

ENDBERICHT

AR ASSIST

Analyse von Augmented Reality Systemen
hinsichtlich Ergonomie, Unfallprävention und
Arbeitspsychologie

AIT

Jaison Puthenkalam
Stefan Suetter
Jakob Uhl
Sebastian Egger-Lampl

AUVA

Norbert Lechner
Verena Höller

20.08.2021

GEFÖRDERT AUS MITTELN DES
DIGITALISIERUNGSFONDS ARBEIT 4.0 DER AK WIEN.

GEFÖRDERT DURCH
Digifonds



1 EINLEITUNG

Im Rahmen des Projektes „AR Assistance for Quality Assurance on the Shopfloor in Automotive Manufacturing“ (AR Assist) wurden Augmented Reality Systeme hinsichtlich relevanter Faktoren aus den Themenbereichen Ergonomie, Arbeitspsychologie und Unfallprävention. Dieser Bericht fasst die Ergebnisse der durchgeführten Studien nach Themenbereich geordnet zusammen. Am Ende des Berichts werden die Erkenntnisse in Form von Handlungsempfehlungen für den Umgang mit AR-Systemen zusammengefasst.

1.1 Hinweise bezüglich COVID-19

Die aktuelle COVID-19-Pandemie führte zu einer Reihe von Komplikationen für das Projekt. Der direkte Zugang zu Produktionslinien für Beobachtungen und Interviews war nur erschwert möglich, und Verzögerungen in der Software-Entwicklung führten zu Aufschiebungen von geplanten Studien und deutlich erhöhtem Zeitaufwand pro Proband*in bei der Rekrutierung (vor allem bei Suche nach älteren Teilnehmer*innen) und der Durchführung.

Um einen für die Proband*innen und Testleiter*innen möglichst sicheren Studienablauf zu gewährleisten wurde für die Studien ein Hygienekonzept entwickelt, das laufend an die sich ändernden gesetzlichen Rahmenbedingungen angepasst wurde, und u.a. folgende Maßnahmen umfasste:

- Kontaktlose Fiebermessung bzw. später 3G-Nachweis vor der Teilnahme an der Studie
- Das Tragen von Masken während der gesamten Studiendauer
- Bereitstellung von Desinfektionsstation vor und im Labor, sowie Informationen zu COVID-19
- Pausen zur Desinfektion der Utensilien während der Studie (bei Medienwechseln bzw. beim Hand-Over von Geräten) sowie zwischen den Studien
- Regelmäßiges Lüften des Raumes während und zwischen den Studien
- Desinfektion des Studienraums via UV-Lampe zwischen Studientagen (über Nacht)
- Bereitstellen von eigenen Kugelschreibern für die Testpersonen

2 ERGONOMIE

2.1 Ziel der Studie & Fragestellungen

Im Rahmen der Studie A wurde die Augmented Reality (AR) Technologie hinsichtlich der physischen Belastung und Beanspruchung bewertet. Für diesen Aspekt wurden sowohl subjektive als auch objektive Parameter herangezogen. Fokus lag hierbei auf ergonomischen Parametern beim Tragen eines Head-mounted Devices (HMDs), wie es bei Augmented Reality Systemen üblich ist.

Fragestellung:

- Wird die Verwendung eines *head-mounted device* bzw. HMD (unter Berücksichtigung von relevanten Bedingungen wie Dauer, Gewicht, Körperhaltung, Aufgabe...) für Arbeitende als belastend empfunden?

Ein spezieller Fokus der Studie lag auf der Untersuchung von potenziell erhöhten muskulären Spannungen, die durch das Tragen des Headsets bzw. dessen spezifische Gewichtsverteilung auftreten können. Diese wurden mit dem System „*Captiv*“ erfasst, das aus IMUs (inertial measurement units, welche die Bewegungen des Kopfes wie Vorneigung, Seitneigung und Rotation in Form von Winkelgraden, Winkelgeschwindigkeiten – und Beschleunigungen erfassen), sowie einer (Software-) synchronisierten Videoaufnahme besteht. Die Software erlaubt es, bestimmte Parameter wie Dauer, Häufigkeit oder Frequenz vakanter und auftretender Winkel zu berechnen. Die Daten wurden danach in ihren Grenzbereichen entsprechend interpretiert. Zusätzlich wurde das elektrische Aktivitätspotential der Muskulatur (im Sinne der Muskelaktivität, über die man auf die Beanspruchung rückschließen kann) mittels einem Oberflächen-EMG mit bipolarer Ableitung, erfasst. Ziel des ergonomischen Teils dieser Studie war vor allem die Dauer der Nutzung und die daraus folgende Auswirkung auf das muskuläre System zu betrachten.

Neben den physiologischen Messungen wurden auch subjektive Parameter mittels Fragebögen zu den Themen Anstrengung und Erschöpfung (Borg-CR-Skala und NASA Task Load Index) sowie einem Druckstellen-Protokoll erfasst. Das Druckstellenprotokoll umfasste Bilder eines menschlichen Kopfes aus unterschiedlichen Perspektiven, auf dem die Teilnehmer*innen empfundene Druckstellen markieren und hinsichtlich ihrer Schwere bzw. des Schmerzensgrads bewerten konnten.

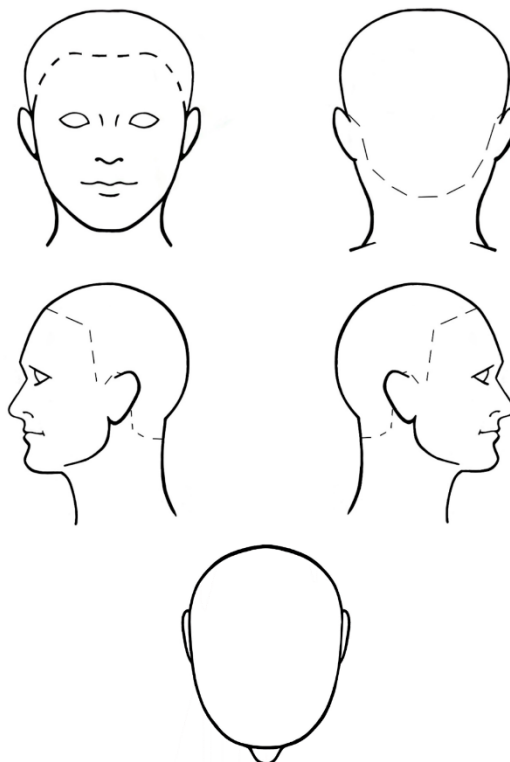


Abbildung 1 Druckstellenprotokoll Grafiken

2.2 Studienablauf & Methodik

2.2.1 Kurzübersicht Studiendesign

Die Studie wurde im AIT Technology Experience Lab durchgeführt. Studienteilnehmer*innen absolvierten zwei unterschiedliche Aufgaben (eine an einer Werkbank, eine vor einem Fernseher), jeweils mit einem unterschiedlichen „Gerät“ am Kopf: zwei unterschiedlichen AR-Geräten (HoloLens 1 und dem Nachfolgemodell HoloLens 2) sowie mit einem Stirnband als Kontrollbedingung. Mittels der vorab erwähnten physiologischen Messinstrumente (zur Verfügung gestellt von der AUVA) wurden während der Bearbeitung Daten über die Muskelaktivität der Studienteilnehmer*innen erfasst. Im Anschluss an jede Aufgabe wurden Studienteilnehmer*innen gebeten, einen Fragebogen zu ihrer physischen und psychischen Belastung auszufüllen. Ebenfalls sollten als unangenehm wahrgenommene Druckstellen am Kopf in eine Zeichnung eingezeichnet werden und die Stärke des Druckes bewertet werden.

2.2.2 Unabhängige Variablen

Dauer (within subjects): Die Testpersonen wurden zu je 6 Messzeitpunkten hinsichtlich ihrer subjektiv empfundenen Belastung befragt: Nach der Unfallpräventions-Aufgabe, sowie nach jedem Durchlauf. Eine Messung hat ca. 10 Minuten gedauert.

Kondition (within subjects): Die Testpersonen mussten drei je ca. 30-minütige Sessions absolvieren, davon eine Session mittels HoloLens 1, eine Session mit einem Stirnband (Kontrollbedingung) und schließlich eine Kondition mit HoloLens 2. Die Aufgaben je Kondition unterschieden sich nicht, aber die Reihenfolge der Konditionen mit der HoloLens wurden zwischen HoloLens 1 und HoloLens 2 als erste Kondition durchgemischt, um Lerneffekte zu beachten. Kondition 2 (ohne HoloLens) wurde von der Reihenfolge immer in der Mitte belassen, um Memory-Effekte der Muskulatur durch das Tragen der HoloLens zu vermeiden.

Körperhaltung (within subject): Die Testpersonen mussten Aufgaben in unterschiedlichen Kopf- und Körperhaltungen arbeiten (z.B. vornübergebeugt, nach oben schauend, sitzend, im Stehen etc.).

Aufgabenart (within subjects). Die Testpersonen sollten während der Studie pro Kondition jeweils zwei verschiedene Aufgaben durchführen. Je nach Kondition geschah dies einmal mit der HoloLens 1, einmal ohne die HoloLens (mit einem Stirnband als Ersatz) und einmal mit der HoloLens 2. Durchgeführt wurden eine Aufgabe an der Werkbank (unter Verwendung von Werkzeugen) sowie eine Aufgabe, bei der sich die Versuchsperson (im Sitzen sowie im Stehen) ein Video ansehen sollte.

2.2.3 Abhängige Variablen

Objektive Parameter: Mit Hilfe der AUVA wurden physiologische Messungen der muskulären Anspannung und Belastung vorgenommen. Für die Beschleunigungsmessung wurden mehrere Sensoren (u.a. einer auf der AR-Brille bzw. an einem Stirnband sowie an Rücken und Hüfte) angebracht. Zusätzlich wurden die Aktivitäten von drei Muskeln bzw. Muskelgruppen (oberer Trapez, Neck Extensor, Sternocleidomastoideus) mittels EMG gemessen.

Subjektive Parameter: Subjektiv wurde der physisch empfundene Komfort in Nacken und Schultern, wie auch das subjektive Wohlbefinden hinsichtlich muskulärer Belastungen durch einen Fragebogen und ein qualitatives Interview erhoben. Zusätzlich wurden von den Testpersonen unangenehm empfundene Druckstellen bzw. Verspannungen am Kopf in einer Grafik eingezeichnet und hinsichtlich der Intensität bewertet (siehe Abb. 1).

2.2.4 Stichprobe

21 Studienteilnehmer*innen aus unterschiedlichen Berufsfeldern und Arbeitsgruppen wurden für die Untersuchung rekrutiert. Die Anzahl der Männer und Frauen wurde dabei bestmöglich ausbalanciert (11 Männer, 10 Frauen). Die ProbandInnen wurden so gewählt, dass sie vom Alter in die Gruppe der Erwerbstätigen fallen (24-65, mit einem mittleren Alter von 35,95). Bevorzugt wurden hierbei gesunde Erwachsene, die weder an Schmerzen in den letzten sieben Tagen, noch in der Vergangenheit an

muskuloskelettalen Störungen der oberen Extremitäten gelitten haben. Bei der Untersuchung wurden u.a. das Alter, die Arbeitserfahrung sowie auch die bisherige Erfahrung mit AR-Anwendungen erfasst.

2.2.5 Muskelaktivitätsmessung

Es wurde die Muskelaktivität von drei ausgewählten Muskeln (M. sternocleidomastoideus, M. trapezius pars descendens, M. splenius capitis) auf der linken und rechten Körperseite erfasst. Alle Testpersonen wurden durch ein ausführliches Warm-up mit der Microsoft HoloLens und dem Testablauf der Messungen vertraut gemacht.

Instrumentierung:

Drahtlose Sensoren zur Messung der Oberflächen-Elektromyographie (TEA CAPTIV T-Sens EMG, TEAERGO, Frankreich) und Ag/AgCl-Oberflächenelektroden (Triode Electrodes T3402M, ThoughtTech, Kanada) wurden zur Aufzeichnung der Muskelaktivität im Nacken- und Schulterbereich verwendet. Zusätzlich wurden an Kopf, Rücken und Hüfte drei Bewegungssensoren (TEA CAPTIV T-Sens Motion IMU, TEAERGO, Frankreich) zur Messung des Kopfnegungswinkels angebracht. Die von den Sensoren erfassten Werte wurden drahtlos über Bluetooth an einen Datenlogger (T-Log Datalogger, TEAERGO, Frankreich) übertragen und mussten im Anschluss in die Software Captiv Motion (L7000 Premier, TEAERGO, Frankreich) importiert werden. Als AR-Brillen wurden zwei verschiedene Modelle der Microsoft Corporation (USA) verwendet, die Microsoft HoloLens 1 und Microsoft HoloLens 2.

Elektrodenplatzierung:

Die Elektroden wurden bilateral positioniert, in Übereinstimmung mit den SENIAM-Empfehlungen und früheren Studien mit standardmäßigem Elektrodenabstand von zwei Zentimetern zwischen den Elektroden (Hermens & Frekis 1999; Gao et al. 2020; Larochelle et al., 2009). Die Elektroden wurden (1) über dem oberen Trapeziusmuskel (TRA), 20% medial vom Mittelpunkt zwischen dem seitlichen Rand des Acromions und dem siebten Halswirbel, (2) über dem oberen Nackenstrecker (SPC), auf dem prominentesten Teil des Muskels in Höhe des vierten Halswirbels, und (3) über dem Musculus sternocleidomastoideus (SCM), über dem Hauptmuskelbauch in 1/3 Abstand von der Sternumkerbe zum Warzenfortsatz platziert.



Abbildung 2: Bilaterale Elektrodenplatzierung über dem oberen Trapeziusmuskel (TRA), den oberen Nackenstreckermuskeln (SPC) (Abbildung links) und dem Musculus sternocleidomastoideus (SCM)

Vor dem Start der ersten Session wurde eine Messung der maximal willkürlichen Kontraktion (MVC) für jeden Muskel separat durchgeführt. Für jeden Muskel wurden drei MVCs mit einer Dauer von 5 Sekunden und einer Pause von 30 Sekunden zwischen aufeinanderfolgenden Versuchen durchgeführt. Die MVC-Testpositionen wurden der Studie von Gao et a. (Gao et al., 2020) entnommen.

Die Roh-EMG Daten konnten bereits mithilfe der Software Captiv Motion gleichgerichtet werden. Die gleichgerichteten Datensätze wurden in Matlab eingelesen und zu Beginn erfolgte eine Sichtprüfung der EMG-Daten, um eventuelle fehlerhafte Daten gleich von Anfang an ausschließen zu können. Die Daten wurden mittels Root Mean Square (RMS) geglättet, dieser gilt derzeit als standardmäßig empfohlener Glättungsalgorithmus für EMG-Signale (Konrad, 2011).

Für die Datenauswertung in Matlab wurden folgende drei Auswertekriterien festgelegt: Mittlere Amplitude, Maximale Amplitude und Integral. Anhand dieser drei Parameter wurden die EMG-Daten von allen Testpersonen und allen Muskeln ausgewertet und verglichen.

2.2.6 Ablauf

Bei ihrer Ankunft im Lab des AIT, erhielten Studienteilnehmer*innen Informationen zum Studienablauf zusammen mit einer Einwilligungsbestätigung, die sie vor Studienbeginn unterschreiben mussten. Zusätzlich mussten die Teilnehmer*innen schon zu Beginn demographische Fragen im Fragebogen beantworten. Vor dem Experiment wurden der Versuchsperson wie oben beschrieben physiologische Geräte zur Messung der Muskelaktivität und Beschleunigung angelegt und diese anschließend auf die jeweilige Versuchsperson geeicht. Diese Messinstrumente blieben während der gesamten Studie an der Testperson angebracht. Danach absolvierten die Teilnehmer*innen eine kurze Trainingseinheit mit der HoloLens (I oder II, je nach Testgruppe), bis sie sich kompetent und selbstbewusst hinsichtlich des Umgangs mit dem am Kopf montierten Display/ dem AR Interface fühlten.

Die erste Aufgabe wurde an einem höhenverstellbaren Tisch ausgeführt. Zusätzliche Materialien bzw. Gegenstände waren hierbei einer Lampe, zwanzig (20) unterschiedliche Werkstücke mit je zwei montierten Schrauben und einer dreistelligen Markierung, eine Waage, eine Schiebelehre, eine auf die Decke projizierte Digitaluhr, sowie eine Tabelle mit Stift.

In der ersten Session durchliefen die Testpersonen zunächst die manuelle Montageaufgabe, bei der sie ein Werkstück hinsichtlich mehrerer Faktoren hin erfassen sollen (Name, Länge, Gewicht, Zeit) und diese in eine Tabelle eintragen müssen, während sie die HoloLens (I oder II) trugen. Die TeilnehmerInnen wurden hierbei gebeten, eine bestimmte Abfolge von Arbeitsschritten im Stehen auszuführen. Sie sollten zunächst ein Werkstück aus einer Box nehmen und nach einem dreistelligen Code auf diesem Werkstück suchen. Dieser musste in eine zur Verfügung gestellte Liste eingetragen werden. Danach wurde der Abstand der zwei Schrauben am Werkstück mit dem Schiebemessgerät abgemessen und auch in die Liste eingetragen. Als nächsten Schritt musste das Gewicht des Werkstücks gemessen und wieder vermerkt werden. Danach wurde die aktuelle Zeit von der digitalen Uhr abgelesen und eingetragen und das Werkstück in eine zweite Box abgelegt, um dann ein neues Werkstück aus der ersten Box zu nehmen und von vorne anzufangen. Diese Schritte wiederholten sich für 10 Minuten.

Bei der zweiten Aufgabe musste sich die Versuchsperson eines von drei Videos ansehen, wobei im Hintergrund die üblichen Fabrikgeräusche von Magna eingespielt wurden. Die Videos wurden je nach Kondition entweder auf dem Fernseher oder auf einer der beiden HoloLenses (so positioniert dass sie möglichst exakt das Display des Fernsehers überlagern) abgespielt. Im Rahmen dieser Phase der Studie wurden auch die Messungen zum Thema Unfallprävention durchgeführt, Details dazu finden sich im dementsprechenden Kapitel.

Das Video wurde von der Versuchsperson zunächst fünf Minuten sitzend und schließlich Minuten stehend angesehen. Nach dem Video wurde der „head-mount“ (HoloLens I / II bzw. Stirnband) abgenommen und die Versuchsperson in einem kurzen Interview zu ihrem Empfinden befragt. Außerdem wurden empfundene Druckstellen und Auffälligkeiten an Kopf, Hals und Nacken anhand von schematischen Zeichnungen eines Kopfes lokalisiert eingezeichnet und nach ihrem Schweregrad bewertet. Außerdem wurden TestteilnehmerInnen mittels eines subjektiven Fragebogens (NASA TLX/ Borg) hinsichtlich ihrem subjektiven Anstrengungs- und Belastungsempfindens befragt. Im Anschluss daran folgten Fragen zum Themenbereich Unfallprävention, die im entsprechenden Kapitel näher beschrieben werden.

Diese beiden Aufgaben (Arbeiten an der Werkbank bzw. Videoschauen) wurden in drei Konditionen wiederholt: einmal mit der HoloLens I, ohne HoloLens und einmal mit der HoloLens 2. Nach Durchlaufen aller drei Konditionen, wurden die physiologischen Messgeräte abgenommen und die Versuchsperson debrieft. Danach wurde eine Aufwandsentschädigung ausgefüllt und der/die TeilnehmerIn verabschiedet.

2.3 Ergebnisse

2.3.1 Muskelaktivitätsmessung

In diesem Abschnitt werden die Ergebnisse der Muskelaktivitätsmessung für die Aufgabe an der Werkbank dargestellt. Abbildung 3 zeigt die EMG-Daten von einem beliebigen Probanden und soll nur der Veranschaulichung dienen, wie die Sichtprüfung zu Beginn durchgeführt wurde. Es sind in der Abbildung alle drei Sessions eines Probanden ersichtlich, die Grafik oben stellt die EMG-Daten ohne HoloLens dar, in der Mitte mit der Microsoft HoloLens 1 und unten mit der HoloLens 2. Es werden jeweils die Roh-EMG-Daten sowie die gefilterten Daten mit dem RMS-Filter und Butterworth Filter dargestellt. So kann auch die Qualität des Filters auf den ersten Blick beurteilt werden.

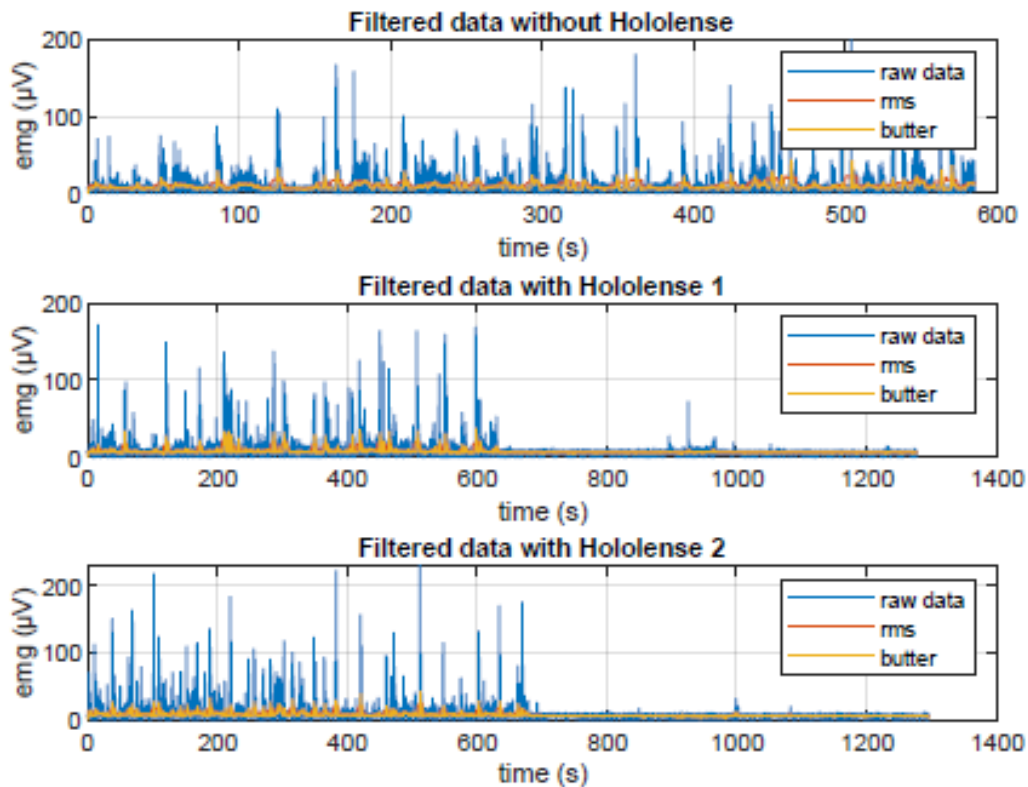


Abbildung 3: Darstellung der EMG-Daten für die Sichtprüfung (oben: ohne HoloLens, Mitte: HoloLens 1, unten: HoloLens 2; blau: Roh-EMG-Daten, orange: RMS-gefilterte Daten, gelb: Butterworth-gefilterte Daten)

Anschließend wurde das jeweilige Auswertekriterium für jeden Muskel berechnet und mittels Boxplot dargestellt (Abbildung 4-6). Die dargestellten Boxplots beinhalten die Messdaten von allen übriggebliebenen Proband*innen, deren Daten nicht durch die Sichtprüfung bzw. durch das Ausschlusskriterium eliminiert wurden. Alle Daten wurden auf die Session ohne HoloLens normiert, um die Muskelbeanspruchung besser vergleichen zu können.

In den nachfolgenden Abbildungen werden nur die Daten eines Muskels dargestellt, um einen Überblick der Auswertung zu bekommen. In Abbildung 4 ist die mittlere Amplitude des rechten TRA dargestellt. Die Werte mit HoloLens sind in beiden Fällen niedriger als ohne HoloLens. Bei der Darstellung der maximalen Amplitude des rechten TRA in Abbildung 5 ist die Muskelbeanspruchung bei der Variante mit HoloLens 2 höher als ohne HoloLens und bei der Variante mit HoloLens 1 niedriger als ohne.

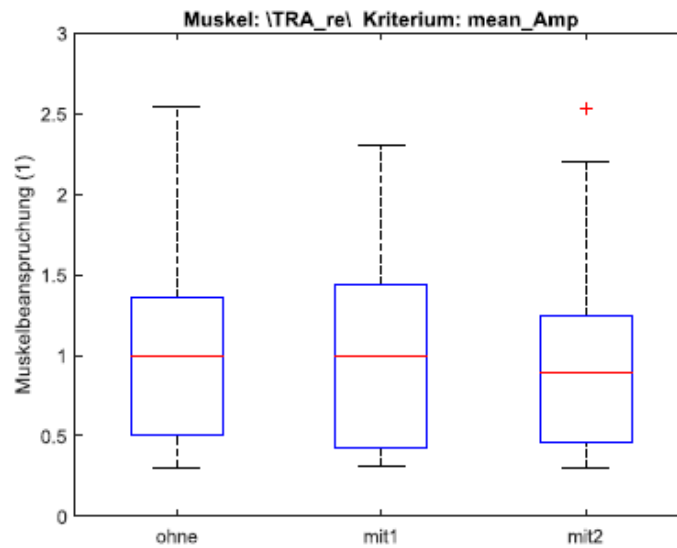


Abbildung 4: Darstellung der mittleren Amplitude des TRA rechts (links: ohne HoloLens, Mitte: HoloLens 1, rechts: HoloLens 2)

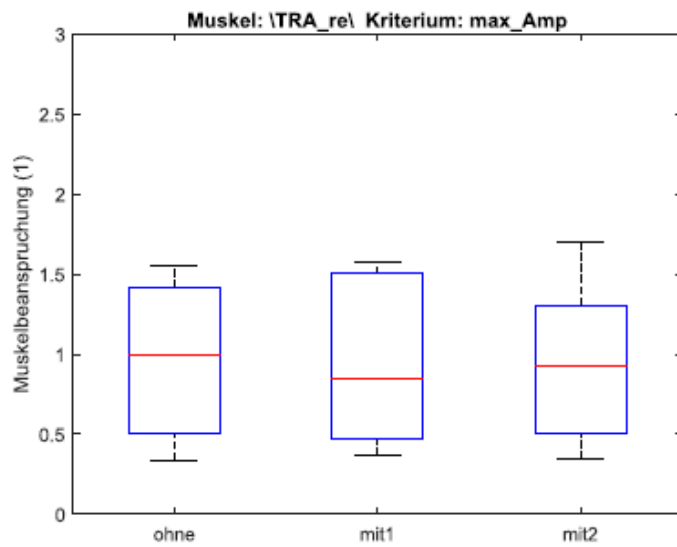


Abbildung 5: Darstellung der maximalen Amplitude des TRA (links: ohne HoloLens, Mitte: HoloLens 1, rechts: HoloLens 2)

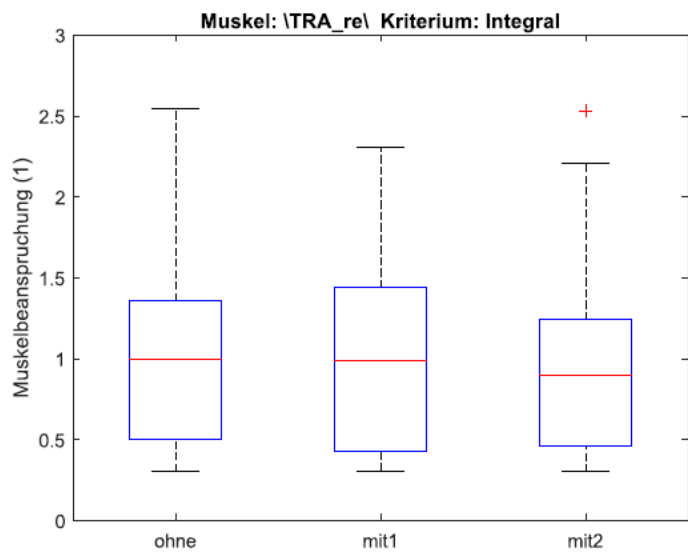


Abbildung 6: Darstellung des Integrals des TRA rechts (links: ohne HoloLens, Mitte: HoloLens 1, rechts: HoloLens 2)

Bei allen drei Abbildungen (4-6) treten minimale Schwankungen von 1-2 % zwischen den Sessions auf. Ein ähnliches Verhalten zeigen die Ergebnisse der anderen untersuchten Muskeln.

Die oben dargestellten Ergebnisse des rechten TRA zeigen bei Betrachtung des mittleren Amplitudenwertes und des Integrals niedrigere Werte mit HoloLens als ohne HoloLens. Wenn man die maximale Amplitude betrachtet, sind die Werte der HoloLens 1 unter den Werten ohne HoloLens und die Werte der HoloLens 2 um etwa 2 % darüber. Ähnliche Werte zeigen die Ergebnisse der restlichen untersuchten Muskeln. Die sichtbaren Schwankungen von 1-5 % zeigen jedoch keine bedeutsamen Unterschiede in der Muskelaktivität, was darauf hindeutet, dass das Tragen der HoloLens 1, als auch der HoloLens 2 für den Testzeitraum zu keiner erhöhten Muskelbeanspruchung geführt hat.

Durch die geringe Anzahl an ausgewerteten Daten nach Aussortierung der Ausreißer sind die Ergebnisse der aktuellen Studie mit Vorsicht zu interpretieren, daher wäre eine Follow-up-Studie anzudenken. Mit einer weiteren Studie, modifizierten Testbedingungen und noch mehr Proband*innen sollte es möglich sein, eine klare Aussage treffen zu können. Da die initialen Ergebnisse für die während der Studie verwendete Tragedauer auf keine signifikant erhöhte Muskelaktivität hindeuten könnte man in einer Folgestudie auch die Tragedauer testweise erhöhen, um auch die Muskelermüdung untersuchen.

2.3.2 Druckstellenprotokoll

Mittels des Druckstellenprotokolls sollten zusätzlich zu der Muskeldatenmessung auch subjektive Belastungsempfindungen erfasst werden. Zu diesem Zweck markierten die Testpersonen auf Datenblättern empfundene Druckstellen und bewerteten separat, wie störend bzw. schmerzhaft sie die Druckstellen empfanden. Die Intensität des Empfindens wurde von den Testpersonen auf einer Skala von 1 (gar nicht unangenehm) bis 7 (sehr unangenehm) eingestuft.

Hierbei kam es zu sichtbaren Unterschieden zwischen den Endgeräten. Bei der HoloLens 1 wurden Druckstellen auf dem oberen Nasenrücken sowie bei der Schläfe bzw. seitlich über den Ohren am Häufigsten genannt. Die Intensität der Druckstellen wurde beim Nasenrücken mit einem Schnitt von 4,33 und bei den Schläfen mit einem Schnitt von 5 angegeben. Der Bereich um das Auge herum wurde weniger häufig genannt (sichtbar z.B. auf den beiden Bildern im Profil), ergab bei der Intensität im Schnitt aber ebenfalls einen Wert von 5.

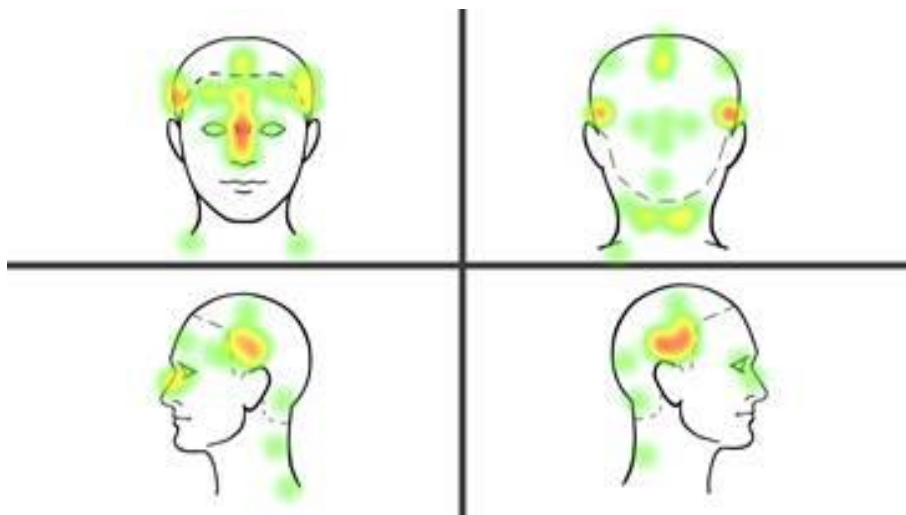


Abbildung 7: Druckstellen (Häufigkeit der Nennung) bei der HoloLens 1

Im Vergleich dazu wurde bei der HoloLens 2 wurde der Stirnbereich am häufigsten genannt, während die restlichen empfundenen Druckstellen sich relativ gleichmäßig über den Kopf verteilen (siehe Abbildung 8). Dies ist voraussichtlich auf die neue Befestigungsart der HoloLens 2 zurückzuführen, die um den gesamten Kopf abschließt (mit einem Drehrad zum seitlichen Festziehen sowie einem zusätzlichen Band am Oberkopf, siehe Abbildung 9). Obwohl die Stirn bei der HoloLens 2 sehr häufig genannt wurde war die angegebene

Intensität der Druckstelle mit einem Wert von 2,36 im Schnitt relativ niedrig, wirkte also subjektiv weniger störend als beispielsweise die Druckstelle am Nasenrücken bei der HoloLens 1.

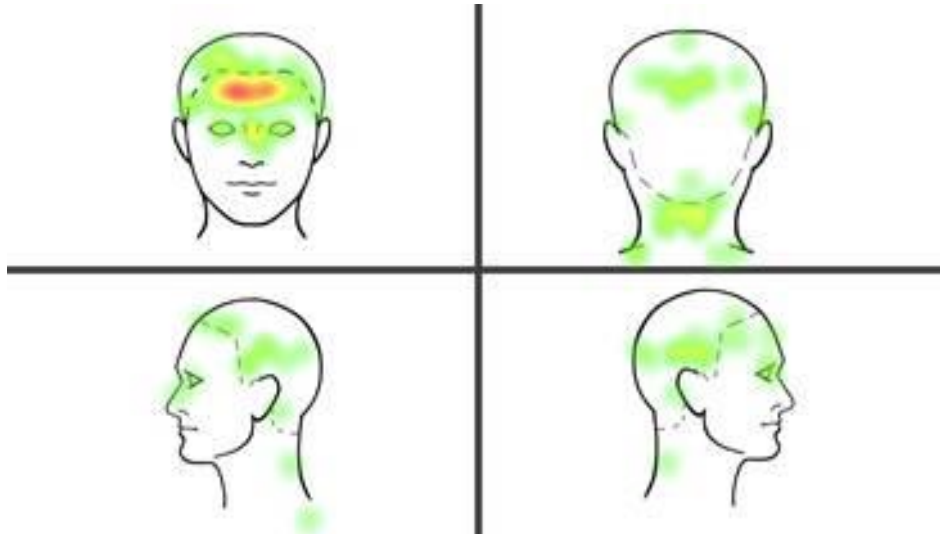


Abbildung 8: Druckstellen (Häufigkeit der Nennung) bei der HoloLens 2



Abbildung 9: Veranschaulichung der Befestigungen - HoloLens 1 (links) vs. HoloLens 2 (rechts).

Ein weiteres sehr interessantes Ergebnis der Studie war, dass bei beiden AR-Systemen einige Teilnehmer*innen das Auge selbst als „Druckstelle“ angaben, obwohl dies natürlich keine Druckstelle im klassischen Sinn darstellt. Bei der HoloLens 1 wurde das Auge im Schnitt mit einer Intensität von 4 beurteilt, bei der HoloLens 2 mit einem Schnitt von 3,67, beide also über dem Mittelwert. In diesem Sinne wäre es für die Zukunft interessant zu untersuchen, ob bzw. inwiefern AR-Systeme bei längerem Tragen eine Belastung für die Augen darstellen.

2.3.3 Fragebogen-Ratings

Über Fragebögen (Borg-CR-Skala und NASA TLX) wurden zusätzlich zum Druckstellenprotokoll weitere subjektive Eindrücke zur Ergonomie erfasst. Mittels der Borg-CR-Skala wurde abgefragt, wie körperlich Anstrengend die Aufgabenstellung auf die Testpersonen gewirkt hat (auf einer Skala von 0 = keine Anstrengung bis 10 = maximal anstrengend). Hierbei ergaben allerdings sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den Werten ohne HoloLens ($M = 2,95$, $SD = 0,92$), der HoloLens 1 ($M = 3,50$, $SD = 1,44$) und der HoloLens 2 ($M = 3,58$, $SD = 1,74$).

		Stirnband		HoloLens 1		HoloLens 2	
		mean	std.dev	mean	std.dev	mean	std.dev
BORG	Körperliche Anstrengung	3,50	1,44	3,58	1,74	2,95	0,92
NASA	Körperliche Aktivität	1,62	0,50	2,27	1,35	1,75	0,72

Die Auswertung des Items „Erforderliche körperliche Aktivität“ aus dem NASA TLX ergab ebenfalls keinen signifikanten Unterschied zwischen den Werten ohne HoloLens ($M = 1,62$, $SD = 0,5$), der HoloLens 1 ($M = 1,91$, $SD = 0,92$) und der HoloLens 2 ($M = 1,70$, $SD = 0,80$). Zusammen mit den Ergebnissen der Muskelaktivitätsmessung deutet dies darauf hin, dass die Arbeit mit dem AR-System für die getestete Dauer innerhalb der Studie nicht als körperlich signifikant belastender als die Kontrollbedingung empfunden wurde.

3 ARBEITSPSYCHOLOGIE

3.1 Ziel der Studie & Fragestellungen

In der Studie zum Themenbereich Arbeitspsychologie wurden psychologische Anforderungen und Belastungen, die bei der Nutzung einer AR Technologie auftreten können erfasst und analysiert. Spezielle Arbeitsanforderungen (u.a., Unterbrechungen, Zeitdruck, Autonomie, Arbeitskomplexität) dieser Technologie und deren Auswirkung auf emotionale und kognitive Belastungen im Arbeitskontext wurden zu diesem Zweck untersucht. Als Grundlage für psychologische Arbeitsbelastungen wurden einerseits die Kriterien Humaner Arbeit (Hacker & Richter, 1980) und andererseits das Arbeitnehmer*innenschutzgesetz (ASchG) betrachtet.

Dabei war das Ziel, Richtlinien für die Gestaltung wie auch Verwendung dieser Technologie abzuleiten.

Fragestellung

- Welche arbeitspsychologischen Anforderungen und Belastungen ergeben sich aus der Nutzung von AR Headsets?

Nach dem Arbeitnehmer*innenschutzgesetz (ASchG) ist der/die ArbeitgeberIn verpflichtet, für die Sicherheit und Schutz der Gesundheit seiner ArbeitnehmerInnen zu sorgen. Seit 2013 beinhaltet die neue Auffassung außerdem, dass auch auf die psychische Belastungen der ArbeitnehmerInnen zu achten sei. Nach §60 ASchG müssen die Arbeitsvorgänge so gestaltet sein, dass Arbeitsbelastungen und ihre gesundheitlichen Auswirkungen, möglichst gering ausfallen.

Demnach wurden im Rahmen der Studie B mögliche psychische Belastungen, die durch die Arbeit mit einem Augmented Reality Headset entstehen können, ermittelt, sowie die Arbeit mit einem AR Headset auf den Einhaltung der Kriterien Humaner Arbeit nach Hacker und Richter (1980) hin überprüft.

Folgende Ziele wurden hiermit in Studie 1 verfolgt:

- Die Ergebnisse der Studie können zur Formulierung von Maßnahmen gegen mögliche Risiken, wie auch zur Verbesserung der technologischen wie auch gestalterischen Aspekte von AR Headsets genutzt werden.
- Nach Ermittlung psychische belastender, sowie auch positiver Aspekte, soll folgernd aus den Ergebnissen eine Richtlinie für den Einsatz von AR Headsets am Arbeitsplatz erstellt werden.
- Die erstellte Richtlinie kann auch zur Evaluierung eines Arbeitsplatzes, welcher diese Technologie nutzt, herangezogen werden.
- Weiterhin soll die Richtlinie gewährleisten, dass der/die ArbeitgeberIn dem ASchG adäquat folgen kann.

Zur Evaluierung der arbeitspsychologisch relevanten Faktoren wurde eine Selektion von relevanten Items aus dem WDQ (Work Design Questionnaire; Morgeson & Humphrey, 2006), dem KFZA (Kurz-Fragebogen zur Arbeitsanalyse; Prümper, Hartmannsgruber & Frese, 1995) und dem ISTA (Instrument for Stress-Oriented Task Analysis; Semmer, Zapf & Dunckel, 1995) verwendet.

3.2 Studienablauf & Methodik

3.2.1 Kurzübersicht Studienablauf

Die Studie wurde im AIT Technology Experience Lab durchgeführt. In dieser Studie wurden psychologische Anforderungen und Belastungen, die bei der Nutzung von AR Headsets auftreten können, aus arbeitspsychologischer Sicht erfasst und analysiert. Dafür mussten Versuchsteilnehmer*innen Aufgaben erledigen, die angelehnt an die tatsächlichen Aufgaben der MitarbeiterInnen der Firma Magna Steyr und Magna Powertrain waren. Diese führen bereits Qualitätskontrollen unterstützt durch eine Augmented Reality Brille (MS HoloLens 2) in der Montage durch.

Die Studienteilnehmer*innen arbeiteten an einem Arbeitsplatz (Werkbank) bestehend aus einem höhenverstellbaren Tisch, einer Lampe, einer digitalen Schiebelehre, einer elektronischen Waage sowie mehreren Kisten mit abstrakten Werkstücken. Die Teilnehmer*innen sollten eine Qualitätskontrolle für diese abstrakten Bauteile durchführen (mit denen sie nicht vertraut waren), indem sie diese anhand von aufgedruckten Codes identifizierten und mit vorgegebenen Richtwerten für Gewicht und Längen des jeweiligen Bauteiltyps verglichen. Die erlaubten Grenzwerte für die Parameter wurden von ihnen einmal über eine AR-Brille (Microsoft HoloLens 2) und einmal auf einem Tablet (als digitale Vergleichskondition) übermittelt, und die gemessenen Werte jeweils über das Gerät eingetragen.

Im Anschluss an die beschriebenen Aufgaben wurden StudienteilnehmerInnen in einem psychologischen Fragebogen gebeten, ihr Wohlbefinden nach der Arbeit mit dem jeweiligen Endgerät zu bewerten. Nachdem TeilnehmerInnen die Fragebögen bearbeitet hatten, wurden die TeilnehmerInnen zusätzlich noch in kurzen, halbstrukturierten Interviews nach ihren Erfahrungen befragt.

3.2.2 Unabhängige Variablen

Dauer (within subjects): Die Testpersonen hatten jeweils 10 Minuten pro Kondition Zeit, möglichst viele Teile zu kontrollieren. Nach Ablauf der Zeit wurde die Aufgabe unterbrochen, unabhängig davon, wie viele Teile abgehandelt wurden.

Endgerät (within subjects): Die Testpersonen mussten zwei je ca. 30-minütige Sessions absolvieren, davon eine Session mittels HoloLens 2 und eine Session mit einem Tablet (Kontrollbedingung). Die Aufgaben je Testbedingung unterschieden sich nicht, aber die Reihenfolge der Konditionen wurde zwischen HoloLens 2 und Tablet als erste Kondition durchgemischt, um Lerneffekte zu berücksichtigen.

Anzahl der abzuarbeitenden Teile (within subjects): Insgesamt waren jeweils 22 Bauteile zum Ausmessen vorhanden. Die Anzahl der Teile in den Kisten wurde so gewählt, dass es keine der Testpersonen innerhalb der Zeit schaffen konnte, sämtliche Teile auszumessen. Sie wurden darauf hingewiesen, dass nicht erwartet wird, dass sie alle Teile in der Zeit schaffen, aber ihre Performance miterfasst wird. Dadurch sollte u.a. gewährleistet werden, dass ein ähnlicher Druck wie in einer realen Arbeitssituation entsteht.

Art der Aufgabe (within subjects). Die zu überprüfenden Teile waren in drei Kisten aufgeteilt, welche nacheinander abgearbeitet werden sollten. Die Testpersonen sollten während der Studie pro Teil eine Reihe von Qualitätskontrollen durchführen:

- Identifikation des richtigen Teils anhand eines aufgedruckten Codes (und Eintragen dieses Codes)
- Abmessung des Abstandes zwischen zwei Schrauben über eine Schiebelehre, Vergleich des gemessenen Wertes mit den erlaubten Abstandswerten sowie Eintragung des Messwerts
- Messung des Gewichts des Bauteils über eine digitale Waage, Vergleich des gemessenen Wertes mit den erlaubten Gewichtsgrenzen sowie Eintragung des Messwerts
- Einsortieren des Messteils in eine Ausschuss-Kiste, falls einer der Messwerte außerhalb der erlaubten Grenzen liegt

3.2.3 Abhängige Variablen

Subjektive Parameter: Erfassung des subjektiven Wohlbefindens sowie arbeitspsychologischer Belastungsfaktoren mittels eines Fragebogens zusammengestellt aus einer Selektion von relevanten Items aus dem WDQ (Work Design Questionnaire; Morgeson & Humphrey, 2006), dem KFZA (Kurz-Fragebogen zur Arbeitsanalyse; Prümper, Hartmannsgruber & Frese, 1995) und dem ISTA (Instrument for Stress-Oriented Task Analysis; Semmer, Zapf & Dunckel, 1995).

3.2.4 Stichprobe

30 StudienteilnehmerInnen aus unterschiedlichen Berufsfeldern wurden für die Untersuchung rekrutiert. Der Anteil von Männern und Frauen wurde dabei bestmöglich ausbalanciert (13 weiblich, 15 männlich, 2 divers).

Auch beim Alter wurde auf eine möglichst breite Abdeckung von unterschiedlichen Gruppen geachtet, Durchschnittsalter in der Studie waren rund 34 Jahre.

3.2.5 Materialien

Um die subjektive Bewertung der StudienteilnehmerInnen zu messen, wurden Items aus dem Work-Design-Questionnaire (WDQ), dem Instrument for Stress-Oriented Task Analysis (ISTA), dem Kurz-Fragebogen zur Arbeitsanalyse (KFZA) und der ISONORM 9241-110 entnommen. Dies geschah, um einen möglichst großen Bereich an psychologischen Belastungen abzudecken. Denkbare psychologische Belastungen wurden dabei dem Arbeitnehmerschutzgesetz (ASchG) entnommen, welche psychologische Arbeitsbelastungen in vier Dimensionen unterteilt (Arbeitsaufgaben und Tätigkeiten, Sozial- und Organisationsklima, Arbeitsumgebung und Arbeitsmittel und Arbeitsabläufe und Organisation). Die Dimension Sozial- und Organisationsklima wurde hierbei nicht untersucht, da sie sich nicht direkt auf die Anwendung der HoloLens 2 bezieht. Der Inhalt der Fragen aus dem Fragebogen wurde dabei mit den Dimensionen abgeglichen und jede Frage einer Dimension zugeordnet.

Der erste Teil des Fragebogens befasst sich auf fünf Seiten mit der allgemeinen Erfahrung mit dem AR-Headset. Dieser Teil besteht aus einer Itemauswahl des WDG, dem KFZA und dem ISTA. Erhoben wurden dabei unter anderem die Autonomie, Spezialisierung, Informationsverarbeitung, Vielseitigkeit und Konzentration.

Im zweiten Teil des Fragebogens sollte auf zwei Seiten die Software des AR-Headsets subjektiv beurteilt werden. Die Items zur Beurteilung wurden hierbei dem ISONORM 9241-110 Fragebogen entnommen. Erhoben werden die Aufgabenangemessenheit, die Selbstbeschreibungsfähigkeit, die Steuerbarkeit, die Erwartungskonformität, die Fehlertoleranz, die Individualisierung sowie die Lernförderlichkeit der Anwendung. Nähere Details zu den Ergebnissen finden sich in Kapitel 5.

Der letzte Teil beinhaltet demographische Fragen zu Alter, Geschlecht, höchsten abgeschlossenen Bildungsabschluss und der momentanen Beschäftigung. Weitere relevante Aspekte werden anschließend in einem Interview erschlossen, welches angepasste Fragen aus dem Leitfaden „Screening Gesundes Arbeiten“ (2014) enthielt.

3.2.6 Ablauf

Bei der Ankunft am Arbeitsplatz im AIT erhielten die TeilnehmerInnen Informationen zum Studienablauf zusammen mit einer Einwilligungserklärung die sie unterschreiben müssen. Anschließend wurden sie in der Handhabung der HoloLens 2 unterwiesen. Das Interface der HoloLens 2, die Sprachsteuerung und Gestik-Steuerung, sowie auch die unterschiedlichen Aufgaben wurden durch den/die VersuchsleiterIn erläutert und kurz anhand einer Probe-Checklist (die genauso aufgebaut war wie die späteren Checklisten mit Referenzwerten in der Studie selbst) geübt. Die Versuchsperson erhielt außerdem einen Spickzettel in Karteikartengröße, auf dem eine Übersicht der Sprachbefehle der HoloLens 2 notiert war.

Je nach Testpersonengruppe sollte die Testperson dieselben Tasks einmal mit einem Tablet und einmal mit einer HoloLens 2 durchführen. Beim Durchlauf mit der HoloLens wurde diese von der Versuchsperson genommen, aufgesetzt und eine Anwendung per Sprachbefehl gestartet. Der/die VersuchsteilnehmerIn ging daraufhin zur Werkbank, wo sie eine Qualitätskontrolle unter Zuhilfenahme einer digitalen Schiebelehre und einer elektronischen Waage erledigen musste. Um einen möglichst authentischen Kontext zu simulieren wurde ein Bild einer Werkshalle auf die Wand direkt vor der Werkbank projiziert und eine aufgezeichnete Geräuschkulisse aus einer Industriehalle während der gesamten Studie im Hintergrund abgespielt (siehe Abbildung 10; das Foto der Industriehalle wurde für das Bild aus Copyright-Gründen ausgeblendet).



Abbildung 10: Interaktion mit der HoloLens 2 an der höhenverstellbaren Werkbank, mit Waage und Schiebelehre. Die Bauteile befanden sich im Kanban-Regal rechts.

Zunächst musste von der Testperson das richtige Werkteil (mit der in der HoloLens bzw. am Tablet angezeigten Nummer) aus einer Kiste entnommen und eingescannt werden. Bei der HoloLens-Kondition erfolgte dieser Schritt über eine automatische Bilderkennung. Dazu muss die Versuchsperson einige Sekunden lang das Label auf dem Werkstück anschauen, bis der Code erfasst und automatisch eingetragen wurde. Die Korrektheit des erfassten Labels musste von der Versuchsperson bestätigt bzw. gegebenenfalls manuell (über Tippen auf einer virtuellen Tastatur) ausgebessert werden.

Anschließend wurden verschiedene Längen des Bauteils basierend auf einer digitalen Anleitung ausgemessen und via Touch (sowohl bei der HoloLens 2 als auch am Tablet) eingegeben. Auf dem jeweiligen Endgerät waren die zulässigen Minimal- und Maximalwerte für das jeweilige Teil einsehbar. Danach sollte das Gewicht des Teils auf ähnliche Weise mit Hilfe der elektronischen Waage geprüft und eingetragen werden. Zuletzt musste die Versuchsperson das Werkstück in eine passende Kiste (Ausschuss oder reguläre Kiste) sortieren, bevor sie mit dem nächsten Werkstück fortfuhr.

Diese Tasks wurden für die Dauer von 10 Minuten durchgeführt und anschließend abgebrochen. Um Beeinflussungen durch potenzielle Lerneffekte zwischen den beiden Konditionen zu vermeiden wurde die erste Kondition zwischen den beiden Endgeräten ausbalanciert (die Hälfte der Testpersonen starteten mit der HoloLens 2, die andere Hälfte startete mit dem Tablet). Im Anschluss an die Testkonditionen wurden die Testpersonen jeweils mittels eines Fragebogens sowie im Rahmen eines Kurzinterviews befragt, um die arbeitspsychologisch relevanten Faktoren zu ermitteln. Nach Durchlaufen aller Konditionen wurde die Versuchsperson debriefet. Abschließend wurde eine Aufwandsentschädigung ausgefüllt von der Testperson und der/die TeilnehmerIn verabschiedet.

3.3 Ergebnisse

Zur Evaluierung der arbeitspsychologisch relevanten Faktoren wurde eine Selektion von relevanten Items aus dem WDQ (Work Design Questionnaire; Morgeson & Humphrey, 2006), dem KFZA (Kurz-Fragebogen zur Arbeitsanalyse; Prümper, Hartmannsgruber & Frese, 1995) und dem ISTA (Instrument for Stress-Oriented Task Analysis; Semmer, Zapf & Dunckel, 1995) verwendet.

Um die Alpha-Fehler-Kumulierung bei der großen Anzahl an Vergleichen zu berücksichtigen wurde eine Bonferroni-Korrektur des Signifikanzniveaus durchgeführt. Auch nach der Korrektur ergaben sich hierbei aber signifikante Unterschiede zwischen der AR-Condition und der Vergleichskondition am Tablet in einzelnen Kategorien. Die relevanten Kategorien sind in der nachfolgenden Tabelle zusammengefasst:

Signifikante Ergebnisse (nach Korrektur)		Tablet		AR			
		mean	std.dev	mean	std.dev	t(29)	P
WDQ	Komplexität	1,54	0,45	3,03	0,63	10,25	< 0,001
	Effort/ Informationsverarbeitung	1,68	0,80	2,71	0,80	5,00	< 0,001
	Anforderungsvielfalt	1,63	0,69	2,20	0,71	3,74	0,001
	Spezialisierung	1,73	0,44	2,21	0,59	4,54	<0,001
KFZA	Vielseitigkeit	1,53	0,69	2,67	0,97	5,22	< 0,001
	Qualitative Arbeitsbelastung	1,37	0,63	2,70	1,10	6,73	< 0,001
	Quantitative Arbeitsbelastung	2,12	1,10	3,02	1,14	3,37	0,002
ISTA	Konzentration	1,72	0,68	2,63	0,80	5,06	< 0,001
	Handlungsspielraum	4,53	0,73	3,30	1,51	-4,25	< 0,001

3.3.1 Signifikante Ergebnisse (WDQ)

Komplexität:

In dieser Fragegruppe wurden mehrere relevante Themenbereiche untersucht. Hierbei ging es darum, inwiefern es notwendig war an mehreren Aufgaben gleichzeitig zu arbeiten, ob die Arbeit ohne Einarbeitung möglich wäre und wie schwierig bzw. anspruchsvoll die Arbeit war. Hierbei gab es einen hochsignifikanten ($p < 0,001$, $t(29) = 10,25$) Unterschied zwischen dem Tablet ($M = 1,54$, $SD = 0,45$) und dem Augmented Reality System ($M = 3,03$, $SD = 0,63$), die mit dem Tablet als vergleichsweise sehr einfach eingestufte Arbeit wirkte mit dem Augmented Reality System also spürbar komplexer.

Effort/Informationsverarbeitung:

Diese Fragegruppe bestand aus vier Fragen, die thematisch ähnlich zur vorherigen Fragegruppe sind. Konkret ging es hierbei darum, wie viel Denkaufwand bzw. gleichzeitige Verarbeitung von Informationen notwendig war, und wie sehr man sich gleichzeitig um mehrere Dinge kümmern bzw. Informationen im Auge behalten musste. Auch hier gab es einen hochsignifikanten Unterschied ($p < 0,001$, $T(29) = 5,00$) zwischen dem Tablet ($M = 1,68$, $SD = 0,80$) und der HoloLens ($M = 2,71$, $SD = 0,80$). Bei der Interpretation dieser Daten sollte allerdings beachtet werden, dass im Rahmen der Studie auch nur simplere Aufgaben durchgeführt wurden, bei der die gemessenen Werte unmittelbar eingetragen wurden. Im Rahmen der Telefoninterviews mit Mitarbeiter*innen der Magna Powertrain wurde hingegen angegeben, dass in ihrer Arbeitspraxis beispielsweise oft mehrere Messwerte gemittelt werden müssen. In diesem Zusammenhang reduzierte die HoloLens bei den Mitarbeiter*innen den Aufwand, da sie die Mittelwerte nicht mehr selbst berechnen und keinen zusätzlichen Taschen-/Handy-Rechner nutzen mussten, da die HoloLens diesen Aspekt automatisiert übernommen hat.

Anforderungsvielfalt:

Diese Fragegruppe beschäftigt sich damit, wie viele unterschiedliche, anspruchsvollere Fertigkeiten bzw. Kompetenzen für die Arbeit mit dem System notwendig waren, und ob man in der Interaktion mit dem System eine Reihe von eigenen Talenten einsetzen könne. Der Unterschied war in diesem Fall erneut hochsignifikant ($p = 0,001$, $T(29) = 3,74$). Die Arbeit mit dem AR-System ($M = 2,20$, $SD = 0,71$) erforderte aus Sicht der Teilnehmer*innen also eine breitere Palette an unterschiedlichen Fähigkeiten als das Tablet ($M = 1,63$, $SD = 0,69$), bietet aber dementsprechend auch mehr Möglichkeiten die eigenen Talente in der Arbeit einzusetzen.

Spezialisierung:

Mit der Anforderungsvielfalt verwandt ist auch die Fragegruppe der Spezialisierung. Die Fragen in dieser Fragegruppe beschäftigten sich damit, inwiefern Fachwissen für die Arbeit notwendig war, und wie sehr spezifische Fähigkeiten bzw. Spezialisten aus Sicht der Proband*innen für eine erfolgreiche Arbeit notwendig waren. Die Augmented Reality Bedingung ($M = 2,21$, $SD = 0,59$) erforderte hierbei aus Sicht der Testpersonen einen höheren Grad an Spezialisierung als das Tablet ($M = 1,73$, $SD = 0,44$). Auch dieser Unterschied war hochsignifikant ($p < 0,001$, $T(29) = 4,54$).

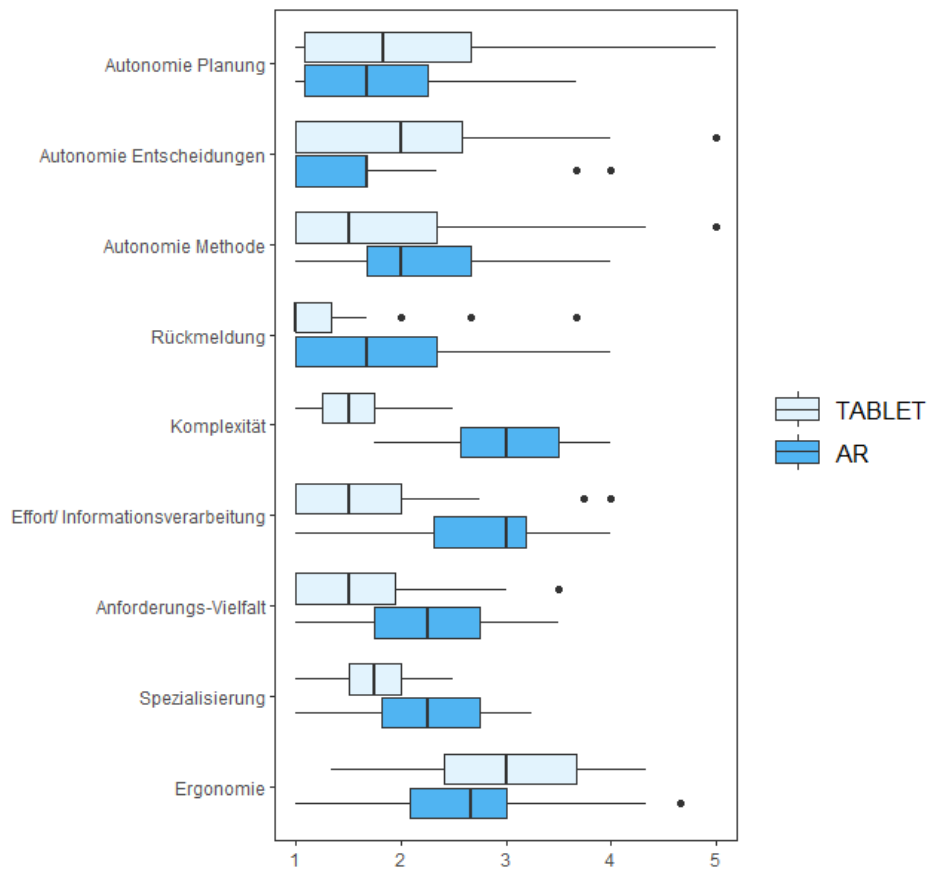


Abbildung 11: Boxplot WDQ Ergebnisse

3.3.2 Signifikante Ergebnisse (KFZA)

Vielseitigkeit:

Die Fragegruppe Vielseitigkeit bestand aus zwei Fragen – inwiefern die Proband*innen bei der Arbeit mit dem System Neues dazulernen konnten, und wie abwechslungsreich die Arbeitsaufgaben waren. Hierbei ergab sich erneut in hochsignifikanter ($p < 0,001$, $t(29) = 5,22$) Unterschied, die Augmented Reality wurde hierbei höher gewertet ($M = 2,67$, $SD = 0,97$) als das Tablet ($M = 1,53$, $SD = 0,69$). Dies legt ein Potential für Augmented Reality

Qualitative Arbeitsbelastung:

Bei der qualitativen Arbeitsbelastung wurden Fragen zur Kompliziertheit der Aufgabe sowie zur erfordernten Konzentrationsfähigkeit gestellt. Auch hier waren die Mittelwerte wie bei den meisten Kategorien bei beiden Gerätegruppen niedrig, aber die Arbeitsbelastung bei der HoloLens wurde als deutlich höher angegeben ($M = 2,70$, $SD = 1,10$) als beim Tablet ($M = 1,37$, $SD = 0,63$). Der Unterschied war hochsignifikant ($p < 0,001$, $T(29) = 6,73$).

Quantitative Arbeitsbelastung:

Bei der quantitativen Arbeitsbelastung ging es um die Menge der Arbeit sowie den empfundenen Zeitdruck. Hierbei kam es zu einem signifikanten Unterschied, mit $p < 0,002$ und $T(29) = 3,37$. Die Augmented Reality schnitt hierbei ($M = 3,02$, $SD = 1,14$) im Schnitt schlechter ab als bei der qualitativen Arbeitsbelastung, allerdings mit einer deutlich höheren Standardabweichung. Das Tablet erzielte in dieser Kategorie signifikant bessere Werte aber mit einer ähnlichen Streuung ($M = 2,12$, $SD = 1,10$). Sowohl bei der qualitativen als

auch der quantitativen Arbeitsbelastung muss allerdings beachtet werden, dass die Interaktion mit einem neuartigen bzw. ungewohnten System natürlich auch von sich aus kognitive Anforderungen stellt, was dementsprechend bei der Interpretation der Daten bei den Handlungsempfehlungen (Kapitel 6) berücksichtigt wurde.

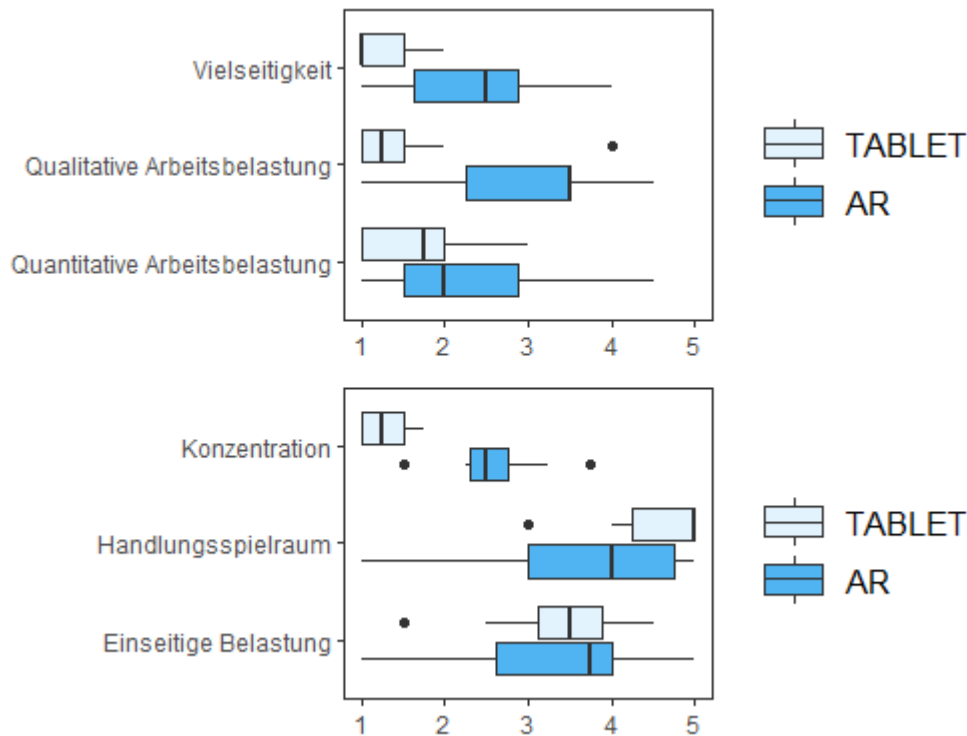


Abbildung 12: Boxplots KFZA & ISTA

3.3.3 Signifikante Ergebnisse (ISTA)

Konzentration:

Diese Fragegruppe beinhaltet vier Fragen, einerseits ob Phasen von hoher Konzentration bzw. Ungestörtheit notwendig waren sowie ob man sich komplexe oder eine Vielzahl von unterschiedlichen Daten im Kopf behalten musste. Der Unterschied war auch hier signifikant ($T(29) = 5,06$, $p < 0,001$), wobei die HoloLens mit $M = 2,63$, $SD = 0,80$ schlechter bewertet wurde als die Vergleichskondition am Tablet ($M = 1,72$, $SD = 0,68$).

Handlungsspielraum:

Beim Handlungsspielraum handelte es sich um ein einzelnes Fragegruppenitem: „Für die Kontrolle des Arbeitsergebnisses war ausschließlich ich selbst zuständig.“ In dieser Kategorie wurde das Tablet besser bewertet ($M = 4,53$, $SD = 0,73$) als die Augmented Reality ($M = 3,30$, $SD = 1,51$), wobei hierbei Aspekte aus der Studiengestaltung bei der Bewertung berücksichtigt werden müssen: Im Studiensetup wurde als Eingabemethode in der HoloLens, neben Sprachsteuerung und manueller Eingabe, auch eine automatische Erfassung & Abgleich von Eingabewerten via Bilderkennung von den Proband*innen genutzt. Das System gab daraufhin auch eine automatische Bewertung ab, ob der erfasste Wert innerhalb der erlaubten Grenzwerte liege, was zu diesem Unterschied in der Bewertung beigetragen haben könnte.

3.3.4 Nicht signifikante Ergebnisse

Arbeitspsychologisch relevante Faktoren die ebenfalls untersucht wurden aber bei denen **keine** signifikanten Unterschiede erkannt werden konnten waren Autonomie hinsichtlich Planung, Entscheidungen & Methoden, sowie Rückmeldung über die eigene Performance der Mitarbeiter*innen (Feedback). Dies stellt eine sehr interessante und positive Erkenntnis dar, da die Teilnehmer*innen scheinbar nicht das Gefühl hatten, dass

ihre Autonomie durch diese neue Technologie in einer der drei Dimensionen (im Vergleich zur Testkondition) maßgeblich negativ beeinflusst wurde.

Nicht signifikante Ergebnisse		Tablet		AR			
		mean	std.dev	mean	std.dev	t(29)	p
WDQ	Autonomie Planung	2,12	1,17	1,71	0,64	-1,84	0,075
	Autonomie Entscheidungen	2,06	1,09	1,58	0,74	-2,39	0,024
	Autonomie Methode	1,84	1,10	2,17	0,81	1,33	0,195
	Rückmeldung / Feedback	1,33	0,61	1,81	0,86	2,64	0,013

4 UNFALLPRÄVENTION

4.1 Ziel der Studie & Fragestellungen

Da bei Augmented Reality Anwendungen virtuelle Inhalte prominent über die reale Umwelt eingeblendet und Geräusche unmittelbar in der Nähe des Ohrs abgespielt werden stellen sich auch sicherheitstechnische Fragen, die ebenfalls im Rahmen dieser Studie beantwortet werden sollen.

Fragestellung:

- Führt eine AR-Anwendung dazu, dass (möglicherweise sicherheitstechnisch relevante) Umgebungsreize nicht mehr beachtet bzw. wahrgenommen werden?

4.2 Studienablauf & Methodik

4.2.1 Kurzübersicht Studienablauf

Bei der Untersuchung des Aspekts Unfallprävention wurden die Versuchsperson gebeten, sich auf eine markierte Position im Labor zu begeben und von dort eines von drei Videos anzusehen, während im Hintergrund die aufgezeichnete Fabrikgeräusche aus einer Industriehalle eingespielt wurden. Je nach Kondition wurden die Videos entweder auf einem Fernseher oder über Augmented Reality in einem virtuellen Fenster auf einer der beiden HoloLenses abgespielt. In letzterem Fall wurde das virtuelle Fenster mit dem Videoinhalt so platziert, dass es möglichst exakt das Display des Fernsehers in der realen Welt überlagert, um die Vergleichbarkeit maximal zu gewährleisten. Den Studienteilnehmer*innen wurde angekündigt, dass sie im Anschluss an das Video zu den Inhalten befragt werden, um sicherzustellen, dass sie sich auf die Inhalte konzentrieren. Zwischen den Personen randomisiert, wurde dann in **einer** der drei Konditionen (HoloLens 1, HoloLens 2 bzw. ohne HoloLens) während dem Video verschiedene Stimuli im Umfeld der Person erzeugt. Im Anschluss an jede Kondition wurde die Person zu den Inhalten befragt, und nach der Kondition mit den eingespielten Reizen zusätzlich noch darüber, welche und wie viele von den eingespielten Stimuli sie bemerkt hat.

4.2.2 Unabhängige Variablen

Dauer: Die betrachteten Videos waren jeweils 10 Minuten lang. Nach dem Ablauf des Videos wurden die Testpersonen zu den Inhalten und (im Falle der Kondition mit den eingespielten Reizen) zu den bemerkten Ablenkungen befragt.

Wiedergabequelle (within subject): Das Video wurde über unterschiedliche Ausgabekanäle wiedergegeben (auf einem Fernseher, bzw. auf einem virtuellen Display innerhalb der HoloLens 1 bzw. HoloLens 2, so positioniert dass es Größe und Position des Fernsehers entspricht).

Eingespielte Stimuli (between subject): Bei einer der Konditionen (randomisiert) wurden ungefähr im Minutentakt unterschiedliche akustische bzw. visuelle Stimuli vom Versuchsleiter im Hintergrund eingespielt. Bei rein akustischen Reizen wurden diese außerhalb vom Sichtbereich der Teilnehmer*innen (z.B. hinter einem Paravont versteckt) produziert, um keine visuellen Reize mit zu erzeugen.

Visuelle Reize:

- Rot leuchtende Lampe im Hintergrund
- Grün leuchtende Lampe im Hintergrund
- Laserpointer, gerichtet zum Fernsehbildschirm & herumbewegt

Akustische Reize

- S-Bahn Stationsdurchsage („Bahnhof Freilassing“)
- Klapperndes, rasselndes Geräusch
- Gesprächsausschnitt (ORF Nachrichtenreport)

- Supermarkt-Ansage

Audiovisuelle Reize:

- Vorbeirollender bunter Kunststoffwürfel (ca. 15 cm³)
- Fallengelassenes Objekt 1 (laut, einmaliger Knall)
- Fallengelassenes Objekt 2 (leiser, polterndes Geräusch)

Körperhaltung (within subject): Die Teilnehmer*innen wurden gebeten, das Video von derselben Position aus zunächst 5 Minuten im Sitzen und anschließend 5 Minuten im Stehen anzusehen.

4.2.3 Abhängige Variablen

Subjektive Parameter: Die Teilnehmer*innen wurden (nach inhaltlichen Fragen zu dem angesehenen Film) befragt, ob bzw. anschließend welche Reize sie wahrgenommen haben. Falls Stimuli bemerkt wurden Unabhängig davon, ob tatsächlich Stimuli in der Kondition präsentiert wurden, stellte der/die VersuchsleiterIn nach jeder Kondition Fragen nach bemerkten Ablenkungen während des Videos, wobei die Fragen erst sehr allgemein formuliert waren und schließlich präziser wurden.

4.2.4 Stichprobe

Da alle Teilnehmer*innen immer nur in einer der drei Konditionen (HoloLens 1, HoloLens 2, keine HoloLens) mit den Stimuli konfrontiert werden konnten (ohne dass sie bereits sensibilisiert auf die Reize sind und Lerneffekte entstehen) war für diesen Teil der Studie eine deutlich größere Stichprobenanzahl notwendig. Aus diesem Grund wurde der Unfallpräventions-Aspekt im Rahmen der beiden anderen zwei Studien (mit einer Gesamtanzahl von 51 Teilnehmer*innen) in einem eigenen Studienabschnitt untersucht.

4.2.5 Ablauf

Die Unfallpräventions-Aufgabe wurde bei beiden Studien jeweils direkt nach der Aufgabe an der Werkbank durchgeführt, um mehrmaliges Auf- und Absetzen der HoloLens zu vermeiden. Die Versuchsperson wurde gebeten, sich auf einen speziell markierten Stuhl im Raum vor einem großen Fernseher zu setzen. Sie wurde instruiert, dass im Anschluss an das Video Detailfragen zum Inhalt gestellt werden, um sicherzustellen, dass sie sich auf das Video konzentriert. Je nach Kondition wurden die Videos entweder auf dem Fernseher oder in einem virtuellen Fenster auf einer der beiden HoloLenses (so positioniert, dass es möglichst exakt das Display des Fernsehers überlagert) abgespielt. Zwischen den Testpersonen randomisiert wurden in einer der drei Konditionen während des Videos verschiedene Stimuli im Umfeld der Person (ca. im Minutentakt) produziert.

Das Video wurde von der Versuchsperson zunächst fünf Minuten sitzend und schließlich Minuten stehend angesehen. Im Anschluss an die Kondition wurden TestteilnehmerInnen in einem kurzen Interview inhaltlich zum gerade gesehenen Video befragt. Unabhängig davon, ob tatsächlich Stimuli in der Kondition präsentiert wurden, stellte der/die VersuchsleiterIn nach jeder Kondition die Frage, ob während des Videos irgendetwas aufgefallen ist. Im Falle dass Reize zurückgemeldet wurden wurde zunächst allgemein nachgefragt, wobei die Fragen immer präziser wurden.

4.3 Ergebnisse

Bei der Analyse wurde die Anzahl der gestellten Stimuli für jede der Konditionen (keine HoloLens, HoloLens 1 und HoloLens 2) sowie die zwei unterschiedlichen Positionen (sitzend vs. stehend) miteinander verglichen. Zu diesem Zweck wurde eine zweifache Varianzanalyse (two-way ANOVA) durchgeführt.

Die Berechnung ergab einen Haupteffekt bei den Gruppen (keine HoloLens vs. HoloLens 1 vs. HoloLens 2), allerdings wurde kein Effekt der Position der Teilnehmer*innen bemerkt. Die Vorgabe, ob die Testpersonen im Sitzen oder im Stehen das Video angesehen haben hatte also **keinen signifikanten Einfluss** auf die

bemerkten Ablenkungen – ob im Sitzen oder im Stehen mit dem System interagiert wird scheint für einen potentiellen Ablenkungseffekt also unerheblich zu sein.

Two-Way Anova					
	df	Sum Sq	Mean Sq	F	p
Gruppe (HL1/HL2/keine HL)	2	0,76	0,38	6,36	0,003**
Position (sitzen/stehen)	1	0,11	0,11	1,77	0,187
Gruppe x Position	2	0,06	0,03	0,47	0,628
Residuen	106	6,31	0,06		

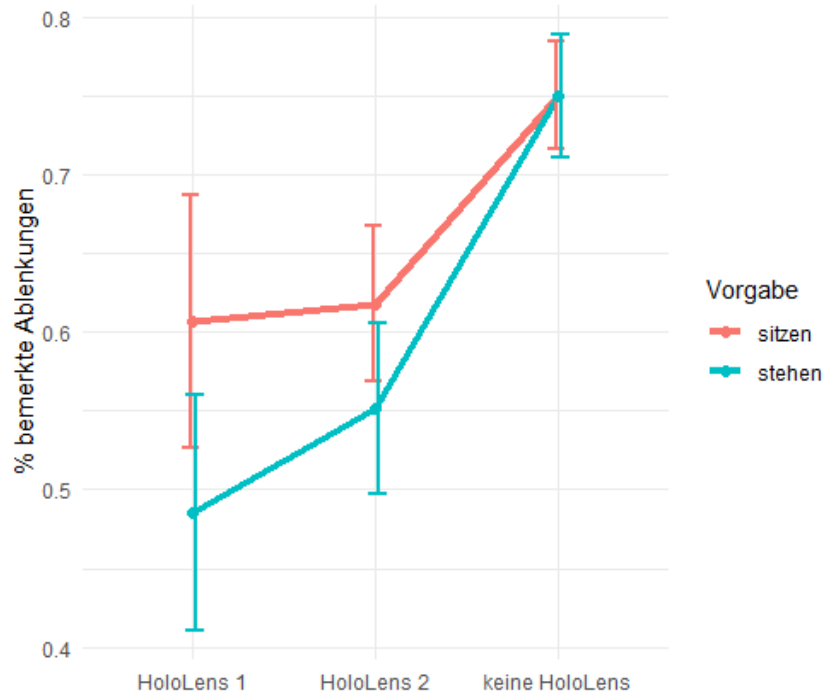


Abbildung 13: Erkannte Stimuli für HoloLens 1, HoloLens 2 sowie ohne HoloLens. Fehlerbalken stellen den Standardfehler dar.

Um bei der Gruppe die konkreten Einflussfaktoren für den Haupteffekt festzustellen wurde im Anschluss ein post-hoc Vergleich (Post Hoc Turkey Test) durchgeführt. Hierbei ergab sich ein signifikanter Unterschied zwischen den Ergebnissen ohne HoloLens und der HoloLens 1. Ebenso war auch ein signifikanter Unterschied zwischen der Gruppe ohne HoloLens sowie der Gruppe HoloLens 2 erkennbar. In beiden Fällen schnitten die Testpersonen im Schnitt ohne HoloLens signifikant besser ab als mit einer der beiden AR-Brillen. Zwischen den beiden AR-Brillen selbst wurde kein signifikanter Unterschied bei der Anzahl an bemerkten Ablenkungen festgestellt.

PostHoc Tukey Test		
	diff	p
HL1 <-> HL2	0,038	0,783
Keine HL <-> HL1	0,204	0,005**
Keine HL <-> HL2	0,165	0,009**

Die hochsignifikanten Unterschiede legen nahe, dass der Einsatz einer AR-Brille durchaus zu Ablenkungen führen können, sodass gewisse Reize in der Umwelt nicht bemerkt werden. Da die Teilnehmer*innen im Rahmen der Studie eine tendenziell passive Tätigkeit (konzentriertes Schauen eines Videos) durchgeführt haben wäre es für die Zukunft interessant zu untersuchen, ob die Unterschiede bei einer aktiveren Tätigkeit die Konzentration erfordert vielleicht sogar noch größer ausfallen, bzw. noch mehr Reize übersehen werden.

5 WORK EXPERIENCE

Ein abschließender Aspekt der im Rahmen des Projektes untersucht wurde war die Work Experience. Hierbei ging es darum, Ansichten über die Arbeitspraxis und die wahrgenommen Vor- und Nachteile der Arbeit mit einem Augmented Reality System zu erfassen. Zu diesem Zweck wurden die Studienteilnehmer*innen gebeten, einen Fragebogen zur Usability der von Magna erstellten Augmented-Reality-Software auszufüllen.

5.1 Ergebnisse Work Experience-Faktoren

Die Items zur Beurteilung der Work Experience wurden dem ISONORM 9241-110 Fragebogen entnommen. Erhoben wurden hierbei die Aufgabenangemessenheit, die Selbstbeschreibungsfähigkeit, die Steuerbarkeit, die Erwartungskonformität, die Fehlertoleranz, die Individualisierung sowie die Lernförderlichkeit der Anwendung. Dieser Fragebogen wurde von Teilnehmer*innen im Anschluss an den Fragebogen zum Thema Arbeitspsychologie ausgefüllt (N = 30).

		mean	std.dev
Work Experience	Aufgabenangemessenheit	3,13	0,87
	Selbstbeschreibungsfähigkeit	2,77	0,97
	Steuerbarkeit	2,66	0,81
	Erwartungskonformität	3,69	0,66
	Fehlertoleranz	2,61	0,87
	Individualisierbarkeit	2,26	1,04
	Lernförderlichkeit	2,96	0,82

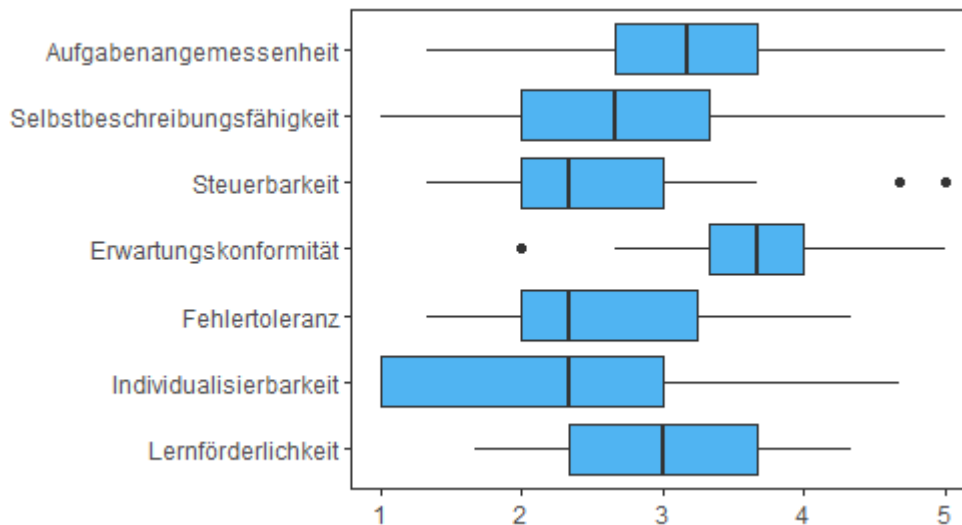


Abbildung 14: Boxplot Work Experience Parameter

Insgesamt ergab die Beurteilung der Software relativ neutrale Ergebnisse, wobei die Faktoren Erwartungskonformität und Aufgabenangemessenheit am besten bewertet wurden, die Individualisierbarkeit und Fehlertoleranz am negativsten. Man sollte bei der Interpretation der Daten jedoch bedenken, dass es sich um eine für einen spezifischen Anwendungskontext entwickelte Software handelt, welcher sich nicht eins zu eins in einer Studie widerspiegeln lässt, und nur ein Teilumfang der gebotenen Funktionalitäten der Software zum Einsatz kam.

Aufgabenangemessenheit: Bei diesem Punkt sollte beurteilt werden, wie gut die Software auf die Aufgabenstellung zugeschnitten war und ob überflüssige Interaktionen mit dem System notwendig waren. Dieser Aspekt wurde relativ neutral bewertet (M = 3,13, SD = 0,87).

Selbstbeschreibungsfähigkeit: Bei diesem Aspekt geht es primär um (situationspezifische) Hilfestellungen bzw. Informationen, die die HoloLens-Anwendung bietet (sowohl von sich aus als auch abrufbar). Dieser Aspekt wurde neutral bis leicht negativ bewertet ($M = 2,77$, $SD = 0,97$).

Steuerbarkeit: Die Fragen in dieser Kategorie beschäftigten sich damit, wie viel Flexibilität in Sachen Arbeitsprozesse die AR-Anwendung zulässt, und ob das System zu unnötigen Unterbrechungen führen kann. Die Bewertungen waren hier tendenziell leicht negativ ($M = 2,66$, $SD = 0,81$).

Erwartungskonformität: Der Aspekt Erwartungskonformität wurde von den Teilnehmer*innen am besten beurteilt ($M = 3,69$, $SD = 0,66$). Die Fragen dieser Gruppe thematisieren die Einheitlichkeit der Bedienung und Gestaltung der Anwendung, sowie Feedback über den Status bzw. die Aktivitäten der Anwendung. Dieser Aspekt wurde deutlich positiver als die Fragegruppe „Rückmeldung/Feedback“ bei der arbeitspsychologischen Betrachtung der Augmented Reality ($M = 1,81$, $SD = 0,86$), jedoch ging es bei jener primär um Feedback über die eigene Leistung bzw. Performance der Mitarbeiter*innen.

Fehlertoleranz: Dieser Punkt behandelte Fragen zur Qualität der Fehlermeldungen sowie dem empfundenen Korrekturaufwand und hatten ein tendenziell leicht negatives Rating ($M = 2,61$, $SD = 0,87$).

Individualisierbarkeit: Der Aspekt Individualisierbarkeit wurde leicht negativ bewertet ($M = 2,26$, $SD = 1,04$), hierbei ging es jedoch um die Möglichkeit, die Anwendung an andere Tätigkeiten anzupassen, was im Rahmen der Studie nicht konkret behandelt wurde. Daher sollte dieses Ergebnis nur mit Vorsicht interpretiert werden.

Lernförderlichkeit: Hierbei ging es darum, wie aufwendig die Teilnehmer*innen den Einlernprozess in die Anwendung einschätzten. Die Wertungen waren hierbei sehr neutral ($M = 2,96$, $SD = 0,82$).

5.2 Vergleich der Eingabemodalitäten

Die eingesetzte HoloLens-Anwendung bot drei unterschiedliche Interaktionsmöglichkeiten zur Eingabe von Testwerten, die ebenfalls im Rahmen der Studie hinsichtlich ihrer Angemessenheit und Nützlichkeit untersucht wurden.

- Eingabe von Zahlen über ein **virtuelles Keyboard** in der HoloLens: hierbei wird auf dem Bildschirm der HoloLens eine Tastatur im Raum eingeblendet. Die Tastatur lässt sich über Handgesten bzw. „Drücken“ in der Luft bedienen.
- **Automatische Texterkennung:** Hierbei wird in der HoloLens-Anwendung eine Kamera gestartet, die im Blickbereich der Teilnehmer*innen über Bilderkennung nach Displays sucht und versucht ihren Text auszulesen. Sobald ein Display erkannt wurde wird dieses im Kamerabild mittels eines Rahmens angezeigt, und der Text innerhalb des Displays von der Software interpretiert.
- **Sprachsteuerung der Anwendung:** Die Anwendung selbst lässt sich mittels Sprachbefehlen steuern. Zu diesem Zweck müssen gewisse Schlagworte genannt werden (z.B. „Weiter“, „Zurück“, „Okay“ etc.).
 - Auch die Eingabe von Zahlenwerten kann mittels Sprachsteuerung erfolgen, indem die jeweiligen Ziffern der Reihe nach laut ausgesprochen werden (mit „Komma“ um Dezimalstellen zu markieren). Da diese Interaktion sich in der Komplexität etwas von der allgemeinen Sprachsteuerung unterscheidet wurde dieser Aspekt separat erfasst.

		mean	std.dev
Eingabe- modalitäten	Automatische Texterkennung	3,10	1,24
	Virtuelles Keyboard	2,67	1,24
	Sprachbefehle	3,43	1,04
	Spracheingabe Zahlen	3,47	1,28

Die Teilnehmer*innen wurden im Rahmen des Fragebogens abschließend gebeten, die unterschiedlichen Eingabemodalitäten zu bewerten (siehe Abbildung 15). Hierbei ergaben sich relativ ähnliche Bewertungen, wobei die beiden Arten der Sprachsteuerung im Schnitt tendenziell besser beurteilt wurden als die Texterkennung.

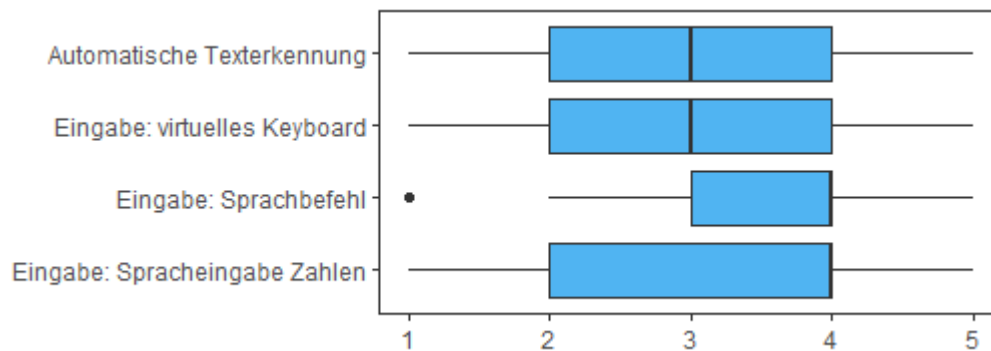


Abbildung 15: Vergleich der Eingabemodalitäten

Eine Varianzanalyse der vier Faktoren ergab zwar einen signifikanten p-Wert, eine post hoc-Analyse der einzelnen Interaktionsformen untereinander lieferte jedoch keinen signifikanten Unterschied zwischen den einzelnen Gruppen.

6 ZUSAMMENFASSUNG & HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN

Aus ergonomischer Sicht wurden bei der Untersuchung der Muskelaktivitäten im Testzeitraum keine signifikanten Unterschiede zwischen der Kontrollbedingung mit einem Stirnband und den AR-Bedingungen mit der HoloLens 1 sowie der HoloLens 2 festgestellt, die Schwankungen bei den Messwerten lagen zwischen 1% und 5%, Diese Ergebnisse legen also nahe, dass das Tragen der HoloLens für den Testzeitraum keinen signifikanten Einfluss auf die Muskelaktivität hatte. Da nach der Bereinigung von Ausreißern und Störfaktoren ein nicht unbeträchtlicher Teil der gemessenen Daten ignoriert werden musste ist die Aussagekraft dieses Teils der Studie zu gering, um Schlüsse auf längere Zeiträume zuzulassen. Sie stellen aber eine gute Grundlage für eine mögliche Follow-Up-Studie dar, bei der mit einer noch höheren Teilnehmer*innen-Anzahl potentiell auch weitere relevante Faktoren wie beispielsweise die Muskelermüdung über eine längere Studiendauer (basierend auf den in dieser Studie ermittelten Messergebnissen, welche ergaben, dass die bisherige Dauer nicht problematisch war) gemessen werden könnten. Basierend auf den Ergebnissen des Druckstellenprotokolls wäre es außerdem interessant zu untersuchen, wie sehr die Augen bei längerer Nutzung durch die Technologie beansprucht werden.

Im Themenbereich Unfallprävention gab es signifikante Unterschiede zwischen den Konditionen mit HoloLens und der Kontrollbedingung ohne HoloLens. Sowohl mit der HoloLens 1 als auch mit der HoloLens 2 wurden signifikant weniger Reize bzw. Ablenkungen bemerkt als bei der Kontrollbedingung (ohne HoloLens). Dementsprechend kann die Interaktion mit einem AR-System voraussichtlich also dazu führen, dass gewisse Umgebungsreize übersehen bzw. nicht wahrgenommen werden. Im Rahmen der Studie wurde von den Proband*innen hierbei eine relativ passive Tätigkeit (konzentriertes Schauen eines Videos) durchgeführt. Bei Tätigkeiten, bei denen Personen noch aktiver mit dem System agieren wäre es anzunehmen, dass das Risiko tendenziell sogar noch wächst. Daraus ergibt sich folgende Handlungsempfehlung:

Handlungsempfehlung 1: *In Umgebung mit AR-Systemen sollten sicherheitsrelevante Hinweise besonders gut sicht- bzw. hörbar dargestellt werden. Außerdem sollten Mitarbeiter*innen auf das Risiko, relevante Reize zu übersehen, hingewiesen und die Arbeitsplätze dementsprechend sicher gestaltet werden.*

Die Arbeit mit Augmented Reality Systemen hat im Rahmen der Studie signifikant erhöhte arbeitspsychologische Anforderungen im Vergleich zur Kontrollbedingung am Tablet ergeben, beispielsweise bei den Faktoren Konzentrationsfähigkeit, Informationsverarbeitung und Qualifikation. Hierbei ist selbstverständlich zu beachten, dass die Interaktion mit einem für die Testpersonen bislang unbekanntem System bereits von sich aus höhere kognitive Anforderungen stellt. Um diesen Faktor zu minimieren wurde die Interaktionen mit dem Augmented Reality-System bei den Studien jeweils im Rahmen einer längeren Warm-Up-Phase geübt, bevor zur eigentlichen Studie übergegangen wurde. Dennoch stellt die mangelnde Routine in der Interaktion mit dem System natürlich eine potentielle Hürde dar. Bei den qualitativen Interviews mit Proband*innen wurden eben „Routinen“ häufig als Lösungsstrategie für wahrgenommene Probleme in der Interaktion mit der AR erwähnt. Daraus ergibt sich die

Handlungsempfehlung 2: *Arbeitsprozesse mit AR-Systemen sollten zeitlich und inhaltlich so gestaltet werden, dass sie die Bildung von Routinen zulassen.*

Eine weitere klare Erkenntnis war, dass die Interaktion mit einem AR-System nicht intuitiv erfassbar ist, sondern erlernt werden muss. Die wahrgenommen erhöhten Anforderungen sowie die im Vergleich zur Kontrollbedingung signifikant erhöhte Arbeitsbelastung, sowohl aus qualitativer (Kompliziertheit, Konzentrationsfähigkeit) als auch quantitativer Sicht (Zeitdruck, Arbeitsmenge) legen nahe, dass dieselbe Arbeit mit einer AR-Brille (vor allem für Personen, die mit der Technologie kaum bzw. wenig vertraut sind) herausfordernder wirken. Im Falle der Studie waren die angegebenen Mittelwerte dennoch tendenziell niedrig (die Arbeit wurde also nicht als besonders komplex empfunden), waren im Vergleich zur Kontrollbedingung allerdings dennoch signifikant höher. Auf der anderen Seite bieten AR-Systeme auch die Möglichkeit, Mitarbeiter*innen bei komplexen Berechnungen und Entscheidungen zu unterstützen, wie aus den Ergebnissen der Telefoninterviews bei Magna hervorging. Aus diesen Erkenntnissen ergeben sich folgende zwei Handlungsempfehlungen:

Handlungsempfehlung 3: *Mitarbeiter*innen sollten ausreichend Ausbildungs- und Unterstützungsmöglichkeiten geboten werden, um Sicherheit im arbeitsbezogenen Umgang mit AR-Systemen zu entwickeln.*

Handlungsempfehlung 4: *Bei komplexeren bzw. kognitiv aufwendigeren Tätigkeiten mit AR-Systemen sollten Mitarbeiter*innen genügend Pausen gegeben werden, um sich zwischenzeitlich zu erholen.*

In Sachen Autonomie (hinsichtlich der drei Faktoren Planung, Entscheidungen und Methoden) ergab sich bei der Studie kein signifikanter Unterschied. Beim vorgelegten AR-System hatten die Testpersonen also nicht das Gefühl, im Vergleich zur Kontrollbedingung stärker in ihrer Handlungsfreiheit eingeschränkt worden zu sein, was positiv zu werten ist. Natürlich hängt dies letztendlich auch von der jeweiligen Systemgestaltung selbst ab – die getestete Anwendung bot beispielsweise den Proband*innen unterschiedliche Möglichkeiten an, die Werte einzutragen (e.g. via Tippen auf einem virtuellen Keyboard, via Spracheingabe, oder durch das Auslesen einer Anzeige durch Bilderkennung), und kann in dieser Hinsicht durchaus einen positiven Einfluss auf die Bewertung genommen haben. Auch bei der Befragung der Mitarbeiter*innen bei Magna wurde diese Vielseitigkeit als wichtiger positiver Faktor hervorgehoben. Daher die folgende Empfehlung:

Handlungsempfehlung 5: *Mitarbeiter*innen sollte in der Interaktion mit AR-Systemen unterschiedliche Eingabemodalitäten angeboten werden, um die Arbeit an die jeweilige Situation anpassen zu können.*

Zusammen mit einer entsprechenden Ausbildung der Mitarbeiter*innen kann die gespürte Vielfalt an benötigten Fähigkeiten im Umgang mit AR-Systemen auch als Chance für anspruchsvolle und abwechslungsreiche Tätigkeiten dienen. Durch richtige, benutzerorientierte Implementierung und Gestaltung lässt sich das Risiko von Dequalifikation durch die Automatisierung beim Einsatz von AR-Systemen also potenziell verringern.

7 REFERENZEN

W. Hacker, & P. Richter, „Spezielle Arbeits-und Ingenieurpsychologie in Einzeldarstellungen: Psychologische Bewertung von Arbeitsgestaltungmaßnahmen: Ziele und Bewertungsmaßstäbe. Lehrtext 1“, Deutscher Verlag der Wissenschaften, 1980

Y. Gao, L. A. Kristensen, T. S. Grondberg, M. Murray, G. Sjogaard and K. Sogaard, “Electromyographic Evaluation of Specific Elastic Band Exercises Targeting Neck and Shoulder Muscle Activation,” *Applied Sciences*, vol. 10, no. 756, 2020.

J.-L. Larochelle, M. Laliberté, M. Bilodeau, J.-P. Dumas and A. B. Arsenault, “Influence of test position on neck muscle fatigue in healthy controls,” *Journal of Electromyography and Kinesiology*, vol. 19, pp. 223-228, 2009.

P. Konrad, EMG-Fibel, Noraxon INC. USA., 2011.

AIT AUSTRIAN INSTITUTE OF TECHNOLOGY GMBH

Giefinggasse 4, 1210 Wien, Österreich

www.ait.ac.at

Jaison Puthenkalam

Junior Research Engineer

Experience Business Transformation

Center for Technology Experience

+43 50550-4545

jaison.puthenkalam@ait.ac.at

Stefan Suetter

Junior Scientist

Experience Contexts and Tools

Center for Technology Experience

+43 50550- 4531

stefan.suetter@ait.ac.at

Sebastian Egger-Lampl

Scientist

Experience Contexts and Tools

Center for Technology Experience

+43 50550- 4516

sebastian.egger-lampl@ait.ac.at