



Abschlussbericht des Forschungsprojekts 279 mit dem Titel „Aufbau von interaktiven virtuellen Umgebungen zur Evaluierung von Usability-Fragestellungen im Arbeitsschutz“

1. Laufzeit

Beginn des Projekts war der 01. Juni 2007, das ursprünglich geplante Projektende der 31. Mai 2009. Nach kostenneutraler Verlängerung wurde das Projektende auf den 31. Mai 2010 verlegt.

2. Problemstellung

Fehlbedienungen an Maschinen haben ihre Ursache häufig in einer schlecht gestalteten Mensch-Maschine-Oberfläche. Die Mensch-Maschine-Schnittstelle ist oftmals derart gestaltet, dass der Anwender aufgrund kognitiver Fehleinschätzungen Fehler begeht. Im Rahmen dieses Forschungsprojektes sollte nun exemplarisch untersucht werden, inwieweit Simulationen in VR-Umgebungen (siehe Abbildung 1) gezielte Usability-Untersuchungen an Maschinen ohne reale Gefährdung von Probanden ermöglichen.

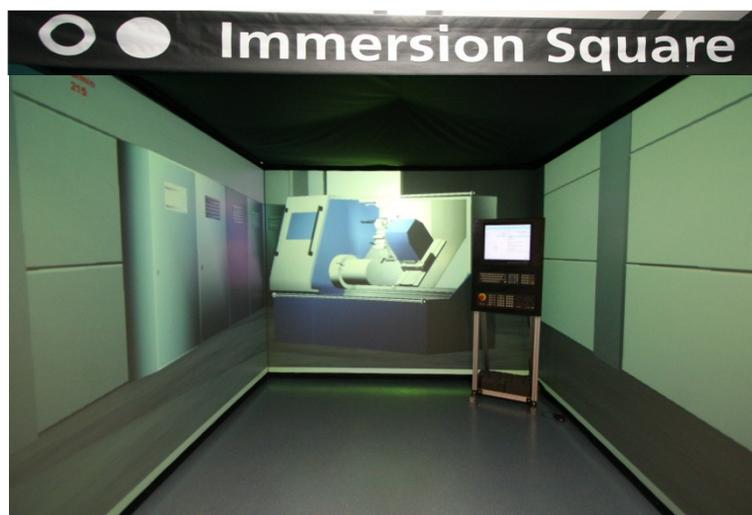


Abbildung 1. Modellaufbau des Usability-Projekts im Immersion Square Visualisierungssystem an der Hochschule Bonn-Rhein-Sieg: Darstellung einer modellierten Drehmaschine, ergänzt um eine nachgebildete Drehmaschinen-Steuerung (Mitte rechts).

Dabei sollte unter anderem eine entsprechende Evaluations-/ Testmethode an die besonderen Bedingungen in VR-Umgebungen angepasst werden und an einem prototypischen Beispiel

nachgewiesen werden. Wichtig dabei war, die gewählte Methode derart zu gestalten, dass sie auf verschiedene Realisierungen von virtuellen Realitäten anwendbar ist.

3. Forschungsziel

Wesentliches Ziel des Forschungsprojekts 279 war es, gemeinsam mit dem IFA einen Prototyp einer interaktiven virtuellen Visualisierungsumgebung zu entwickeln, in dem sich die Gebrauchstauglichkeit technischer Schutzmaßnahmen in einer virtuellen Anwendung hinterfragen und optimieren lässt. Wichtig dabei war es, die entsprechenden Evaluations- und Testmethoden an die besonderen Bedingungen in VR-Umgebungen anzupassen. Außerdem sollte untersucht werden, inwiefern die von einer Simulation abgeleiteten Erkenntnisse auf die Realität übertragen werden können.

4. Methodik mit schematischer Darstellung der geplanten und tatsächlichen Arbeits- und Zeitabläufe

Aufgrund von Verzögerungen bei Projektbeginn, sowie aufgrund von Personalwechsel während der Projektlaufzeit wurde der Zeitplan (siehe Abbildung 2) zu Beginn Dezember 2008 entsprechend der neuen Situation (neues Personal und kostenneutrale Verlängerung) angepasst.

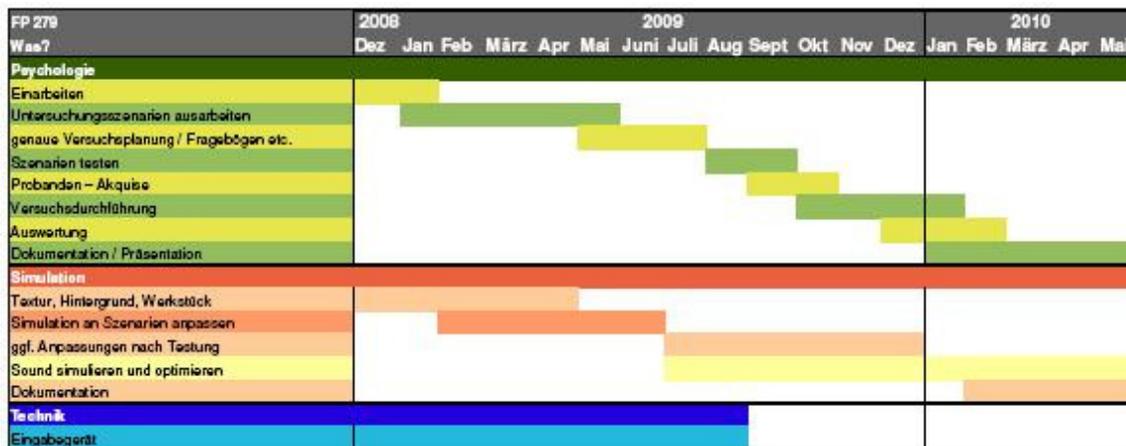


Abbildung 2. Zeitablauf im Forschungsprojekt 279.

Ein Zwischenbericht über die „erste“ Projektphase (Oktober 2007 bis Mai 2008) wurde bereits eingereicht und befindet sich in Kopie im Anhang (siehe Anhang F).

Aufgrund der Notwendigkeit der Migration auf eine andere Simulationssoftware-Plattform (Ogre-Engine, siehe Abschnitt 5.2.) und den dadurch erforderlich gewordenen Programm-Anpassungen, verzögerte sich die Fertigstellung der simulierten Drehmaschine um wenige Monate. Daher musste die Probanden-Rekrutierung ebenfalls entsprechend zeitlich angepasst werden. Erste Vorversuche fanden in KW 3 2010 statt. Eine Probandenreihe mit zehn

Versuchspersonen fand in KW 9 statt. In KW 10 fand das Begleitkreistreffen mit Präsentation der Ergebnisse statt, so dass ab diesem Zeitpunkt der Plan wieder eingehalten wurde.

5. Ergebnisse des Gesamtvorhabens

Im folgenden werden die Ergebnisse des Forschungsprojekts ausführlich dargestellt. Zunächst wird auf das Erstellen der virtuellen Umgebung (Soft- und Hardware, Modellierung, Realisation des Eingabegeräts, Sound, etc.) eingegangen. Anschließend werden die Versuche und deren Ergebnisse präsentiert und diskutiert.

5.1. Blickrichtungsverfolgung

Für das im Laufe des Projektes gewählte Testszenario (siehe Abschnitt 5.4.), war die Verfolgung der Blickrichtung eines Probanden nicht mehr zwingend erforderlich. Aufgrund dieses Sachverhaltes wurde entschieden, die damit verbundenen Entwicklungen nicht weiter zu verfolgen. Erste Evaluationsergebnisse dieser Teilaufgabe der Kopfverfolgung wurden auf der Konferenz Intuition 2008 veröffentlicht (siehe Anhang E).

5.2. Simulation

Auf Empfehlung des Begleitkreises (beim ersten Treffen am 9. September 2008) wurde festgelegt, dass der Inhalt der Simulation aus der Darstellung einer Drehmaschine bestehen soll, an der ein definiertes Werkstück abgedreht werden soll.

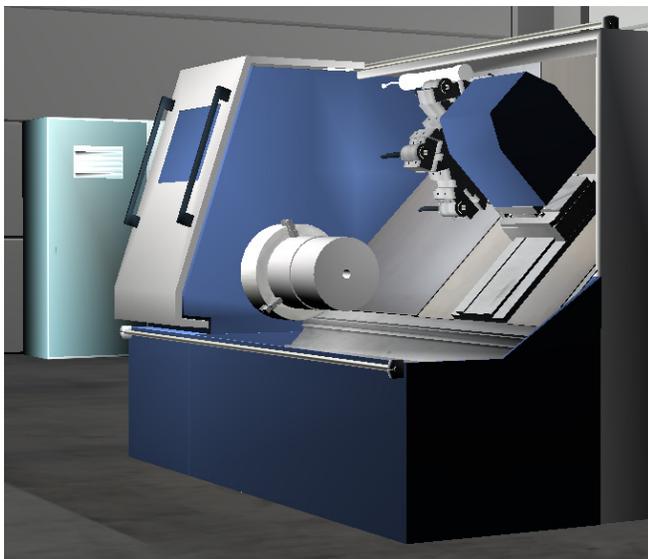


Abbildung 3. Die modellierte Drehmaschine in der virtuellen Werkstatt.

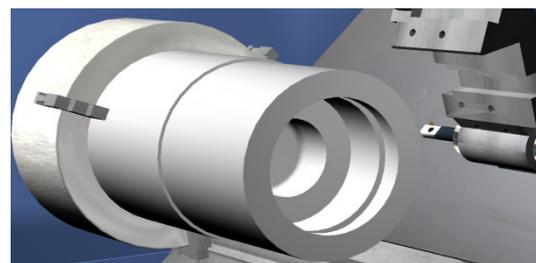
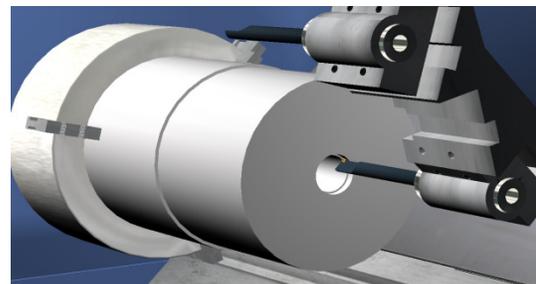


Abbildung 3a und 3b. Verschiedene Bearbeitungsstadien des virtuellen Werkstücks.

Die Modellierung und Animation der Drehmaschine inklusive diverser beweglicher Teile und des Werkzeugrevolvers wurde erfolgreich abgeschlossen (siehe Abbildungen 3 sowie 3a und 3b, weitere Bilder im Anhang A, ein Video als Anhang B) und ist den Teilnehmern des Begleitkreistreffens im März 2010 vorgestellt worden.

Die Simulation des Abdrehens, also die Umsetzung des vom IFA bereitgestellten Programms in G-Code (standardisierte Programmiersprache an Werkzeugmaschinen, siehe Anhang C), war zunächst unter der Simulationsplattform Virtools fertiggestellt worden. Jedoch hat sich erst zur Laufzeit des Projekts herausgestellt, dass es nicht möglich ist, in diese Plattform manuelle Eingaben aus einer Bedientafel zu integrieren und Informationen auf einer separaten Anzeige zusätzlich zur Projektionsumgebung darzustellen. Aus diesen Gründen wurde ein Wechsel der Simulationsplattform auf die VR-Entwicklungsplattform OGRE beschlossen. Die Migration auf die OGRE-Plattform wurde problemlos bewältigt. Die Verwendung der OGRE-Plattform erlaubt es unter anderem, unter Einbeziehung einer weiteren Programmbibliothek Klänge und Maschinengeräusche zu integrieren und ggf. abhängig vom Simulationsstatus dynamisch anzupassen. Daher wurden die bei einem Drehvorgang an einer Drehmaschine auftretenden Klänge wie z. B. Futterleerlauf, Schneidgeräusche, Revolverdrehung, Bohrgeräusch oder Start/Stop der Maschine bei verschiedenen Geschwindigkeiten aufgenommen und digital aufbereitet, so dass sie während der Simulation passend zum aktuellen Geschehen synthetisiert werden konnten. Darüber hinaus wurden Umgebungsgeräusche, wie sie üblicherweise in einer Maschinenhalle auftreten, aufgenommen und synthetisiert. Die Geräusche wurden innerhalb der Simulation dreidimensional positioniert und somit ein zusätzliches Arbeitspaket außerhalb der ursprünglichen Projektbeschreibung realisiert. Die Integration von Audio (Geräuschen) in die Simulation wurde im Zuge der Projektarbeiten bzw. Voruntersuchungen als zwingend notwendig bewertet, da Testprobanden berichteten, dass in der Realität häufig von den Geräuschen einer Maschine eine fehlerfreie Funktion abgeleitet wird.

5.3. Bildschirm und Eingabegerät

Auf dem Begleitkreistreffen am 09.09.2008 wurde festgestellt, dass es für eine realitätsnahe Simulation unabdingbar ist, eine Bedientafel samt Display, wie sie üblicherweise an einer Drehmaschine zu finden ist, bereitzustellen. Insbesondere wurde es als wichtig erachtet, dass Drehregler für die Steuerung von Vorschub und Getriebegeschwindigkeit vorhanden sind. Zu diesem Zweck wurde beschlossen, eine im IFA vorhandene Maschinenbedientafel von Siemens (SINUMERIK MCP 483) sowie eine Industrietastatur aus der selben Modellreihe einzusetzen (siehe Abbildung 4, weitere Abbildungen unter Anhang A).

Da die Bedientafel über einen proprietären MPI-BUS an einen Computer angeschlossen wird, wären die Eingaben über dieses lediglich über eine eigens konfigurierte S7-Schnittstelle von Siemens abgreifbar. Da dies jedoch einen hohen finanziellen und technischen Aufwand dargestellt hätte, wurde beschlossen, die Elektronik in der Bedientafel auszutauschen und durch eine Eigenentwicklung zu ersetzen. Dies ermöglicht auch eine nahezu beliebige Konfiguration und funktionelle Belegung der Tasten, was ggf. in späteren Versuchsreihen zur Bedienerfreundlichkeit der Eingabegeräte von Vorteil sein kann. Da die Entwicklung einer vollständigen Elektronik samt Mikrocontroller einige Zeit in Anspruch nahm, wurde zunächst

eine Übergangslösung realisiert. Es wurde mittels der Hardware eines Gamepads ermöglicht, die beiden Drehregler, den Notaus-Taster sowie sechs weitere Tasten, die für das Testszenario wichtig sind (z. B. Einzelsatzmodus, Start), anzusprechen. Die Verwendung eines Gamepad-Controllers war hilfreich, da er es ermöglicht, beliebig viele Tasten gleichzeitig zu verwenden (bei einer Tastatur sind dies meist maximal vier). Zudem sind die Treiber für ein solches Gerät betriebssystemseitig vorhanden, so dass hier der zusätzliche Entwicklungsaufwand optimiert werden konnte.



Abbildung 4. Eine Maschinenbedientafel (Siemens SINUMERIK MCP 483), eine Industrietastatur und ein Computermonitor wurden derart in einen selbst hergestellten Rahmen eingebettet, dass sich ein realistischer Eindruck einer Drehmaschinensteuerung ergibt.

Eine weitere wichtige Anforderung, die sich im selben Begleitkreistreffen ergeben hat, war, dass das zu verwendende Display möglichst realitätsnah sein sollte. Dies bedeutet, dass auf ihm eine Anzeige, wie sie üblicherweise bei einer echten Drehmaschine zu finden ist, dargestellt werden sollte. Auch hier wurde entschieden, eine Eigenentwicklung zu verfolgen, die an das Anzeigesystem von Fanuc angelehnt ist (siehe Abbildung 5). Dadurch wird ermöglicht, Anzeigeelemente beliebig zu positionieren, um mögliche Fehlerquellen durch mangelnde Bedienerfreundlichkeit identifizieren zu können, wodurch bereits Vorbereitungen getroffen sind, systematische Untersuchungen durchführen zu können. Solche Untersuchungen sollen ggf. in einem Folgeprojekt behandelt werden, worauf in Kapitel 7. und Kapitel 8. näher eingegangen wird.

Um die Kombination von Bedienelementen und Simulation flexibel zu gestalten, wurde für die Bedienelemente eine eigene Software entwickelt, die mittels einer Netzwerkschnittstelle mit der Simulation interagieren kann. Dies ermöglicht, die Bedieneinheit sowohl logisch als auch räumlich von der Simulationssoftware und der Visualisierungsumgebung zu trennen.

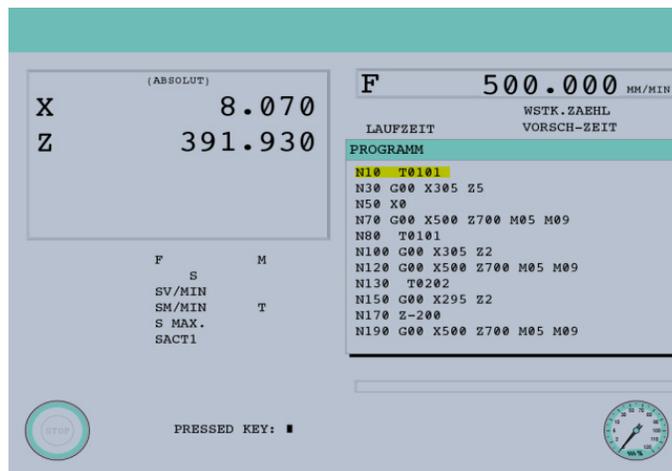


Abbildung 5. Screenshot der nachgebildeten Drehmaschinen-Anzeige.

Um einen möglichst hohen Grad an Immersion zu erreichen, wurde für die Bedientafel und die Tatstatur, sowie für das Display je ein Rahmen konstruiert, die an verkleidbaren Aluminiumprofilen befestigt werden kann. Diese Eigenentwicklung erlaubt eine hohe Flexibilität in der Positionierung und Konfigurierung der Eingabegeräte und der Anzeige.

5.4. Probandenuntersuchung

Im folgenden wird erläutert, welche Ergebnisse die Untersuchungen von Probanden mit der virtuellen Drehmaschine ergeben haben.

5.4.1. Versuchsablauf

Ein Versuchsablauf sieht zunächst vor, dass ein kurzes Eingewöhnungsprogramm an der virtuellen Drehmaschine gezeigt wird. Dieses dauert etwa 2 Minuten und zeigt das Abdrehen eines Kugelkopfes.

Anschließend wird den Probanden eine technische Zeichnung vorgelegt (s. Abbildung 6).

Die Instruktion lautet: „Ein Kollege hat das Programm zur Fertigung des hier abgebildeten Werkstücks geschrieben. Er hat nun Feierabend und ihre Aufgabe ist es, dieses Programm im Einzelsatz auf Korrektheit zu prüfen, bevor es in die Serienproduktion geht. Falls Unklarheiten bestehen, oder ein Fehler vorliegt, melden sie dies bitte.“

Nach dieser Instruktion entfernte sich die Versuchsleiterin in den Hintergrund und der Proband startete selbst das Programm (siehe Anhang C). Die Dauer bis zum Fehler im Programm schwankte, je nachdem, wie schnell der Proband die Drehzahl und den Vorschub eingestellt hatte und wie zügig er nach Beendigung eines Schrittes den nächsten Einzelsatz startete. Im Schnitt dauerte das Programm etwa 20 Minuten.

Der Fehler ist ein ausgelassener Programmbefehl, so dass das Werkzeug nach dem Innendrehen und vor dem Werkzeugwechsel nicht erst gerade aus dem Werkstück heraus fährt. Folglich fährt das Werkzeug beim Ausführen des nächsten Schrittes seitlich in das Werkstück und es kommt zu einem Unfall, was durch ein entsprechendes Geräusch deutlich gemacht wird. Nach

Befragung von Experten ist zu erwarten, dass dieser Fehler insbesondere für Anfänger schwer zu entdecken ist.

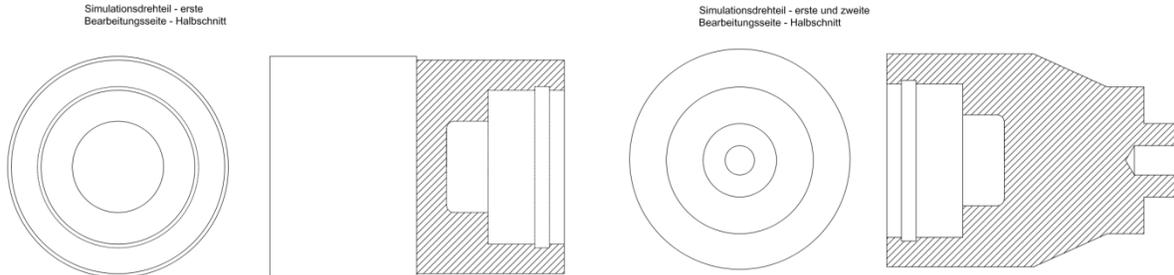


Abbildung 6. Technische Zeichnung des virtuell zu drehenden Werkstücks, links der erste Bearbeitungsschritt, rechts der zweite Bearbeitungsschritt.

Zuletzt wurden den Probanden drei Fragebögen (siehe Anhang C.1 bis C.3) vorgelegt. Der erste war ein demographischer Fragebogen zur Erfassung von Alter / Geschlecht / Berufserfahrung, der zweite Fragebogen erfasste das Auftreten von Symptomen der Simulatorkrankheit und der dritte Fragebogen diente zur Beurteilung der Qualität der Untersuchung durch die Probanden.

5.4.2. Ergebnisse aus der Befragung mit dem demographischen Fragebogen

Die Stichprobe bestand aus zehn Berufschülern des Carl-Reuther-Berufskollegs in Hennef (www.bk-hennef.de). Sie waren alle männlich und größtenteils unter 20 Jahren. Lediglich drei Versuchspersonen fielen in die Altersklasse von 21-25 Jahren. Entsprechend gering war ihre Erfahrung mit der Arbeit an Drehmaschinen (siehe Abbildung 7).

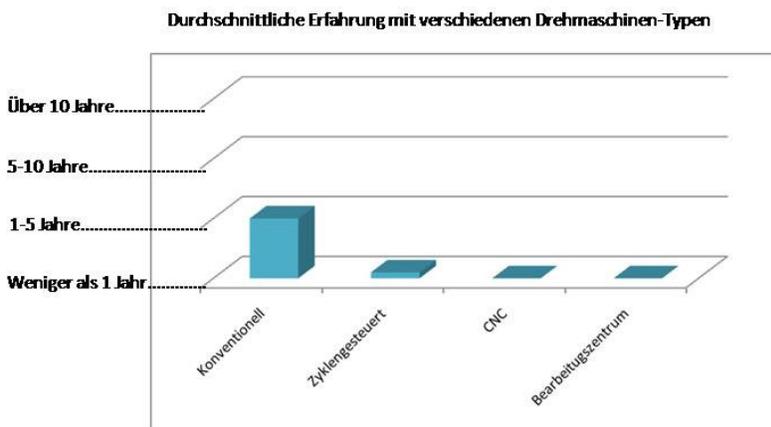


Abbildung 7. Darstellung der durchschnittlichen Erfahrung der zehn Probanden mit unterschiedlichen Drehmaschinen-Typen. Die meiste Erfahrung hatten die Probanden mit konventionellen Drehmaschinen.

5.4.3. Verhaltensdaten

Wie erwartet, war der Fehler für die relativ unerfahrenen Probanden schwer zu entdecken. Nur einer der zehn Probanden erkannte den Fehler im Programmcode im Voraus und führte den fehlerhaften Schritt nicht aus.

Die Übereinstimmung dieses Ergebnisses mit der vorherigen Einschätzung durch die Experten legt die Vermutung nahe, dass die Abläufe an der virtuellen Maschine mit denen an einer realen weitgehend übereinstimmen.

5.4.4. Ergebnisse aus der Befragung mit dem Simulatorkrankheit-Fragebogen

Keiner der Probanden berichtete über irgendwelche Symptome der Simulatorkrankheit. Die Anwendung hat keinerlei negative Auswirkungen auf das gesundheitliche Wohlbefinden der Probanden.

5.4.5 Ergebnisse aus der Befragung mit dem Beurteilungs-Fragebogens

Die Fragen des Beurteilungs-Fragebogens lassen sich in vier Dimensionen unterteilen und getrennt auswerten. Die vier Dimensionen sind Presence (das Gefühl, vollkommen in die virtuelle Welt einzutauchen), Qualität der Darstellung, Faszination und Akzeptanz (wird die virtuelle Realität als sinnvolle Umgebung für Arbeitsschutz-Untersuchungen erachtet?).

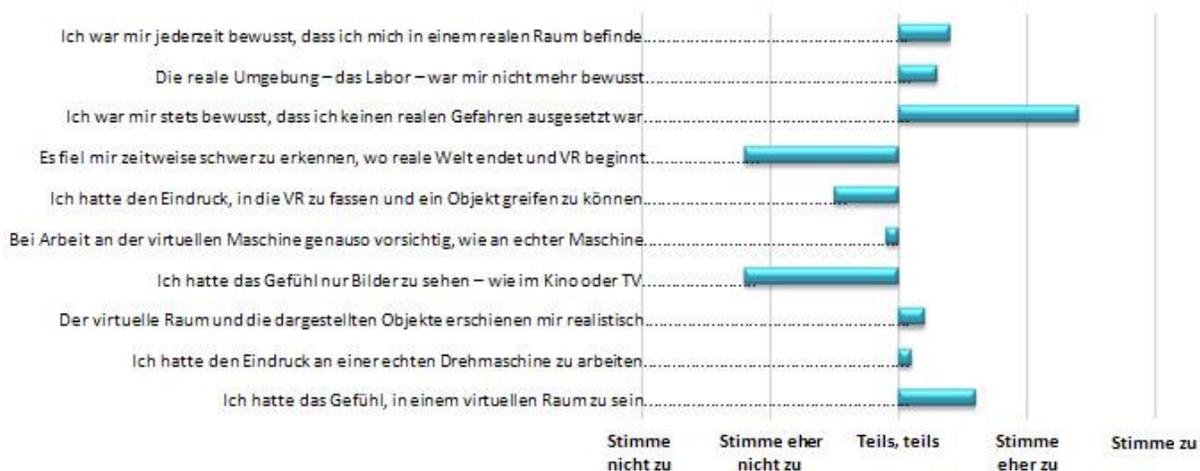


Abbildung 8. Darstellung der durchschnittlichen Beantwortung der Fragen auf der Dimension Presence. Die Antworttendenz schwankt je nach Fragestellung.

Das Ergebnis der Dimension Presence (siehe Abbildung 8) ist abhängig von der Fragestellung sehr unterschiedlich. Insbesondere die härteren Items (z. B. „Im Laufe des Experiments fiel es mir zeitweise schwer, zu erkennen, wo die reale Welt endete und wo die virtuelle Welt begann.“) werden von den Probanden abgelehnt. Die Aussage „Ich hatte den Eindruck an einer echten Drehmaschine zu arbeiten“ wird im Schnitt mit „teils, teils“ bewertet. Negative Bewertungen auf der Dimension Presence resultieren jedoch nach Aussage der Probanden primär aus der Starrheit der Anzeige.

Für künftige Untersuchungen im Bereich des Arbeitsschutzes empfiehlt es sich daher, eine dynamische Visualisierung mit Head-Tracking zu realisieren. Es ist anzunehmen, dass daraus

eine wahrgenommene Qualitätsverbesserung und ein stärkeres Presence-Erlebnis bei den Probanden ausgelöst werden kann.

Bei der Auswertung der Beurteilung der Qualität der Anzeige zeigt sich ein einheitlicheres Bild: es gibt keine Ausschläge in die negative Richtung (siehe Abbildung 9). Abstriche in der positiven Bewertung werden laut Probanden durch eine für die Probanden zu geringe Auflösung („pixelig“) gemacht. Es ist daher auch in Zukunft darauf zu achten, stets die höchstmögliche Auflösung für eine VR-Umgebung zu wählen. Die Möglichkeit zur Wahrnehmung von Pixeln kann ausserdem durch eine größere Distanz zwischen Proband und Projektionsfläche erreicht werden – dies konnte im vorliegenden Untersuchungsdesign jedoch nicht berücksichtigt werden, da ansonsten die Realitätsnähe gesunken wäre.



Abbildung 9. Darstellung der durchschnittlichen Beantwortung der Fragen auf der Dimension Qualität. Diese wird unabhängig von der Fragestellung durchweg positiv beurteilt.

Durchweg positiv zeigt sich die Bewertung der Faszination durch die Probanden (siehe Abbildung 10). Die Probanden hatten Spass, waren motiviert und nicht enttäuscht von der Erfahrung im virtuellen Raum.



Abbildung 10. Darstellung der durchschnittlichen Beantwortung der Fragen auf der Dimension Faszination. Die Probanden hatten Spass, waren motiviert und nicht enttäuscht von der Erfahrung im virtuellen Raum.

Ein ähnliches Bild zeichnet die Auswertung der Akzeptanz (siehe Abbildung 11). Die Probanden halten es für sinnvoll, Arbeitsschutz-Untersuchungen in virtuellen Umgebungen durchzuführen. Dies ist ein wichtiges Ergebnis, da man aus psychologischen Untersuchungen weiss, dass die Akzeptanz der Probanden ein wichtiger Faktor für eine gelungenen Untersuchung darstellt („Augenscheinvalidität“).

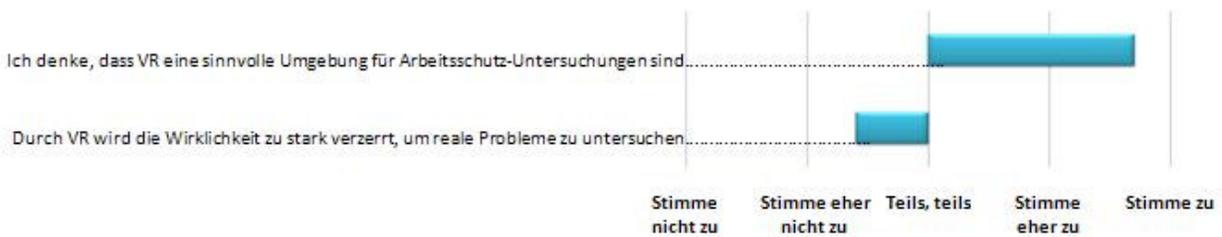


Abbildung 11. Darstellung der durchschnittlichen Beantwortung der Fragen auf der Dimension Akzeptanz. Die Probanden stimmen zu, dass virtuelle Realitäten sinnvolle Umgebungen für Untersuchungen im Arbeitsschutz sind. Eine zu starke Verzerrung durch die VR wird eher nicht angenommen.

6. Auflistung der für das Forschungsvorhaben relevanten Ergebnisse, Veröffentlichungen und erteilten Schutzrechte von nicht am Vorhaben beteiligten Forschungsstellen. Ggf. Beschreibung der Konsequenzen für das Vorhaben.

Uns sind keine Forschungsarbeiten anderer Forschungsstellen bekannt geworden, die Konsequenzen auf das vorliegende Vorhaben haben.

7. Bewertung der Ergebnisse hinsichtlich des Forschungsziels, Schlussfolgerungen. Beschreibung der Relevanz der Ergebnisse für die gesetzliche Unfallversicherung insbesondere im Hinblick auf die Praxisverknüpfung

Die zentrale Fragestellung des Forschungsprojekts war, ob es möglich ist, Arbeitsschutzuntersuchungen an Werkzeugmaschinen im virtuellen Raum durchzuführen. Diese Frage kann eindeutig positiv beantwortet werden. Dafür sprechen sowohl die Verhaltensdaten (Übereinstimmung mit vorhergesagtem Schwierigkeitsgrad der Aufgabe) als auch die hohe Akzeptanz der Untersuchung durch die Probanden.

Ein weiteres Ergebnis des durchgeführten Forschungsprojekts ist, dass in künftigen Arbeitsschutzuntersuchungen im virtuellen Raum besonders auf die Qualität der Darstellung geachtet werden sollte. Dies betrifft die Auflösung der Anzeige, die Perspektive (hier sollte möglichst eine Variabilität durch Head-Tracking zur Verfügung gestellt werden), sowie die Synchronisierung von sensorischen Merkmalen verschiedener Sinneskanäle (visuell, auditiv, etc.)

Die im Forschungsprojekt 279 erzielten Ergebnisse sind von großer praktischer Relevanz für die Unfallkassen, da gezeigt wurde, dass gefährliche Situationen an Werkzeugmaschinen simuliert werden können, so dass ohne reale Gefährdung sichere Lösungen untersucht werden können. In der virtuellen Realität können dann beispielsweise gezielte Untersuchungen von Schutzmechanismen durchgeführt werden, um zu testen, ob die Mechanismen greifen und

inwieweit diese den Nutzer behindern. Da Schutzmechanismen, die den Anwender bei der Arbeit behindern, oftmals manipuliert werden, woraus schwere Unfälle resultieren können, ist es besonders wichtig, diese sorgfältig zu gestalten. Darüber hinaus wurde ein exemplarisches Designkonzept an einer Drehmaschine untersucht, welches nachweislich zu Fehlbedienungen führte. Naheliegender wäre nun eine gezielte Untersuchung von verschiedenen Designkonzeptvarianten, um Aussagen über die Fehlbedienungsanfälligkeit der einzelnen Varianten ableiten zu können. Die Ergebnisse des abgeschlossenen Forschungsprojekts 279 sollten deshalb genutzt werden, um weitere, gezielte Untersuchungen von Designkonzepten durchzuführen. Eine Idee für eine weitere Untersuchung ist beispielsweise die Umgestaltung der Anzeige, mit dem Ziel die Erkennungsleistung der Probanden bezüglich potenzieller Fehler zu verbessern. Diese Möglichkeit wurde bereits beim Treffen im März 2010 mit dem Begleitkreis diskutiert. Es wurde angeregt, dass ein Folgeantrag bei der DGUV Forschungsförderung, gegebenenfalls unter Einbeziehung von Maschinenherstellern, bzw. dem VDMA, gestellt werden soll, um diese Zusatzuntersuchungen durchzuführen.

8. Aktueller Umsetzungs- und Verwertungsplan möglichst mit Angabe der absehbaren Zeithorizonte

Im Begleitkreistreffen vom März 2010 wurde besprochen, dass - ausgehend von den ersten Untersuchungsergebnissen (siehe Abschnitt 5.4.) - noch eine Evaluierung mit sehr erfahrenen Drehmaschinen-Anwendern sinnvoll erscheint. Die Versuchsdurchführung und -auswertung selbst ist hierbei mit eher geringem Zeitaufwand verbunden, da sowohl die Untersuchungsumgebung als auch das Untersuchungsdesign bereits vorhanden ist. Problematischer könnte sich jedoch die Rekrutierung geeigneter Probanden gestalten. Im Laufe des abgeschlossenen Projekts hat sich gezeigt, dass es schwierig ist, Drehmaschinen-Anwender mit großer Erfahrung als Probanden zu gewinnen. Eine im Begleitkreistreffen 2010 vorgeschlagene Möglichkeit wäre, gegebenenfalls die Rekrutierung von Probanden in Verbindung mit Fortbildungsmaßnahmen in der Bildungsstätte der Metall-BG in Nümbrecht zu erreichen. Aktuell sind Bestrebungen im Gange, eine Kohorte von etwa 20 Probanden von dort zu akquirieren.

Eine weiterführende Frage, die sich aus dem abgeschlossenen Forschungsprojekt ergibt, ist die mögliche Ausweitung der gewonnenen Erkenntnisse auf andere Maschinen. Beim Begleitkreistreffen vom März 2010 wurde festgehalten, dass eine solche Ausweitung in jedem Fall gewünscht, eventuell aber schwer realisierbar ist. Besonders unter Betrachtung der momentan weit verbreiteten Kurzarbeit ist es vermutlich schwierig, Kooperationspartner in der Wirtschaft zu finden, die gewillt sind, Geld in diese Art von Forschung zu investieren. Zudem eignen sich einige Maschinen schlecht für eine Simulation (z. B. Pressen), da sie eher statisch

arbeiten und daher schlecht zu simulieren sind. Geeignet wären hingegen – neben der bereits untersuchten Drehmaschine - sicherlich Schleif- und Fräsmaschinen. Eventuell ist es möglich, Untersuchungen an diesen Maschinen derart zu gestalten, dass die Ergebnisse, die in VR-Umgebungen gefunden werden, sich auf andere Maschinentypen übertragen lassen.

Nach Abschluss des Forschungsprojekts 279 bietet sich in jedem Fall die Möglichkeit einer gezielten systematischen Untersuchung von Gestaltungsvarianten der Anzeige der bereits simulierten Drehmaschine an, die gegebenenfalls im Rahmen eines Folgeantrags und/oder mit weiteren Partnern (VDMA, Maschinenhersteller) durchgeführt werden könnte. Auch diese Möglichkeit wurde bereits beim Begleitkreistreffen im März 2010 diskutiert und von den Mitgliedern positiv bewertet. Der geplante Zeitrahmen für ein solches Vorhaben beträgt etwa ein Jahr.

Der Projektleiter wurde bereits von den Berufsgenossenschaften angefragt über die Forschungsergebnisse auf Fortbildungsmaßnahmen zu berichten. Ein erster Vortrag ist für den 26. Oktober 2010 im Fortbildungszentrum Nümbrecht geplant.