschillen tussen operators en studenten ten aanzien van hun Technology Acceptance scores zijn getoets door middel van t-toetsen voor onafhankelijke steekproeven. Er bleken geen significante verschillen. Het verschil ten aanzien van de scores op Verwachte kosten was bijna significant ($t(71) = 1,98$; $p = .05$). Dat lijkt te suggereren dat de studenten mogelijk iets meer moeite hadden met het gebruiken van de Simulator.

Meervoudige regressieanalyse werd gebruikt om te testen in hoeverre gebruiksintentie voorspeld

kon worden op basis van leeftijd, verwacht nut, verwachte kosten, benodigdheden en sociale invloed. De resultaten lieten zien dat twee voorspellers samen 49,3% van de variantie in Gebruiksintentie ($R^2 = .49$; $F(2, 68) = 33,07$; $p < .001$). Er werd gevonden dat Sociale invloed de belangrijkste voorspeller van Gebruiksintentie was ($\beta = .59$; $t(70) = 6,30$; $p < .001$; $sr^2 = .29$). Uit de analyse blijkt 29,2% van de variantie in Gebruiksintentie puur en alleen door Sociale invloed verklaard kan worden. De andere voorspeller van Gebruiksintentie was Verwacht nut ($\beta = .22$; $t(70) = 2,35$; $p < .05$; $sr^2 = .04$). Uit de berekening van de uitgezuiverde bijdrage van Verwacht nut blijkt dat deze variabele 4% bijdraagt aan de voorspelling van de variantie in Gebruiksintentie.

De conclusies van Studie 1 worden besproken in het hoofdstuk [DISCUSSIE EN CONCLUSIES](#) in de paragraaf over 'Validering van VR-training in de ogen van werkveld en gebruikers' op pagina 63. Hier gaan we eerst verder met de bespreking van Studie 2 over trainingseffecten en normering.



Studie 2: Trainingseffecten en normering

Studie 2 draait om normering van de training, en het beknopt onderzoeken van trainingseffecten. Deze studie beoogt een antwoord te geven op onderzoeksvraag 2:

Wat zijn de effecten of “gains” van de VR-training met betrekking tot situationeel bewustzijn voor verschillende groepen (leken, studenten, professionals) en hoe verhouden zij zich tot elkaar?

Voor dit doel zullen de SA-scores van verschillende doelgroepen en onder verschillende condities gemeten . Op basis

hiervan wordt een normering vastgesteld aan de hand waarvan SA-prestaties geïnterpreteerd en vergeleken kunnen worden. Hieronder worden eerst de SA-metingen besproken bij verschillende doelgroepen (leken, 1^e jaars mbo-studenten, 3^e jaars mbo-studenten; operators) en variaties binnen enkele groepen, namelijk het effect van een standaardscenario (walsen bij daglicht) dan wel een moeilijk scenario (walsen in het donker); het effect van herhaalde sessies; of het wel of niet werken onder tijdsdruk (zie ook Tabel 14 voor een overzicht). Daarna worden deze uitkomsten met elkaar vergeleken.

Tabel 14

Overzicht groepen en condities (benchmarkconditie is dikgedrukt)

Groep	Scenario		Aantal sessies		Tijdsdruk		Debriefing		
	Standaard (Daglicht)	Moeilijk (Donker)	1	4	Nee	Ja	Nee	Ja, zonder video	Ja, met video
Leken	X		X		X		X		
Mbo leerjaar 1	X		X		X		X		
Mbo leerjaar 1	X		X		X		X		
Mbo leerjaar 1		X	X		X		X		
Mbo leerjaar 1	X			X	X		X		
Mbo leerjaar 1	X			X	X			X	
Mbo leerjaar 1	X			X	X				X
Mbo leerjaar 3	X		X			X	X		
Mbo leerjaar 3	X		X		X		X		



Methode

Deelnemers en opzet

Leken (Standaard scenario; 1 trainingssessie)

De groep participanten die als leek deelnam aan de studie bestond uit schoolgaande jeugd die deelnam aan een informatiedag over vakopleidingen in de bouw- en infra sector. Negentien jongeren namen deel aan de studie. Zij hadden een gemiddelde leeftijd van 14,26 jaar (SD = 1,10) en 16 van hen waren jongens, 2 meisjes, en 1 deelnemer gaf aan niet binnen deze categorieën te passen. De deelnemers hadden geen aspiratie om walsmachinist te worden ($n = 8$) of wisten nog niet welke richting zij op wilden ($n = 11$). Een van de leerlingen had al eens een wals bestuurd. Uiteindelijk konden de data van 10 deelnemers geanalyseerd worden.

Studenten mbo leerjaar 1 (Standaard scenario; 1 trainingssessie)

Deze populatie wordt als benchmark gezien bij de vergelijkingen met de andere doelgroepen. Deze studenten zijn de beoogde doelgroep van de training. Hun scores zullen worden vergeleken met leken, hogere jaars-studenten en professionals, om op die manier hun ingangsniveau en de leereffecten te kunnen meten en deze af te kunnen zetten tegen de andere doelgroepen. Om een zo goed mogelijk beeld te krijgen van deze populatie, zijn verschillende dataverzamelingen rondes georganiseerd.

Aan de eerste dataverzamelingsronde deden 47 mannelijke leerlingen van drie verschillende mbo's mee. De deelnemers volgden een opleiding Machinist Grondverzet of een opleiding Machinist GGW. Net als de leken, doorliepen deze deelnemers een standaardscenario.

Een tweede dataverzamelingsronde vond plaats bij 40 leerlingen van één school die in het eerste en tweede jaar van de opleiding wegebouw zaten. Deze deelnemers doorliepen een standaard scenario.

Studenten mbo leerjaar 1 (Moeilijk scenario; 1 trainingssessie)

Dezelfde 40 deelnemers doorliepen naast een standaard scenario ook een ander scenario dat meer complex was. Daarbij was ook de vraag of complexiteit van het scenario effect heeft op de SA-scores.

Studenten mbo leerjaar 1 (Standaard scenario's; 4 trainingssessies)

Aan deze deelstudie namen 23 mbo-studenten wegebouw deel aan maximaal vier trainingssessies, afhankelijk van de aanwezigheid in de klas. In elke sessie werd een specifiek scenario behandeld: 1) een snelweg bij regenachtig weer, 2) een snelweg bij warm en zonnig weer, 3) een rotonde bij warm en zonnig weer, en 4) een rotonde bij regenachtig weer.

Studenten mbo leerjaar 3 (Standaard scenario; 1 trainingssessie; Geen tijdsdruk)

Aan dit deel onderzoek deden 53 leerlingen van beroepsopleidingen wegebouw mee. De leerlingen zaten in het tweede of derde jaar van hun opleiding. Tijdens de dataverzameling kregen zij, in afwisselende volgorde, twee scenario's om te doorlopen. In een scenario was de omgevingstemperatuur hoog en werd hen verteld dat ze voldoende afstand moesten houden van de asfaltafwerkmachine.



Studenten mbo leerjaar 3 (Standaard scenario; 1 trainingssessie; Wel tijdsdruk)

In het andere scenario was de omgevingstemperatuur laag en werd hen verteld dat ze vooral snel moesten werken en hun afstand tot de asfaltafwerkmachine zo klein mogelijk moesten houden. Op deze wijze werd tijdens de koude conditie tijdsdruk geïntroduceerd. Daarbij was ook de vraag of tijdsdruk effect heeft op de SA-scores.

Operators (professionals)

De deelnemers aan deze deelstudie namen deel aan het onderzoek tijdens een asfaltdag georganiseerd door hun werkgever, en kregen in groepen van tot op tien deelnemers de gelegenheid om de VR uit te testen. Aan het onderzoek deden 52 deskundigen mee. Observaties van de afnames wezen uit dat de simulatie slechts in beperkte mate geschikt was voor deze doelgroep. De meerderheid van de deelnemers bleek na enkele minuten in de VR enige tot vrij sterke mate van cyber-sickness (bijv. duizeligheid, hoofdpijn, misselijkheid) ondervond. Dit was niet eerder op een dergelijke schaal voorgekomen. Tot dan toe hadden vooral studenten de omgeving gebruikt. Bij die doelgroep trad zelden of nooit cyber-sickness op. Als gevolg hiervan zijn er geen SA-data beschikbaar van deze groep.

Het optreden van cyber-sickness kan samenhangen met leeftijd. De professionals (leeftijd 25-64 jaar) waren ouder dan de studenten in ons onderzoek. Bij onderzoek van de gebruikte software en hardware werd een softwarematig probleem vastgesteld met het

“onderstel” van de virtuele wals. De studenten in ons onderzoek reden over het algemeen langzaam en behoedzaam met de virtuele wals. De professionals daarentegen waren vlotter en minder voorzichtig. Het probleem met het onderstel manifesteerde zich vooral bij vlot rijgedrag waarbij de wals “deinend” gedrag ging vertonen. Dus mogelijk hebben leeftijd, rijgedrag of de combinatie van de twee geleid tot het optreden van cyber-sickness.

Hierop is besloten de software te herzien. Uiteindelijk bleken de problemen met de software van dien aard, dat de simulator helemaal opnieuw gebouwd moest worden. Dat had wel als voordeel dat de simulator nu niet alleen compatibel is met het Oculus-platform, maar ook met andere VR-platforms (o.a. Steam) en dus ook VR-sets van andere merken (o.a. HTC, HP en Valve) gebruikt kunnen worden.

Instrumenten

De SA van de deelnemers werd gemeten met een bestaande vragenlijst, ontwikkeld voor lopend onderzoek. Deze is gebaseerd op de Situation Awareness Global Assessment Technique (SAGAT) van Endsley (1988). De vragenlijst bestaat uit twaalf vragen, vier op elk niveau van SA: perceptie, begrip en projectie. (Voor enkele voorbeelden, zie Figuur 10.) Alle vragen zijn gesloten en konden worden beantwoord door een van de drie of vier meerkeuzeopties te kiezen. De deelnemers konden deze vragen onmiddellijk na de simulatie beantwoorden. Alle vragen hadden slechts één juist antwoord.



Figuur 10

Voorbeelden van verschillende typen SA-items: (a) perceptie; (b) begrip; (c) projectie

Waar is de eerste wals nu? Klik op de juiste plek op de kaart.

- a) Plek 1
- b) Plek 2
- c) Plek 3
- d) Plek 4

(a) perceptie

Welke invloed heeft het weer waarbij je aan het werk bent?

- a) Vanwege het weer hoef ik niet erg dicht bij de asfaltwafwerkmachine te blijven.
- b) Vanwege het weer moet ik zeer grote afstand tot de asfaltwafwerkmachine houden.
- c) Vanwege het weer moet ik iets dichterbij de asfaltwafwerkmachine blijven dan wanneer het weer beter is of wanneer het lichter is.

(b) begrip

Voorzie je dat je je walsstrategie moet aanpassen?

- a) Nee
- b) Ja, ik voorzie veranderingen in het weer
- c) Ja, ik voorzie tijdelijke veranderingen in de taakverdeling
- d) Ja, ik voorzie veranderingen in de aanwezigheid van materialen

(c) projectie

Procedure

Voordat de experimenten begonnen, legde de onderzoeker de studie globaal uit aan alle deelnemers en deelde actieve toestemmingsformulieren uit, waarin de studie verder werd uitgelegd. Daarna kregen de deelnemers de gelegenheid een informed consentformulier te tekenen. Als er geen vragen waren, kwamen de eerste deelnemer(s) naar de testruimte (één deelnemer per teststation). Elke deelnemer nam plaats achter een teststation, dat een laptop bevatte met een VR head-mounted display, stuur en joystick. Ze overhandigden hun ondertekende toestemmingsformulier en kregen een korte, meer specifieke uitleg over wat er ging gebeuren tijdens het onderzoek.

Na de voorbereidingen kon de deelnemer beginnen op de laptop, waar de VR asfalt training applicatie werd gestart door de onderzoeker. Tijdens de training moesten de deelnemers een vooraf gespecificeerde walstaak uitvoeren. Ze konden hun hoofd bewegen om rond te kijken in de 360° omgeving, sturen met een stuur en gas geven en remmen met een joystick. Het stuur en de joystick waren ook verbonden met de laptop. Elke deelnemer doorliep de VR asfalt trainingstoepassing als volgt:

- 1) De deelnemer typte zijn/haar gebruikersnaam en opgegeven id-nummer in.
- 2) Er werd wat basisinformatie over het experiment gegeven via een audiofragment.



- 3) Hun opdracht werd uitgelegd in een virtueel werkoverleg. Ze konden op acht vragen klikken om stukjes informatie over hun opdracht te krijgen.
- 4) Om er zeker van te zijn dat alle deelnemers hun opdracht begrepen, werden vier meerkeuzevragen gesteld over de uitleg. Bijvoorbeeld: Met welke perscontainer rijdt u vandaag?, met als antwoordopties: eerste, tweede of derde. Meteen nadat zij een optie hadden gekozen, toonde de laptop het juiste antwoord door het groen te maken.
- 5) Na afloop liet de laptop zien hoe de deelnemers het stuur en de joystick konden gebruiken om de perscontainer te besturen.
- 6) De simulatie zelf begon en de deelnemers konden de VR head-mounts opzetten onder begeleiding van de onderzoekers. Ze doorliepen de hele virtuele asfalttraining totdat de applicatie aangaf dat de simulatie was afgelopen.

- 7) Ten slotte vulden zij op de laptop de SA-vragenlijst in.

Een sessie met 1 scenario, inclusief de uitleg, het virtuele werkoverleg, het uitvoeren van de walstaak en het beantwoorden van de SA-vragen duurde ongeveer vijftien tot twintig minuten per deelnemer. De onderzoekers waren voortdurend aanwezig om vragen te beantwoorden en assistentie te verlenen wanneer dat nodig was. De deelnemers mochten de simulatie afbreken wanneer zij daar behoefte aan hadden of andere activiteiten wilden gaan doen. Na de simulatie werd de deelnemers gevraagd een vragenlijst over de simulatie in te vullen.

Resultaten

De resultaten in termen van de behaalde SA-scores van de verschillende doelgroepen zijn weergegeven in Tabel 15

Tabel 15

SA-scores per groep/deelstudie (max. haalbare score = 12). (Benchmark is dikgedrukt.)

Groep/Deelstudie	<i>n</i>	<i>Gemiddelde</i>	<i>St.dev.</i>
Leken (Standaard scenario; 1 sessie)	10	5.20	2.10
Mbo leerjaar 1 (Standaard scenario; 1 sessie) (Midden-NL)	40	6.70	1.87
Mbo leerjaar 1 (Standaard scenario; 1 sessie) (Zuid- en West-NL)	47	6.20	2.00
Mbo leerjaar 1 (Moeilijk scenario; 1 sessie)	40	5.33	1.53
Mbo leerjaar 1 (Standaard scenario; 4 sessies) Sessie 1	21	6.10	1.41
Mbo leerjaar 1 (Standaard scenario; 4 sessies) Sessie 2	23	8.00	1.38
Mbo leerjaar 1 (Standaard scenario; 4 sessies) Sessie 3	18	8.28	1.49
Mbo leerjaar 1 (Standaard scenario; 4 sessies) Sessie 4	18	8.06	1.39
Mbo leerjaar 3 (Standaard scenario; 1 sessie ; Geen tijdsdruk)	53	9.30	1.58
Mbo leerjaar 3 (Standaard scenario; 1 sessie; Tijdsdruk)	53	9.85	1.35



In de normering nemen we de 40 studenten mbo leerjaar 1 (Standaard scenario; 1 trainingssessie) als uitgangspunt. De studenten uit deze populatie zijn de belangrijkste doelgroep in dit project. De studenten in deze steekproef waren afkomstig van een mbo in Midden-Nederland. Om te controleren of hun scores representatief zijn voor mbo leerjaar 1-studenten, zijn hun scores vergeleken met die van 47 mbo leerjaar 1-studenten van 3 mbo-instellingen uit Zuid- en West Nederland. De scores van deze groepen zijn vergeleken met behulp van een Welch T-toets. Deze toets stelt minder hoge eisen aan gelijke steekproefgroottes en varianties. Uit de toets bleek dat beide groepen niet significant verschilden van elkaar, $t(84.22) = 1.20$; $p = .23$. We nemen dus aan dat de steekproef uit Midden-Nederland representatief is voor populatie studenten mbo leerjaar 1 in de infrasector. We noemen deze groep vanaf nu de **benchmarkgroep**. Hieronder zullen vergelijkingen gemaakt worden tussen de benchmarkgroep en andere groepen. Bij de volgende vergelijkingen gaat het telkens om groepen die 1 trainingssessie doorlopen hadden en waarbij sprake was van een standaard walsscenario.

Om een beter zicht te krijgen op hoe de SA-prestaties van deze benchmarkgroep zich verhouden tot **leken**, zijn de scores van de benchmarkgroep vergeleken met die van schoolgaande jeugd die deelnam aan een informatiedag over vakopleidingen in de bouw- en infra sector. Uit de Welch T-toets kwam naar voren dat de SA-prestaties niet significant van elkaar verschilden, $t(12.81) = 2.06$; $p = .06$. We stellen dus vast dat de benchmarkgroep en leken op een vergelijkbaar niveau presteren. De benchmarkgroep heeft op dit punt dus nog geen noemenswaardige kennis en vaardigheden op het gebied van walsoperaties.

De volgende stap is om vast te stellen hoe de prestaties van de benchmark groep zich dan verhouden tot die van **Mbo leerjaar 3-studenten**. Die studenten zijn al verder in hun opleiding en zouden daardoor wel over kennis en vaardigheden op het gebied van walsoperaties moeten beschikken. De Welch T-toets liet hier zien dat die groep inderdaad beschikt over een significant hoger prestatieniveau ten aanzien van SA, $t(75.84) = -7.09$; $p < .00001$. De effectgrootte, Cohen's $d = 1.52$, toonde dat er sprake is van een zeer sterk effect. Dus inderdaad, mbo-3 studenten scoren veel beter op SA.

Dit roept de vraag op of het vaker doorlopen van de training door de benchmarkgroep helpt om beter te worden in SA. Om daar zicht op te krijgen worden hun data vergeleken met een andere groep mbo leerjaar 1-studenten, die **4 trainingssessies (i.p.v. 1 sessie)** met standaard walsscenario's doorlopen hadden. Na de eerste sessie was die groep vergelijkbaar met de benchmarkgroep, want op dit punt hadden ze beide 1 trainingssessie gehad met een standaard scenario. De Welch T-toets op de SA-scores bij de eerste trainingssessie bevestigde dat beide groepen vergelijkbaar presteerden, $t(51.48) = 1.41$; $p = .16$. Echter, bij de groep die 4 trainingssessies kreeg, liet de analyse zien dat ze bij de 2^e trainingssessie een grote en significante vooruitgang hadden geboekt, $t(41.45) = -4.51$; $p < .0001$. De effectgrootte, Cohen's $d = 1.36$, toonde dat er sprake is van een zeer sterk effect. Ook ten opzichte van de benchmarkgroep bleek dat een sterk en significant effect te zijn, $t(57.08) = -3.15$; $p < .01$, Cohen's $d = 0.76$. In Tabel 15 is ook te zien dat na de tweede trainingssessie, de SA scores niet verder toenemen in derde en vierde trainingssessies. Het vlakt daar af en ook de analyses laten daar geen significante veranderingen meer zien. Een vervolgvraag is



dan of de mbo leerjaar 1 groep na 4 trainingssessies het niveau van studenten mbo leerjaar 3 evenaart. Uit de analyse blijkt dat niet het geval te zijn, $t(33.11) = -3.15; p < .01$, Cohen's $d = 0.81$. De trainingsvoortgang van mbo leerjaar 1 met 4 trainingssessies is heel sterk, maar om op het niveau van mbo leerjaar 3 te komen is meer nodig.

Een onderwerp dat in het onderzoeksvoorstel aangestipt werd en dat betreft het aanbrengen van variaties in taken om taken complexer te maken en daarmee ook het trainen van SA uitdagender te maken. Er worden in het voorstel voorbeelden gegeven van dergelijke variaties, bijvoorbeeld tijdstip (dag of nacht), verkeersdruk (laag of hoog) en tijdsdruk. Naar twee van deze variaties (tijdstip en tijdsdruk) is exploratief onderzoek gedaan. Een groep studenten mbo leerjaar 1 volgde een **moeilijk scenario**, dat wil zeggen, een scenario waar een walstaak in nachtelijke omstandigheden uitgevoerd moest worden. De studenten presteerden hier inderdaad significant minder goed dan de benchmark, $t(75.06) = 3.59; p < .001$, Cohen's $d = 0.80$. Dit is een eerste aanwijzing dat variaties in moeilijkheidsgraad kunnen worden aangebracht en dat dat het trainen van SA makkelijker of moeilijker kan maken. Dit zal in toekomstig onderzoek verder onderzocht moeten worden.

Een andere variatie die onderzocht is betreft een vergelijking tussen SA-scores bij een walstaak die zonder **tijdsdruk** werd uitgevoerd en een walstaak die onder tijdsdruk werd uitgevoerd. Deze studie vond plaats bij mbo leerjaar 3-studenten. In een scenario was de

omgevingstemperatuur hoog en werd studenten verteld dat ze voldoende afstand moesten houden van de asfaltafwerkmachine. In het andere scenario was de omgevingstemperatuur laag en werd studenten verteld dat ze vooral snel moesten werken en hun afstand tot de asfaltafwerkmachine zo klein mogelijk moesten houden. Op deze wijze werd tijdsdruk geïntroduceerd. Uit het onderzoek bleek dat de studenten onder tijdsdruk significant hoger scoorden op SA, $t(52) = 2.292, p < .05$. De effectgrootte Cohen's $d = 0.32$, laat zien dat er sprake is van een klein effect.

De resultaten van het tijdsdruk-onderzoek toonden ook aan dat studenten meer subjectieve stress ervaren in de conditie met tijdsdruk dan in de conditie zonder tijdsdruk. Wanneer het ging om fysiologisch gemeten stress bleek er echter geen verschil te bestaan tussen beide condities. Verschillen in situation awareness leverden een onverwacht resultaat op: hoewel er verschillen waren in situation awareness tussen beide condities, bleek dat de leerlingen onder tijdsdruk hoger presteerden dan wanneer deze tijdsdruk er niet was. Leerlingen hadden ook meer werk verzet in de conditie onder hoge tijdsdruk. Deze aanvullende metingen vallen echter buiten het bestek van dit rapport omdat die variabelen niet aan de orde zijn geweest in het onderzoeksvoorstel.

De conclusies van Studie 2 worden besproken in het hoofdstuk [DISCUSSIE EN CONCLUSIES](#) in de paragraaf over 'Trainingseffecten en normering' op pagina 64. Hier gaan we eerst verder met de bespreking van Studie 3 over debriefing en video-playback.



Studie 3: Debriefing en video-playback

Deze studie richt zich op het beantwoorden van de derde centrale onderzoeksvraag in dit project, namelijk:

Wat zijn de effecten van debriefing op de VR training van situational awareness, en wat zijn de effecten wanneer video playback wordt gebruikt in de debriefing?

In studie 3 namen studenten uit het beroepsonderwijs deel aan drie trainingscondities: training met debriefing en videoweergave, training met debriefing en geen videoweergave, en training zonder debriefing. De deelnemers namen deel aan maximaal vier trainingssessies, afhankelijk van de aanwezigheid in de klas. In elke sessie werd een specifiek scenario behandeld: 1) een snelweg bij regenachtig weer, 2) een snelweg bij warm en zonnig weer, 3) een rotonde bij warm en zonnig weer, en 4) een rotonde bij regenachtig weer.

Methode

Deelnemers

Er deden 55 studenten mbo leerjaar 1 mee aan de studie. Geen van de leerlingen gaf aan expliciet de ambitie te hebben om walsmachinist te worden, al gaven twee leerlingen aan dat ze nog niet wisten of ze dit wilden. De overige 53 leerlingen wilden geen walsmachinist worden. Hoe vaak de leerlingen een wals hadden bestuurd varieerde: 1 leerling had nog nooit een wals bestuurd, 34 hadden dat een enkele keer gedaan, 17 hadden regelmatig een wals bestuurd en 3 hadden dat vaak gedaan.

Het verdelen van studenten over experimentele condities ging op basis van klas-indeling, zodat klassen in hun geheel konden deelnemen aan een enkele conditie en zo in de lessen dezelfde activiteiten konden ondernemen. De begeleidende docent werkte in alle drie condities, zodat een docent-effect zo veel mogelijk is uitgesloten. Via deze procedure werden 26 studenten ingedeeld in de groep zonder debriefing, 14 in de groep met debriefing zonder video en 15 in de groep met debriefing met video. Niet alle studenten konden alle sessies bijwonen, waardoor uiteindelijk data geanalyseerd konden worden van 18 studenten in de groep zonder debriefing, 11 in de groep met debriefing zonder video en 11 in de groep met debriefing met video.

Instrumenten

Net als in Studie 2, werd Situation Awareness gemeten door middel van vragen die in het systeem naar voren komen na afloop van iedere simulatie. De vragen zijn onderverdeeld in 3 niveaus, en de score wordt bepaald door de antwoorden uit de databestanden te halen die opgeslagen worden bij het voltooien van de simulatie. Vragen verschillen tussen de verschillende simulaties daar ze zijn afgestemd op de specifieke simulatie.

Procedure

Voorafgaand aan het onderzoek werden scholen geworven door docenten en schoolleiders persoonlijk te benaderen met betrekking tot deelname. Een school besloot deel te nemen met drie groepen studenten en een docent. Daarop



werden er twee stappen genomen. Ten eerste, werd de docent voorgelicht over het onderzoek, de simulaties en de condities waarin hij zou deelnemen door middel van een workshop waarin gedemonstreerd werd hoe de simulatie in zijn werk gaat. Ook werd de gang van zaken in de klas besproken. Hierbij was het belangrijk om zowel ingangen te geven voor het bespreken van de simulaties als om vrijheden te bespreken ten aanzien van de debriefing sessies. Ook werd benadrukt dat het belangrijk is om de condities strict van elkaar te scheiden. Hierbij werd bij de voorbereiding van elke les op basis van de student activiteiten hulp van de onderzoekers geboden.

Ten tweede werd geïnventariseerd welke ruimte er beschikbaar was voor het oefenen van de studenten. Dit kon een leslokaal zijn wat voor meerdere doeleinden gebruikt wordt of een simulatorlokaal wat alleen voor het onderzoek gebruikt wordt. Er werden afspraken gemaakt over wie er toegang heeft tot de materialen en gezorgd dat er op iedere school minimaal een simulator doorlopend aanwezig en bruikbaar is. Op de computer die hier beschikbaar werd gemaakt stonden de trainingsmaterialen voor de studenten. Ook lag er een handleiding naast de computer.

Bij de start van de dataverzameling werd tijdens de eerste les met de studenten doorgenomen wat er tijdens het onderzoek ging gebeuren. De deelnemers werden op de hoogte gesteld van hun rechten omtrent het staken van deelname, de privacy waarmee gegevens behandeld werden, en ze kregen de gelegenheid om vragen te stellen. Het informed consent formulier werd overhandigd en werd ter plekke ondertekend. Hierop stonden ook enkele vragen over de achtergrond van de participant, om over te kunnen nemen in een databestand. Daarna werd

kort verteld hoe de simulaties werken en wat de deelnemers konden verwachten. Dit werd gedemonstreerd met een voorbeeld simulatie.

De studenten werkten tussen de lessen door zelfstandig aan het doorlopen van de simulaties. In totaal zijn er vijf lessen, met tussen twee lessen door een simulatie, wat in totaal vier simulaties opleverde. In beide debriefing condities werd vanaf de tweede les een scenario nabesproken, waarbij in de video-playback conditie ook een video van de simulatie werd bekeken. De onderzoeker hielp de docent bij het selecteren van een videobestand, om het zo makkelijk mogelijk te maken.

In de **geen-debriefing conditie** werden de studenten herinnerd aan het doorlopen van de scenario's en gecompimenteerd wanneer zij dit gedaan hadden. Hierbij werd er niet inhoudelijk ingegaan op de ervaringen en prestaties van de studenten.

In de **debriefing condities** vonden debriefings plaats tussen trainingssessies, in het lesuur voorafgaand aan een volgende trainingssessie. Leerlingen hebben vier sessies doorlopen. Omdat de derde en vierde sessie in hetzelfde lesuur gepland moesten worden is tussen deze sessies geen debriefing gedaan.

De voorbereiding van de docent bestond uit het analyseren van video-opnames van de VR prestaties en output logs van een of twee leerlingen per sessie. Deze video opnames werden direct gebruikt in de debriefing sessies met video playback, ter illustratie van de feedback die de docent gaf. In de debriefing sessies zonder video playback werd de feedback echter verbaal overgedragen, zonder de ondersteuning van opnames.



Resultaten

De resultaten van de studie ten aanzien van de SA-scores zijn weergegeven in Tabel 16.

Wanneer we met behulp van een repeated measures Anova, met SA-scores over tijd (sessies 1, 2, 3 en 4) als afhankelijke variabele en conditie (Geen debriefing; Debriefing zonder video; Debriefing met video) als onafhankelijke variabele, de data analyseren, dan zien we een significant hoofdeffect van tijd, Wilks' Lambda $F(3, 37) = 12.88, p < .001$, partial $\eta^2 = .63$. Deze laatste maat geeft aan dat het een zeer sterk effect is. De resultaten tonen een sterke stijging

van de SA-scores tussen de eerste en de tweede sessie (zie Figuur 11). Deze stijging is significant, $p < .001$, en na de eerste stijging kan geen verandering meer worden waargenomen. Geconcludeerd moet worden dat de simulator in staat is een relevante hoeveelheid prestatiewinst te faciliteren bij de eerste twee blootstellingen. Verschillen in prestatiewinst tussen trainingsgroepen waren niet significant, hoewel dit resultaat met voorzichtigheid moet worden geïnterpreteerd vanwege de kleine steekproefomvang.

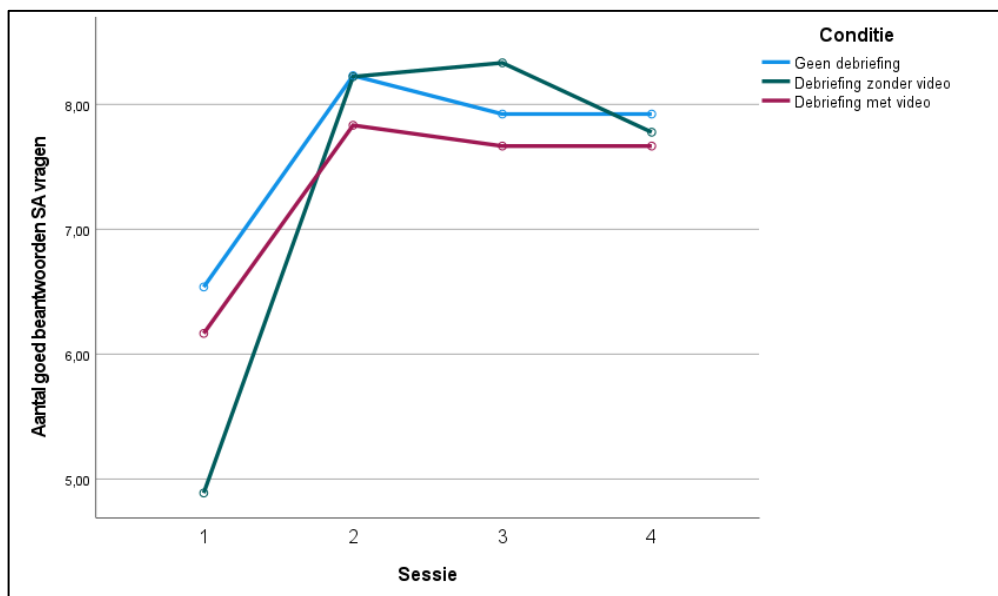
Tabel 16
SA-scores over 4 sessies (debriefing: geen, zonder video of met video)

Sessie	Conditie	Gemiddelde	St.dev.
Sessie 1	Geen debriefing	6,54	1,39
	Debriefing zonder video	4,89	0,93
	Debriefing met video	6,17	0,99
Sessie 2	Geen debriefing	8,23	1,09
	Debriefing zonder video	8,22	1,20
	Debriefing met video	7,83	1,94
Sessie 3	Geen debriefing	7,92	1,26
	Debriefing zonder video	8,33	1,00
	Debriefing met video	7,67	1,63
Sessie 4	Geen debriefing	7,92	1,50
	Debriefing zonder video	7,78	1,20
	Debriefing met video	7,67	1,97



Figuur 11

Ontwikkeling SA-scores over 4 sessies (debriefing: geen, zonder video of met video)



Interactie-effecten die aangeven of de trainingsgroepen verschilden in vooruitgang tussen sessies zijn niet significant. Echter, door het kleine aantal deelnemers is dit waarschijnlijk geen goed criterium. Wanneer we kijken naar effectgrootten, dan zien we dat er een groot verschil zit in vooruitgang tussen de leerlingen in de debriefing conditie zonder video en de twee andere groepen betreft de vooruitgang tussen sessies 1 en 2. Deze leerlingen starten de eerste sessie met lage scores, maar trekken daarna snel bij.

Lesobservaties tijdens de debriefing sessies lieten zien dat de docent op verschillende wijzen inging op situation awareness. Begrip (comprehension) werd bijvoorbeeld behandeld door eerst naar specifieke observaties binnen de simulatie te vragen, en deze vervolgens in de context te interpreteren, zoals geïllustreerd door

de volgende interactie uit een debriefing sessie zonder video playback.

Docent: Weet jij nog wat voor weersomstandigheden wij hadden met die wals?

Leerling: Regenachtig weer.

D: Regenachtig weer! Oké. En omdat we dat nu weten dat het regenachtig weer was de vorige keer, waar moest je dan met de wals rekening mee houden?

L: Dat het asfalt sneller koud werd.

D: Dat het asfalt sneller koud werd. En wat bereiken we dan, als het sneller koud wordt?

L: Een lagere verdichting.

D: Dan krijg je een lagere verdichting ja. En dat moeten we natuurlijk niet hebben.

Een dergelijke verkenning van aspecten van situation awareness gaven vervolgens aanleiding



voor een verkenning van de manieren waarop er binnen de virtuele omgeving gehandeld kon worden, zoals het verminderen van de afstand tot de asfaltafwerkmachine bij lage temperaturen.

In de debriefing sessies met video analyses liet de docent de studenten ook meekijken naar de situatie zoals gepresenteerd in de virtuele omgeving, en startte korte discussies over wat hen opviel, om deze informatie vervolgens in de context te behandelen en te bespreken hoe zij moesten handelen naar aanleiding van de observaties, en waarom. Een voorbeeld hiervan is het behandelen van de controles die uitgevoerd worden voordat het walsen gestart wordt. Deze controles richten zich op bijvoorbeeld aanwezigheid van brandstof en water, maar ook op het controleren van instellingen van de trilfunctie en sproeiers. Samen werd geëvalueerd of de leerling in de video de juiste informatie verzamelde en daarnaar handelde.

Ook feedback op technische aspecten van walsen stond centraal tijdens de debriefing sessies. Zo werd er bijvoorbeeld ingegaan op het versporen; iets wat weinig situation awareness vergt omdat de regels betrekkelijk algemeen toepasbaar zijn, maar wat nog niet op de juiste manier gebeurde in de videos;

D: Wat valt jullie nu op?

L: Hij rijdt op hetzelfde terug.

D: Hij rijdt op hetzelfde terug. Maar wat is nu de standaard regel? [Stilte.] Elke keer als je van rijrichting verandert moet je dus versporen.

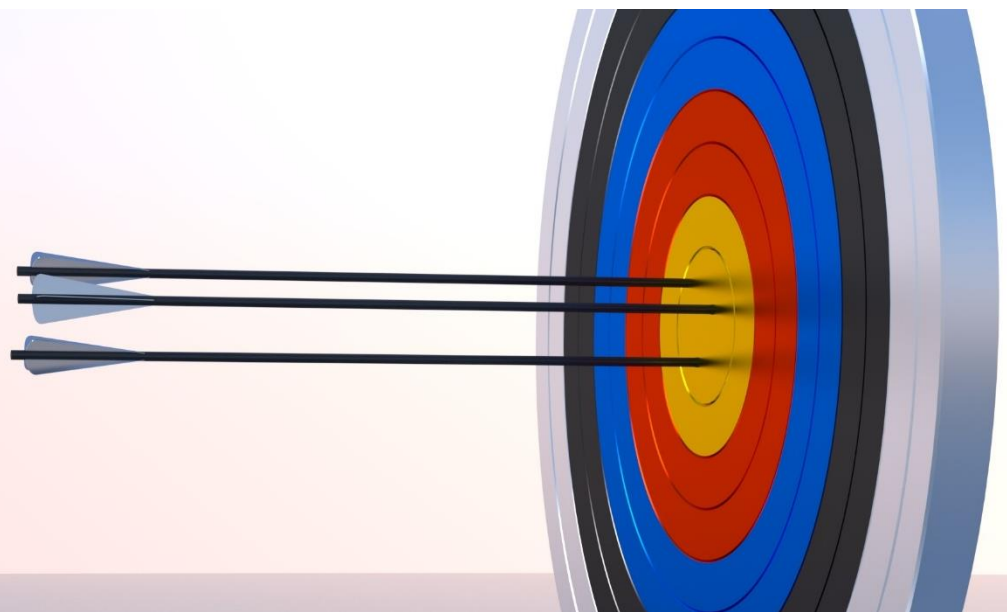
*L: Ja maar dat is nog niet in deze baan toch?
[Mompelt wat.]*

D: Nee, nee, nee. Je moet elke keer als je van rijrichting verandert, moet jeersporen.

Dit voorbeeld illustreert hoe ook aspecten van het walsen die geen betrekking hadden op situation awareness maar wel degelijk van belang zijn voor het walsen met behulp van de video playback toegelicht kunnen worden.

In de debriefing sessies met video playback werden in grote lijnen dezelfde onderdelen behandeld als in de debriefing sessies zonder video playback. Verschillen tussen sessies waren dus niet zozeer inhoudelijk, maar hadden voornamelijk betrekking op de wijze van interactie met leerlingen. In de sessies met video playback vroeg de docent de leerlingen regelmatig om te kijken naar een video en na te denken over of bepaalde handelingen correct waren gegeven de instructies en kenmerken van de virtuele omgeving. Leerlingen kregen hierbij open vragen voorgelegd. Deze mogelijkheid ontbrak tijdens de sessies zonder video playback, en de docent stelde zijn feedback in deze sessies meer op beschrijvingen van wat hij zelf gezien had en korte discussies over wat hij anders wilde zien en de theoretische achtergrond van de feedback die gegeven werd.

De conclusies van Studie 3 worden besproken in het hoofdstuk [DISCUSSIE EN CONCLUSIES](#) in de paragraaf over 'Debriefing en video-playback' op pagina 65.



DISCUSSIE EN CONCLUSIES



DISCUSSIE EN CONCLUSIES

Het Connecting the Dots onderzoek levert een aantal conclusies op voor onderzoek en praktijk wat betreft het gebruik van VR voor het meten en trainen van Situation Awareness (SA). We bespreken deze aan de hand van de drie onderzoeksvragen die centraal stonden in het project, namelijk:

1. In hoeverre bieden de VR-training, de scenario's en de beoordelingen in de ogen van vakdeskundigen (uit onderwijs, wetenschap en het veld) een valide en nauwkeurige weergave van de functiegerelateerde vraagstukken, situaties, en procedures?
2. Wat zijn de VR-trainingseffecten of *gains* met betrekking tot SA voor verschillende groepen (leken, studenten, professionals) en hoe verhouden deze zich tot elkaar?
3. Wat zijn de effecten van debriefing op de VR-training van SA, en wat zijn de effecten wanneer videoweergave wordt gebruikt in de debriefing?

Validering van VR-training in de ogen van werkveld en gebruikers

Om antwoord te geven op de eerste onderzoeksvraag zijn een viertal validatiestudies uitgevoerd. De resultaten van de eerste validatiestudie laten zien dat instructeurs over het algemeen tevreden zijn de het realisme van de VR-omgeving. Trainees, operators die deelnamen aan een training, waren ten aanzien van twee punten wat kritischer dan de instructeurs, namelijk de mate van betrokkenheid die ze ervoeren en de integratie van de controllers. Belangrijkste punt van kritiek

van instructeurs betreft de grafische weergave van het asfalt. De weergave van asfalt in de simulator is naar aanleiding van dit commentaar verbeterd tot een niveau bereikt dat waarvan de instructeurs aangaven dat het voldoende realistisch was. Instructeurs waren redelijk positief over de mate waarin de VR-omgeving volgens hen helpt om vertrouwd te raken met taken in een asfaltingsoperatie.

Een belangrijke indicator van de validiteit en accuratesse van werkgerelateerde situaties en procedures is of professionals de omgeving ook geschikt vinden voor toepassing in hun eigen werkzaamheden. De bevindingen hierbij zijn veelbelovend en suggereren dat het geïmplementeerde prototype goed aan de eisen voldoet. Operators vinden dat de omgeving een sterk platform biedt voor het onderzoeken van verschillende verdichtingsstrategieën voorafgaand aan daadwerkelijke operaties. Uit de validatiestudie met planners tonen aan dat het mogelijk is echte/simulatieve gegevens in de simulator te gebruiken voor projectplanning en/of -evaluatie.

Tot slot, *Technology Acceptance* is belangrijk voor een succesvolle implementatie van een technologie. Er bleken geen significante verschillen tussen operators en studenten ten aanzien van hun Technology Acceptance scores. Wat betreft gebruiksgemak scoorde de simulator wat lager. Maar wellicht belangrijker zowel studenten als operators relatief hoog scoren op de wens om de simulator te blijven gebruiken. De belangrijkste voorspeller van die wens bleek de factor 'Sociale invloed', dus naarmate belangrijke anderen een positieve attitude hebben ten



opzichte van de simulator, zijn (potentiële) gebruikers meer geneigd om deze te (blijven) gebruiken.

We concluderen dat er hier en daar nog wat verbeterpunten waren (die intussen trouwens geheel of grotendeels zijn opgelost), maar dat de stakeholders de VR training in ruim voldoende mate een valide en accurate weergave vinden van de werkgerelateerde onderwerpen, situaties en procedures.

Trainingseffecten en normering

In een zevental deelstudies is onderzoek gedaan naar de effecten of “gains” van de VR-training met betrekking tot SA voor verschillende groepen (leken, studenten, professionals) en de normering, dat wil zeggen hoe zij zich tot elkaarverhouden .

In deze studie is begonnen met het vaststellen van een **benchmark**, gebaseerd op mbo leerjaar 1-studenten op instapniveau. Deze studenten zijn de beoogde doelgroep van de training. Door in verschillende mbo's verspreid over het land onderzoek te doen met mbo leerjaar 1-studenten, is de benchmark vastgesteld en uit de vergelijkingen tussen deze groepen van verschillende scholen bleek dat zij allen op een vergelijkbaar niveau van SA scoorden. Ook bleek dat zij qua prestaties niet verschilden van leken. De groep leken bestond hier uit schoolgaande jeugd die deelnam aan een informatiedag over vakopleidingen in de bouw- en infra sector.

Om de onderzoeksvraag goed te kunnen beantwoorden zijn de effecten van een aantal variaties onderzocht. In de eerste plaats een onderzoek naar het effect van de **moeilijkheidsgraad** van het scenario. In deze onderzoeken is steeds gewerkt met

standaardscenario's (walsen bij daglicht). Wanneer studenten mbo leerjaar 1 worden blootgesteld aan een moeilijker scenario (walsen in het donker), bleken hun prestaties significant minder goed. In de tweede plaats zijn vergelijkende studies uitgevoerd met gevorderde studenten, namelijk derdejaars mbo-studenten. De SA-prestaties van de **mbo leerjaar 3-studenten** bleken veel beter te zijn dan die van hun mbo leerjaar 1-collega's. En wanneer de mbo leerjaar 3-studenten onder **tijdsdruk** stonden, dan waren hun prestaties nog beter. Ten derde is onderzocht wat het effect is van het uitbreiden van het **aantal VR-sessies en scenarios** van een naar vier. Het leereffect hiervan bleek zeer groot. Vooral in de tweede sessie werd grote vooruitgang geboekt. Daarna vlakke de stijging af. Deze studenten evenaarden nog niet het niveau van mbo leerjaar 3-studenten, maar het was een belangrijke stap in die richting.

Door de **cyber-sickness** die op grote schaal optrad bij professionals die aan de benchmarking studie deelnamen, zijn er van hen helaas geen SA-scores beschikbaar. We kunnen de tweede onderzoeksvraag dus niet helemaal, maar wel voor een groot deel beantwoorden. We concluderen dat SA trainbaar is en dat als eerstejaars minimaal twee sessies doorlopen dat er dan een substantiële vooruitgang in SA-prestaties te zien is. Ook concluderen we dat twee andere factoren, namelijk moeilijkheidsgraad van het scenario en het wel of niet werken onder tijdsdruk, effect hebben op de SA-prestaties. Er is echter nog veel aanvullend onderzoek nodig om een compleet beeld te krijgen van de effecten van dit soort factoren.



Debriefing en video-playback

De derde studie richtte zich op het beantwoorden van de derde centrale onderzoeksvraag in dit project, namelijk:

Wat zijn de effecten van debriefing op de VR training van situational awareness, en wat zijn de effecten wanneer video playback wordt gebruikt in de debriefing?

De resultaten laten zien dat er wat betreft de SA-scores geen verschillen zijn tussen studenten die geen debriefing krijgen, studenten die een debriefing zonder video krijgen en studenten die een debriefing met video krijgen. In de debriefing sessies met of zonder video werden grotendeels dezelfde onderwerpen besproken, maar video leek wel een rol te spelen in de interactie met studenten. Het is onduidelijk waarom debriefing geen effect had op SA-scores. Een mogelijke verklaring is dat de SA-discussies in de debriefing betrekking hadden op heel specifieke situaties in het scenario dat in de betreffende debriefing nabesproken werd en dat die situaties zich niet voordeden in eventuele volgende scenario's. De studenten doorliepen namelijk vier sessies, elk met een ander scenario, namelijk: 1) een snelweg bij regenachtig weer, 2) een snelweg bij warm en zonnig weer, 3) een rotonde bij warm en zonnig weer, en 4) een rotonde bij regenachtig weer. Dit betroffen allemaal standaardscenario's, wat betekent dat de taakcomplexiteit normaal was (niet makkelijk, maar ook niet moeilijk) en dat de scenario's dus in die zin vergelijkbaar waren. Als een bepaalde SA-situatie nabesproken wordt, maar een vergelijkbare situatie zich in de daarop volgende scenario's niet voordoet, dan valt daar dus ook geen direct effect van de debriefing te verwachten. In eventuele vervolgstudies zou onderzocht kunnen worden of dit een rol speelt

door de deelnemers een aantal keren hetzelfde scenario te laten doorlopen.

In feite is deze verklaring een transfer-vraagstuk: hoe en onder welke voorwaarden kan transfer van SA naar andere werkgerelateerde situaties plaatsvinden? Als een aantal keren hetzelfde scenario doorlopen met debriefings tussendoor inderdaad succesvol zou zijn, dan zou dat erop kunnen duiden dat een of enkele debriefings effectief zijn voor *near transfer*, het toepassen van het geleerde op situaties die in hoge mate overeenkomen met de context waarin de betreffende kennis en/of vaardigheid geleerd is. Dat zou mogelijk ook betekenen dat een of enkele debriefings, minder of niet geschikt zijn voor het stimuleren van *far transfer*, namelijk het toepassen van het geleerde in contexten die (althans aan de oppervlakte) geen directe gelijkenis vertonen met de context waarin de betreffende kennis en/of vaardigheid geleerd is. Dat vereist dat studenten veel verschillende situaties observeren of ervaren en deze vergelijken met elkaar, met als doel om verbanden te gaan zien tussen de verschillende situaties en de rol en verschillende vormen van SA daarbinnen. De ervaring van docenten in het werkveld zouden daarbij een sleutelrol kunnen spelen, zodat studenten gaandeweg leren hoe professionals contexten observeren, analyseren en interpreteren en daar hun acties op aanpassen. Dat kost meer tijd en meer debriefingsessies. Een van de projectdoelen was het ontwikkelen van debriefing-strategieën die docenten kunnen gebruiken om de effecten van de VR-training te optimaliseren. We concluderen dat op dit punt, het onderzoek naar de effecten van debriefing meer vragen dan antwoorden oplevert en dat eerst meer onderzoek nodig is. Daarbij gaat het niet alleen om onderzoek naar debriefing, maar ook naar het construct SA.



Situational Awareness als construct

Uit de onderzoeken kwam ook naar voren dat het construct Situation Awareness moeilijker meetbaar blijkt dan werd voorgesteld in het literatuuronderzoek dat aan deze studie voorafging. De Situation Awareness Global Assessment Technique (SAGAT), die ook in het huidige onderzoek gebruikt werd om het construct in kaart te brengen, is aangeprezen als een valide en betrouwbaar instrument voor het meten van SA (bijv.: Endsley, 1995). Deze veronderstelling wordt deels ondersteund door het huidige onderzoek: studenten in mbo leerjaar 1 konden minder SA vragen goed beantwoorden dan mbo leerjaar 3-studenten; een bevinding die aantoont dat kennis van het werkveld bijdraagt aan het construeren van SA tijdens het doorlopen van een voor iedereen even onbekende situatie. Een tweede veronderstelling, namelijk dat SA afhankelijk is van de complexiteit van een omgeving, wordt ondersteund door de bevinding dat het vermogen om SA vragen te beantwoorden verschilt tussen twee verschillende scenario's. Deze bevindingen spreken voor de validiteit van het construct, alsmede voor de validiteit voor de manier waarop binnen dit onderzoek invulling is gegeven aan het construct middels vragen over de omgeving.

Echter, wanneer leerlingen herhaaldelijk verschillende VR scenario's doorlopen, zoals in dit onderzoek, blijkt dat hun prestaties met betrekking tot SA in die verschillende scenario's geen verband houden met elkaar. In andere woorden: hoe goed een leerling in het eerste scenario in staat is om zich een beeld te vormen van de belangrijke aspecten van de omgeving zegt niets over hoe goed de leerling dat in een volgend scenario kan. Dit doet denken dat SA voor een groot deel niet berust op individuele

capaciteiten en kennis, maar voor een veel groter deel afhangt van de specifieke situatie en de manier waarop deze aan de leerling gepresenteerd wordt. Dit is geen unieke bevinding: ook in eerder onderzoek in een medische context bleek prestatie in verschillende scenario's niet met elkaar samen te hangen (Lavoie et al., 2019). Dit suggereert dat het betrouwbaar meten van het construct een uitdaging is. Het is daarom belangrijk dat in toekomstig onderzoek goed onderzocht wordt wat de voorspellers zijn van SA en welke rol individuele verschillen in capaciteiten en kennis hierbij kunnen spelen. Mogelijk wordt consistentie in prestaties pas zichtbaar wanneer deelnemers een gedegen basis van kennis en kunde ontwikkeld hebben in het werkveld en is deze consistentie nog niet zichtbaar bij leerlingen met weinig praktische ervaring in de taak die zij in de VR uitvoeren.

Conclusies voor de praktijk

Ondanks deze twijfels aan de meting van SA bleek de Virtuele omgeving bijzonder bruikbaar in lessen wanneer video's van de VR gebruikt werden voor het bediscussiëren van walsstrategieën en de manier waarop de kwaliteit van het walsen verbeterd kon worden. In een serie lessen waarin een docent middels debriefing sessies feedback gaf op zijn observaties van leerlingen binnen de Virtuele omgeving waren weinig handvatten van de onderzoeker nodig om een levendige en scherpe discussie op gang te brengen. Tijdens de debriefing sessies werd duidelijk dat de docent de theoretische kennis die leerlingen tijdens de lessen hadden opgedaan helder toe kon lichten met behulp van video's en dat leerlingen snel begrepen op welke manier zij de kennis die zij hadden opgedaan toe moesten passen wanneer hun docent de onderwerpen aansneed. Zo kon



de docent met behulp van de video opnames bijvoorbeeld gericht feedback geven over onderwerpen zoals het versporen met de wals en het gebruik van water tijdens het walsen.

De Virtuele omgeving zoals deze in het huidige onderzoek gebruikt is, is een bruikbaar middel om leerlingen kennis te laten maken met het walsen en de specifieke handelingen die zij hierbij moeten uitvoeren. Leerlingen kunnen de bewegingen met de wals oefenen en daarbij gebruik maken van een verscheidenheid aan wegtypen, alsmede vertrouwd raken met de omgang met verschillende weertypes en veranderingen in de hoeveelheid licht waarmee zij kunnen werken. Een volgende stap in het ontwikkelen van de Virtuele omgeving is het meer interactief maken van de omgeving. Zo zouden er bij het maken van fouten in het walsen bijvoorbeeld zichtbare beschadigingen in het Virtuele asfalt kunnen ontstaan om leerlingen zich bewust te laten worden van de gevolgen van eventuele fouten die zij kunnen maken. Tevens kan er in de toekomst gewerkt worden aan een docentomgeving, die een docent helpt om formatief met de prestaties van diens leerlingen om te gaan en vooruitgang in prestaties effectiever in kaart te brengen.

Conclusies voor de wetenschap

Ook zijn er een aantal belangrijke pijlers te formuleren voor het doen van vervolgonderzoek over Situation Awareness en Virtuele walstrainingen. Allereerst is het van groot belang om beter grip te krijgen op SA als construct: zoals uit de resultaten van dit onderzoek blijkt gaat het om een lastig te meten construct dat sterk

ingebod is in een specifieke situatie en dat mogelijk ook sterk beïnvloed wordt door individuele verschillen in ervaring, kennis, motivatie en doelen. Om dit construct optimaal te kunnen trainen is het van belang om in kaart te brengen op welke manier prestaties op het construct afhankelijk zijn van verschillen in scenario's, verschillen tussen leerlingen, en de synergie tussen beide. Pas wanneer dit duidelijk is kan een afstemming gemaakt worden tussen de aangeboden scenario's en de feedback die hierop gegeven wordt aan de ene kant, en de kenmerken van de leerling aan de andere kant.

Daarnaast is het belangrijk dat er onderzoek gedaan wordt naar de opzet van de omgeving en hoe deze van invloed is op de prestaties van leerlingen die de Virtuele omgeving bedienen. In het huidige onderzoek is gewerkt met gestandaardiseerde scenario's die zo goed mogelijk leken te sluiten bij de kennis van walsen die leerlingen in hun lessen hadden opgedaan. Wat echter buiten de doelstellingen van het onderzoek viel was of enige variatie in de omgeving, zoals in complexiteit of zichtbaarheid van bijvoorbeeld walsgangen, van invloed waren op prestaties en leereffecten. Men kan echter veronderstellen dat de hoeveelheid informatie die een leerling moet verwerken, en in welke mate deze informatie nieuw is, van invloed is op de manier waarop deze leerling deze informatie effectief kan verwerken en gebruiken voor het nemen van beslissingen (Sweller, 2020). Toekomstig onderzoek zal uit moeten wijzen wat de optimale hoeveelheid informatie of prikkels is om een leerling te ondersteunen in het leren walsen met behulp van de Virtuele omgeving.

VR-trainingsomgeving: RollerSimulator 2.0



BRONNEN

- Aboagye-Nimo, E., & Raiden, A. (2016). Introducing site sense: Comparing situated knowledge in construction to coalmining. In P. W. Chan & C. J. Neilson (Eds.), *32nd Annual ARCOM Conference* (pp. 467-476).
- Aboagye-Nimo, E., Raiden, A., King, A., & Tietze. (2015). Using tacit knowledge in training and accident prevention. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Management, Procurement and Law*, 168(5), 232-240. <https://doi.org/10.1680/jmapl.14.00027>
- Anderson (Ed.), L. W., Krathwohl (Ed.), D. R., Airasian, P. W., Cruikshank, K. A., Mayer, R. E., Pintrich, P. R., . . . Wittrock, M. C. (2001). *A taxonomy for learning, teaching, and assessing: A revision of Bloom's Taxonomy of Educational Objectives* (Complete edition ed.). Longman.
- Binkley, M., Erstad, O., Herman, J., Raizen, S., Ripley, M., Miller-Ricci, M., & Rumble, M. (2012). Defining twenty-first century skills. In P. Griffin, B. McGaw, & E. Care (Eds.), *Assessment and Teaching of 21st Century Skills* (pp. 17-66). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-007-2324-5_2
- Bolstad, C. A., Endsley, M. R., & Cuevas, H. M. (2014). A theoretically based approach to cognitive readiness and situation awareness assessment. In H. F. O'Neil, R. S. Perez, & E. L. Baker (Eds.), *Teaching and Measuring Cognitive Readiness* (pp. 161-177). Springer US. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-7579-8_9
- Calleja, G. (2014). Immersion in virtual worlds. In M. Grimshaw (Ed.), *The Oxford handbook of virtuality* (pp. 222–236). Oxford University Press.
- Conole, G., Dyke, M., Oliver, M., & Seale, J. (2004). Mapping pedagogy and tools for effective learning design. *Computers & Education*, 43(1), 17-33. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.compedu.2003.12.018>
- Crookall, D. (2010). Serious games, eebriefing, and simulation/gaming as a discipline. *Simulation & Gaming*, 41(6), 898-920. <https://doi.org/10.1177/1046878110390784>
- Dalgarno, B., & Lee, M. J. W. (2010). What are the learning affordances of 3-D virtual environments? *British Journal of Educational Technology*, 41(1), 10-32. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8535.2009.01038.x>
- de Klerk, S., Veldkamp, B. P., & Eggen, T. J. H. M. (2018). A framework for designing and developing multimedia-based performance assessment in vocational education [journal article]. *Educational Technology Research and Development*, 66(1), 147-171. <https://doi.org/10.1007/s11423-017-9559-5>
- Downing, S. M. (2006). Twelve steps for effective test development. In S. M. Downing & T. M. Haladyna (Eds.), *Handbook of test development* (pp. 3–25). Lawrence Erlbaum Associates.
- Endsley, M. R. (1995). Toward a theory of situation awareness in dynamic systems. *Human Factors*, 37(1), 32-64. <https://doi.org/10.1518/001872095779049543>
- Endsley, M. R. (2015a). Final reflections: Situation awareness models and measures. *Journal of Cognitive Engineering and Decision Making*, 9(1), 101-111. <https://doi.org/10.1177/1555343415573911>
- Endsley, M. R. (2015b). Situation awareness misconceptions and misunderstandings. *Journal of Cognitive Engineering and Decision Making*, 9(1), 4-32. <https://doi.org/10.1177/1555343415572631>

-
- Fanning, R. M., & Gaba, D. M. (2007). The role of debriefing in simulation-based learning. *Simulation in Healthcare*, 2(2), 115-125. <https://doi.org/10.1097/SIH.0b013e3180315539>
- Fowler, C. (2015). Virtual reality and learning: Where is the pedagogy? *British Journal of Educational Technology*, 46(2), 412-422. <https://doi.org/10.1111/bjet.12135>
- Gardner, R. (2013). Introduction to debriefing. *Seminars in Perinatology*, 37(3), 166-174. <https://doi.org/https://doi.org/10.1053/j.semperi.2013.02.008>
- Gherardi, S., & Nicolini, D. (2002). Learning the trade: A culture of safety in practice. *Organization*, 9(2), 191-223. <https://doi.org/10.1177/1350508402009002264>
- Issenberg, S. B., McGaghie, W. C., Petrusa, E. R., Gordon, D. L., & Scalese, R. J. (2005). Features and uses of high-fidelity medical simulations that lead to effective learning: A BEME systematic review. *Medical Teacher*, 27(1), 10-28. <https://doi.org/10.1080/01421590500046924>
- Jang, S., Vitale, J. M., Jyung, R. W., & Black, J. B. (2017). Direct manipulation is better than passive viewing for learning anatomy in a three-dimensional virtual reality environment. *Computers & Education*, 106, 150-165. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.compedu.2016.12.009>
- Kaber, D. B., Riley, J. M., Endsley, M. R., Sheik-Nainar, M., Zhang, T., & Lampton, D. R. (2013). Measuring situation awareness in virtual environment-based training. *Military Psychology*, 25(4), 330-344. <https://doi.org/10.1037/h0095998>
- Kamoche, K., & Maguire, K. (2011). Pit sense: Appropriation of practice-based knowledge in a UK coalmine. *Human Relations*, 64(5), 725-744. <https://doi.org/10.1177/0018726710386512>
- Krathwohl, D. R. (2002). A revision of Bloom's taxonomy: An overview. *Theory Into Practice*, 41, 212-218. <Go to ISI>://000179371600002
- Lo, J. C., Sehic, E., Brookhuis, K. A., & Meijer, S. A. (2016). Explicit or implicit situation awareness? Measuring the situation awareness of train traffic controllers. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 43, 325-338. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.trf.2016.09.006>
- Mayes, J. T., & Fowler, C. J. (1999). Learning technology and usability: A framework for understanding courseware. *Interacting with Computers*, 11(5), 485-497. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0953-5438\(98\)00065-4](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0953-5438(98)00065-4)
- Mikropoulos, T. A., & Natsis, A. (2011). Educational virtual environments: A ten-year review of empirical research (1999–2009). *Computers & Education*, 56(3), 769-780. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.compedu.2010.10.020>
- Mislevy, R. J., Steinberg, L. S., & Almond, R. G. (1999). *On the roles of task model variables in assessment design*. Educational Testing Service.
- Ntalakas, G., Papachristos, N., Vrellis, I., & Mikropoulos, T. A. (2016). Virtual environments for vocational training: User experience in culinary education. In T. A. Mikropoulos, N. Papachristos, A. Tsiara, & P. Chalki (Eds.), *Proceedings of the 10th Pan-Hellenic and International Conference "ICT in Education"* (pp. 735-743).
- Riva, G., & Waterworth, J. A. (2014). Being present in a virtual world. In M. Grimshaw (Ed.), *The Oxford handbook of virtuality* (pp. 205-221). Oxford University Press.
- Roszkowska, E., & Burns, T. R. (2014). Decision-making under conditions of multiple values and variation in conditions of risk and uncertainty. In P. Guo & W. Pedrycz (Eds.), *Human-Centric Decision-Making Models for Social Sciences* (pp. 315-338). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-39307-5_13
- Schön, D. A. (1995). *The reflective practitioner: How professionals think in action*. Arena.
-

-
- Sillitoe, P. (2002). Participant observation to participatory development. In P. Sillitoe, A. Bicker, & J. Pottier (Eds.), *Participating in development: Approaches to indigenous knowledge* (pp. 1–23). Routledge.
- Slater, M., & Wilbur, S. (1997). A framework for immersive virtual environments (FIVE): Speculations on the role of presence in virtual environments. *Presence: Teleoperators & Virtual Environments*, 6(6), 603-616.
- Sweller, J. (2020). Cognitive load theory and educational technology [Article]. *Educational Technology Research & Development*, 68(1), 1-16. <https://doi.org/10.1007/s11423-019-09701-3>
- Voogt, J., & Roblin, N. P. (2012). A comparative analysis of international frameworks for 21st century competences: Implications for national curriculum policies. *Journal of Curriculum Studies*, 44(3), 299-321. <https://doi.org/10.1080/00220272.2012.668938>
- Wang, Y. F., Petrina, S., & Feng, F. (2017). VILLAGE—Virtual Immersive Language Learning and Gaming Environment: Immersion and presence. *British Journal of Educational Technology*, 48(2), 431-450. <https://doi.org/10.1111/bjet.12388>
- Witmer, B. G., & Singer, M. J. (1998). Measuring presence in virtual environments: A presence questionnaire. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 7(3), 225-240. <https://doi.org/10.1162/105474698565686>

