

Institut für Visualisierung und Interaktive Systeme

Universität Stuttgart
Universitätsstraße 38
D-70569 Stuttgart

Bachelorarbeit Nr. 152

**Evaluation von visuellem In-Situ
Feedback mit Assistenzsystemen
in der manuellen Montage mit
leistungsgeminderten Arbeitern**

Christoph Krieger

Studiengang:	Softwaretechnik
Prüfer/in:	Prof. Dr. Albrecht Schmidt
Betreuer/in:	M.A. Oliver Korn, Dipl.-Inf. Markus Funk
Beginn am:	1. April 2014
Beendet am:	1. Oktober 2014
CR-Nummer:	H.5.2

Kurzfassung

Laut Statistiken zur Beschäftigungssituation behinderter Menschen sind in Deutschland rund 3 Millionen Menschen mit Behinderung im erwerbsfähigen Alter. Durch den Beschluss des Nationalen Aktionsplans zur Umsetzung der UN-Behindertenrechtskonvention wurde ein Prozess angestoßen, der die Arbeitswelt und somit auch den Bereich der manuellen Montage maßgeblich beeinflussen wird. Ziel der UN-Behindertenkonvention ist es unter anderem die Teilhabe von leistungsgeminderten Personen am Arbeitsmarkt deutlich zu steigern. Zentrales Thema der Konvention ist das in einem bestimmten Fall erforderliche Anpassen der Gegebenheiten, um zu gewährleisten, dass leistungsgeminderte Menschen gleichberechtigt mit allen anderen Menschen sind und somit alle Grundfreiheiten und Menschenrechte im gleichen Maße genießen können. Darunter fällt auch das technische umgestalten eines Arbeitsplatzes. Ziel dieser Arbeit ist das Entwickeln und Evaluieren verschiedener visueller in-situ Feedbackarten von Assistenzsystemen für leistungsgeminderten Personen während der manuellen Montage. In einer Studie wird gezeigt, dass Leistung und Unabhängigkeit der leistungsgeminderten Arbeiter durch den gezielten Einsatz des Assistenzsystems gesteigert werden können.

Abstract

According to statistics in Germany around three million people with disabilities are in working age. Since the decision of the Convention on the Rights of Persons with Disabilities there has been an obvious change in the working environment. This change will also affect the sector of manual assembly. One aim of the Convention on the Rights of Persons with Disabilities is to make sure that people with disabilities are emancipated on the job market. To reach that it is important to create working places that adapt to the needs of impaired persons. Therefore we developed and evaluated visual in-situ feedback using assistive Systems to help persons with disabilities in the manual assembly.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	7
1.1. Zielsetzung der Arbeit	9
1.2. Aufbau der Arbeit	9
2. Forschungsstand	11
2.1. Augmented Reality Assistenzsysteme	11
2.2. Assistenzsysteme für leistungsgeminderte Personen	16
2.3. Erstellen von Montageanleitungen	18
2.4. Visuelle In-Situ Feedbackarten	19
2.5. Fazit	21
3. Prototyp	23
3.1. Beschreibung der Montageaufgabe	23
3.2. Entwickelte Anleitungstypen	24
3.3. Aufbau des Assistenzsystems motionEAP	28
3.4. Implementierung des Prototyps	29
4. Studie	33
4.1. Design	33
4.2. Studienablauf	34
4.3. Apparatur	35
4.4. Probanden	36
4.5. Ergebnisse	36
4.6. Diskussion	40
4.7. Einschränkungen	41
5. Zusammenfassung und Ausblick	43
Literaturverzeichnis	45
A. Anhang	49

Abbildungsverzeichnis

2.1.	Virtueller 3-D Fötus	12
2.2.	Anleitung zur Montage einer Verbrennungskammer über HMD	13
2.3.	Durch Nutzer definierte Kontrollschalter und der Prototyp LuminarAR	14
2.4.	Aufbau des Light Guide Systems	15
2.5.	Die Montage eines Legoautos wird durch ASLM unterstützt	18
2.6.	Entwickelte visuelle on-body Anweisungen zur Projektion auf die Hand	20
3.1.	Abbildung der zu montierenden Schraubzwinge	23
3.2.	Überblick der verwendeten geometrischen Formen als Feedback über den Platzierungs- ort der Montageteile.	25
3.3.	Projektion der Anleitung mittels geometrischer Formen auf den Assistentztisch	25
3.4.	Übersicht der verwendeten Bilder als Feedback über Entnahmeort sowie Schließen und Öffnen des Schutzfensters	26
3.5.	Übersicht der verwendeten Bilder als Feedback über den Platzierungs-ort der Montageteile	26
3.6.	Projektion der Bildanleitung auf den Assistentztisch	27
3.7.	Projektion der Videoanleitung auf den Assistentztisch	27
3.8.	Aufbau des motionEAP Assistenzsystems	28
3.9.	Aufbau des speziell für die Schraubzwingenmontage angefertigten Assistentztisch . . .	29
3.10.	graphische Benutzeroberfläche des Szeneneditors	31
3.11.	graphische Benutzeroberfläche zum Starten eines Arbeitsablaufes	31
4.1.	Auszug des Bewertungsbogens zur wahrgenommenen Arbeitsbelastung	34
4.2.	Diagramm der durchschnittlichen Task-Completion-Time	38
4.3.	Diagramm der durchschnittlichen Task-Completion-Time der einzelnen Phasen der Montage	38
4.4.	Diagramm der durchschnittlichen Fehlerrate	39
4.5.	Diagramm zur Auswertung des Bewertungsbogens	39
A.1.	Fragebogen zu den persönlichen Angaben der Probanden	50
A.2.	Bewertungsfragebogen zur wahrgenommenen Arbeitsbelastung Seite 1	51
A.3.	Bewertungsfragebogen zur wahrgenommenen Arbeitsbelastung Seite 2	52

A.4. Einverständniserklärung zur Teilnahme an der Studie 53

Tabellenverzeichnis

4.1. Übersicht der statistischen Analyse hinsichtlich der Task-Completion-Time 37
4.2. Übersicht der statistischen Analyse hinsichtlich der Fehlerrate 37

1. Einleitung

Ein großer Bereich in der heutigen industriellen Montage wird durch maschinelle Arbeitsprozesse bewältigt, da diese im Vergleich zur manuellen Montage effizienter sind. Jedoch steigt die Nachfrage an speziell gefertigten Produkten in der Industrie. Trotz der rapiden Entwicklung von Systemen im Bereich der maschinellen Montage, kann in einigen Bereichen nicht auf den Einsatz der manuellen Montage verzichtet werden.

Um die Leistungsfähigkeit der Arbeiter zu erhöhen und deren Fehlerrate zu senken, werden bereits in vielen Unternehmen Assistenzsysteme eingesetzt. Profitierend durch den heutigen Stand der Technik im Bereich der Mensch-Computer-Interaktion entwickeln sich diese immer mehr zu hoch technologischen Systemen. Heute reicht die Spanne an Assistenzsystemen von an Tischen und Wänden befestigten Bilderreihen, über PDAs, bis hin zu realitätserweiternden Systemen. Trotz des heutigen Fortschritts in der Mensch-Computer-Interaktion liegt der Schwerpunkt bei aktuell produzierten Assistenzsystemen auf der Ergebniskontrolle im Produktionsprozess. Die Interaktionsmöglichkeiten zwischen Arbeiter und Maschine werden dabei meist nur rudimentär unterstützt. Eine im Jahre 2011 durchgeführte Studie des Fraunhofer-Instituts belegt, dass von den bestehenden Interaktionstechnologien lediglich Touch-Screens als Maschineninterfaces in der Produktion eingesetzt werden [SB11]. Diese Tatsache wird auch von Korn et al. [KSH13b] bemängelt. Sie sind der Meinung das heutige Assistenzsysteme realitätserweiternde (engl. Augmented Reality) Techniken einsetzen müssen, um den Menschen bestmöglich zu unterstützen.

Laut Statistiken zur Beschäftigungssituation leistungsgeminderter Menschen sind in Deutschland rund 3 Millionen Menschen mit Behinderung im erwerbsfähigen Alter. Damit zukünftig mehr Menschen mit Behinderung erfolgreich in die Arbeitswelt integriert werden, startete die Bundesregierung die "Initiative Inklusion". Durch diese Initiative und dem Beschluss des Nationalen Aktionsplans zur Umsetzung der UN-Behindertenrechtskonvention [Hen07], wurde ein Prozess angestoßen, der die Arbeitswelt und somit auch den Bereich der manuellen Montage maßgeblich beeinflussen wird. Ziel der UN-Behindertenkonvention ist es unter anderem die Teilhabe von leistungsgeminderten Personen am Arbeitsmarkt deutlich zu steigern. Zentrales Thema der Konvention ist das in einem bestimmten Fall erforderliche Anpassen der Gegebenheiten, um zu gewährleisten, dass leistungsgeminderte Menschen gleichberechtigt mit allen anderen Menschen sind und somit alle Grundfreiheiten und Menschenrechte im gleichen Maße genießen können. Darunter fällt auch das technische umgestalten eines Arbeitsplatzes [Aic08].

Hierbei wurden seit Beschluss der Konvention bis zu 10.000 schwerbehinderte Jugendliche intensiv auf das Berufsleben vorbereitet. Ziel ist es 1300 neue betriebliche Ausbildungsplätze für behinderte jugendliche auf dem allgemeinen Arbeitsmarkt zu schaffen. Dies bedeutet ein Zuwachs von 25%, verglichen mit dem Stand 2009. Des Weiteren werden 4000 neue altersgerechte Arbeitsplätze für leistungsgeminderte Personen über 50 bereitgestellt. Die damalige Bundesministerin für Arbeit und Soziales, Ursula von der Leyen, begründet dies wie folgt : "Das Schlüsselwort heißt Inklusion. Das

1. Einleitung

bedeutet, nicht die Menschen mit Behinderung passen sich an die Gesellschaft an, sondern wir organisieren den Alltag so, dass die 9,6 Millionen Menschen mit Behinderung selbstverständlich mittendrin und dabei sind. Im Kindergarten, in der Schule, im Restaurant am Arbeitsplatz, eben überall, wo sich das Leben abspielt. Das ist ein anstrengender Prozess und vor allem einer, bei dem es keine Zaungäste gibt. Bund, Länder, Verbände und Wirtschaft, alle müssen mitmachen und etwas beitragen. Die Bundesregierung geht jetzt mit ihrem Aktionsplan und mehr als 200 Maßnahmen in Vorleistung.“¹

Durch die Einführung des Gesetzes zur Förderung der Ausbildung und Beschäftigung von schwerbehinderten Menschen wurde ein erster Schritt zur Inklusion von leistungsgeminderten Personen getan. Dieses verpflichtet private und öffentliche Arbeitgeber mit jahresdurchschnittlich mindestens 20 Arbeitsplätzen auf wenigstens 5 Prozent der Arbeitsplätze schwerbehinderte Menschen zu beschäftigen². Dieses Gesetz ist neben mittelständigen Betrieben vor allem für große Konzerne von Bedeutung. So erhielt die Audi AG den „ComToAct“-Preis³ für die Integration leistungsgeminderter Personen. Dieser Preis wurde im Rahmen des Symposiums „Arbeitswelt von Menschen mit Behinderung“ verliehen. Laut eines Presseberichts im Jahre 2011 beschäftigte die Audi AG zu diesem Zeitpunkt 1620 Schwerbehinderte Mitarbeiter an den Standorten Ingolstadt und Neckarsulm⁴.

Auch über die eigenen Betriebsabläufe hinaus integriert Audi, wie auch viele andere Konzerne, leistungsgeminderte Personen in Produktionsprozesse. So werden häufig Aufträge an soziale Einrichtungen wie der Gemeinnützigen Wohnstätte und Werkstätten GmbH⁵ (GWW) übergeben. In der GWW arbeiten an circa 20 Standorten über 1000 Menschen mit Behinderung. Die GWW ist seit über 40 Jahren Zulieferer der Automobilindustrie. Hierbei reichen die Tätigkeiten von der Fertigung von Einzelteilen über Baugruppen bis hin zu kompletten Systemen. Neben der Ausführung von Montagearbeiten für Automobilhersteller beschäftigt die GWW Mitarbeiter in Bereichen wie der Elektromontage, Digitaldruck, Tampondruck und Vergusstechnik.

Um den Anforderungen der UN-Behindertenkonvention gerecht zu werden und die wachsende Zahl an leistungsgeminderten Arbeitern erfolgreich in die Arbeitswelt zu integrieren, verlangt es nach einem technischen Umgestalten von Arbeitsplätzen.

Im Rahmen dieser Arbeit wird ein Assistenzsystem vorgestellt, welches leistungsgeminderte Arbeiter mit Hilfe von Augmented Reality während der manuellen Montage unterstützt. Über einen Beamer können wichtige Informationen direkt (in-situ) in den Arbeitsbereich projiziert werden. So kann visuelles Feedback zum Beispiel durch Markieren bestimmter Stellen auf dem Arbeitsplatz eine Anleitung zum nächsten Arbeitsschritt geben oder anzeigen ob die korrekte Aktion durchgeführt wurde. Diese Projektionen können aus verschiedenen Elementen wie Text, Bilder, Symbole oder auch Videos bestehen. Durch Einsatz des Assistenzsystems soll die Integration von leistungsgeminderten Personen in die Arbeitswelt gefördert werden. Anhand der hierbei eingeblendeten Schritt für Schritt Anleitung wird ein selbständiges Arbeiten der leistungsgeminderten Personen gefördert. Durch ein weitgehend selbständiges Arbeiten wird zum einen der Bedarf an Hilfskräften zur Betreuung der

¹<http://www.bmas.de/DE/Service/Presse/Pressemitteilungen/nationaler-aktionsplan.html>

²http://www.gesetze-im-internet.de/sgb_9/_71.html

³http://www.cdi.unisg.ch/de/veranstaltungen/3_comtoactsymposium/comtoact+award

⁴https://www.audi-mediaservices.com/publish/ms/content/de/public/pressemitteilungen/2011/03/25/audi_ag_erhaelt_auszeichnung.html

⁵<http://www.gww-netz.de/>

leistungsgeminderten Personen reduziert, zum anderen steigert es das Selbstwertgefühl der Arbeiter.

Um leistungsgeminderte Personen mit Hilfe des Assistenzsystems bestmöglich zu unterstützen, werden in dieser Arbeit verschiedene visuelle Anleitungstypen, in Form von visuellem in-situ Feedback entwickelt. Diese Anleitungen werden speziell auf die Bedürfnisse von leistungsgeminderten Personen angepasst. Anschließend werden die Auswirkungen der Anleitungen auf die Produktivität der Arbeiter, mittels einer vergleichenden Studie, offengelegt.

1.1. Zielsetzung der Arbeit

Ziel dieser Arbeit ist die Entwicklung eines Prototyps, welcher in der Lage ist verschiedene Anleitungstypen in Form von visuellem in-situ Feedback direkt in einen gewünschten Arbeitsbereich einzublenden. Bei der Entwicklung der Anleitungstypen soll speziell auf die Bedürfnisse von leistungsgeminderten Personen eingegangen werden. Die Anleitungen wurden für die manuelle Montage eines Schraubzwingentyps der Firma Bessey Tool GmbH ⁶ entwickelt. Eine vergleichende Studie der entwickelten Anleitungstypen, mit dem Stand der Technik, im Bereich Montageanleitung von leistungsgeminderten Personen, soll zeigen, dass durch den Einsatz von visuellem in-situ Feedback, leistungsgeminderten Personen ein selbstständiges Arbeiten im Bereich der manuellen Montage ermöglicht wird. Des Weiteren sollen die Unterschiede der Anleitungstypen in Bezug auf Montagedauer, Fehlerrate und empfundener Arbeitsbelastung festgestellt werden.

Im Vorfeld geht eine Danksagung für die tolle Unterstützung an die Partner zur Vorbereitung und Durchführung der Studie. Der Dank geht an die GWW, insbesondere an Frank Raschhofer, für die Organisation der Probanden und der Bereitstellung der Lokalitäten innerhalb der GWW Sindelfingen. Des weiteren geht ein Dankeschön an die FH Esslingen für die Entwicklung und Herstellung des Montagetisches zur Montage der Schraubzwinde. Besonderer Dank geht hierbei an Andreas und Liane Bächler, für das Entwerfen und Bereitstellen des Bewertungsbogens zur Feststellung der empfundenen Arbeitsbelastung sowie für die Unterstützung bei der Studiendurchführung. Zuletzt geht ein Dank an die Bessey Tool GmbH für die Bereitstellung der Einzelteile zur Montage der Schraubzwingen.

1.2. Aufbau der Arbeit

Die vorliegende Arbeit beginnt in Kapitel 1. In diesem Kapitel wird eine Einleitung in das Thema gegeben. Anschließend wird in Kapitel 2 der aktuelle Forschungsstand im Bezug auf Assistenzsysteme sowie visuellem Feedback dargelegt. In Kapitel 3 werden die Funktionen und der Aufbau des, im Rahmen des Forschungsprojektes motionEAP entwickelten, Assistenzsystems vorgestellt. Innerhalb dieses Forschungsprojekts wurde der im Laufe der Arbeit entwickelte Prototyp zur Projektion von visuellen Anleitungstypen implementiert. Die Funktion des Prototyps wird in Kapitel 4 erläutert.

⁶<http://www.bessey.de/>

1. Einleitung

Hierzu werden zunächst die im Rahmen der Arbeit entwickelten visuellen Feedbackarten und die daraus resultierenden Anleitungstypen vorgestellt. Anschließend wird auf die Implementierung des Prototyps eingegangen. Darauf aufbauend wird in Kapitel 5 eine Studie entworfen, welche die im Vorfeld entwickelten Anleitungstypen mit dem Stand der Technik im Bereich Montageanleitungen für leistungsgeminderte Personen vergleicht. Daraufhin werden die daraus gewonnenen Daten ausgewertet und das Ergebnis der Studie präsentiert. Diese Ergebnisse werden detailliert dargestellt und bieten somit eine Grundlage für weitere Forschungsarbeiten in dem Gebiet der Assistenzsysteme für leistungsgeminderte Personen. Die Arbeit endet mit einer Zusammenfassung, einem Fazit sowie einem Ausblick über zukünftige Arbeiten im Bereich visuellem in-situ Feedback bei Assistenzsystemen in der manuellen Montage.

Gliederung

Die Arbeit ist in folgender Weise gegliedert:

Kapitel 1 – Einleitung: Dieses Kapitel gibt eine Einleitung in das Thema sowie einen Überblick der behandelten Themen.

Kapitel 2 – Forschungsstand: Dieses Kapitel gibt einen Überblick über den aktuellen Forschungsstand im Bereich Assistenzsysteme, visuelle Feedbackarten sowie hilfreiche Schritt-für-Schritt Montageanleitungen.

Kapitel 3 – Prototyp: Dieses Kapitel geht auf den für die Studie entwickelten Prototyp und die dazu entwickelten visuellen Feedbackarten ein.

Kapitel 4 – Studie: In diesem Kapitel wird die im Rahmen der Arbeit durchgeführte Studie und deren Ergebnisse beschrieben.

Kapitel 5 – Zusammenfassung und Ausblick Dieses Kapitel fasst die Ergebnisse der Arbeit zusammen und stellt Anknüpfungspunkte vor.

2. Forschungsstand

In diesem Kapitel wird auf den aktuellen Forschungsstand im Bereich Assistenzsysteme, visuelles Feedback sowie dem Erstellen von hilfreichen Schritt-für-Schritt Montageanleitungen eingegangen. Hierzu werden bereits veröffentlichte wissenschaftliche Arbeiten sowie existierende kommerzielle Systeme vorgestellt. Im Anschluss folgt ein Fazit zu den vorgestellten Arbeiten wie auch eine Abgrenzung zur vorliegenden Arbeit.

2.1. Augmented Reality Assistenzsysteme

In diesem Abschnitt wird zuerst der Begriff Augmented Reality im allgemeinen erklärt. Anschließend werden verschiedene, auf Augmented Reality basierende, Assistenzsysteme vorgestellt.

2.1.1. Begriffserklärung Augmented Reality

Unter Augmented Reality (kurz AR) versteht man eine, durch Computertechnik gestützte, Erweiterung der realen Welt. Im Gegensatz zur Virtuellen Environment (VE), bei der der Nutzer in eine komplett computergenerierte Welt eintaucht, wird bei der AR die reale Welt durch virtuelle Objekte ergänzt, anstatt sie komplett zu ersetzen. Somit hat es für den Betrachter den Anschein, als würden reale und virtuelle Objekte im gleichen Raum koexistieren [Azu97, ABB⁺01].

Caudel et al. [CM92] entwickeln bereits im Jahre 1992 einen Prototyp welcher über ein Head-Mounted-Display computergenerierte Informationen auf Objekte in der realen Welt einblendet. Dieser Prototyp war einer der ersten im Bereich der "Industrial Augmented Reality" und hatte das Ziel, Kosten und Zeit an den, von Menschen getätigten, Arbeitsvorgängen der Flugzeugproduktion zu sparen.

2.1.2. Head-mounted-Displays und Head-up-Displays

Zur Visualisierung der Augmented Reality werden häufig Head-mounted-Displays (HMD) oder Head-up-Displays (HUD) eingesetzt. HUD sind anders wie HMD nicht direkt am Kopf des Nutzers angebracht. HMD wie auch HUD ermöglichen dem Nutzer seine Blickrichtung beizubehalten, da ihm die Informationen direkt in sein Sichtfeld projiziert werden. Kommerzielle Beispiele dafür sind GoogleGlass¹ (HMD) oder Garmin² (HUD) [OYN08].

¹<https://www.google.com/glass/start/>

²<https://buy.garmin.com/de-DE/DE/prod134348.html>



Abbildung 2.1.: Über ein HMD ist die dreidimensionale Repräsentation des Fötus auf dem Bauch der Mutter zu sehen. Quelle: [BFO92]

Die Abbildung 2.1 zeigt die Arbeit einer Forschungsgruppe an der UNC Chapel Hill, die das Ziel hatte einen Prototyp für ein 3-D Stethoskop zu entwickeln. Sie wandelten die Aufnahmen der Ultraschallsensoren in eine dreidimensionale Repräsentation der Aufnahme um. Somit ist es den Ärzten möglich durch ein Head-mounted-Display eine dreidimensionale Repräsentation des Fötus auf dem Bauch der Mutter zu sehen [Azu97, BFO92].

Henderson et al. [HF11] entwickelten einen Prototyp zur Assistenz in der manuellen Montage. Hierbei wurden die in-situ Informationen über ein HMD bereit gestellt, welches von den Probanden während der Montage getragen wurde (Abb. 2.2). In einer Studie mussten die Probanden eine Verbrennungskammer eines Autos zusammenbauen. Die verschiedenen Montageschritte wurden hierbei in die Phasen Auffinden eines Werkstückes, Positionieren und Ausrichten unterteilt. Über das HMD wurden hierzu Textanweisungen, Labels und auch Pfeile auf dem Werkstück angezeigt. So konnte zum Beispiel durch einen Pfeil zum einen die Richtung angezeigt werden, in die ein Werkstück gedreht werden muss, zum anderen konnte durch die Färbung des Pfeiles angezeigt werden, wie weit der Proband noch von der richtigen Position des Werkstückes entfernt ist. Wurde die gewünschte Position erreicht, verschwand der Pfeil. Ziel war es, die Montageanleitungen des HMD mit Montageanleitungen, welche auf einem an dem Arbeitstisch angebrachten LCD Bildschirm angezeigt wurden, zu vergleichen. Untersucht wurden hierbei die Dauer der Montage, die dabei gemachten Fehler, sowie die Erfahrung der Probanden mit den beiden Anleitungen im Bezug auf Nutzbarkeit, Zufriedenheit und Eindeutigkeit. Die Ergebnisse der Studie zeigten hinsichtlich der Montagedauer der Verbrennungskammer, für die Phasen des Auffinden eines Werkstückes und dem Positionieren keine markanten Unterschiede zwischen den beiden Anleitungstypen. Bei der richtigen Ausrichtung des Werkstückes brauchten die Probanden jedoch mittels in-situ Montageanleitung durchschnittlich nur 24,23 Sekunden und lagen damit 21,31 Sekunden unter dem Durchschnittswert der on-screen Montageanleitung. Neben der signifikanten Zeitersparnis während der Ausrichtung des Werkstückes lag die durchschnittliche Genauigkeit der Ausrichtung bei dem HMD bei 95,3% verglichen mit 61,7% bei der Anleitung



Abbildung 2.2.: Henderson et al. nutzen eine in-situ Anleitung zur Montage einer Verbrennungskammer. Die Anleitung wurde über ein HMD in das Sichtfeld des Arbeiters eingeblendet. Quelle: [HF11].

auf dem LCD-Display. Diese Messungen wurden auch durch die User Experience der Probanden widerspiegelt. Hier schnitt die in-situ Montageanleitung in allen drei Bereichen besser ab.

2.1.3. In-Situ Projektion

Abgesehen von den bereits vorgestellten Techniken können Projektoren eingesetzt werden, um computergenerierte Informationen direkt, also in-situ, auf eine gewünschte Oberfläche zu projizieren. Im folgenden Abschnitt werde ich genauer auf diese Art der Augmented Reality eingehen und deren aktuellen Forschungsstand darlegen.

Claudio Pinhanez [Pin01] ist einer der ersten, der sich mit dieser Art von in-situ Projektion beschäftigte. Im Jahr 2001 suchte er nach einem Weg ein allgegenwärtiges graphisches Userinterface mit Rechenkraft zu entwickeln, welches eine Alternative zum ständigen Mitführen von Laptops oder PDAs bietet. Der Everywhere Display Projektor besteht aus einem LCD/DLP Projektor und einem rotierbaren Spiegel. Verbunden mit dem Display-Ausgang eines Computers, welcher gleichzeitig den Spiegel steuert, ist es möglich Informationen auf verschiedenste Oberflächen in einem Raum zu projizieren. Durch zusätzlich angebrachte Videokameras wird die Interaktion mit gezeigten Informationen ermöglicht.

Im Jahr 2009 präsentieren Kane et al. [MS06] ein eigenständiges mobiles Computersystem, namens Bonfire, welches mit zwei an einen Laptop befestigten Mikroprojektoren ausgestattet ist. In Kombination mit jeweils einer Kamera und Bilderkennungstechniken, welche das Tracken von Handgesten, Objekterkennung und Informationsaustausch ermöglichen, erzeugt das System einen interaktiven Displaybereich auf beiden Seiten des Laptops. Bonfire kombiniert somit die Vorteile eines herkömmlichen Laptops, wie die hohe Auflösung des Displays, die integrierte Tastatur und hohe Rechenleistung mit einem erweitertem Displaybereich für Ein- und Ausgaben sowie die Erkennung von Gesten und physikalischen Objekten.

Wie sich solche Systeme mit interaktiver Projektion auf die Effektivität von Nutzern auswirken, untersuchten Rosenthal et al. [RKWA10]. Hierzu haben sie die auf einem Laptop angezeigten Informationen durch direkte Projektion auf die Arbeitsfläche erweitert. Sie führten eine vergleichende Studie zwischen herkömmlicher on-screen Anleitung und der neuen augmentierten Anleitung durch, bei der die Probanden alltägliche Aufgaben wie Sortieren, Falten oder Montieren bewältigen mussten. Die

2. Forschungsstand

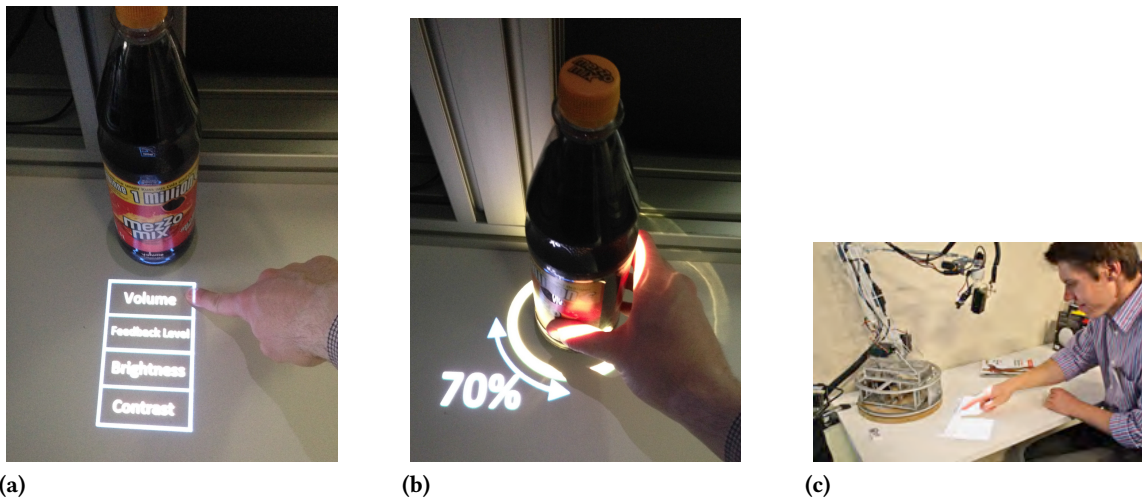
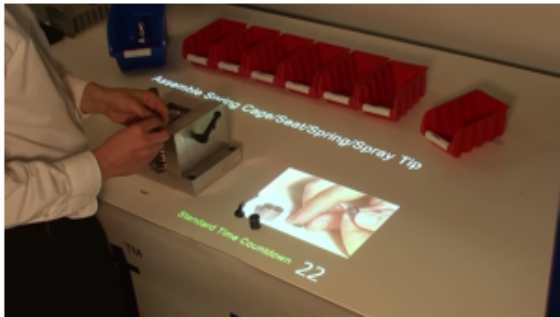


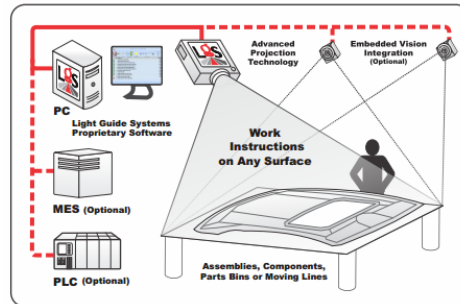
Abbildung 2.3.: Alltagsgegenstände fungieren als Kontrollschalter. In 2.3a wird die digitale Funktion des Gegenstandes (hier eine Flasche) definiert. In 2.3b wird eine Flasche als Drehknopf verwendet. Quelle: [FKS14b]. In 2.3c ist der Prototyp LuminAR zu sehen. Quelle: [LM10].

Auswertung ergab, dass Probanden durch Nutzen der augmentierten Anleitungen durchschnittlich um 27% schneller die geforderten Aufgaben bewältigten. Des Weiteren konnte die Fehlerrate um 32% gesenkt werden. Trotz der im Durchschnitt guten Ergebnisse ergab eine genauere Analyse, dass nicht jede Aufgabenstellung von der zusätzlichen Projektion der Anweisungen profitiert. Im Gegenteil, die Performanz der Probanden war im Vergleich zur herkömmlichen on-screen Anweisung sogar schlechter. In dieser Aufgabenstellung sollten die Probanden ein auf Papier gedrucktes 5x5 Gitter aus Symbolen mit einer Vorlage vergleichen und die Unterschiede aufzählen. Durch die direkte Projektion der Vorlage auf das gedruckte Papier wurden beide Gitter überlagert. Somit war es für die Probanden sehr schwierig die Unterschiede zu erkennen.

LuminAR ist ein von Linder et al. [LM10] vorgestellter Prototyp, um beliebige Objekte durch den Einsatz eines Projektors und einer Kamera in eine interaktive Oberfläche umzuwandeln. Durch ein verbautes WLAN Modul ist es sogar möglich Informationen aus dem Internet auf ein ausgewähltes Objekt zu projizieren. Alle dafür notwendigen Technologien sind an einem hoch beweglichen Roboterarm befestigt, somit können die Informationen auf verschiedene Punkte in einem Raum projiziert werden. Funk et al. [FKS14b] stellen ein Konzept eines Assistentztisches vor, welcher Nutzern erlaubt Alltagsgegenstände, wie Flaschen und Kugelschreiber in Kontrollschalter, so genannte Tangible, für digitale Funktionen umzuwandeln. Sobald sich ein Gegenstand auf dem Assistentztisch befindet, wird dieser im System registriert und als Tangible erkannt. Über eine auf den Tisch projizierte Auswahlliste kann dem Gegenstand eine Funktion zugewiesen werden. Das Objekt kann anschließend je nach Einstellung als Knopf oder Schieberegler verwendet werden.



(a)



(b)

Abbildung 2.4.: Aufbau des Light Guide Systems des US-amerikanischen Unternehmen OPS Solutions⁴. In 2.4a wird ein Arbeiter durch das Light Guide System unterstützt. In 2.4b ist der Aufbau des Light Guide Systems zu sehen.

2.1.4. Kommerzielle Assistenzsysteme

Der kommerzielle Markt bietet bereits einige Systeme die in-situ Projektion nutzen. Das Light Guide System (LGS) wird von dem US-amerikanischen Unternehmen OPS Solutions³ vertrieben und wirbt mit dem Slogan „Light, Guide and Go“. Es verspricht eine Steigerung der Produktqualität, eine Erhöhung des Durchsatzes sowie eine Reduzierung der Werkzeugkosten. Light Guide Systems ersetzt textbasierte Anleitung für die manuelle Montage durch visuelle in-situ Projektion einer Schritt-für-Schritt Anleitung auf den Arbeitsbereich. Die Projektionen können unter anderem Markierungen, farbige Texte, Bildmaterial, CAD-Zeichnungen, Videos, Timer sowie graphische Elemente enthalten. Des Weiteren können die Projektionen mittels Audiosignalen oder Sprachanleitungen unterstützt werden. Zusätzlich können Informationen zu Zykluszeiten eingeblendet werden. Die Prozesskontrolle kann entweder manuell (im standalone Modus) oder automatisiert erfolgen. Bei der manuellen Variante signalisiert der Arbeiter den Abschluss eines Arbeitsschrittes über ein USB-Fußpedal, USB-Button oder ein Touchscreen. Die automatisierte Variante kann mittels Lichtschranken, Bilderkennungssensoren und Machine-Vision Kameras erfolgen. Erst nach erfolgreichem Abschluss eines Arbeitsschrittes werden die Informationen des nächsten Schrittes angezeigt. Die zu erledigenden Arbeitsschritte können über die integrierte Software in das System eingespielt werden. LGS ist skalierbar und kann als standalone System verwendet werden oder es wird an ein bestehendes Manufacturing Execution System gekoppelt. Light Guide System Pro bietet eine mobile Variante des LGS und besteht aus einer vorkonfigurierten Version mit einer Tischgröße von ca 1m x 1,8m. Der genaue Aufbau des LGS ist in Abbildung2.4 zu sehen.

³www.ops-solutions.com

⁴www.ops-solutions.com

2.2. Assistenzsysteme für leistungsgeminderte Personen

Bei den bisher vorgestellten Assistenzsystemen lag der Fokus auf den Ansprüchen der breiten Masse. Auf die Bedürfnisse kleiner Personengruppe, wie der von leistungsgeminderten Personen wurde nicht eingegangen. Sauer et al. [SPH10] stellen nach einer Literaturrecherche im Bereich Assistenzsysteme für leistungsgeminderte Personen fest, dass diese eine positive Auswirkung auf die Arbeitsleistung der Personen haben. Dies spiegelt sich in einer Verbesserung der Arbeitsgenauigkeit und Senkung der Arbeitsdauer wider. Des Weiteren wird die Unabhängigkeit der Arbeiter gefördert. Die Recherche zeigt somit, dass gerade diese Personengruppe auf eine Assistenz angewiesen ist, um ihre Leistungen in der Arbeit zu steigern. Hierbei wirken sich vor allem hoch technologische Systeme positiv auf die Arbeitsweise von leistungsgeminderten Personen aus. Gleichzeitig bemängeln Sauer et al. die bisher unzureichende Forschung im Bereich Assistenzsysteme für leistungsgeminderte Personen. Bei den aktuell bestehenden Studien wurde stets eine zu kleine Probandenanzahl von maximal 10 Personen betrachtet. In diesem Abschnitt werden einige, speziell für leistungsgeminderte Personen entwickelte, Assistenzsysteme vorgestellt.

2.2.1. Assistenzsysteme für leistungsgeminderte Personen ohne Augmented Reality

Durch das Erlernen von beruflichen Fähigkeiten bietet sich für leistungsgeminderte Personen die Möglichkeit, sich erfolgreich in ein Arbeitsumfeld zu integrieren. Voraussetzung für das Erlernen und Beibehalten beruflicher Fähigkeiten ist eine regelmäßige Unterweisung eines Betreuers. Hierbei ist das verfügbare Kontingent an Betreuern meist ein limitierender Faktor. Forschungen haben schon früh gezeigt, dass durch den Einsatz von Bedienhinweise in Form von Text oder Bildern, die unabhängige Arbeit von leistungsgeminderten Personen gesteigert wird.

Bereits im Jahr 1992 nutzten Cuvo et al. [CDO⁺92] Bedienanweisungen in Form von Text um leistungsgeminderten Personen grundlegende Haushaltstätigkeiten beizubringen. Durchaus weiter verbreitet sind jedoch Anleitungen in Form von Bilderreihen. Diese werden ebenfalls genutzt um die Personen bei alltäglichen Aufgaben wie sich ankleiden [PS94], putzen oder kochen [JC81] anzuleiten. Steed et al. [SL97] untersuchten in einer Studie, ob leistungsgeminderte Personen durch den Einsatz von Bildanleitungen in der Lage sind, Alltagsaufgaben zu erlernen und diese ohne die regelmäßige Überwachung eines Betreuers bei zu behalten. Der Studienzeitraum erstreckte sich über mehrere Monate. Während dieser Zeit musste der Proband in bestimmten Abständen staubsaugen. Der Studienverlauf bestand hierbei aus drei Phasen. Zu Beginn bekam der Proband eine Einweisung in seine Aufgabe, sowie in die Funktion der Bildanleitung. Danach führte er die Aufgabe nur mit Hilfe der Bildanleitung durch. In der Mitte des Studienverlaufs wurde die Aufgabe ohne Bildanleitung durchgeführt. Anschließend wurde die Aufgabe erneut mit Hilfe der Bildanleitung durchgeführt. Die Auswertungen zeigten, dass die Leistung des Probanden mit Hilfe der Bildanleitung signifikant besser war. Außerdem wurde ein selbstständiges Merken der Arbeitsschritte über einen längeren Zeitraum ermöglicht. Des Weiteren war der Proband in der Lage die Nutzung von Bildanleitung zu

generalisieren, somit war er in der Lage für ihn unbekannte Aufgaben mit Hilfe einer Bildanleitung zu erledigen.

2.2.2. Augmented Reality Assistenzsysteme für leistungsgeminderte Personen

Dieser Abschnitt stellt Augmented Reality Assistenzsysteme vor, welche speziell auf die Ansprüche von leistungsgeminderten Personen ausgelegt sind.

Die Hochschule Esslingen entwickelte im Rahmen des Forschungsprojektes ASLM (Assistenzsystem für leistungseingeschränkte Mitarbeiter in der manuellen Montage), in Zusammenarbeit mit der Schnaithmann Maschinenbau GmbH und der Beschützende Werkstätte für geistig und körperlich Behinderte Heilbronn e.V, ein Assistenzsystem für leistungsgeminderte Personen⁵. Das Ergebnis war ein neuartiger Montagearbeitsplatz. In einem proof of concept wurde gezeigt, dass dieser Montageplatz die anwendungsorientierte Informationsbereitstellung von Text, Bild und Video direkt im Arbeitsbereich, also in-situ, ermöglicht. Basierend auf den Ergebnissen dieses Forschungsprojektes erweiterten Korn et al. [KSH13b, KSH13a] das bestehende Assistenzsystem. In Abbildung 2.5 wird die Montage eines Legoautos durch den Einsatz des Assistenzsystems ASLM unterstützt. Die interaktiven Bereiche sind grün markiert. Aktuell getriggerte Bereiche werden rot markiert. Die mit dem Prototyp durchgeführte Studie konnte zeigen, dass Systeme, welche in-situ Projektion einsetzen, eine Verkürzung der Montagezeit bei leistungsgeminderten oder leistungsgewandelten Personen ermöglicht. Jedoch hatte der Prototyp einen katalytischen Effekt auf die Testpersonen. Der Großteil der Testpersonen konnte ihre Fehlerrate signifikant senken. Jedoch konnten die Probanden deren kognitive Leistung unter dem Durchschnitt lag die neue augmentierte Arbeitsumgebung nicht zu ihrem Vorteil nutzen. Sie zeigten eine schlechtere Ausführung der Arbeitsanweisungen als zuvor. Die Fähigkeit das Potential des augmentierten Arbeitsplatzes auszunutzen, scheint somit von der kognitiven Leistung der Probanden abzuhängen. Weitere Studien sollen zeigen, ob Personen mit geringer kognitiver Leistung durch eine längere Eingewöhnungszeit in der Lage sind, ebenfalls positive Ergebnisse zu erzielen.

Das am 01.01.2013 gestartete motionEAP⁶ Forschungsprojekt präsentiert ein System zur Effizienzsteigerung und Assistenz bei Produktionsprozessen in Unternehmen auf Basis von Bewegungserkennung und Projektion. Das Projekt ist eine anwenderorientierte Konzeption, prototypische Umsetzung und Evaluation eines neuartigen prozessorientierten Assistenzsystem für Produktionsprozesse.

Das System realisiert das Konzept der Programmierung durch Demonstration. Hierbei werden die Arbeitsabläufe durch erfahrene Mitarbeiter dem System angelernt. Dazu wird in einem Lernmodus der Arbeitsablauf Schritt für Schritt in dem Arbeitsbereich durchgeführt. Das System erkennt die einzelnen Schritte und speichert diese ab. Anschließend können diese im Ausführungsmodus von unerfahreneren Arbeiter abgerufen werden.

MotionEAP baut auf den Kenntnissen des Vorgängerprojektes ASLM (Assistenzsystem für leistungseingeschränkte Mitarbeiter in der manuellen Montage) der Hochschule Esslingen auf. Aus den

⁵www.hs-esslingen.de/de/hochschule/fakultaeten/maschinenbau/forschung-und-transfer/forschungsprojekte/forschungsprojekt-aslm.html

⁶<http://www.motioneap.de/>



Abbildung 2.5.: Die Montage eines Legoautos wird durch den Einsatz des Assistenzsystems ASLM unterstützt. Quelle: [KSH13b].

gewonnenen Ergebnissen dieses Projektes können einige Anforderungen und Verbesserungen für das motionEAP Assistenzsystem abgeleitet werden.

- Steigerung der Prozessorientierung.
- Vereinfachung der Bedienoberfläche bzw. Unterstützung natürlicher Interaktion.
- Integration sensorgestützter Bewegungserkennung für Echtzeit-Feedback.
- In-situ-Projektion und barrierefreies Informationsdesign.
- Integration motivierender Elemente.

Hierbei ist gerade die Anforderung nach der Integration von in-situ-Projektion und barrierefreiem Informationsdesign für diese Arbeit relevant.

2.3. Erstellen von Montageanleitungen

Um möglichst gut verständliche und genaue Montageanleitungen zu erstellen, wurde zu Beginn eine umfangreiche wissenschaftliche Recherche im Bereiche Montageanleitungen getätigt.

Die hierzu gefundenen Forschungsarbeiten beziehen sich auf herkömmliche Schritt für Schritt Montageanleitungen. Im Bereich in-situ Montageanleitungen konnten keine treffenden Ergebnisse gefunden werden. Dennoch ergaben sich hierbei einige grundlegende Aspekte, welche bei der Erstellung einer Montageanleitung berücksichtigt werden sollten.

Eine gute Anleitung zur manuellen Montage hebt die wichtigen Punkte der Montage hervor. Die Information über ein Bauteil soll daher auf die Grundinformationen herunter gebrochen werden. Dies kann durch die Abbildung der Kontur des Bauteils erreicht werden. Hierbei werden die wichtigen Informationen über ein Montageteil beibehalten. Dies sind die Platzierung und die Ausrichtung. Unnötige Details wie z.B das Material des Montageteils werden bei Seite gelassen. Durch farbliche

Markierungen kann eine zusätzliche Aufmerksamkeit auf bestimmte Punkte der Anleitung gelenkt werden [APH⁺03, HPA⁺04].

Novick et al. zeigten, dass Probanden Montageanleitungen in Form einer Schritt-für-Schritt-Anleitung bevorzugen. Hierbei wird die Anleitung nicht in einem einzigen Diagramm dargestellt, sie besteht aus einer Sequenz aus Diagrammen, in der jeweils eine Sequenz einen für sich abgeschlossenen Arbeitsschritt anzeigt. Vor allem Personen mit einem geringen Vorwissen über die zu tätige Montagearbeit zeigten durch die Schritt-für-Schritt-Anleitung eine bessere Arbeitsleistung [NM00]. Sowohl bei herkömmlichen Papier- oder On-Screen-Anleitungen, wie auch im Fall der in-situ Anleitungen für die manuelle Montage der Schraubzwinde, hat die Montageanleitung das Ziel, den Arbeiter bestmöglich zu unterstützen.

Dabei sollten verschiedene Aspekte der Montage betrachtet werden. Der wichtigste Aspekt der manuellen Montage ist die fehlerfreie Produktion. Produktionsfehler können zum einen durch ungenaue Anleitungen und die daraus resultierende falsche Interpretation des Arbeiters auftreten. Daher sollte durch die Montageanleitung eindeutig hervorgehen, welche Aktion als nächstes durchzuführen ist. Zum anderen führen zu starke visuelle Informationen eventuell zur Ablenkung der eigentlichen Montage und verursachen somit Fehler. Aus diesem Grund sollte die in-situ Anleitung zwar gut sichtbar und auch eindeutig sein, jedoch nicht durch eine Reizüberflutung von der eigentlichen Arbeit ablenken.

2.4. Visuelle In-Situ Feedbackarten

Dieser Abschnitt des Kapitels gibt einen Überblick zu bestehenden wissenschaftlichen Arbeiten im Bereich visuelles in-situ Feedback.

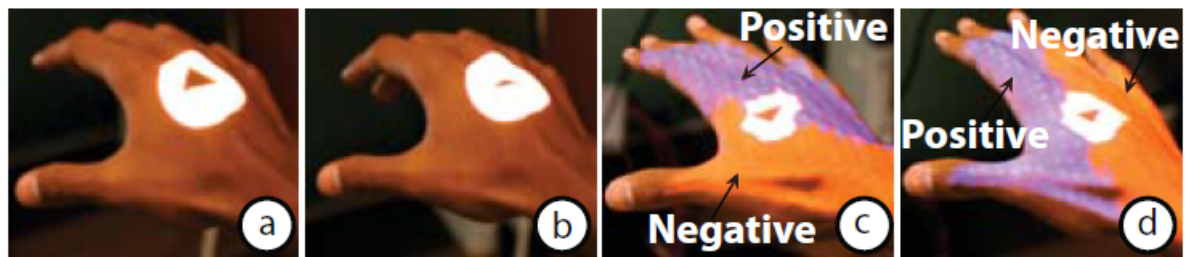
Dodhi et al. [SBW12] entwickelten LightGuide, ein System mit stufenbasierter Echtzeitanweisung von Handbewegungen. Die Anweisungen wurden hierbei direkt auf die Hand des Nutzers projiziert. Sie verglichen die von ihnen entwickelten Ansätze mit herkömmlichen Videoanleitungen in Bezug auf Zeit und Genauigkeit. On-body Anweisungen sollten laut Dodhi et al. folgende Aspekte berücksichtigen: Feedback, Feedforward, Maßstab, Dimension, Perspektive, Timing. Im Folgenden werde ich genauer auf diese Aspekte eingehen und ihre Bedeutung erläutern.

Feedback

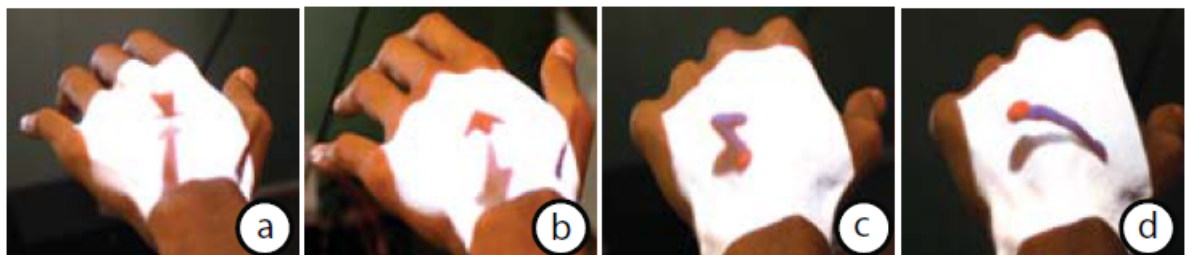
Das Feedback gibt dem Nutzer Informationen über den aktuellen Stand, in dem er sich in Bezug auf seinen Task befindet. Dies ist zum Beispiel die aktuelle Position des Users, Error-Rate oder auch die Abweichung von dem zu erreichenden Ziel.

Feedforward

Die Feedforward Komponente zeigt dem Nutzer an welche Aktion er als nächstes ausführen soll. Diese Information kann schrittweise, in kleinen Segmente oder durch den ganzen Bewegungspfad eingeblendet werden. Bei komplexeren Aufgaben sollte das Einblenden des ganzen Bewegungspfades vermieden werden, da dieser zu unübersichtlich ist.



(a)



(b)

Abbildung 2.6.: Übersicht der von Sodhi et al. entwickelten visuellen on-body Anweisungen [SBW12]. 2.6a zeigt in (a-b) den Follow Spot und in (c-d) den Follow Spot mit zusätzlicher Färbung. 2.6b zeigt in (a-b) den 3D Pfeil und in (c-d) den 3D Pfad. Quelle: [SBW12]

Maßstab

In welchem Maßstab soll die Anleitung eine bestimmte Aufgabe darstellen. Wie weit muss zum Beispiel die Hand bewegt werden, um von einem Punkt A zu einem Punkt B zu gelangen.

Dimension

Die Dimension beschreibt die Art und Weise wie dem Nutzer die genaue Bewegungsanleitung angezeigt wird. Die Anleitung kann sich entweder lediglich auf horizontale und vertikale Bewegungen beschränken oder aus einer fließenden Bewegung bestehen.

Perspektive

On-body Anleitungen können entweder aus einem egozentrischen oder exozentrischen Standpunkt angezeigt werden. Durch eine egozentrische Perspektive werden die Anweisungen präsenter und werden so etwas wie eine natürliche Erweiterung des Körperteils auf das sie projiziert werden.

Timing

Für das Timing gibt es zwei verschiedene Ansätze in Bezug auf on-body Anweisungen. Eine Variante ist das vom System vorgelegte Timing. Hierbei folgt der Nutzer einer visuellen Anweisung, welche in einer vom System festgelegten Geschwindigkeit angezeigt wird. Die andere Möglichkeit ist, dass der Nutzer die Geschwindigkeit in der er auf die Anweisungen reagiert selbst bestimmt.

Mit Berücksichtigung der im Vorfeld erläuterten Aspekte, entwickelten sie die in Abbildung 2.6 zu sehenden visuellen Anweisungen. In Abbildung 2.6a ist in (a) und (b) ein weißer Kreis, in dem sich ein schwarzer Pfeil befindet zu sehen. Um ein tiefenspezifisches Feedback zu geben, wird in diesem Ansatz die Ausrichtung des Pfeiles genutzt. Zeigt der Pfeil auf den Nutzer, ist dessen Hand zu hoch, zeigt er weg, ist sie zu niedrig. Die Größe des Pfeils symbolisiert die Distanz bis zur optimalen Tiefe. Bewegt sich der Nutzer in Richtung der gewünschten Tiefen, wird der Pfeil immer kleiner, bis er eine horizontale Linie darstellt. Diese Linie symbolisiert das Erreichen der gewünschten Tiefe. Die Bilder (c) und (d) zeigen eine Erweiterung dieses Ansatzes. Hierbei wird durch Färbung der Hand das Tiefenfeedback (z-Achse) um das Feedback in horizontaler Ebene erweitert (x- und y-Achse). Die Hand ist hierbei stets in eine rote(negative) und blaue(positive) Färbung unterteilt. Um das gewünschte Ziel in horizontaler Ebene zu erreichen muss sich der Nutzer in Richtung der blauen Färbung bewegen. Die Färbung der Hand dient neben dem Feedback, welches dem Nutzer anzeigt wo er sich gerade befindet, auch als Feedforward-Komponente.

In Abbildung 2.6b ist in (a) und (b) ein 3D Pfeil zu sehen. Dieser kann Anweisungen in x, y und z Achse darstellen. Der 3D Effekt wird durch die hinzugefügte Schattierung erreicht. In (c) und (d) wird dem Nutzer eine dreidimensionale Teilstrecke des Pfades auf die Hand projiziert. Der rote Punkt symbolisiert die relative Position der Hand in Bezug auf den gesamten Bewegungsablauf. Die blaue Teilstrecke zeigt die auszuführenden Bewegung an. Vorteil dieses Ansatzes ist es, dass der Nutzer mögliche Änderungen der Bewegungsrichtung früh erkennen kann.

Cakmakci et al. [CBC03] zeigen ein System, das Anfänger dabei unterstützt Bassgitarre zu lernen. Durch rote Markierungen auf dem Griffbrett wird dem Spieler die korrekte Griffhaltung angezeigt. Diese Markierungen sind durch ein HMD sichtbar und befinden sich auf der zu greifenden Stelle. Durch Computer-Vision Techniken kann erkannt werden, ob der Spieler die richtige Fingerposition eingenommen hat. Sobald dies der Fall ist, wird der nächste Griff angezeigt.

Ein ähnliches System stellen Motokawa et al. [MS06] vor. Anstelle von Markierungen zeigt hier eine virtuelle Hand die richtigen Griffe an. Das System besteht aus einer USB-Kamera und einem Display, welche mit einem Computer verbunden sind. Die Kamera nimmt den Spieler auf, sodass sich der Spieler selbst über den Monitor sieht. Der Computer fügt nun ein computergeneriertes Model einer spielenden Hand hinzu, um die richtige Fingerposition anzuzeigen.

2.5. Fazit

Die Recherche über den aktuellen Forschungsstand zeigt, dass realitätserweiternde Assistenzsysteme ein relevantes Thema in der Forschung sind. Es wurden bereits einige Systeme entwickelt und in Benutzerstudien evaluiert. Durch Systeme wie das vorgestellte Light Guide System von OPS Solution sind realitätserweiternde Assistenzsysteme auch als kommerzielle Systeme in der Industrie relevant. Jedoch befassen sich die bisherigen Arbeiten nicht ausreichend mit den Anforderungen, die ein solches System für leistungsgeminderte Personen erfüllen muss. Auch die von Korn et al. durchgeführte Studie im Rahmen des ASLM Forschungsprojekts konnte nur einen katalytischen Effekt der eingblendeten Arbeitsanleitung nachweisen. Dieser Effekt wurde eventuell durch eine zu komplexe Arbeitseinleitung hervorgerufen. Um leistungsgeminderte Personen in der manuellen Montage bestmöglich zu unterstützen, wird ein System benötigt, welches speziell auf die Bedürfnisse

2. Forschungsstand

dieser Personengruppe ausgelegt ist. Daher sollen in dieser Arbeit verschiedene visuelle Feedbackarten entwickelt werden, um speziell leistungsgeminderte Personen bestmöglich zu unterstützen.

3. Prototyp

Im Rahmen dieser Arbeit wurde ein Prototyp zur Anleitung von manuellen Montageaufgaben mittels visuellem in-situ Feedback entwickelt. In dem folgenden Kapitel wird zunächst auf die Methodik zur Findung der passenden Anleitungstypen eingegangen. Daraufhin werden die daraus resultierenden Ergebnisse detailliert vorgestellt. Zuletzt wird auf die Implementierung des Prototyps eingegangen.

3.1. Beschreibung der Montageaufgabe

In der für die Arbeit durchgeführten Studie mussten leistungsgeminderte Personen eine bestimmte manuelle Montage durchführen. Die Montageaufgabe bestand aus dem Zusammensetzen einer Schraubzwinde, diese ist in Abbildung 3.1 zu sehen. Die zu montierende Schraubzwinde besteht aus fünf verschiedenen Teilen: dem oberen und unteren Spannarm, der Profilstange, dem Griff sowie einem Druckknopf. Hierbei kann die Montage in die drei folgenden Phasen aufgeteilt werden:

- Entnahme eines Montageteils
- Platzierung eines Montageteils
- Öffnen und Schließen des Schutzfensters

Diese Phasen stellen verschiedene kognitive Anforderungen an den Arbeiter, welche in der Montageanleitung berücksichtigt werden müssen. Bei der Entnahmephase muss der Arbeiter das richtige Montageteil entnehmen. Diese sind sortiert und befinden sich in aneinandergereihten Entnahmeboxen. Die Aufgabe des Arbeiters besteht darin, die richtige Entnahmebox für den jeweiligen Entnahmeschritt zu erkennen. Ist diese gefunden, muss genau ein Teil aus dieser Box entnommen werden.



Abbildung 3.1.: Diese Abbildung zeigt die zu montierende Schraubzwinde¹.

¹<http://www.bessey.de/>

3. Prototyp

Nach jeder Entnahme eines Montageteils folgt dessen Platzierung auf dem Montagetisch. Hierzu muss der Arbeiter die genaue Position des Teiles sowie dessen Ausrichtung auf dem Montagetisch kennen. Wurden alle fünf Montageteile erfolgreich auf dem Montagetisch platziert, muss der Arbeiter das an dem Assistentztisch angebrachte Schutzfenster schließen. Anschließend wird durch das Betätigen eines Knopfes die Montage der Schraubzwinde gestartet. Dies geschieht mittels eines Druckluftkompressors vollautomatisch. Aus zeitlichen Gründen wurde die Montage durch Druckluft nicht in der Studie durchgeführt. Somit muss dieser auch nicht in der Montageanleitung berücksichtigt werden. Nach erfolgreicher Beendigung der Montage wird das Schutzfenster wieder geöffnet und die Schraubzwinde kann entnommen werden. Für das Öffnen und Schließen des zu schiebenden Schutzfensters muss der Arbeiter wissen, in welche Richtung er das Fenster schließen bzw. öffnen muss.

Anhand dieses Montageablaufes wurden drei unterschiedliche Montageanleitungen entworfen. Ziel dieser Anleitungen ist es, den Arbeiter während der Montage bestmöglich zu unterstützen. Durch sinnvolle Montagehinweise in Form einer Schritt-für-Schritt Anleitung soll die kognitive Beanspruchung der Montage möglichst gering gehalten werden.

3.2. Entwickelte Anleitungstypen

Im Rahmen dieser Arbeit wurden eine Anleitung mittels geometrischer Formen, eine Bild- sowie eine Videoanleitung zur Montage einer Schraubzwinde entwickelt. In diesem Abschnitt wird detailliert auf die entwickelten Anleitungstypen und die darin enthaltenen Feedbackarten eingegangen. All die hier beschriebenen Anleitungstypen werden, durch den am Assistentztisch angebrachten Beamer, in-situ in den Arbeitsbereich eingeblendet. Die Art der visuellen Feedbackart ist innerhalb eines Anleitungstypes für jeden der drei Phasen Entnahme, Platzierung sowie Öffnen und Schließen des Schutzfensters gleich. Somit können die Anleitungstypen klar unterschieden werden. Dies ermöglicht es die in der Studie gewonnenen Ergebnisse eindeutig auf eine bestimmte visuelle Feedbackart zurückzuführen.

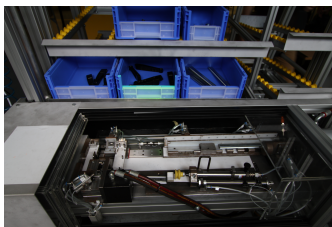
3.2.1. Montageanleitung mittels geometrischer Formen

In diesem Anleitungstyp werden die zu tätigenen Montageschritte durch visuelles in-situ Feedback in Form von geometrischen Formen angeleitet. Die geometrischen Formen werden in der Farbe Grün auf den Arbeitsbereich projiziert. Laut einer an der University of Georgia durchgeführten Studie hat die Farbe Grün einen positiven und beruhigenden Einfluss auf den Betrachter. Grün wird oft mit Gefühlen wie Entspannung, Ruhe, Fröhlichkeit und auch Hoffnung in Verbindung gebracht [NE04]. Um eine zusätzliche Aufmerksamkeit auf die Projektionen zu ziehen, werden diese blinkend dargestellt. Das Zeitintervall beträgt hierbei eine Sekunde. Die Entnahme eines Montageteils wird in dieser Anleitungsform durch ein grünes Rechteck symbolisiert. Dieses wird während eines Entnahmeschrittes auf die zugehörige Entnahmebox projiziert (Abb. 3.3). Das Rechteck weist den Arbeiter zum einen darauf hin, dass nun ein Entnahmeschritt durchzuführen ist, zum anderen ist klar erkennbar, aus welcher Box ein Teil entnommen werden muss.

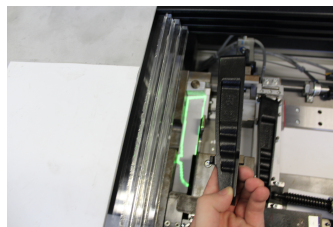
Um den Arbeiter bei der Platzierung des entnommenen Montageteils zu unterstützen, wird die Kontur des Teiles direkt auf den Ablageort projiziert. Durch die Projektion der Kontur geht die Position des



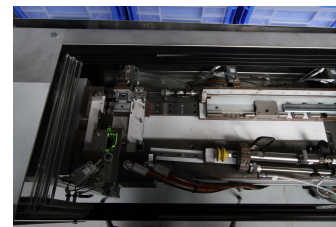
Abbildung 3.2.: Diese Abbildung gibt einen Überblick der verwendeten geometrischen Formen als Feedback über den Platzierungsort der Montageteile.



(a)



(b)



(c)

Abbildung 3.3.: Die Abbildung zeigt die Projektion der Anleitung mittels geometrischer Formen auf dem Assistentztisch. In 3.3a ist die Projektion zur Anleitung der Entnahme eines Montageteiles zu sehen. In 3.3b ist die Projektion zur Anleitung der Platzierung des oberen Spannarms zu sehen. In 3.3c ist die Projektion zur Anleitung der Platzierung des Druckknopfes zu sehen.

Montageteiles sowie dessen Ausrichtung eindeutig hervor. Die hierfür verwendeten Konturen sind in Abbildung 3.2 aufgelistet.

Nach erfolgreicher Platzierung aller Montageteile erfolgt das Schließen und spätere Öffnen des Schutzfensters. Während dieser Arbeitsschritte wird ein Pfeil, welcher in Bewegungsrichtung zeigt, eingeblendet. Zeigt der Pfeil nach rechts, muss das Schutzfenster in diese Richtung geschoben werden und wird dadurch geschlossen. Zeigt der Pfeil nach links, muss das Fenster wieder geöffnet werden. Dieser Teil der Anleitung wird im Gegensatz zur Anleitung der Entnahme und Platzierung der Montageteile nicht direkt auf den Aktionsbereich projiziert, sondern auf eine Projektionsfläche, welche am linken Rand des Montagetisches angebracht ist. Die direkte Projektion der Anleitung auf das Schutzfenster ist wegen dessen Materialbeschaffenheit nicht möglich.

3.2.2. Montageanleitung mittels Bilder

In diesem Anleitungstyp werden die zu tätigenen Montageschritte durch visuelles in-situ Feedback in Form von Bildern angeleitet. Die Bilder werden in blinkender Form auf den Arbeitsbereich projiziert.

3. Prototyp

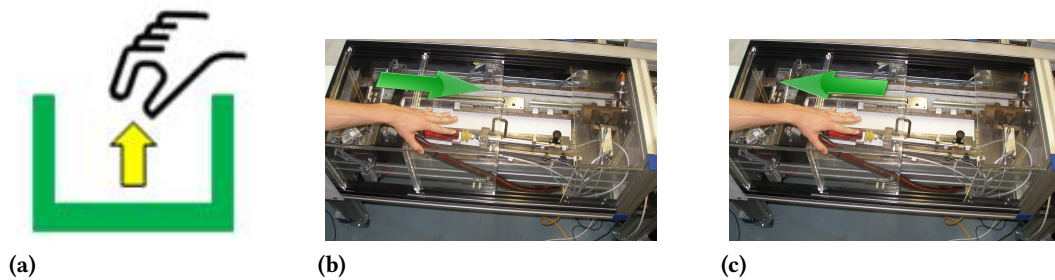


Abbildung 3.4.: Das in Abbildung 3.4a zu sehende Bild wurde verwendet um Feedback über den Entnahmeort zu geben. Das in Abbildung 3.4b zu sehende Bild weist auf das Schließen des Schutzfensters hin. Das in Abbildung 3.4c zu sehende Bild weist auf das Öffnen des Schutzfensters hin.



Abbildung 3.5.: Die Abbildung gibt eine Übersicht der verwendeten Bilder als Feedback über den Platzierungsort der Montageteile

Innerhalb eines Entnahmeschrittes wird in dieser Anleitung ein rechteckiges Bild vor die Entnahmebox, aus welcher ein Teil entnommen werden soll, projiziert. Das hierbei projizierte Bild ist in Abbildung 3.4 sowie in 3.6 zu sehen. Die darauf zu sehende Hand und der aus der Box zeigende Pfeil stellen das Entnehmen eines Montagebauteiles bildlich dar. Durch die Positionierung des Bildes wird dem Arbeiter gezeigt, aus welcher Box er ein Montagebauteil entnehmen muss.

Um dem Arbeiter den genauen Platzierungsort und die Ausrichtung des zuvor entnommenen Montagebauteils anzuzeigen, wird eine Abbildung des Montagebauteils in Form eines Photos direkt auf den gewünschten Platzierungsort projiziert. Die hierfür verwendeten Photos sind in Abbildung 3.5 zu sehen. Bei dem Platzieren des Druckknopfes ist es aus Gründen der Sichtbarkeit nicht möglich, das Bild direkt auf den Platzierungsort zu projizieren. Daher wird dieses links daneben abgebildet (Abb. 3.6). Das nach Beendigung aller Entnahme- und Platzierungsschritte folgende Schließen und Öffnen des Schutzfensters wird durch die in Abbildung 3.4 zu sehenden Bilder angeleitet. Auf diesem Bild ist das Schließen bzw. Öffnen des Schutzfensters als eine Momentaufnahme dieser Aktion zu sehen. Der zu sehende Pfeil weist auf die gewünschte Schieberichtung hin. Soll das Schutzfenster geschlossen werden, zeigt der auf dem Bild zu sehende Pfeil nach rechts. Soll das Schutzfenster wieder geöffnet

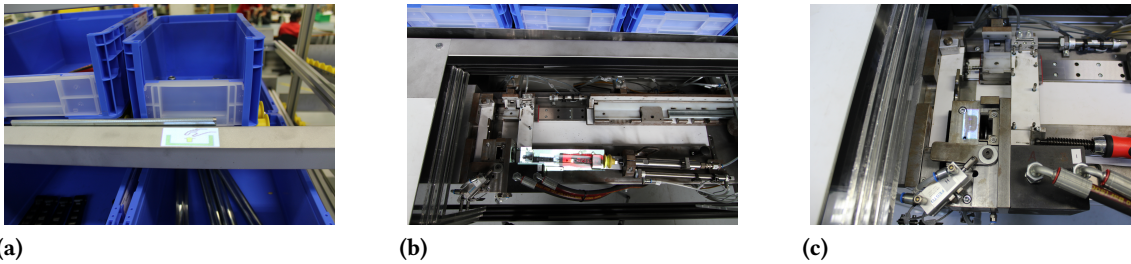


Abbildung 3.6.: Die Abbildung zeigt die Projektion der Bildanleitung auf den Assistententisch. In 3.6a ist die Projektion zur Anleitung der Entnahme eines Montageteiles zu sehen. In 3.6b ist die Projektion zur Anleitung zum Platzieren des Griffs zu sehen. In 3.6c ist die Projektion zur Anleitung zum Platzieren des Druckknopfes zu sehen.

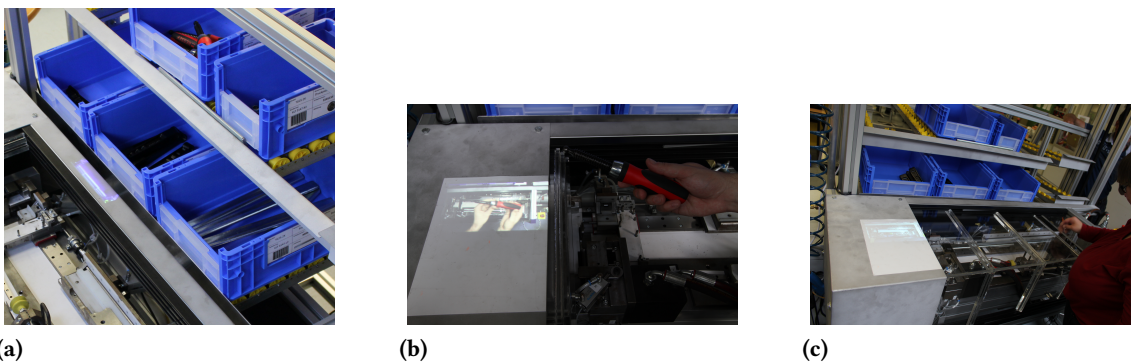


Abbildung 3.7.: Die Abbildung zeigt die Projektion der Videoanleitung auf den Assistententisch. In 3.7a ist die Projektion zur Anleitung der Entnahme eines Montageteiles zu sehen. In 3.7b ist die Projektion zur Anleitung zum Platzieren des Griffs zu sehen. In 3.7c ist die Projektion zur Anleitung zum Schließen des Schutzfensters zu sehen.

werden, zeigt der Pfeil nach links. Dieser Teil der Anleitung wird auf der am linken Seitenrand angebrachte Projektionsfläche des Montagetisches abgebildet.

3.2.3. Montageanleitung mittels Video

In diesem Anleitungstyp werden die zu tätigenen Montageschritte durch visuelles in-situ Feedback in Form von Videos angeleitet. Die dabei eingeblendeten Videos zeigen einen Arbeiter bei der Montage einer Schraubzwinde. Als Feedback für die Entnahmeschritte wird vor der Box, aus welcher ein Montageteil entnommen wird, ein Video eingeblendet. Dieses Video zeigt eine Hand, welche in die Entnahmebox greift. Die Videoanleitung zur Platzierung der Montageteile wie auch zum Schließen und Öffnen des Schutzfensters, werden auf der dafür vorgesehen Projektionsfläche eingeblendet (Abb.3.7). Diese befindet sich am linken Rand des Assistententisches.

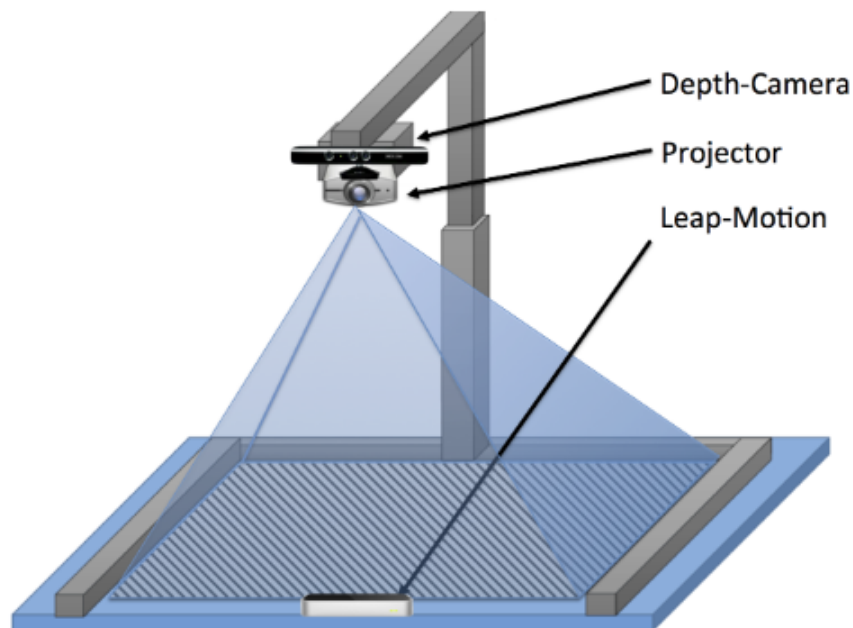


Abbildung 3.8.: Die Abbildung 3.8 zeigt den Aufbau des motionEAP Assistenzsystems. Quelle: [FKS14a])

3.3. Aufbau des Assistenzsystems motionEAP

In diesem Abschnitt wird das Assistenzsystem des Forschungsprojektes motionEAP beschrieben. Diese wird als Grundlage des Prototyps verwendet. Hierbei werden zunächst die Funktionen des Assistenzsystems sowie dessen Aufbau beschrieben.

Das System besteht aus einer Arbeitsfläche, auf welcher ein Gestell aus Aluminium befestigt ist. Das Gestell hält in einer variablen Höhe von 100 bis 180 cm die Projektionseinheit. Diese besteht aus einem Acer Projektor K330 und einer Microsoft Kinect Tiefenkamera. Des Weiteren ist mittig, am vorderen Arbeitsrand, eine Leap Motion im 35° Winkel montiert. Der Projektor und die Tiefenkamera sind unabhängig voneinander verstellbar. Dies ermöglicht eine genaue Kalibrierung der einzelnen Komponenten. Der Projektor überlagert durch seine Projektion die gesamte Arbeitsfläche, somit können verschiedene visuelle Informationen wie Pfeile, Umrandungen oder auch Text, Bilder und Videos auf den Arbeitsbereich projiziert werden und somit auch auf die Werkstücke, die sich in diesem befinden. So kann z.B ein eingblendeter Pfeil auf die Box zeigen, in der sich die für den Arbeitsschritt benötigten Schrauben befinden. Für die Handerkennung wird das open-source Framework Candescent NUI eingesetzt. Dadurch werden die Hände des Benutzers erkannt und der Abstand der einzelnen Finger zur Kinect gemessen. Durch Verwendung des Ubidisplay Toolkit² kann

²<https://code.google.com/p/ubidisplays/>

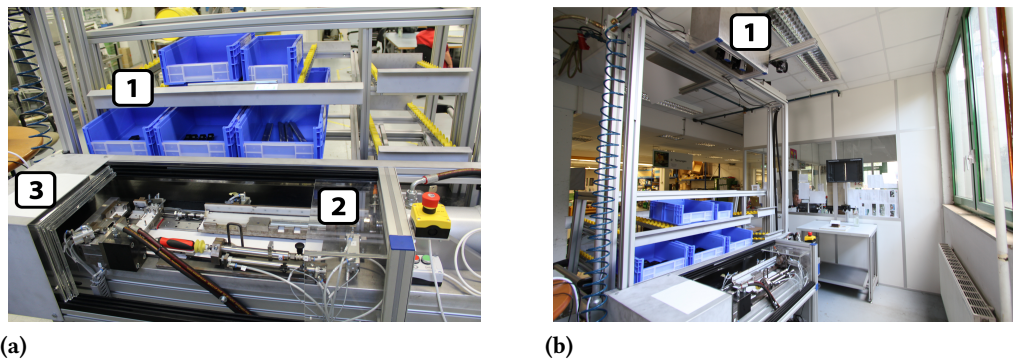


Abbildung 3.9.: Die Abbildung 3.9 zeigt den Aufbau des speziell für die Schraubzwingenmontage angefertigten Assistenzsystems. (a.1) zeigt den Bereich der Entnahmeboxen. Die entnommenen Teile werden im Montagebereich (a.2) abgelegt. (a.3) zeigt die integrierte Projektionsfläche. (b.1) zeigt die Projektionseinheit des Assistenzsystems

der Bereich der interaktiven Arbeitsfläche definiert werden, welche dadurch als Multitouch-Tisch fungiert. Dazu werden die durch die Kinect eingeleseene Punktwolke überwacht, die sich 15 mm über dem Arbeitstisch befinden. Befindet sich ein Finger unterhalb dieser Grenze, wird dies erkannt und als Touchevent gedeutet [HA12] [HEAD13]. Durch Einsatz dieser beiden Frameworks lassen sich Gesten und Handbewegungen im gesamten Arbeitsbereich erkennen. Die an der Arbeitsfläche angebrachte Leap Motion ermöglicht zusätzlich, per Infrarot, das millimetergenaue Erfassen von Hand- und Fingerposition.

3.4. Implementierung des Prototyps

In diesem Teil des Kapitels wird auf den Hardware- und Softwareaufbau des Prototyps eingegangen.

3.4.1. Hardwareaufbau des Prototyps

Im Rahmen dieser Arbeit sollen leistungsgeminderte Personen mit Hilfe des Assistenzsystems motionEAP eine fünfteilige Schraubzwinde montieren. Für diese Art der Montagearbeit wurde, in Zusammenarbeit mit der FH Esslingen, die Arbeitsfläche des Assistenzsystems speziell angepasst. Der genaue Aufbau ist in Abbildung 3.9 zu sehen. Am oberen Rand der Arbeitsfläche befinden sich fünf Entnahmeboxen. Diese enthalten in sortierter Reihenfolge die für die Montage notwendigen Teile. Unterhalb der Entnahmeboxen befindet sich der Montagebereich des Tisches. Hier werden die entnommenen Teile auf den dafür vorgesehenen Positionen platziert. Nach vollständigem Platzieren aller Teile wird die Schraubzwinde mit Hilfe eines Druckluftkompressors zusammengebaut. Um die Sicherheit der Arbeiter zu gewährleisten, ist ein Schutzfenster oberhalb des Montagebereiches montiert. Dieses wird vor dem Aktivieren des Druckluftkompressors geschlossen. Am linken Rand der Arbeitsfläche ist eine Projektionsfläche angebracht. Diese bietet Platz für das Einblenden von großflächigem visuellem in-situ Feedback wie z.B. Videos.

3.4.2. Softwareaufbau des Prototyps

Der Prototyp wurde innerhalb der Softwarekomponente des bereits bestehenden Forschungsprojektes motionEAP implementiert. Die Softwarekomponente ermöglicht es unter anderem verschiedene Anleitungstypen für einen manuellen Montagedurchlauf zu definieren. Hierzu wird im Vorfeld über die graphische Benutzeroberfläche (GUI) des Systems ein Arbeitsablauf der Montagetätigkeit erstellt. Dieser Arbeitsablauf ist in einzelne Arbeitsschritte unterteilt, welchen jeweils so genannte Szenen zugewiesen wird. Jeder Arbeitsschritt enthält genau eine Szene. Die Szene enthält die Informationen über das visuelle Feedback. Die GUI erlaubt es, Feedbackobjekte per Drag and Drop hinzuzufügen. Über einen Editor können verschiedene Eigenschaften eines ausgewählten Feedbackobjektes definiert werden.

Um die entwickelten Anleitungstypen innerhalb des motionEAP System umzusetzen, musste im Vorfeld der bereits bestehende Editor zur Erstellung von Szenen erweitert und verbessert werden. Die meisten für die Erstellung des Prototyps benötigten Feedbackarten waren zwar schon vorhanden, jedoch wiesen diese Fehler auf, welche im Rahmen dieser Arbeit behoben wurden. Nach Ende der Implementierungsphase wurden folgende Feedbackarten in den Editor integriert :

- Rechtecke
- Pfeile
- Bilder
- Videos

Die GUI des Editors (Abb. 3.10) ermöglicht es die Eigenschaft eines Feedbackobjekts auf die Anforderungen des Nutzers anzupassen. Hierbei können die Werte Position, Größe und Rotation bei allen Feedbackarten angepasst werden. Rechtecke, Pfeile und Bilder verfügen über ein zusätzliches Eingabefeld, in dem ein Intervall festgelegt werden kann, welches die Blinkgeschwindigkeit des Objektes regelt. Des Weiteren kann bei den Objekten Rechteck und Pfeil die Farbe des Objektes angepasst werden. Nachdem alle für den Prototyp notwendigen Feedbackarten in den Editor integriert wurden, folgte das Erstellen der im Vorfeld entwickelten Anleitungstypen zur manuellen Montage einer Schraubzwinde. Dafür wurden zunächst alle benötigten Szenen über den Editor erstellt und abgespeichert. Im Anschluss wurde für jeden Anleitungstyp ein neuer Arbeitsablauf erstellt und den einzelnen Arbeitsschritten die passenden Szenen zugeordnet. Dieser enthält pro Anleitungstyp fünf Entnahmeschritte, fünf Platzierungsschritte sowie jeweils einen Arbeitsschritt zum Schließen bzw. Öffnen des Schutzfensters. Für die im Rahmen der Arbeit durchgeführten Studie wurde die bestehende GUI des motionEAP Systems zum Starten eines Arbeitsablaufes modifiziert, um den Anforderungen der Studie gerecht zu werden. Die angepasste GUI ist in Abbildung 3.11 zu sehen. Durch die zu sehende GUI kann durch klicken der Buttons der gewünschte Anleitungstyp geladen und anschließend gestartet werden. In der Listenansicht sind die zu tätigenen Arbeitsschritte zu sehen. Über die Färbung der Listenelemente wird der aktuelle Stand innerhalb der geladenen Anleitung angezeigt. Bereits getätigte Arbeitsschritte sind grün markiert, der gerade zu tätigenen Arbeitsschritt ist orange und die noch zu tätigenen Arbeitsschritte sind rot markiert.

3.4. Implementierung des Prototyps

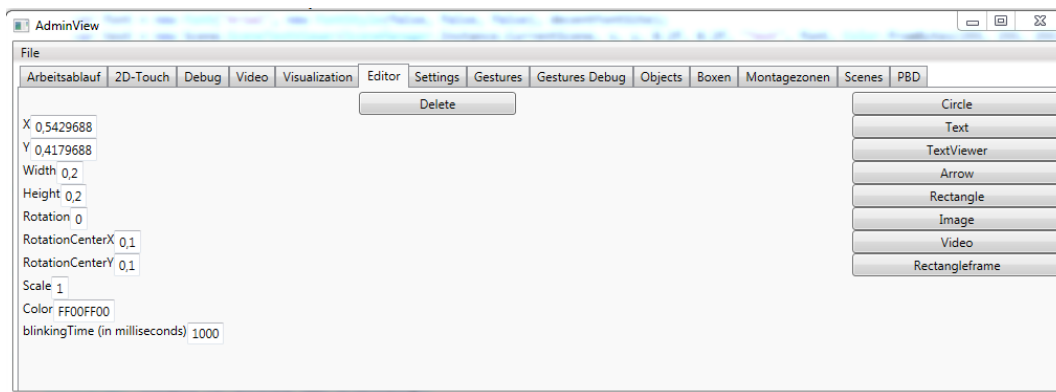


Abbildung 3.10.: graphische Benutzeroberfläche des motionEAP Systems, der Editor zur Erstellung einer Szene ist geöffnet. Das ausgewählte Objekt kann über die Eingabefelder angepasst werden.

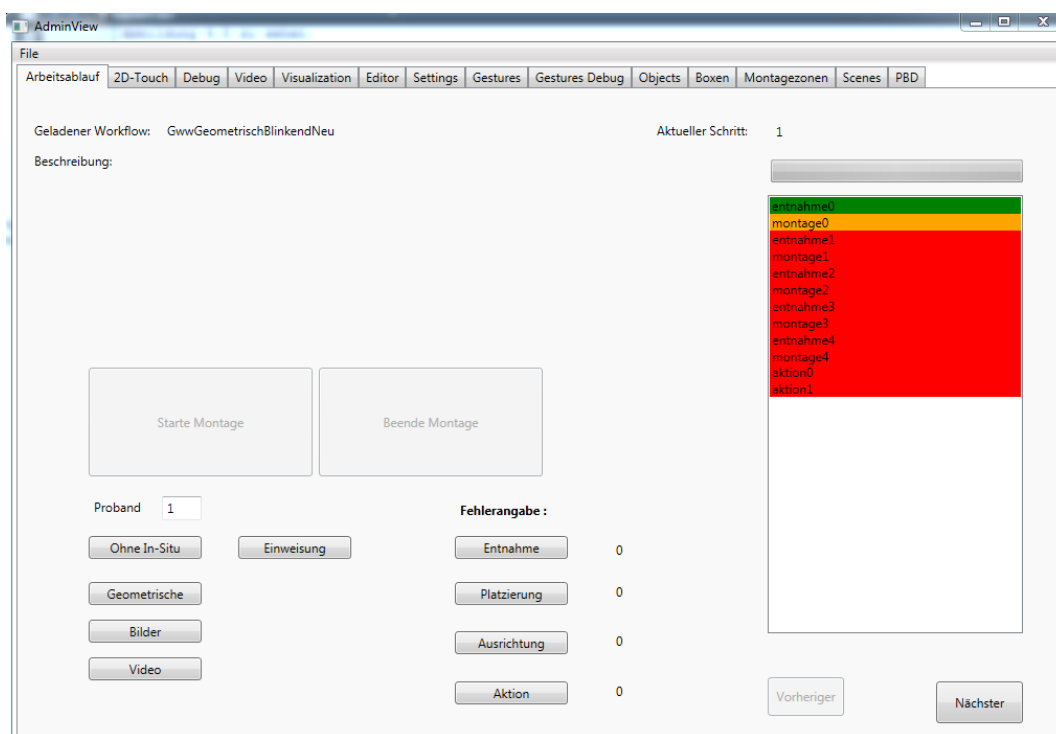


Abbildung 3.11.: Die Abbildung zeigt die graphische Benutzeroberfläche des Prototyps. Der Tab zum Starten eines Arbeitsablaufes ist geöffnet.

4. Studie

Um die Effektivität der entwickelten visuellen Anleitungstypen bei leistungsgeminderten Personen in der manuellen Montage zu prüfen, wurde eine Studie entworfen, welche diese untereinander mit der für die Probanden gewohnten Anleitungform vergleicht. Bei dem heutigen Stand der Technik werden die Probanden, welche alle Mitarbeiter der Gemeinnützige Werkstätte und Wohnstätte GmbH (GWW)¹ waren, durch einen Betreuer angeleitet. Dieser lernt die Arbeiter in die zu tätigenen Montageschritte ein. Nach der Einlernphase haben die Arbeiter bei Vergessen eines Schrittes keine Möglichkeit selbständig auf Informationen über den nächsten zu tätigenen Arbeitsschritt zurückzugreifen. Sie sind auf Hilfe des Betreuers angewiesen. Um Unterschiede der einzelnen Anleitungstypen untereinander, wie auch zum Stand der Technik, heraus zu finden, mussten die Probanden einen davor unbekanntem Montageablauf durchführen. Um ein möglichst gewohntes Arbeitsumfeld der Probanden zu garantieren, wurde die Studie an der GWW in Sindelfingen durchgeführt.

In diesem Kapitel wird detailliert auf die Studie eingegangen. Dabei wird zunächst auf die Punkte Studiendesign, Studienablauf sowie Probanden eingegangen. Anschließend wird auf die gesammelten Messwerte und Analyse der gewonnenen Werte eingegangen. Zum Schluss dieses Kapitels werden die Ergebnisse der Studie dargelegt.

4.1. Design

Um die vier Konditionen, Anleitung durch geometrische Formen, Bildanleitung, Videoanleitung und Stand der Technik miteinander zu vergleichen, wurde ein Between-Subjects Experiment durchgeführt. Jeder Proband führte die Montage mit genau einem Anleitungstyp durch. Dabei hatte jeder Proband eine Einführungsrunde und drei Runden, in denen die Messungen durchgeführt wurden. Aus der Anzahl der Probanden und der Anzahl der Durchläufe ergibt sich eine Gesamtzahl von 45 Durchläufen pro Kondition. Um die Arbeitsleistung der Probanden zu messen, wurde während der Studie für jeden Proband die Montagedauer pro Durchlauf gemessen. Hierbei wurde die Einführungsrunde nicht berücksichtigt. Des Weiteren wurden die während eines Montagedurchlaufs getätigten Fehler gemessen. Hierbei wurden die Fehler in die Kategorien Entnahmefehler, Platzierungsfehler und Fehler beim Schließen/Öffnen des Schutzfensters unterteilt.

Die resultierenden Messungen wurden mittels der Bonferroni-Methode [BA95] auf ein signifikantes Ergebnis untersucht. Zusätzlich wurde die subjektiv wahrgenommene Arbeitsbelastung der Probanden dokumentiert.

Dazu wurde jeder Proband nach Beendigung der Montagedurchläufe gebeten einen Bewertungsbogen

¹<http://www.gww-netz.de/>

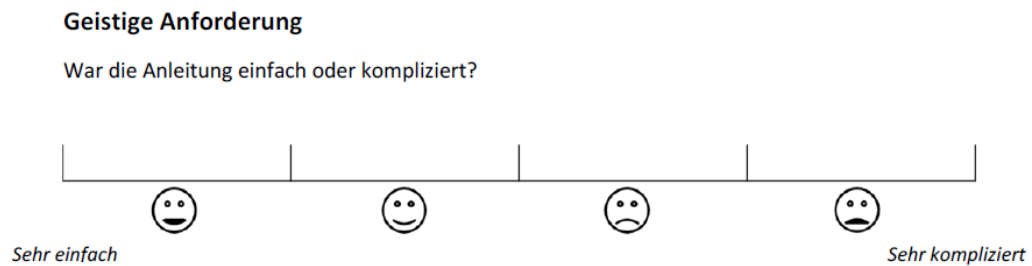


Abbildung 4.1.: Auszug des von L. Bächler entworfenen Bewertungsbogens zur wahrgenommenen Arbeitsbelastung.

auszufüllen. Da herkömmliche Bewertungsbögen zur Auswertung der subjektiv wahrgenommenen Arbeitsbelastung, wie zum Beispiel der NASA-TLX² [HS88], nicht für die Befragung von leistungsgeminderten Personen ausgelegt sind, musste ein für diese Personengruppe angepasster Bewertungsbogen entwickelt werden. Dieser Bewertungsbogen wurden in Zusammenarbeit mit M.A. Liane Bächler, einer wissenschaftlichen Mitarbeiterin der FH Esslingen, entwickelt. Jede der hierbei gestellten Fragen wird über eine vier Punkteskala bewertet. Durch Berechnen des Mittelwertes der sechs Fragen wird ein Belastungsindex gebildet. Um die Bewertung möglichst intuitiv zu gestalten, wurde die Nummerierung der Skala durch Smileys ersetzt. Ein Auszug dieses Bewertungsbogens ist in Abbildung 4.1 zu sehen. Der komplette Fragebogen ist dem Anhang beigelegt.

Für die Messungen wurden somit folgende Variablen verwendet :

Abhängige Variablen:

- **Task-Completion-Time:** Die benötigte Zeit zur Durchführung der Montage
- **Fehlerrate:** Die Anzahl der Fehler während der Montage
- **subjektiv wahrgenommene Arbeitsbelastung**

Unabhängige Variablen

- **Anleitungstyp:** Der während des Montagedurchlaufes eingeblendete Anleitungstyp

4.2. Studienablauf

Die Probanden wurden im Vorfeld der Studie in vier gleich große Versuchsgruppen eingeteilt. Um möglichst gleich starke Versuchsgruppen im Bezug auf ihre kognitive Leistung zu erhalten, wurden die Betreuer der Probanden mit einbezogen. Diese haben die von ihnen betreuten Arbeiter anhand des Leistungsgrades in drei Kategorien unterteilt. Dieser hierbei festgelegte Leistungsgrad beruht

²<http://humansystems.arc.nasa.gov/groups/TLX/>

nicht auf wissenschaftlichen Fakten oder Messungen, er entspricht lediglich der Wahrnehmung des Betreuers. Daraus ergaben sich die folgenden drei Kategorien :

- Leistungsgrad 5-10%
- Leistungsgrad 15-35%
- Leistungsgrad 40% und mehr

Anhand dieser Kategorien wurden die Probanden auf die vier Versuchsgruppen verteilt. Diesen Versuchsgruppen wurden anschließend jeweils einer der vier Anleitungstypen zugeteilt, so dass jede Gruppe einen unterschiedlichen Anleitungstyp hatte. Vor Beginn der Studiendurchführung wurden die Probanden gebeten eine Einverständniserklärung zu unterschreiben. In dieser wurden sie über die Bedingungen zur Teilnahme an der Studie informiert. Nach dem Unterschreiben der Einverständniserklärung wurden allgemeine Daten, wie Alter und Montageerfahrung des Probanden festgehalten. Ein Exemplar des hierfür verwendeten Fragebogens ist dem Anhang beigelegt.

Jeder Proband erhielt vor Beginn der eigentlichen Messung eine Einführungsrunde. In dieser Einführung wurden dem Proband die einzelnen Arbeitsschritte zur Montage der Schraubzwinde erklärt. Je nach Versuchsgruppe wurde bereits während der Einführungsrunde das passende visuelle in-situ Feedback eingeblendet. Nach Beendigung der Einführungsrunde folgten drei Montagerunden in denen der Proband selbständig die manuelle Montage der Schraubzwinde durchführte. Hierbei wurde wiederum je nach Versuchsgruppe der passende Anleitungstyp eingeblendet. Die Probanden aus der Versuchsgruppe, welche ohne visuelles in-situ Feedback angeleitet wurden, erhielten keine Anleitung während der Montage. Die Probanden wurden während der Montage von einem Betreuer überwacht. Das falsche Ausführen oder Vergessen eines Arbeitsschrittes wurde als ein Fehler notiert. Zusätzlich wurde der Proband darauf hingewiesen den Fehler zu korrigieren.

4.3. Apparatur

Die Studie wurde mit dem zuvor beschriebenen Prototyp durchgeführt. Die Arbeitskontrolle der Probanden sowie das Weiterschalten der Feedbackelemente wurde durch einen Wizard-of-Oz Ansatz geregelt [MGM93]. Dieser Ansatz wurde auf Grund der zur Zeit der Studie instabilen Objekterkennung gewählt. Über die Daten der angebrachten Kinect war es zum Zeitpunkt der Studie zwar möglich das Entnehmen eines Montageteiles aus einer Entnahmebox zu erkennen, jedoch konnte auf Grund der unzureichenden Objekterkennung keine treffende Aussage über den Platzierungsort der Montageteile getroffen werden. Daher wurde das Weiterschalten der einzelnen Arbeitsschritte sowie das Notieren der gemachten Fehler manuell über die graphische Benutzeroberfläche geregelt. Die Task-Completion-Time wurde automatisch mittels der Softwarekomponente des Prototyps festgehalten. Die Befragung über die empfundene Arbeitsbelastung führten Mitarbeiter der FH Esslingen durch. Während der Studie wurden folgende Formulare verwendet: eine Einverständniserklärung, ein Bewertungsbogen zur empfundenen Arbeitsbelastung und ein Fragebogen über demographische und persönliche Angaben der Probanden. Alle Fragebogen und andere Formulare, die während der Studie benutzt, wurden sind dem Anhang beigelegt.

4.4. Probanden

Für die Studie wurden 64 Mitarbeiter der GWW rekrutiert. Die Probanden hatten entweder eine geistige oder psychische Behinderung. Aufgrund von Ausfällen einiger Probanden, war es nicht möglich eine Probandengruppe zu bilden, in der sich ausschließlich geistig behinderte Mitarbeiter befanden. 41 Probanden waren männlich und 23 Probanden waren weiblich. Das Durchschnittsalter der Probanden betrug 41,7 Jahre ($M = 41.7$ Jahre, $SD = 10.6$ Jahre), wobei der jüngste Proband 16 Jahre und der älteste 59 Jahre alt war. 43 Probanden gaben an bereits Erfahrung in der manuellen Montage zu haben. 7 Probanden hatten keine Erfahrung in der manuellen Montage. Bei 14 Probanden lag keine Information über die Erfahrung in der manuellen Montage vor. Bei der Verteilung der Probanden auf die Versuchsgruppen wurde Alter, Geschlecht und Erfahrung in der manuellen Montage nicht berücksichtigt.

4.5. Ergebnisse

Dieser Abschnitt stellt die Ergebnisse der Studie vor. Hierzu werden zu erst die Ergebnisse der statistischen Analyse präsentiert. Für die statistische Auswertung der Daten im Bereich Arbeitsdauer, Fehlerrate und empfundene Arbeitsbelastung wurde jeweils der Durchschnitt und Standardabweichung in Abhängigkeit des Anleitungstyps berechnet. Anschließend wird auf das qualitative Feedback der Probanden eingegangen.

4.5.1. Statistische Analyse

Auswertung der Task-Completion-Time

Nach Aufbereitung und Auswertung aller Messwerte, ergaben sich für die Task-Completion-Time (TCT) die in Tabelle 4.1 aufgelisteten Werte. Probanden die ohne Unterstützung einer Anleitung die Montage durchführten, brauchten im Durchschnitt 106 Sekunden um eine Schraubzwinde zu fertigen. Die Standardabweichung lag bei 55 Sekunden. Die Probanden, welche durch die Bildanleitung unterstützt wurden, waren im Schnitt 8% ($M = 97s$, $SD = 49s$) schneller als die Probanden ohne Anleitungen. Die Probanden der Anleitung mit geometrischen Formen waren im Schnitt sogar 28% ($M = 97s$, $SD = 41s$) schneller als Probanden ohne Anleitung.

Im Gegensatz zur Bildanleitung und der Anleitung mit geometrischen Formen verschlechterte sich die TCT durch Verwendung der Videoanleitung. Probanden welche durch die Videoanleitung unterstützt wurden, waren im Schnitt 6% ($M = 112s$, $SD = 46s$) langsamer als Probanden ohne Anleitung. Mittels der Bonferroni-Methode konnte lediglich eine Signifikanz zwischen der Anleitung mittels geometrischer Formen und der Videoanleitung gezeigt werden ($F(3,58) = 2,853$, $p = 0,024$).

Eine graphische Darstellung der Durchschnittlichen TCT ist in Abbildung 4.2 zu sehen.

Eine detaillierte Auswertung zur TCT bezogen auf die Phasen Entnahme, Platzierung sowie Schließen und Öffnen des Schutzfensters ist in Abbildung 4.3 zu sehen. Hierbei zeigt sich, dass die Videoanleitung vor allem beim Platzieren der Montageteile schlechter abschnitt als die anderen Anleitungen. Das

Anleitungstyp	Entnahme	Platzierung	Betätigen des Schutzfensters	gesamte Montage
ohne Anleitung	M = 36s SD = 20s	M = 52s SD = 30s	M = 18s SD = 7s	M = 106s SD = 55s
geometrische Formen	M = 22s SD = 14s	M = 38s SD = 23s	M = 16s SD = 7s	M = 76s SD = 41s
Bildanleitung	M = 26s SD = 15s	M = 48s SD = 26s	M = 23s SD = 19s	M = 97s SD = 49s
Videoanleitung	M = 31s SD = 19s	M = 66s SD = 27s	M = 15s SD = 7s	M = 112s SD = 46s

Tabelle 4.1.: Die Tabelle zeigt die Werte der Task-Completion-Time zur Montage der Schraubzwinge.

Anleitungstyp	Entnahme	Platzierung	Betätigen des Schutzfensters	gesamte Montage
ohne Anleitung	M = 0.5 SD = 0.8	M = 1.73 SD = 1.6	M = 0.2 SD = 0.2	M = 2.38 SD = 2.62
geometrische Formen	M = 0.18 SD = 0.5	M = 0.31 SD = 1.08	M = 0.08 SD = 0.17	M = 0.91 SD = 1.74
Bildanleitung	M = 0.3 SD = 0.6	M = 0.87 SD = 0.83	M = 0.18 SD = 0.35	M = 1.35 SD = 1.79
Videoanleitung	M = 0.28 SD = 0.76	M = 1.12 SD = 1.16	M = 0.07 SD = 0.26	M = 1.47 SD = 2.19

Tabelle 4.2.: Die Tabelle zeigt die Werte der Fehlerrate zur Montage der Schraubzwinge.

Platzieren aller Montageteile dauerte mit Hilfe der Videoanleitung im Schnitt 27% länger als ohne Anleitung. Verglichen mit den anderen beiden Anleitungstypen ist die Videoanleitung bezogen auf die Platzierung im Schnitt 38% langsamer als die Bildanleitung und 74% langsamer als die Anleitung mit geometrischen Formen.

Betrachtet man die TCT bezogen auf die Entnahme der Montageteile zeigt sich, dass die Entnahme bei allen drei Anleitungstypen im Schnitt schneller ist als der Stand der Technik. Auch hier schnitt die Anleitung mit geometrischen Formen am besten ab. Sie war im Vergleich zum Stand der Technik 39% schneller. Mit Hilfe der Bildanleitung waren Probanden im Schnitt 28% und mit Hilfe der Videoanleitung 14% schneller.

Auswertung der Fehlerrate

Betrachtet man die Auswertung der gemachten Fehler während eines Montagedurchlaufs, zeigt sich, dass Probanden ohne Anleitung im Durchschnitt am meisten Fehler machen. Am besten schnitt die Anleitung mit geometrischen Formen ab. Die Fehlerrate war bei diesem Anleitungstyp im Schnitt

4. Studie

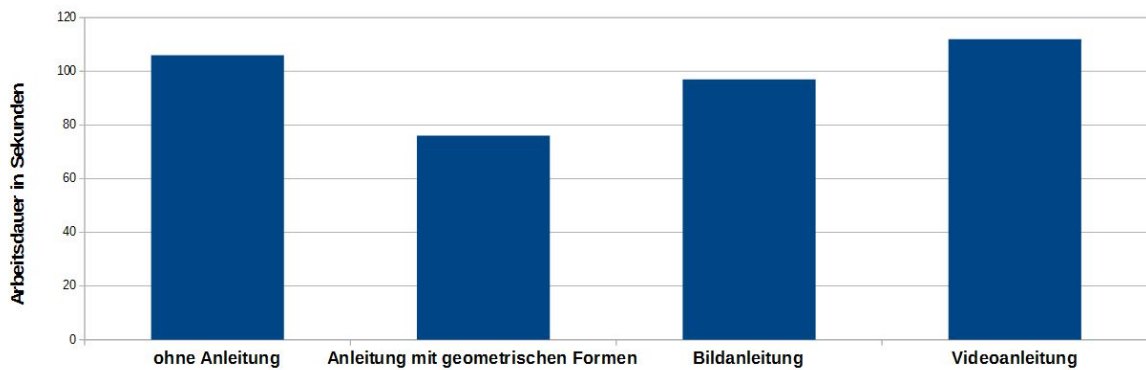


Abbildung 4.2.: Das Diagramm zeigt die durchschnittliche Task-Completion-Time der einzelnen Anleitungstypen.

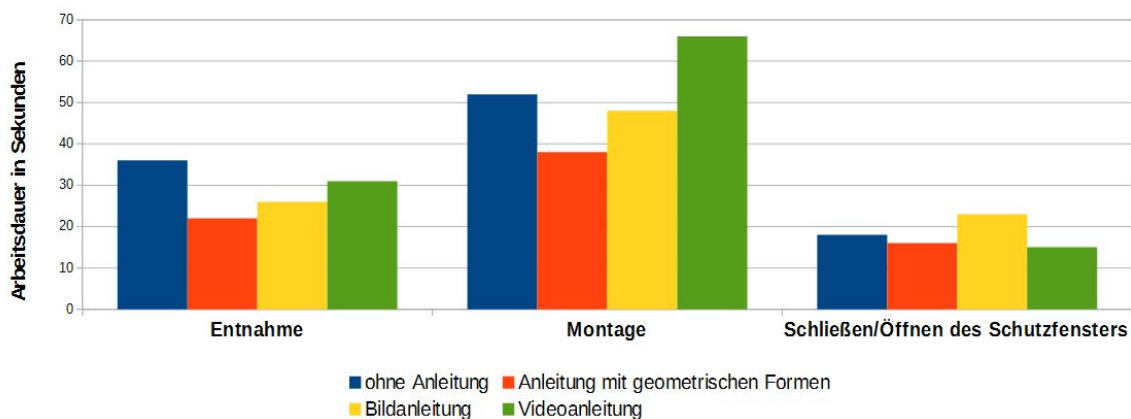


Abbildung 4.3.: Das Diagramm zeigt die durchschnittliche Task-Completion-Time der einzelnen Phasen zur Montage der Schraubzwinde

62% niedriger. Die Bildanleitung verursachte 43% und die Videoanleitung 38% weniger Fehler. Die Bonferroni-Methode zeigte eine Signifikanz zwischen der Anleitung mittels geometrischer Formen und dem Stand der Technik ($F(3,58) = 2,903, p = 0,018$)

Die Messwerte in Bezug auf das arithmetische Mittel und der Standardabweichung sind in Tabelle 4.2 aufgelistet. Eine graphische Darstellung findet sich in Abbildung 4.4.

Am deutlichsten ist der Vorteil der in-situ Anleitungen während der Platzierung der Montageteile zu sehen. Durch Verwendung der Bildanleitung und der Anleitung mit geometrischen Formen machten Probanden im Schnitt nur halb so viele Fehler, wie Probanden ohne Anleitung. Besonders gut schnitt hier die Anleitung mit geometrischen Formen ab, welche eine durchschnittliche Fehlerersparnis von 62% erreichte.

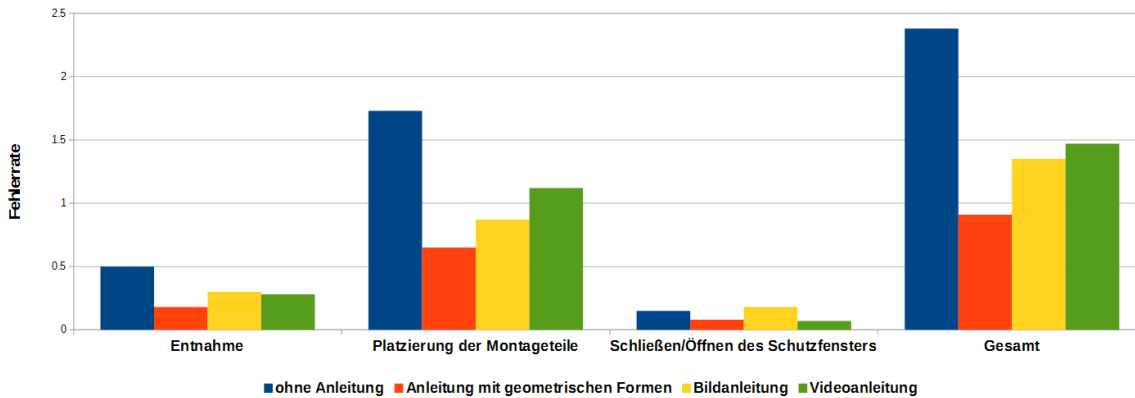


Abbildung 4.4.: Das Diagramm zeigt die durchschnittliche Fehlerrate zur Montage der Schraubzwinge

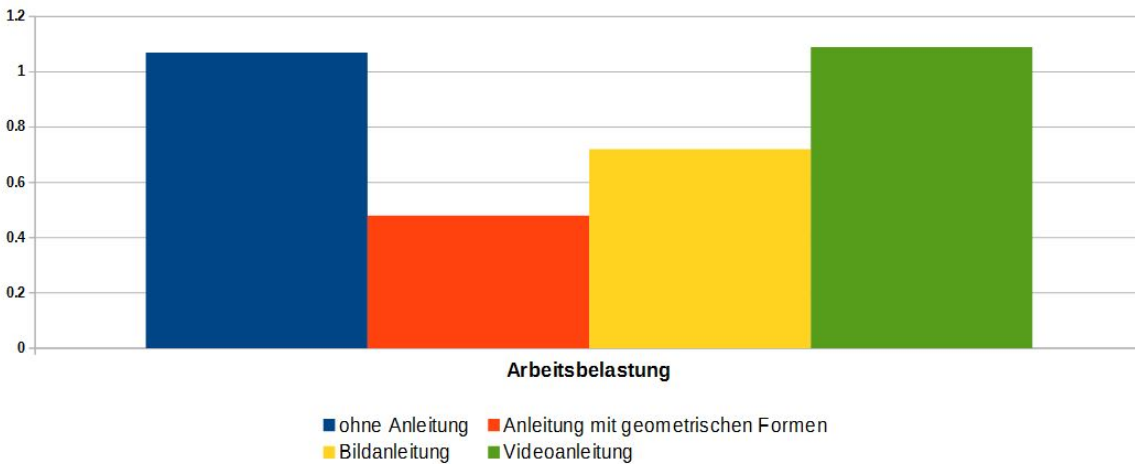


Abbildung 4.5.: Das Diagramm zeigt die Auswertung des Bewertungsbogen über die empfundene Arbeitsbelastung

Auswertung des Bewertungsbogens

Die Auswertung des Bewertungsbogen zeigt, dass die empfundene Arbeitsbelastung bei der Anleitung mit geometrischen Formen ($M = 0.48$, $SD = 0.13$) am niedrigsten ist. Die Arbeitsbelastung durch Verwendung der Bildanleitung ($M = 0.72$, $SD = 0.15$) wurde ebenfalls niedriger bewertet als ohne Anleitung ($M = 1.07$, $SD = 0.2$). Unter Verwendung der Videoanleitung wurde die Arbeitsbelastung am höchsten empfunden ($M = 1.09$, $SD = 0.15$).

4.5.2. Qualitatives Feedback

Die Ergebnisse des Bewertungsbogens spiegeln sich auch in dem qualitativen Feedback der Probanden wider. Proband 36 führte die Montage der Schraubzwinde mit Hilfe der Anleitung mittels geometrischer Formen durch. Er hatte keinerlei Probleme die eingeblendeten geometrischen Formen zu erkennen. Des Weiteren konnte er die Informationen der Anleitung gezielt umsetzen. Die Stärken dieser Feedbackart liegen aus seiner Sicht vor allem bei der Anleitung zur Platzierung der Montageteile. Allerdings gab es auf Grund der erheblichen Schwankungen im Bezug auf den Leistungsgrad einige Probanden die nicht in der Lage waren die Informationen der Anleitung umzusetzen. So gelang es Proband 29 nicht den Zusammenhang zwischen dem eingeblendeten Feedback und der Montage zu erkennen. Er ignorierte die Anleitung vollkommen.

Probanden welche die Bildanleitung nutzten, gaben ebenfalls überwiegend positives Feedback. So reagierte zum Beispiel Proband 37 sehr positiv auf die Bildanleitung und wusste sie zu seinem Vorteil zu nutzen. Proband 40 fand die Bildanleitung auch gut, jedoch bemängelte er das Blinken der einzelnen Feedbackelemente. Seiner Meinung nach war das Intervall zu schnell, daher konnte er die Bilder und somit die Ausrichtung der Montageteile nicht richtig erkennen.

Während Probanden unter der Verwendung der Bildanleitung und der Anleitung mit geometrischen Formen meist positiv auf die Anleitung reagierten, waren Probanden der Videoanleitung häufig frustriert. Von den zu Beginn 16 Probanden der Videoanleitung nahmen 8 Probanden das Video nicht richtig wahr. Dies hatte verschiedene Gründe: Proband 12 und 42 hatten auf Grund ihrer Kurzsichtigkeit Probleme das Video zu erkennen, die Probanden 46, 59 und 70 fanden die Videos zu lange und wurden unruhig. 2 Probanden der Videoanleitung brachen die Montage ab und konnten somit nicht in die Wertung mit einbezogen werden.

4.6. Diskussion

Die Ergebnisse der Studie zeigen, dass im Bezug auf die TCT keiner der entwickelten Anleitungstypen signifikant besser als der Stand der Technik ist. Die Anleitung mittels geometrischer Formen sowie die Bildanleitung haben zwar eine geringere TCT, jedoch reichen die Werte nicht für eine signifikante Aussage. Hierbei müssen jedoch die starken Leistungsschwankungen der Probanden berücksichtigt werden, welche eine signifikante Aussage mit dem üblichen Signifikanzniveau der Bonferroni-Methode erschwert. Für weiter Studien sollte in Betracht gezogen werden das Signifikanzniveau für leistungsgeminderte Probanden anzupassen um aussagekräftigere Ergebnisse zu erzielen. Der einzige signifikante Unterschied im Bezug auf die TCT zeigt sich im Vergleich zwischen der Anleitung mit geometrischen Formen und der Videoanleitung, welche von allen 4 Konditionen am langsamsten war.

Betrachtet man die Phasen Entnahme, Platzierung sowie Schließen und Öffnen des Schutzfensters genauer (Abb.4.3), zeigt sich, dass die Videoanleitung vor allem bei der Phase der Platzierung sehr langsam ist. Eine mögliche Erklärung für das schlechte Abschneiden der Videoanleitung während der Platzierungsphase könnte auf die Länge der dabei gezeigten Videos zurückzuführen sein. Um die Information über den Platzierungsort eines Teiles zu erfahren, muss das eingeblendete Video bis zum Schluss angeschaut werden. Dies wirkt sich negativ auf die TCT aus.

Bei der Auswertung der Fehlerrate konnte gezeigt werden, dass Probanden unter Verwendung der Anleitung mit geometrischen Formen signifikant weniger Fehler machen als Arbeiter ohne Anleitung. Die Videoanleitung und die Bildanleitung wiesen zwar ebenfalls eine geringere Fehlerrate auf (Abb.4.4), jedoch reicht hier der Unterschied nicht für eine signifikante Aussage.

Vergleicht man die drei Anleitungstypen untereinander schneidet auch hier die Videoanleitung am schlechtesten ab. Aus den Informationen des qualitativen Feedbacks könnte dies auf die schlechte Qualität der Videos zurück zu führen sein. Des Weiteren waren viele Probanden stark kurzsichtig und konnten daher das Video nicht richtig wahrnehmen.

Die Ergebnisse des Bewertungsbogens zur wahrgenommenen Arbeitsbelastung zeigen, dass durch den richtigen Einsatz von visuellem in-situ Feedback die empfundene Arbeitslast eines Arbeiters gesenkt werden kann. Hierbei schneiden vor allem die Anleitung mittels geometrischer Formen sowie die Bildanleitung sehr gut ab (Abb.4.5). Im Vergleich der Montage mit Videoanleitung zu der Montage ohne Anleitung ist kein Unterschied erkennbar.

Auch wenn sich nicht alle der drei entwickelten in-situ Feedbackarten als hilfreiche Anleitung zur Montage der Schraubzwinde herausstellten, konnte zumindest im Vergleich der Fehlerrate ein signifikanter Unterschied zwischen der Anleitung mittels geometrischer Formen und dem Stand der Technik gezeigt werden. Auch im Bezug auf die TCT erzielte die Anleitung mit geometrischen Formen das beste Ergebnis. Dies bestätigt die Annahme, dass durch den Einsatz von visuellem in-situ Feedback bei Assistenzsystemen, die manuelle Montageleistung von leistungsgeminderten Personen gesteigert werden kann und somit ein unabhängiges Arbeiten fördert. Das gute Abschneiden der Anleitung mittels geometrischen Formen, deckt sich mit den Resultaten des Forschungsstandes im Bezug auf hilfreiche Schritt-für-Schritt Anleitungen. Durch das Einblenden dieses Feedbacks wurden die wichtigen Informationen des Montageablaufs hervorgehoben. Die Ergebnisse zeigen, dass es gerade bei leistungsgeminderten Arbeitern sehr wichtig ist die richtige Art des Feedbacks zu wählen. Die Ergebnisse der Videoanleitung zeigen, dass zu viel Information schnell zu einer Reizüberflutung führen kann und einen negativen Einfluss auf die Montage hat. Des Weiteren sollte die Anleitung so intuitiv wie möglich gehalten werden, um den Arbeiter nicht mit überflüssigen Informationen zusätzlich zu belasten. Hierbei ist es wichtig, dass der Arbeiter den Zusammenhang zwischen dem gezeigten in-situ Feedback und der zu tätigen Aktion versteht. Probanden der Videoanleitung wussten zum Beispiel oft nicht, was ihnen das Video sagen soll und ignorierten es aus diesem Grund. Das Finden einer Feedbackart, welche der Gesamtheit der leistungsgeminderten Arbeiter gerecht wird, wird durch die stark schwankenden Leistungsgrade der leistungsgeminderten Arbeiter erschwert. Hinzu kommen die unterschiedlichsten Einschränkungen wie zum Beispiel starke Sehschwächen von Arbeitern. Die unterschiedlichen Ansprüche der Arbeiter an die Art des Feedbacks verdeutlicht sich beim Betrachten der sehr hohen Standardabweichungen bei den Messungen der TCT und Fehlerrate.

4.7. Einschränkungen

Für die Studiendurchführung gab es einige Einschränkungen die beim Betrachten der Ergebnisse berücksichtigt werden sollten.

Auf Grund der hohen Probandenzahl war es der GWW nicht möglich ausschließlich Arbeiter mit

4. Studie

geistiger Behinderung für die Durchführung der Studie zur Verfügung zu stellen. Durch die sehr stark schwankenden Leistungsgrade der Mitarbeiter war es nicht möglich im Vorfeld gleich starke Gruppen zu bilden. Selbst die durch die Betreuer festgelegten Leistungsgrade erwiesen sich im Laufe der Studie als unzureichend. Hinzu kommt, dass zur Erstellung des Leistungsgrades ausschließlich die Leistung der Arbeiter an ihrem bisherigen Arbeitsplatz bewertet wurde. Daher wurde die Durchführung der Montage bei einigen Probanden durch Faktoren wie Größe, Sehstärke oder Stehvermögen negativ beeinflusst.

Des Weiteren gab es einige technische Einschränkungen. Die Qualität des Beamers, welcher für die Projektion des in-situ Feedback zuständig war, reichte nicht aus um die gezeigten Videos in ausreichender Qualität auf den Arbeitsbereich zu projizieren. Daher war es Arbeitern mit eingeschränktem Sehvermögen nicht möglich die Videos zu erkennen. Eine weitere Einschränkung stellte der Assistentisch selbst dar. Aus Gründen der Höhe des Tisches und der unzureichenden Anpassungsmöglichkeiten, waren kleine Probanden gering bis gar nicht in der Lage selbstständig die Montage durchzuführen. Vor allem beim Entnehmen der Montageteile aus den oberen Entnahmeboxen mussten sie auf die Hilfe des Betreuers zurückgreifen.

5. Zusammenfassung und Ausblick

In dieser Arbeit wurden verschiedene visuelle in-situ Feedbackarten zur Unterstützung von leistungsgeminderten Personen während der manuellen Montage entwickelt. Die Arbeit sollte zeigen, dass sich durch den Einsatz von Assistenzsystemen mit visuellem in-situ Feedback die Arbeitsleistung von leistungsgeminderten Personen steigert. Somit wird ein unabhängiges Arbeiten dieser Personen ermöglicht. Hierzu wurde zunächst eine umfangreiche Recherche über den aktuellen Forschungsstand im Bereich von Assistenzsystemen, visuellen Feedback sowie dem Erstellen von hilfreichen Schritt-für-Schritt Anleitung getätigt. Dabei wurde festgestellt, dass die Auswirkung von Assistenzsysteme mit visuellem in-situ Feedback auf leistungsgeminderte Personen weitgehend unerforscht ist. Im nächsten Schritt wurde der Prototyp zur Durchführung der Studie entwickelt. Anfangs wurden dazu auf Grundlage der Erkenntnisse aus dem Forschungsstand verschiedene Feedbackelemente entwickelt. Aus diesen Elementen wurden drei unterschiedliche Anleitungstypen für die manuelle Montage einer Schraubzwinde erstellt. Die entwickelten Anleitungstypen geben dem Arbeiter Informationen über Entnahme- und Platzierungsort der Montageteile. Entwickelt wurde eine Anleitung mit geometrischen Formen, eine Bildanleitung sowie eine Videoanleitung.

Um die Auswirkung der Anleitungstypen auf die Arbeitsleistung von leistungsgeminderten Personen festzustellen, wurden diese in einer Studie mit dem Stand der Technik verglichen. In dieser Studie mussten die Probanden mit Hilfe eines Assistentztisches die Montage einer Schraubzwinde durchführen. Die Studie wurde als ein Between-Subjects Experiment durchgeführt, somit gab es vier Probandengruppen, wobei drei dieser Gruppen je durch eine der Anleitungstypen unterstützt wurde. Gemessen wurde die Task-Completion-Time, Fehlerrate sowie die empfundene Arbeitsbelastung der Probanden. Zur Auswertung der Messwerte wurde jeweils das arithmetische Mittel und die Standardabweichung berechnet. Die Werte der TCT und der Fehlerrate wurden zusätzlich auf eine signifikante Aussage überprüft.

Durch die signifikanten Ergebnisse der Anleitung mit geometrischen Formen konnte gezeigt werden, dass Assistenzsysteme mit visuellem in-situ Feedback das Potential besitzen, die Leistungsfähigkeit von leistungsgeminderten Personen zu steigern. Somit könnten sie einen wichtigen Faktor für das Ermöglichen von unabhängigem Arbeiten von leistungsgeminderten Personen spielen. Jedoch kommt es hierbei sehr stark auf die Art des Feedbacks an. Im Fall der Videoanleitung stellte sich heraus, dass sich die Leistungsfähigkeit durch eine falsche Anleitung sogar verschlechtern kann.

Ausblick

Die Ergebnisse dieser Arbeit konnten zeigen, dass die Leistungsfähigkeit leistungsgeminderter Personen in der manuellen Montage durch den Einsatz von Assistenzsystemen mit visuellem in-situ

Feedback gesteigert werden kann. Daher liegt es Nahe weitere Studien mit leistungsgeminderten Personen durchzuführen, um eine gefestigte Aussage über die Auswirkungen von Assistenzsystemen mit visuellem in-situ Feedback bei leistungsgeminderten Personen treffen zu können und die Anleitungstypen zu optimieren. Denkbar wäre auch ein Erweitern der Anleitungstypen durch Audiosignale. Dieser Abschnitt gibt einen Ausblick über mögliche weiterführenden Arbeiten.

5.0.1. Studie mit leistungsidetischen Probanden

Die Ergebnisse dieser Arbeit konnten zeigen, dass die Leistungsfähigkeit leistungsgeminderter Personen in der manuellen Montage durch den Einsatz von Assistenzsystemen mit visuellem in-situ Feedback gesteigert werden kann. Jedoch waren die Ergebnisse auf Grund des hohen Leistungsunterschiedes der Probanden sehr gestreut. Es liegt also nahe eine erneute Studie mit leistungsidetischen Personen durchzuführen. Hierbei muss neben der kognitiven Leistung auch auf andere Faktoren wie Sehstärke oder Stehvermögen der Personen eingegangen werden. Anhand dieser Probandengruppe sollte anschließend eine erneute Studie mit verbesserten Anleitungstypen durchgeführt werden, um eine gezieltere Aussage über die Auswirkungen der Feedbackarten auf die Leistungsfähigkeit von leistungsgeminderten Personen treffen zu könne. Denkbar wäre hier auch ein Verbessern der Anleitungstypen durch zusätzliche Audiosignale.

5.0.2. Langzeitstudie mit leistungsgeminderten Personen

Um die langfristig auftretenden Auswirkungen von Assistenzsystemen mit visuellem in-situ Feedback auf leistungsgeminderte Personen festzustellen, sollte eine Langzeitstudie durchgeführt werden, in der das Assistenzsystem in den Arbeitsalltag der Probanden integriert wird. Dies ermöglicht es den Arbeitern sich in Ruhe auf das Assistenzsystem einzustellen. Somit können auch Probanden, welche eine längeren Eingewöhnungszeit benötigen, das System nutzen.

5.0.3. Studie mit nicht leistungsgeminderten Personen

Für komplexere Montageaufgaben kann die Studie auf nicht leistungsgeminderte Personen ausgedehnt werden. Dabei ist es wichtig das Konzept der Montageanleitungen neu zu überdenken, um den Anforderungen der komplexeren Montageaufgaben gerecht zu werden.

Literaturverzeichnis

- [ABB⁺01] R. Azuma, Y. Baillet, R. Behringer, S. Feiner, S. Julier, B. MacIntyre. Recent advances in augmented reality. *Computer Graphics and Applications, IEEE*, 21(6):34–47, 2001. (Zitiert auf Seite 11)
- [Aic08] V. Aichele. Die UN-Behindertenrechtskonvention und ihr Fakultativprotokoll. *Ein Beitrag zur Ratifikationsdebatte. Deutsches Institut für Menschenrechte, Berlin*, 2008. (Zitiert auf Seite 7)
- [APH⁺03] M. Agrawala, D. Phan, J. Heiser, J. Haymaker, J. Klingner, P. Hanrahan, B. Tversky. Designing effective step-by-step assembly instructions. In *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, 3, S. 828–837. ACM, 2003. (Zitiert auf Seite 19)
- [Azu97] R. T. Azuma. A survey of augmented reality. *Presence*, 6(4):355–385, 1997. (Zitiert auf den Seiten 11 und 12)
- [BA95] J. M. Bland, D. G. Altman. Multiple significance tests: the Bonferroni method. *Bmj*, 310(6973):170, 1995. (Zitiert auf Seite 33)
- [BFO92] M. Bajura, H. Fuchs, R. Ohbuchi. Merging virtual objects with the real world: Seeing ultrasound imagery within the patient. In *ACM SIGGRAPH Computer Graphics*, 2, S. 203–210. ACM, 1992. (Zitiert auf Seite 12)
- [CBC03] O. Cakmakci, F. Bérard, J. Coutaz. An augmented reality based learning assistant for electric bass guitar. In *Proc. of the 10th International Conference on Human-Computer Interaction, Crete, Greece*. Citeseer, 2003. (Zitiert auf Seite 21)
- [CDO⁺92] A. J. Cuvo, P. K. Davis, M. F. O’Reilly, B. M. Mooney, R. Crowley. Promoting stimulus control with textual prompts and performance feedback for persons with mild disabilities. *Journal of applied behavior analysis*, 25(2):477–489, 1992. (Zitiert auf Seite 16)
- [CM92] T. P. Caudell, D. W. Mizell. Augmented reality: An application of heads-up display technology to manual manufacturing processes. In *System Sciences, 1992. Proceedings of the Twenty-Fifth Hawaii International Conference on*, Band 2, S. 659–669. IEEE, 1992. (Zitiert auf Seite 11)
- [FKS14a] M. Funk, O. Korn, A. Schmidt. Assistive Augmentation at the Manual Assembly Workplace using In-Situ Projection. In *Proceeding of the CHI Workshop on Assistive Augmentation*, S. –. ACM, New York, NY, USA, 2014. (Zitiert auf Seite 28)
- [FKS14b] M. Funk, O. Korn, A. Schmidt. An augmented workplace for enabling user-defined tangibles. In *CHI’14 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, S. 1285–1290. ACM, 2014. (Zitiert auf Seite 14)

- [HA12] J. Hardy, J. Alexander. Toolkit support for interactive projected displays. In *Proceedings of the 11th International Conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia*, S. 42. ACM, 2012. (Zitiert auf Seite 29)
- [HEAD13] J. Hardy, C. Ellis, J. Alexander, N. Davies. Ubi Displays: A Toolkit for the Rapid Creation of Interactive Projected Displays. In *The International Symposium on Pervasive Displays*. 2013. (Zitiert auf Seite 29)
- [Hen07] A. Hendricks. UN Convention on the Rights of Persons with Disabilities. *Eur. J. Health L.*, 14:273, 2007. (Zitiert auf Seite 7)
- [HF11] S. J. Henderson, S. K. Feiner. Augmented reality in the psychomotor phase of a procedural task. In *Mixed and Augmented Reality (ISMAR), 2011 10th IEEE International Symposium on*, S. 191–200. IEEE, 2011. (Zitiert auf den Seiten 12 und 13)
- [HPA⁺04] J. Heiser, D. Phan, M. Agrawala, B. Tversky, P. Hanrahan. Identification and validation of cognitive design principles for automated generation of assembly instructions. In *Proceedings of the working conference on Advanced Visual Interfaces*, S. 311–319. ACM, 2004. (Zitiert auf Seite 19)
- [HS88] S. G. Hart, L. E. Staveland. Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of empirical and theoretical research. *Advances in psychology*, 52:139–183, 1988. (Zitiert auf Seite 34)
- [JC81] B. F. Johnson, A. J. Cuvo. Teaching mentally retarded adults to cook. *Behavior Modification*, 5(2):187–202, 1981. (Zitiert auf Seite 16)
- [KSH13a] O. Korn, A. Schmidt, T. Hörz. Augmented manufacturing: a study with impaired persons on assistive systems using in-situ projection. In *Proceedings of the 6th International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments*, S. 21. ACM, 2013. (Zitiert auf Seite 17)
- [KSH13b] O. Korn, A. Schmidt, T. Hörz. The Potentials of In-situ-projection for Augmented Workplaces in Production: A Study with Impaired Persons. In *CHI '13 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, CHI EA '13, S. 979–984. ACM, New York, NY, USA, 2013. doi:10.1145/2468356.2468531. (Zitiert auf den Seiten 7, 17 und 18)
- [LM10] N. Linder, P. Maes. LuminAR: portable robotic augmented reality interface design and prototype. In *Adjunct proceedings of the 23rd annual ACM symposium on User interface software and technology*, S. 395–396. ACM, 2010. (Zitiert auf Seite 14)
- [MGM93] D. Maulsby, S. Greenberg, R. Mander. Prototyping an intelligent agent through Wizard of Oz. In *Proceedings of the INTERACT'93 and CHI'93 conference on Human factors in computing systems*, S. 277–284. ACM, 1993. (Zitiert auf Seite 35)
- [MS06] Y. Motokawa, H. Saito. Support system for guitar playing using augmented reality display. In *Mixed and Augmented Reality, 2006. ISMAR 2006. IEEE/ACM International Symposium on*, S. 243–244. IEEE, 2006. (Zitiert auf den Seiten 13 und 21)
- [NE04] K. NAz, H. Epps. Relationship between color and emotion: A study of college students. *College Student J*, 38(3):396, 2004. (Zitiert auf Seite 24)

- [NM00] L. R. Novick, D. L. Morse. Folding a fish, making a mushroom: The role of diagrams in executing assembly procedures. *Memory & Cognition*, 28(7):1242–1256, 2000. (Zitiert auf Seite 19)
- [OYN08] S. Ong, M. Yuan, A. Nee. Augmented reality applications in manufacturing: a survey. *International journal of production research*, 46(10):2707–2742, 2008. (Zitiert auf Seite 11)
- [Pin01] C. Pinhanez. The everywhere displays projector: A device to create ubiquitous graphical interfaces. In *UbiComp 2001: Ubiquitous Computing*, S. 315–331. Springer, 2001. (Zitiert auf Seite 13)
- [PS94] K. L. Pierce, L. Schreibman. Teaching daily living skills to children with autism in unsupervised settings through pictorial self-management. *Journal of applied behavior analysis*, 27(3):471–481, 1994. (Zitiert auf Seite 16)
- [RKWA10] S. Rosenthal, S. K. Kane, J. O. Wobbrock, D. Avrahami. Augmenting on-screen instructions with micro-projected guides: when it works, and when it fails. In *Proceedings of the 12th ACM international conference on Ubiquitous computing*, S. 203–212. ACM, 2010. (Zitiert auf Seite 13)
- [SB11] D. Spath, J. Bierkandt. *Usability und human-machine interfaces in der Produktion: Studie Qualitätsmerkmale für Entwicklungswerkzeuge*. Fraunhofer-Verlag, 2011. (Zitiert auf Seite 7)
- [SBW12] R. Sodhi, H. Benko, A. Wilson. Lightguide: projected visualizations for hand movement guidance. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, S. 179–188. ACM, 2012. (Zitiert auf den Seiten 19 und 20)
- [SL97] S. E. Steed, J. R. Lutzker. Using picture prompts to teach an adult with developmental disabilities to independently complete vocational tasks. *Journal of Developmental and Physical Disabilities*, 9(2):117–133, 1997. (Zitiert auf Seite 16)
- [SPH10] A. L. Sauer, A. Parks, P. C. Heyn. Assistive technology effects on the employment outcomes for people with cognitive disabilities: a systematic review. *Disability & Rehabilitation: Assistive Technology*, 5(6):377–391, 2010. (Zitiert auf Seite 16)

Alle URLs wurden zuletzt am 30. 09. 2014 geprüft.

A. Anhang

A. Anhang

Persönliche Angaben, Studie Schraubzwingenmontage

Arbeitsaufgabe
Montage von Schraubzwingen mithilfe folgender Anleitung:

()	()	()	()
Ohne Unterstützung	Konturanleitung	Bildanleitung	Videoanleitung

Teilnehmernummer: _____

Persönliche Angaben

Alter: _____

Geschlecht: o weiblich o männlich

Art der Beeinträchtigung: o geistig o psychisch o körperlich

Sonstiges: _____

Ausbildung

Haben Sie eine Ausbildung? o Ja, als: _____ o Nein

Haben Sie Montageerfahrung? o Ja o Nein

Wenn Ja, in welchem Bereich? _____

Abbildung A.1.: Fragebogen zu den persönlichen Angaben der Probanden

Fragebogen zur Beanspruchung

Teilnehmer Nr.	Arbeitsaufgabe Montage von Schraubzwingen mithilfe folgender Anleitung: () () () () Ohne Anleitung Konturanleitung Bildanleitung Videoanleitung	Datum
----------------	--	-------

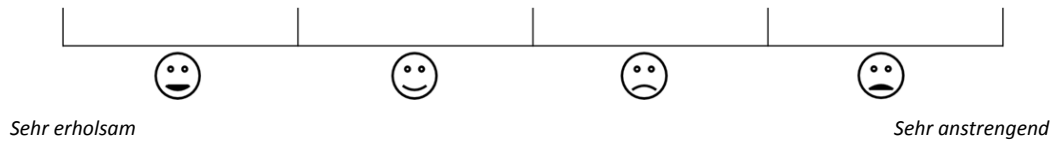
Geistige Anforderung

War die Anleitung einfach oder kompliziert?



Körperliche Anforderung

War die Anleitung erholsam oder anstrengend?



Zeitliche Anforderung

War die Anleitung langsam und ruhig oder schnell und hektisch?



Fragebogen zur Beanspruchung

Leistung

Wie gut oder schlecht konntest Du die Anleitung ausführen?

A horizontal scale with four segments, each containing a smiley face icon. The scale is labeled "Sehr gut" on the left and "Sehr schlecht" on the right.

Anstrengung

Wie entspannend oder anstrengend war es die Aufgabe zu erledigen?

A horizontal scale with four segments, each containing a smiley face icon. The scale is labeled "Sehr entspannend" on the left and "Sehr anstrengend" on the right.

Frustration

Wie zufrieden oder verärgert warst Du während der Aufgabe?

A horizontal scale with four segments, each containing a smiley face icon. The scale is labeled "Sehr zufrieden" on the left and "Sehr verärgert" on the right.



University of Stuttgart
Germany

Human Computer Interaction Group (MCI), VIS

Prof. Dr. Albrecht Schmidt

Einverständniserklärung

BESCHREIBUNG: Sie sind hiermit dazu eingeladen an der **Studie** über die **Verwendung interaktiver Anleitungen am Beispiel einer Schraubzwinde** teilzunehmen.

ZEITAUFWAND: Ihre Teilnahme dauert ungefähr **15 Minuten**.

DATENERFASSUNG: Für die Evaluation des Systems werden Zeiten und die Fehlerrate gemessen. Zusätzlich werden während der Studie Fragebögen ausgefüllt. In dieser Studie wird das zu testende System geprüft - nicht die Teilnehmer!

Bilder:

Ich bin damit einverstanden, dass Bilder von mir während der Studie gemacht werden.

Ich bin **nicht** einverstanden, dass Bilder von mir während der Studie gemacht werden.

Videos:

Ich bin damit einverstanden, dass Videoaufnahmen von dem Arbeitsprozess während der Studie gemacht werden.

Ich bin **nicht** einverstanden, dass Videoaufnahmen von dem Arbeitsprozess während der Studie gemacht werden.

RISIKEN UND NUTZEN: Mit dieser Studie sind keine Risiken verbunden. Die gesammelten Daten werden sicher und anonym gespeichert. Die gesammelten Daten werden aggregiert und anonymisiert in einem wissenschaftlichen Bericht veröffentlicht. Ihre Privatsphäre bleibt erhalten. Die Teilnahme an der Studie hat keinen Einfluss auf Ihr Arbeitsverhältnis. Die Daten werden nur in aggregierter Form und anonymisiert an Ihren Arbeitgeber weiter gegeben.

RECHTE DER TEILNEHMER: Wenn Sie dieses Formular gelesen und sich dazu entschieden haben an dieser Studie teilzunehmen, ist diese Teilnahme weiterhin **freiwillig** und Sie haben das Recht, jederzeit Ihre Zustimmung zurückzuziehen und Ihre Teilnahme jederzeit abzubrechen. Sie haben das Recht spezifische Fragen nicht zu beantworten. Die Ergebnisse dieser Forschungsstudie werden möglicherweise bei wissenschaftlichen Konferenzen oder Expertentreffen präsentiert oder in wissenschaftlichen Zeitschriften veröffentlicht.

KONTAKT INFORMATIONEN: Bei Fragen, Bedenken oder Beschwerden über diese Forschung, die Abläufe, Risiken und Nutzen, kontaktieren Sie bitte folgende Personen:

Markus Funk (markus.funk@vis.uni-stuttgart.de)

Albrecht Schmidt (albrecht.schmidt@vis.uni-stuttgart.de)

Mit der Unterzeichnung dieses Dokuments stimme ich den oben genannten Bedingungen zu.

Name: _____ Unterschrift, Datum: _____

Erklärung

Ich versichere, diese Arbeit selbstständig verfasst zu haben. Ich habe keine anderen als die angegebenen Quellen benutzt und alle wörtlich oder sinngemäß aus anderen Werken übernommene Aussagen als solche gekennzeichnet. Weder diese Arbeit noch wesentliche Teile daraus waren bisher Gegenstand eines anderen Prüfungsverfahrens. Ich habe diese Arbeit bisher weder teilweise noch vollständig veröffentlicht. Das elektronische Exemplar stimmt mit allen eingereichten Exemplaren überein.

Ort, Datum, Unterschrift