

Institut für Visualisierung und Interaktive Systeme
Universität Stuttgart
Universitätsstraße 38
D-70569 Stuttgart

Studienarbeit Nr. 2371

Auswirkungen von in-situ-Projektion auf manuelle Montagetätigkeiten

Daniel Kaupp

Studiengang: Informatik

Prüfer: Prof. Dr. Albrecht Schmidt

Betreuer: Dipl.-Inf. Bastian Pfleging, Dipl.-Inf. Stefan Schneegaß

begonnen am: 21. März 2012

beendet am: 20. September 2012

CR-Klassifikation: H.5.2, H.1.2, H.5.1, H5.m, I.2.10, K.4.2

Inhaltsverzeichnis

| | |
|---|-----------|
| 1. Einleitung | 9 |
| 2. Verwandte Arbeiten und Grundlagen | 13 |
| 2.1. Grundlagen der manuellen Montage | 14 |
| 2.1.1. Kleinladungsträger - KLT | 14 |
| 2.1.2. Betriebsorganisation: REFA und MTM | 14 |
| 2.1.3. Typische Produktionsszenarien in der manuellen Montage | 16 |
| 2.2. Technologien zur Bewegungserkennung | 17 |
| 2.2.1. Markergestützte und markerlose optische Bewegungserkennung | 17 |
| 2.2.2. Handerkennung | 20 |
| 2.2.3. Bereichsüberwachung | 22 |
| 2.3. Assistenzsysteme in der manuellen Montage | 23 |
| 2.3.1. Kind AG - assyControl | 23 |
| 2.3.2. Fraunhofer IFF - Visuelle Assistenz | 23 |
| 2.4. Anwendungen von in-situ Projektion | 25 |
| 2.4.1. Projektor-Kamera-Systeme | 26 |
| 3. Konzept für eine Experimentierplattform für die manuelle Montage | 29 |
| 3.1. Aufbau der Experimente | 29 |
| 3.1.1. Rahmenbedingungen | 29 |
| 3.1.2. Experimentablauf | 30 |
| 3.1.3. Erfassbare Messgrößen | 31 |
| 3.1.4. Geplante Experimente | 31 |
| 3.2. Experiment-Tisch | 34 |
| 3.2.1. Anforderungen | 34 |
| 3.2.2. Umsetzung | 36 |
| 3.2.3. Probleme bei der Umsetzung | 36 |
| 3.3. Software ASED | 37 |
| 3.3.1. Wiedergabemodus - ASE Runner | 37 |
| 3.3.2. Designmodus - ASE Designer | 38 |
| 3.3.3. Algorithmus Triggerbox | 39 |

| | |
|---|-----------|
| 4. Implementierung | 45 |
| 4.1. Anforderungsanalyse | 45 |
| 4.1.1. Anforderungen | 45 |
| 4.1.2. Einschränkungen in der Realisierung | 46 |
| 4.2. Verwendete Hardware | 48 |
| 4.3. Systemarchitektur | 50 |
| 4.3.1. ASED im Detail | 50 |
| 4.3.2. Klassenhierarchie | 51 |
| 4.4. Implementierungsdetails | 56 |
| 4.4.1. Programmiersprache und verwendete Werkzeuge | 56 |
| 4.4.2. Projektorkalibrierung | 57 |
| 4.4.3. Verwendete Bibliotheken | 58 |
| 4.5. GUI-Design | 61 |
| 4.6. Bekannte Fehler und Verbesserungsmöglichkeiten | 61 |
| 5. Evaluierung | 63 |
| 5.1. Erster Experimentdurchlauf | 63 |
| 5.2. Wissenschaftliche Relevanz der Arbeit | 63 |
| 6. Zusammenfassung und Danksagung | 67 |
| 6.1. Zusammenfassung | 67 |
| 6.2. Danksagung | 67 |
| A. Anhang | 69 |
| A.1. Lohnbewertungsbogen der Beschützenden Werkstätte Heilbronn | 69 |
| A.2. Erfasste Daten beim Experiment „Stand der Technik“ | 74 |
| A.3. Lego Anleitung für das Experiment | 77 |
| A.4. ACM Beitrag über ASED | 81 |
| A.5. ASED Styleguide von Valentin Schwindt | 84 |
| Literaturverzeichnis | 87 |

Abbildungsverzeichnis

| | | |
|-------|---|----|
| 2.1. | 3D-Modell eines KLTs | 15 |
| 2.2. | Bildschirmfoto aus Demovideo | 21 |
| 2.3. | Aus Kinect-Tiefendaten extrahierte Hand, mit openCV erkannt | 22 |
| 2.4. | Bereichsüberwachung mit Pilz SafetyEYE: Der Roboter fährt einen Bereich nicht an, wenn der Werker sich in diesem Bereich befindet | 22 |
| 2.5. | assyControl® im Einsatz | 23 |
| 2.6. | Darstellung für den Monteur: Rote Konturen über dem Kamerabild zeigen in Echtzeit, wie die Spannelemente zu positionieren sind. Mehrere Kameras gestatten verschiedene Sichtperspektiven auf die Montagefläche. | 24 |
| 2.7. | Ein HUD von Siemens | 25 |
| 2.8. | Omnitouch im Einsatz | 27 |
| 2.9. | Rechts: ein erfolgreicher Fingerclick mit geflutetem Bereich | 27 |
| 2.10. | Anwendungsbeispiele von Omnitouch | 28 |
| 2.11. | 3-fach Projektor-Kamera-System zur Überdeckung eines ganzen Raumes | 28 |
| 3.1. | Experiment-Tisch | 38 |
| 3.2. | Architekturentwurf von ASED | 39 |
| 3.3. | Papier Prototyp des Konfigurators | 40 |
| 3.4. | Papier Prototyp von ASERunner | 40 |
| 3.5. | Screenshot von ASEDesigner: Rechts die Arbeitsschritteverwaltung, Links die Menüleiste und in der Mitte die Vorschaumonitore mit OptionPanel | 41 |
| 4.1. | Der Optoma EW610ST projiziert ein lichtstarkes Großes Bild schon auf kurze Entfernung | 49 |
| 4.2. | Klassenhierarchie von DesignerElements | 52 |
| 4.3. | Klassenhierarchie von Effects | 53 |
| 4.4. | Klassenhierarchie von Panels | 54 |
| 4.5. | Das Notifier-Pattern schematisch dargestellt: A, B und C können sich so gegenseitig beobachten, ohne voneinander zu wissen. | 56 |
| 4.6. | Kamerakalibrierung: Durch Klick auf die erkannten Punkte einer rechteckigen Projektion wird die Trapezkorrekturmatrixt bestimmt | 58 |
| 4.7. | Ein erstes MockUp von Valentin Schwindt | 62 |

| | | |
|------|---|----|
| 5.1. | Taubstummer Experimentteilnehmer hochkonzentriert bei der Arbeit mit ASED | 64 |
| 5.2. | Screenshot von ASERunner - Betätigung des „in Ordnung“ - Button | 65 |
| 5.3. | Screenshot von ASERunner - Durchgriff durch falsche Box | 65 |
| 5.4. | Produktionsergebnis Lego Auto | 66 |

Verzeichnis der Listings

| | | |
|------|--|----|
| 3.1. | Die Berechnung der Diagonalen und des Mittelpunkts | 42 |
| 3.2. | Aufruf von checkTrigger erfolgt bei jedem Bildaufbau | 42 |
| 3.3. | Die Überprüfung von z_sum erfolgt in triggerFires() | 43 |
| 4.1. | Funktion zum Bestücken der OptionPanels | 53 |
| 4.2. | Beispiel für eine Options-Instanz die ein JTextField erzeugt | 55 |

Abstract

I created a toolkit to run and design experiments in manual assembly with disabled people. The System called ASED-Assistive Systems Experiment Designer combines a state-of-the-art working table with modern technology. For input devices we can use a haptic display or interact with projected planes via the Kinect. The software allows to create multiple working steps, assigning to each of them different assembly instructions and hot-spot areas. These areas execute effects like logging into a XML-file, triggering an external program via UDP or simply switching over to the next working step. The architecture of the software is kept very flexible to allow a quick implementation of arbitrary effects. I further describe experiments on in-situ projection and gamification that are coming up in fall 2012.

Kurzfassung

Ich habe ein Tool zum Erstellen und Durchführen von Experimenten in der manuellen Montage mit Leistungsgeminderten entwickelt. Das System namens ASED - Assistive Systems Experiment Designer vereint einen aktuellen Arbeitstisch mit moderner Technologie. Als Eingabegeräte sind sowohl ein haptisches Display als auch projizierte Flächen, die von der Kinect überwacht werden, vorhanden. Mit der Software ist man in der Lage viele Arbeitsschritte zu erzeugen und jedem von ihnen eine Montageanweisung und überwachte Bereiche zuzuordnen. Diese Bereiche lösen Effekte aus, wie in eine XML-Datei zu loggen, ein externes Programm über UDP anzusteuern oder einfach den nächsten Arbeitsschritt aufzurufen. Der Aufbau der Software ist sehr flexibel gehalten, um die schnelle Implementierung eines beliebigen neuen Effekts zu ermöglichen. Des Weiteren beschreibe ich Experimente zu in-situ-Projektion und Gamification, die für den Herbst 2012 geplant sind.

1. Einleitung

„You are the Controller“ - Mit diesem Slogan startete Microsoft im Oktober 2010 die Werbekampagne seines Xbox 360 Zusatzgeräts „Kinect“. Seit der Markteinführung dieses Sensors rücken optische Bewegungserkennungssysteme zunehmend in den Fokus. Durch den geringen Preis und die einfache Anbindung an PC-Systeme öffnen sich viele neue Anwendungsfelder, in denen ein optisches Bewegungserkennungssystem bis dato keine Option war.

Auch wenn die Bewegungserkennung nicht explizit im Vordergrund dieser Arbeit stehen soll, ist sie doch immanent vorhanden. Sie ermöglicht erst eine Erfassung des aktuellen Zustands des betrachteten Arbeitsraums.

In-situ-Projektion (von lat. *in situ* = „am Platz“, „am Ort“) ist die Darstellung von Inhalten mittels eines Projektors direkt an dem Ort, an dem sie gebraucht werden. Sie bildet somit eine Richtung in der Mensch Computer Interaktion (MCI) ab, nämlich die Interaktion des Systems mit dem Menschen. Die Gegenrichtung wird von Eingabesystemen, wie Tastatur und Maus im klassischen PC Umfeld, haptischen Displays, Spracheingabe oder einem Bewegungserkennungssystem in einem aktuelleren Kontext ausgefüllt.

Das Institut für Visualisierung und interaktive Systeme der Universität Stuttgart (VIS) ist im Bereich MCI besonders engagiert. Daher liegt es nahe, dass es in einem Kontext, bei dem sich MCI und Maschinenbau vereinigen, zu einer Kooperation mit dem Lehrstuhl für Produktionsmanagement der Hochschule Esslingen gekommen ist.

Die Hochschule Esslingen ist Partner im Förderprojekt ASLM des Landes Baden-Württemberg. ASLM steht für „Assistenzsysteme für leistungsgeminderte Mitarbeiter in der manuellen Montage“. Um der Ausrichtung dieses Projekts gerecht zu werden, sind neben dem Lehrstuhl für Produktionsmanagement der Hochschule Esslingen auch das mittelständische Unternehmen „Schnaithmann Maschinenbau GmbH“ und die „Beschützenden Werkstätten Heilbronn“ beteiligt. In den Beschützenden Werkstätten arbeiten Menschen mit einer Leistungsminderung, ein Großteil davon in der manuellen Montage. Dort lohnt sich gerade durch kleine Stückzahlen und komplexe Tätigkeiten ein Einsatz von industriellen Produktionssystemen zur Serienfertigung nicht.([Wilo1]) Dennoch ist dies ein Bereich, der sehr stark von Verbesserungen durch gezielte Assistenz profitieren kann. Verbesserungen

1. Einleitung

der Produktionsgeschwindigkeit und Produktqualität helfen, den Marktanteil und die Aufträge gegen die internationale Konkurrenz zu behaupten. Verbesserungen in der Anleitung der Mitarbeiter sorgen dafür, dass auch komplexere Aufgaben von Werkern übernommen werden, die diese ohne Assistenz nicht bewältigen könnten. Dies dient auch der Persönlichkeitsentfaltung und Weiterbildung der Mitarbeiter.

Für eine zielgerichtete Assistenz in der manuellen Montage ist vielseitiges Wissen gefragt: Ganz offensichtlich sind hier das Wissen um Soll- und Ist-Zustand des Montageprozesses. Das Wissen um die richtige Methodik im Umgang mit dem Mitarbeiter sowie das geeignete Maß an Assistenz sind sehr individuelle Größen, für die es kaum Richtwerte gibt. Hier muss ein System sehr flexibel sein, und genügend Freiraum für individuelle Anpassungen lassen. Ferner ist das Wissen um die geeignete Form der Darstellung von Inhalten und der Methodik, die Arbeit interessant zu gestalten, gefragt.

Vor diesem Wissen stehen viele Fragen, deren Antworten es noch zu ergründen gilt. So steht die Frage: „Wie wirkt sich in-situ-Projektion auf die manuelle Montage aus?“ über dieser Arbeit. Um hierauf (und auf andere, ähnlich gelagerte Fragen) eine Antwort zu finden, sollen Studien mit Teilnehmern, die sich aus Mitarbeitern der Beschützenden Werkstätten rekrutieren, durchgeführt werden.

Diese Arbeit befasst sich mit dem Aufbau der Experimente. Bislang sind Untersuchungen zum Stand der Technik, in-situ-Projektion, Gamification und gezielter Assistenz angedacht. Als Teil dieser Arbeit ist ein Toolkit entstanden, das es ermöglicht, einen flexiblen Experiment-Aufbau sowie eine einheitliche Erfassung der Ergebnisse zu gewährleisten. Diese Software muss also auch die (zum Teil noch unklaren) Anforderungen der kommenden Experimente berücksichtigen. Ein flexibles, objektorientiertes, leicht zu erweiterndes modulares Konzept ist hier also wünschenswert.

Für die Experimente wird ein geeigneter Arbeitstisch benötigt, der eine Minimalkonfiguration des Stands der Technik in der manuellen Montage darstellt. Dieser wurde im Rahmen dieser Arbeit definiert und von der Firma Schnaithmann konstruiert, gebaut, und zur Verfügung gestellt.

Die Software muss einen Modus zur Durchführung eines Experiments beinhalten. Die so gewonnenen Ergebnisse werden als Messzeiten mit Angabe der Bewegungsreihenfolge zwischen im Experimentaufbau definierten Interaktionspunkten festgehalten. Eine zusätzliche Dokumentation findet anhand eines Videomitschnitts statt.

Ferner beinhaltet dieses Dokument eine Recherche zum Stand der Technik bei Montagearbeitsplätzen und Projektor-Kamera-Systemen. Die Ergebnisse einer ersten Evaluation sind ebenfalls Bestandteil dieser Arbeit.

Gliederung

Die Arbeit ist in folgender Weise gegliedert:

Kapitel 1 – Einleitung: Eine Einführung in die Arbeit und diese Gliederung.

Kapitel 2 – Verwandte Arbeiten und Grundlagen: Ein Überblick über den Stand der Technik von manueller Montage, Bewegungserkennung, Assistenzsystemen in der manuellen Montage und in-situ-Projektion.

Kapitel 3 – Konzept für eine Experimentierplattform für die manuelle Montage: Dieses Kapitel beschreibt den Aufbau der Experimente und die daraus abgeleiteten Anforderungen an Software und Tisch. Ferner beschreibt es den Aufbau und die Funktionalität des Tisches und die Konzeption der Software.

Kapitel 4 – Implementierung: Dieses Kapitel beinhaltet die Details der Implementierung von ASED.

Kapitel 5 – Evaluierung: In diesem Kapitel werden erste Praxiserfahrungen mit der Software beschrieben.

Kapitel 6 – Zusammenfassung und Danksagung: Dieses Kapitel fasst die Ergebnisse der Arbeit zusammen.

2. Verwandte Arbeiten und Grundlagen

In diesem Kapitel erkläre ich einige Grundlagen aus der manuellen Montage. Ferner erläutere ich die Signifikanz von Bewegungserkennung für Assistenzsysteme, und stelle verschiedene aktuelle Technologien für optische Bewegungserkennung vor.

In Abschnitt 2.3 gehe ich auf die aktuellen Entwicklungen im Bereich Assistenz in der manuellen Montage ein.

Abschnitt 2.4 handelt davon, was in-situ Projektion ist und stellt zwei aktuelle Forschungsbeiträge zu Projektor-Kamera-Systemen vor.

2.1. Grundlagen der manuellen Montage

Dieser Abschnitt soll kurz in die Welt der manuellen Montage einführen. Wichtige Begriffe aus der Arbeitsgestaltung und Betriebsorganisation wie „MTM“ und „Refa“ werden erklärt. Es werden Arbeitstische, wie sie aktuell im Einsatz sind, gezeigt und wir schauen auf die aktuellen Entwicklungen bei Assistenzsystemen in der manuellen Montage.

2.1.1. Kleinladungsträger - KLT

Da in dieser Arbeit sehr häufig die Abkürzung „KLT“ fallen wird, ist es wohl gerechtfertigt dem Kleinladungs- oder auch Kleinlastträger diesen Abschnitt zu widmen. Der Begriff „KLT“ vereint Behälter in verschiedensten Größen, die in Montageprozessen zum Transport von Produktionsgütern zwischen den einzelnen Verarbeitungsstationen dienen. Diese Behälter sind aus Kunststoff gefertigt. Weit verbreitete Behältertypen sind die, deren Abmaße durch den Verband der Automobilindustrie(VDA) definiert wurden. Diese lassen sich stapeln und sind modular kombinierbar.

Im Kontext dieses Projektes kamen lediglich „KLTs“ der Größe 160 x 103 x 75 mm von der Firma Bito¹ zum Einsatz. Abbildung 2.1 zeigt das KLT SK-1610 in Google-SketchUp² modelliert.

2.1.2. Betriebsorganisation: REFA und MTM

In der Montage ist es wichtig, durch effizienten Einsatz der Arbeitsmittel und eine intelligente Betriebsorganisation wettbewerbsfähig zu bleiben. Da oft sehr große Mengen mit sehr vielen (auch kleinen) Teilen produziert werden, ist es wichtig, Arbeitsvorgänge so aufzuteilen und entsprechend mit Personal zu belegen, dass möglichst wenig Wartezeiten entstehen und die Ressourcen optimal genutzt werden. Um eine bessere Planung zu ermöglichen, wurden in Deutschland von der RefA³ Methoden entwickelt, um Arbeitszeit und Arbeitsleistung zu messen und zu verbessern.

Dabei wird ein Arbeitsprozess in möglichst kleine Einheiten zerlegt, diese werden gemessen und erfasst. Daraus wird dann eine Sollzeit für einen Arbeitsprozess gebildet. Die RefA führte hierfür extra eine Zeiteinheit HM ein. HM steht für Hundertstel Minute und entspricht

¹Herstellerseite des KLT: „Lagertechnik, Regale und Kunststoffbehälter“ <<http://www.bito.com/>> [Stand: 18. September 2012]

²Google-SketchUp: „Trimble SketchUp“ <<http://www.sketchup.com/>> [Stand: 18. September 2012]

³„Reichsausschuss für Arbeitszeitermittlung“ - heute „Verband für Arbeitsgestaltung, Betriebsorganisation und Unternehmensentwicklung (REFA)“

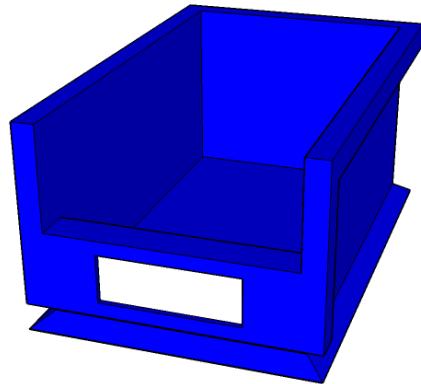


Abbildung 2.1.: 3D-Modell eines KLTs

damit einer Zeit von 0,6 s.

Im Zuge der zunehmenden Verschlankung der Produktion und des „Total Quality Management“ kam auch ein anderes Verfahren zur Arbeitszeiterhebung zum Einsatz:

Das MTM⁴ ist ein Verfahren, dass sich besser für die Produktionsplanung eignet, da es nicht auf gemessenen Zeiten basiert, sondern auf Berechnungen. Somit ist MTM auch schon möglich, bevor die Produktion läuft. MTM definiert in vielen Tabellen, was eine Grundbewegung (z.B. Greifen, Loslassen) ist, und wie lange diese dauert. Dabei wird auch die Gleichzeitigkeit von zwei Vorgängen berücksichtigt, und ob ein Objekt sich im Blickfeld befindet, oder nicht. Daraus wird dann die Soll-Zeit ermittelt. Die Ist-Zeit des Arbeiters wird im MTM dann in Prozentwerten bezüglich der Sollzeit ausgedrückt. Die kleinste Einheit im MTM ist eine hunderttausendstel Stunde, also 0,36 s.

Während bei REFA die Sollzeiten noch mit Industrieverbänden und Gewerkschaften verhandelt wurden, werden die MTM Zeiten einfach den Tabellen entnommen. Einen interessanten geschichtlichen Abriss zur Entwicklung der Produktionssysteme, der auch die sozialen

⁴MTM - methods time measurement

2. Verwandte Arbeiten und Grundlagen

Aspekte in der Produktion berücksichtigt findet man in dem Radiofeature „Autostück(e)“⁵.
⁶

2.1.3. Typische Produktionsszenarien in der manuellen Montage

Kleine Stückzahlen erfordern eine schnelle Rüstzeit, um kosteneffizient zu arbeiten. Viele Prozesse sind daher nicht wirtschaftlich in maschinellen Produktionsstraßen zu verwirklichen. Bei sehr schwierigen Aufgaben kann es auch bei großen Losgrößen günstiger sein, auf Menschen zu setzen: „Auch im Jahre 2000 wird auf dem Sektor der Montage die Hand unentbehrlich sein“ (VDI 1983). So wird auch in naher Zukunft der Mensch im Montagebereich eine bedeutende Rolle spielen und es werden deshalb die Eigengesetzmäßigkeiten des Menschen, die Möglichkeiten und Grenzen der Gestaltung manueller Montagesysteme bestimmen (Bader 1986).“ ([Wilo1, Kap. 2.2])

Typische Aufgaben für manuelle Arbeitsplätze sind: Konfektionieren, Entgraten, Bestücken und Montieren. Für die Arbeitsanalyse werden Einzelhandlungen definiert: Hinlangen, Greifen, Bringen, Fügen, Loslassen, Drücken, Drehen, Trennen, Blicken, Bewegen. Diese Merkmale werden hinsichtlich Kraft, Entfernung, Häufigkeit und Genauigkeit weiter differenziert.

Wichtig ist dabei auch die Anordnung der Einzelplätze zu einer Montagestraße und die Bestückung der Arbeitsplätze und Weiterverarbeitung der gefertigten Teile. Oft werden hierfür mehrere Tische mit Rollenbahnen miteinander verbunden.

Für viele Montage- und Bestückungsvorgänge können Schablonen bereitgestellt werden, die den Kontrollprozess durch den Mitarbeiter vereinfachen. Allerdings schützt auch das nicht vor Fehlern, die durch Übermüdung oder Unachtsamkeit entstehen. Beim Einsatz von Maschinen wie elektrischen oder pneumatischen Schraubern oder Pressen kann eine Freigabe des Werkstücks erst nach einer ausreichenden Umdrehungszahl oder einer entsprechenden Druckfestigkeit und -dauer automatisch erfolgen. Für einige Produkte erfolgt eine maschinelle Endkontrolle. Eine automatisierte Prozesskontrolle findet in kleinteiligen Arbeitsschritten so gut wie nicht statt.

⁵Groß, Martina (15.08.2012): „Autostücke-Fortbewegung: Geschichten aus der Produktion“ <<http://www.dradio.de/dkultur/sendungen/feature/1800261/>> [Stand: 18. September 2012]

⁶Vgl.: Karlsruher Institut für Technologie: „KIT – IIP – Willkommen am IIP“ ; IPP Abteilung Arbeitswissenschaft; PDF-File: „MTM Methods Time Measurement – ein System vorbestimmter Zeiten“ <<http://www.iip.kit.edu/downloads/mtm.pdf>> [Stand: 18. September 2012]

2.2. Technologien zur Bewegungserkennung

Assistenz kann nur dort stattfinden, wo Soll- und Ist-Zustand bekannt sind. Der Soll-Zustand in einer festgelegten Produktionsabfolge ist relativ einfach zu erlangen. Eine Überwachung des Ist-Zustandes hingegen ist schwieriger zu realisieren. Neben der Kunst, den Zustand zu erkennen und zu interpretieren ist auch der Zeitpunkt und die Art der Unterstützung durch ein System ein wichtiger Faktor, der über die Akzeptanz eines solchen Systems als Werkzeug entscheidet.

Will man nur die Produktqualität sicherstellen, reicht es, das Produkt zu überprüfen. Will man hingegen beim Arbeitsprozess assistieren, so muss man den Arbeitenden beobachten. Alle Bewegungen des Arbeiters, die für den Arbeitsvorgang relevant sind, müssen erfasst und mit geeigneten Methoden interpretiert werden.

Man kann Bewegungserkennungssysteme grundsätzlich nach der verwendeten Technologie aufteilen. Hier möchte ich nur auf Systeme mit optischen Sensoren eingehen. Andere Technologien wie akustisches, induktives oder magnetisches Tracking soll in dieser Arbeit nicht berücksichtigt werden. Oft werden auch mehrere Technologien kombiniert. Enthalten diese Systeme einen oder mehrere optische Sensoren (Kamera oder Infrarot-Sensor) zähle ich sie hier zu den optischen Systemen.

Viele Systeme arbeiten mit Hilfe von Markierungen an relevanten Körperteilen (markergestützte Bewegungserkennung). Daneben gibt es markerlose Systeme, die sich nur auf die Daten und Ereignisse an den Sensoren verlassen.

Nicht nur die Art der Überwachung, sondern auch was überwacht wird spielt eine große Rolle. In der manuellen Montage ist die Hand⁷ schon implizit enthalten. So liegt es nahe, die Hände des Workers gesondert zu betrachten. Die Vorteile und Schwierigkeiten einer Handerkennung, sowie eine recht gute Implementierung kommen in Abschnitt 2.2.2 zur Sprache.

Zu guter Letzt möchte ich auch noch das Konzept der Bereichsüberwachung vorstellen.

2.2.1. Markergestützte und markerlose optische Bewegungserkennung

Sensoren wie Gyroskope und Accelerometer senden ihre Daten an einen Empfänger. Es gibt auch Systeme, die mehrere Technologien kombinieren. Motion Capture⁸ wird verwendet um aus den gewonnenen Daten ein 3D-Modell zu bewegen. In der Spiele- und Filmindustrie

⁷lat.: manus - Hand

⁸Motion Capture bezeichnet die Bewegungserfassung eines Körpers oder einzelner Körperteile durch daran angebrachte Marker oder Sensoren. Die Marker können entweder per Video überwacht werden oder aktiv ein Signal senden

2. Verwandte Arbeiten und Grundlagen

wird zunehmend auch Mimik und Gestik mit Markern an Gesicht und Händen aufgezeichnet, um Emotionen realistischer auf computeranimierte Figuren zu übertragen. Dabei spricht man von Performance Capture.

Es gibt auch modulare Systeme (Vgl.: XSens⁹), die zunehmend für medizinische und sportmedizinische Zwecke eingesetzt werden; beispielsweise zur Analyse des Bewegungsapparats.

Wii-Mote

Die Spielekonsole Nintendo Wii^{®10} ist die erste Spielekonsole die rein auf Bewegungserkennung basiert. Im Controller, der Wii Fernbedienung Plus, befindet sich ein Gyroskop und ein Accelerometer. Die relative Positionierung zum Empfänger basiert auf Infrarot. Die Wii-Fernbedienung ist nicht sonderlich genau, reicht aber zum Spielen von Bewegungsspielen, bei denen große Bewegungen gemacht werden müssen und bei denen es eher auf die Sensordaten ankommt (Beschleunigung wichtiger als die Richtung) aus. Die Wii Fernbedienung Plus enthält nach wie vor auch viele Knöpfe, so dass nicht ausschließlich mit Bewegungssteuerung gespielt wird.

Durch ihre gute Interoperabilität und nicht zuletzt die Bluetooth Anbindung fand die Wii Fernbedienung Plus¹¹ Verwendung in diversen Forschungsprojekten.

Playstation Eye Toy und Playstation Move

Sony war 2003 eines der ersten Unternehmen, die mit einer Kamera ein Bewegungsspiel auf den Markt brachten. Allerdings ist die Qualität mit einer Auflösung von 640 * 480 Bildpunkten und ohne Tiefeninformationen für aktuelle Bewegungssteuerung und darauf basierende Spiele nicht ausreichend.

Deswegen stellte Sony auf der „Game Developers Conference 2010“ sein neues System „Playstation Move“ vor. Dieses kombiniert einen Controller mit Accelerometer und Gyroskop mit der Kamera Playstation Eye. Durch eine farbig beleuchtete Kugel am Ende dieser Controller ist ein Tracking von mehreren Spielern möglich, sowie eine ungefähre Tiefenbestimmung durch die Größe der Kugel. Die Notwendigkeit der Kugel wird durch bunte LEDs und

⁹Herstellerseite Xsens: „XSens – 3D Motion Tracking“ <<http://www.xsens.com/>> [Stand: 18. September 2012]

¹⁰Nintendo : „Technische Details-Nintendo“

<http://www.nintendo.de/NOE/de_DE/systems/technische_details_1072.html> [Stand: 19. September 2012]

¹¹insbesondere ihr Vorgängermodell Wii-Mote (nur Accelerometer) mit Add-on Wii Motion Plus (Gyroskop)

die Möglichkeit zur Verwendung als Signalleuchte kaschiert und als besonderes Merkmal verkauft.¹²

Lichtgitter

Lichtschranken stellen eine einfache Bewegungserkennung für einen bestimmten Bereich dar. Kombiniert man mehrere dieser Lichtschranken zu einem Gitter lässt sich so eine Bewegung durch die einzelnen Segmente des Gitters verfolgen. Hier lassen sich allerdings auch nur bedingt Aussagen über den tatsächlichen Bewegungsvorgang oder den Akteur treffen. Lichtschranken für den industriellen Einsatz sind im Vergleich zu Kamerasyystemen sehr teuer und weniger flexibel.

Kinect und Kinect4Windows

Die Kinect¹³ als Eingabegerät für die Microsoft XBox 360[®] hat wohl unter den Eingabegeräten für den größten Wirbel gesorgt. Durch die USB Schnittstelle war diese recht günstige Kamera mit Tiefensensor ein ideales Werkzeug für Forschungsprojekte aller Art. Die Kinect, in der ein Chip vom Sensorhersteller und OpenNI Entwickler „Primesense“ steckt, hat eine RGB Kamera mit einer Auflösung von bis zu 1280 * 960 Pixeln und einen Infrarotsensor, der bis 640 * 480 Bildpunkte auflöst. Des Weiteren enthält sie einen Lagesensor und ein Mikrofon-Array.

Infrarotsensoren können verwendet werden, um ein Tiefenbild zu erzeugen. Dabei wird infrarotes Licht emittiert und von einem Sensor die Laufzeit jedes reflektierenden Punktes gemessen. Leider sind diese Werte nicht sehr exakt, da stark reflektierende oder absorbierende Flächen zu Fehlmessungen führen. Um dies zu kompensieren legt der IR-Sender ein Lichtgitter auf die Landschaft. Dieses Lichtgitter variiert leicht in Größe und Position, was für genauere Ergebnisse sorgt, im Tiefenbild aber zu einem leichten Wabern führt.

Aus Lizenzgründen wurde 2012 die Kinect4Windows veröffentlicht. Der geringe Preis für die Kinect für XBox wurde aus Marketinggründen durch Subventionen erreicht. Microsoft wollte erreichen, dass durch den Verkauf von Kinects auch der Verkauf von Spielen angekurbelt wird, wodurch der niedrige Preis wieder ausgeglichen würde.

¹²Vgl. Sinclair, Brendan (11.03.2010): „Sony reveals what makes PlayStation Move tick“ <<http://www.gamespot.com/news/sony-reveals-what-makes-playstation-move-tick-6253435>> [Stand: 18. September 2012]

¹³Microsoft : „Product Features | Microsoft Kinect for Windows“ <<http://www.microsoft.com/en-us/kinectforwindows/discover/features.aspx>> und „Kinect Documentation & API Resources“ <<http://www.microsoft.com/en-us/kinectforwindows/develop/resources.aspx>> [Stand: 19. September 2012]

2. Verwandte Arbeiten und Grundlagen

Deswegen gibt es für die Verwendung der Kinect für die XBox auch keine Lizenzen und auch keine offiziellen Treiber¹⁴ für den PC. Die PC Version Kinect4Windows erschien mit dem Kinect SDK zum 3-4 fachen Preis der Kinect für XBox und der Lizenz für den Einsatz in kommerziellen Systemen. Außerdem wurde der Tiefensensor im Nahbereich verbessert. Wo die Kinect für XBox erst bei 80 cm Tiefenwerte zurücklieferte, ist es bei der Kinect4Windows schon ab 50 cm möglich, Werte zu erhalten.

Leap-Motion

Ein neues Gerät, das eine hochauflösende und schnelle Fingererkennung in einem kleinen Bereich ermöglichen soll ist „Leap Motion“. Die Werbevideos und Live-Demonstrationen versprechen eine Detailauflösung von weniger als einem Zehntel Millimeter. Man sieht dort eine native Einbindung in eine Microsoft Windows Desktop-Umgebung und das gleichzeitige Verfolgen von allen 10 Fingern bei schnellen Bewegungen in Echtzeit.

Das Gerät soll im Dezember 2012 erstmals ausgeliefert werden. Bislang wird die zugrunde liegende Technologie wegen laufender Patentverfahren aber noch streng geheim gehalten. Laut Herstellerangaben ist es aber ein optisches System, das sehr wenige Ressourcen benötigen soll (immer maximal 2% der Rechnerleistung).¹⁵

2.2.2. Handerkennung

Die Vorteile einer Hand sind bei ihrer Erkennung auch gleichzeitig ihre Nachteile: Die menschliche Hand ist ein hochflexibles Werkzeug. Das macht sie bei der Erledigung so vieler Dinge so nützlich.

Leider kann ein solches Werkzeug auch nahezu beliebige Formen annehmen und verdreht oder teilweise verdeckt sein. Finger können eingeklappt oder nur halb angewinkelt sein. Im Kontext mit Leistungsgeminderten kommen zudem oft fehlende Gliedmaßen oder durch Spasmen entstellte Hände ins Spiel. Eine Erkennung allein anhand der Form ist also nicht sehr zuverlässig. Dazu kommt, dass die Umrisse der Hand aus dem Bild erst extrahiert werden müssen.

Es gibt fertige Algorithmen, die in der Lage sind, Hände zu erkennen. Die Extraktion der Handkontur erfolgt aber aufgrund der Hautfarbe. In einem Produktionskontext müssen

¹⁴Es gab eine Alpha-Treiber von Microsoft Research aber das Kinect SDK arbeitet nur mit der Kinect4Windows

¹⁵Vgl.: LEAP : „Leap Motion“ <<https://leapmotion.com/>> [Stand: 19. September 2012] sowie Gorman, Michael (25.05.2012): „Leap Motion gesture control technology hands-on“ <<http://www.engadget.com/2012/05/25/leap-motion-gesture-control-technology-hands-on/>> [Stand: 18. September 2012]



Abbildung 2.2.: Bildschirmfoto aus Demovideo

allerdings oft Handschuhe getragen werden, die nur in den seltensten Fällen „hautfarben“ sind. Auch sollte man nicht von vornherein ausschließen, dass die Haut eine andere Farbe haben könnte. Einen unserer¹⁶ geglückten Versuche, eine Hand zu extrahieren und nebst Fingerspitzen zu erkennen sehen sie in Abbildung 2.3. Allerdings war die Erkennungsquote und die Framerate sehr niedrig.

Eine vielversprechende Implementierung ist an der Universität von Kreta gelungen¹⁷. Dort ist ein Framework entstanden, das eine Erkennung der Hand mit allen 26 Freiheitsgraden ermöglicht.(Abb.: 2.2) Auch ein Tracking von zwei miteinander agierenden Händen ist laut A. Argyros¹⁸ möglich. Hierbei wird eine Mischung aus klassischen Verfahren wie Form- und Farberkennung und einer 3D-Repräsentation der Hand sowie einer Heuristik zur Vorhersage der möglichen Handpositionen verwendet.

Die angegebenen Performancedaten geben einen Einblick, wie viel Rechenaufwand hinter der Handerkennung und dem Tracking steckt. Eine CUDA¹⁹ Implementierung auf aktueller Hardware erkennt Hände bei 20 Bildern pro Sekunde bei einer Auflösung von 640 * 480 Bildpunkten. Selbst die Berechnung von aufwändigen Spielegrafiken scheint demgegenüber einfach zu sein. Sicherlich ist dies aber der Weg in die richtige Richtung.

¹⁶Projektteam ASLM - Björn Böhmert, Daniel Kaupp

¹⁷Argyros, Antonis: „Kinect 3D Hand Tracking“ <<http://cvrlcode.ics.forth.gr/handtracking/>> [Stand: 18. September 2012]

¹⁸Argyros, Antonis: „Antonis Argyros, home page“ <<http://www.ics.forth.gr/~argyros/>> [Stand: 18. September 2012]

¹⁹Vgl. nVIDIA: „Was ist CUDA?“ <http://www.nvidia.de/object/what_is_cuda_new_de.html> [Stand: 18. September 2012]

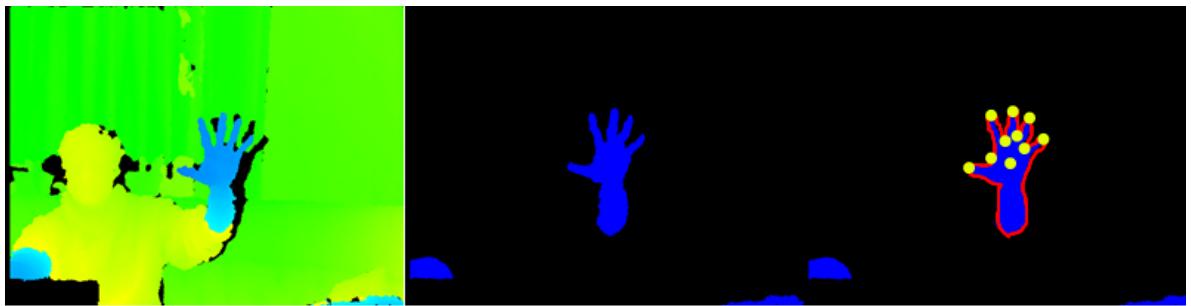


Abbildung 2.3.: Aus Kinect-Tiefendaten extrahierte Hand, mit openCV erkannt

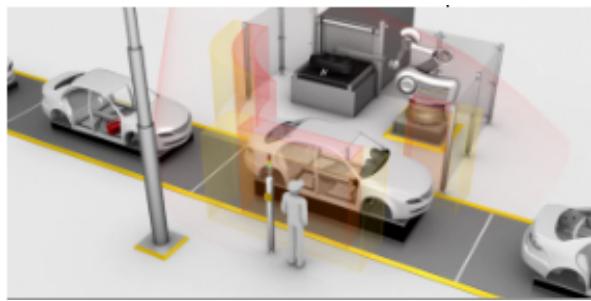


Abbildung 2.4.: Bereichsüberwachung mit Pilz SafetyEYE: Der Roboter fährt einen Bereich nicht an, wenn der Werker sich in diesem Bereich befindet

2.2.3. Bereichsüberwachung

Eine weniger rechenintensive Methode ist die Überwachung eines dreidimensionalen Bereichs. Diese Bereiche wollen wir im weiteren Text als „Triggerbox“ bezeichnen. Dabei wird über den Tiefenwert jedes Punktes ermittelt, ob sich etwas in ihm befindet. Die Summe der überwachten Punkte gibt nun Auskunft über den Füllungsgrad der Triggerbox. Durch den Vergleich mit einem vorher gebildeten Referenzwert lässt sich eine Aussage über eine Veränderung in der Box treffen. Ein System, das bereits eine solche Bereichsüberwachung in einem industriellen Szenario anbietet, ist SafetyEYE®²⁰ von Pilz. Abbildung 2.4 zeigt eine mögliche Anwendung von SafetyEYE in der Automobilfertigung.

²⁰Pilz: „Sicheres Kamarasystem SafetyEYE“ <<https://shop.pilz.com/eshop/cat/de/DE/00014000337042/SafetyEYE-Sicheres-Kamerasytem>> [Stand: 18. September 2012]



Abbildung 2.5.: assyControl® im Einsatz

2.3. Assistenzsysteme in der manuellen Montage

2.3.1. Kind AG - assyControl

Die Otto Kind AG setzt mit assyControl®²¹ auf ein markergestütztes System. Durch einen Ultraschall Empfänger und einen Sender in jedem Handschuh wird die Position der Hände an assyControl® übermittelt. Damit erhält man, wie bei einem Lichtgittertisch eine Information darüber, ob die Hand in das richtige KLT gegriffen hat und kann darauf reagieren. Zusätzlich erhält man Informationen über die Verweildauer der Hände des Workers an einer Position. Eine falsche Montage eines Teils kann leider nicht erkannt werden, da nur die Position der Hände, aber nicht die Anzahl und Art der verwendeten Teile sichtbar ist. Abbildung 2.5 zeigt assyControl® im Einsatz.

2.3.2. Fraunhofer IFF - Visuelle Assistenz

Das Projekt visuelle Assistenz beschäftigt sich ebenfalls mit optischen Assistenzsystemen im Bereich der manuellen Montage. Hier wird allerdings ein anderer Ansatz beschritten. Die Analyse der Szene findet durch eine Simulation statt. Dieses System ist stark von einer

²¹KIND: „Otto Kind AG Deutschland: assyControl – 3D Trackingsystem“
<<http://www.kindag.de/arbeitsplatzsysteme/assycontrol.html>> [Stand: 18. September 2012]



Abbildung 2.6.: Darstellung für den Monteur: Rote Konturen über dem Kamerabild zeigen in Echtzeit, wie die Spannelemente zu positionieren sind. Mehrere Kameras gestatten verschiedene Sichtperspektiven auf die Montagefläche.

starren Umgebung und von CAD-Daten abhängig:

Es rekonstruiert anhand der CAD-Daten im System und der Ausrichtung der Kamera zu einem Marker auf der Montagefläche die exakt gleiche Ansicht aus CAD-Daten und vergleicht dann Soll- (CAD-Bild) und Ist-Zustand (Kamerabild). Die Assistenz besteht nun darin, ein falsch montiertes Teil an einem Bildschirm rot hervorzuheben (Abb.: 2.6) und die richtige Ausrichtung anzuzeigen. Das ermöglicht gleichzeitig eine gute Qualitätskontrolle und Assistenz für den Mitarbeiter, aber erfordert viele Randbedingungen, wie das Vorhandensein von CAD-Daten, eine starre Montagevorrichtung und einen Marker auf der Arbeitsfläche.²²

²²Vgl. Fraunhofer IFF: „Visuelle Assistenz – Fraunhofer Institut für Fabrikbetrieb und – automatisierung“ <<http://www.iff.fraunhofer.de/de/geschaeftsbereiche/messtechnik-prueftechnik/visuelle-assistenz.html>> [Stand: 18. September 2012]



Abbildung 2.7.: Ein HUD von Siemens

2.4. Anwendungen von in-situ Projektion

Der Begriff in-situ²³ wird in vielerlei Zusammenhang verwendet. Er zeigt an, dass etwas in seinem natürlichen Umfeld oder eben an dem Platz des Geschehens passiert. Noch nicht sehr weit verbreitet ist der Begriff der in-situ Projektion: Darunter versteht man die Visualisierung von Daten oder Informationen an genau dem Ort, an dem sie von Interesse sind. Dass diese sich erst sehr langsam etabliert, wird auch dadurch deutlich, dass sich zu in-situ zwar ein Artikel in der deutschsprachigen Wikipedia findet, dort aber die Projektion oder generell die Visualisierung von Daten nicht erwähnt wird.²⁴

Dennoch findet in-situ Projektion auch schon in unserem Alltag statt, beispielsweise durch HUDs²⁵, die es mittlerweile auch in Personenkraftwagen gibt. Diese HUDs projizieren Informationen wie Geschwindigkeit, Tankanzeige, Navigation oder den Winkel des Radeinschlags beim Einparken direkt auf die Windschutzscheibe. (Abb.: 2.7 zeigt ein System von Siemens²⁶)

Ein Anwendungsgebiet, das sich sicherlich weit größeren Interesses erfreuen darf, wird die neue Generation von tragbaren Minicomputern sein. Mit einem lichtstarker Kleinprojektor wird jede Hauswand zum Computermonitor. Auf Eingabegeräte wird man Dank natürlicher Interaktion auch verzichten können.

Ein großer Vorteil von in-situ Projektion im Vergleich zu herkömmlichen oder haptischen

²³in situ - lat.: am Platz, am Ort

²⁴Stand: 14.9.2012

²⁵HUD - Head-Up-Display: Einblendung von Informationen im Sichtfeld des Fahrers oder Piloten

²⁶Siemens (02.11.2006) : „Pressebilder-Siemens Global Website“

<<http://www.siemens.com/press/de/pressebilder/>

?press=/de/pp_sv/2006/sv200605004_%28hud%29_1376440.htm> [Stand: 18. September 2012]

2. Verwandte Arbeiten und Grundlagen

Displays ist die Vielzahl der Interaktionsmöglichkeiten. Unterschiedliche Flächen bieten auch unterschiedliche Möglichkeiten der Interaktion. Auf eine Tischplatte, wie in diesem Projekt verwendet, kann ich beispielsweise eine Form projizieren, dann mein Werkstück darauflegen und somit eins zu eins vergleichen. Darin liegen aber auch zugleich die Schwierigkeiten: Unterschiedliche Flächen reflektieren unterschiedlich gut: Das hat zur Folge, dass Farben anders dargestellt werden. Ebenso muss auch die Projektionsfläche keineswegs planar oder parallel zum Projektor sein.

Zunehmende Rechenleistung, bessere und günstigere Projektoren und die vielfältigen Möglichkeiten werden die in-situ Projektion sicherlich zu einem der Trend-Themen der nächsten 10 Jahre machen.

2.4.1. Projektor-Kamera-Systeme

Dieser Abschnitt beschreibt die aktuellen Entwicklungen im Bereich Projektor-Kamera-Systeme. Diese Arbeit fällt ebenfalls unter diese Kategorie. Der starre Verbund von Kamera und Projektor ist kein Kriterium für ein Projektor-Kamera-System. Allerdings sind in den meisten Anwendungen mindestens zwei der drei Komponenten, bestehend aus betrachtetem Objekt/ Projektionsfläche, Projektor und Kamera fix zueinander ausgerichtet. Das erleichtert die Konfiguration und Kalibrierung des Systems.

Ein wichtiges Kriterium ist jedoch, dass sich ein Projektor-Kamera-System in einem Regelkreis aus Bildverarbeitung und Bildgenerierung befindet. Dabei werden die Videodaten in nahezu Echtzeit verarbeitet und entsprechende Projektionsdaten erstellt.

Tragbare Interaktion, überall - Das Projekt „Omnitouch“

Ein sehr beeindruckendes Projekt wurde von einem Microsoft Research Team um Chris Harrison([HBW11]) 2011 veröffentlicht. In diesem Projekt wurde ein Projektor-Kamera-System entwickelt, das von einer Person auf der Schulter getragen werden kann.(Abb.: 2.8) Als Projektionsfläche dient jede beliebige Wand oder auch die Hand. Von ihrer Anwendung wird die Hand als solche erkannt, woraufhin sich das System aktiviert und ein Menü auf der Hand einblendet. Verschiedene Anwendungen, wie ein Notiz- und Malprogramm wurden als Beispieldaten präsentiert. Auch die Interaktion mit Dokumenten wurde präsentiert. So lassen sich beispielsweise Textpassagen in einem Papierdokument durch Handgesten markieren und werden vom Projektor farblich hervorgehoben. Gegenstände werden als Objekte erkannt und zumindest solange sie im Bild sind, getrackt. Dadurch ist sichergestellt, dass eine eingeblendete Grafik an dem Objekt bleibt, dem sie zugeordnet wurde.

Hier kommen auch einige interessante Techniken zum Einsatz, was die Verarbeitung von

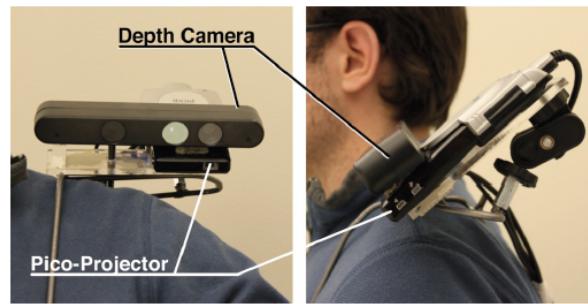


Abbildung 2.8.: Omnitouch im Einsatz



Abbildung 2.9.: Rechts: ein erfolgreicher Fingerklick mit geflutetem Bereich

Bildern angeht. Das Team hat Algorithmen zur Fingerextraktion entwickelt und darauf basierend einen intelligenten Algorithmus entwickelt, mit der ein Klick, also die Berührung des Fingers mit einer Oberfläche, berechnet werden kann. Dafür betrachten sie die Tiefenwerte des ersten Fingergelenks und „fluten“ von dort aus alle Pixel, die weniger als 13 mm vom nächstgelegenen Pixel (in 3D-Koordinaten) entfernt sind. Ab einem Schwellwert von 2000 gefluteten Pixeln gilt der Klick als vollzogen. (Abb.: 2.9)

Die Hardware, mit der „Omnitouch“ arbeitet, ist ein pico-laser-Projektor und eine 3D-Tiefenkamera von PrimeSense. Die ursprünglich im Projekt verwendete Microsoft Kinect hatte allerdings keine Tiefenerkennung im Nahbereich (<80 cm), was sie für dieses Projekt ungeeignet machte. Die mittlerweile erschienene Kinect4Windows kann auch Tiefeninformationen im Nahbereich (ca. 50 cm) liefern.

Der interaktive Raum - „LightSpace“

Ein weiteres Beispiel für eine zukunftsweisende Anwendung ist ein interaktiver Raum, der ebenfalls aus der Ideenschmiede von Microsoft kommt. ([WB10]) Hier kommt ein Projektor-Kamera-System zum Einsatz, das aus 3 Projektoren und 3 Tiefensensoren besteht. Dadurch lässt sich der gesamte Arbeitsbereich gut überwachen und ausleuchten. Als „Displays“

2. Verwandte Arbeiten und Grundlagen

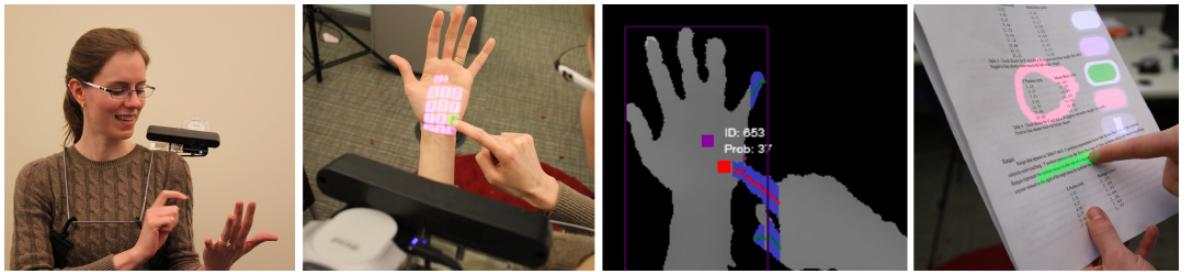


Abbildung 2.10.: Anwendungsbeispiele von Omnitouch

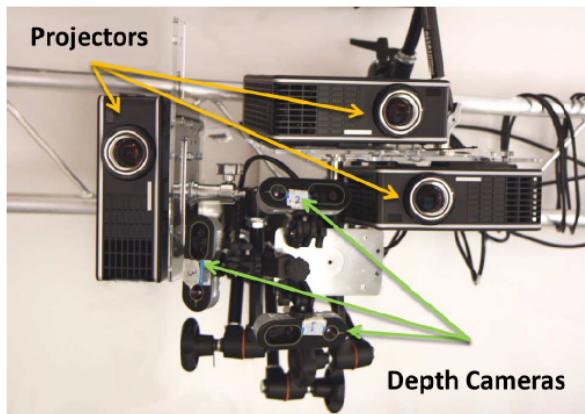


Abbildung 2.11.: 3-fach Projektor-Kamera-System zur Überdeckung eines ganzen Raumes

stehen eine große Projektionsfläche an der Wand und eine auf einem Tisch zur Verfügung. Die Interaktion zwischen den Anzeigeflächen funktioniert mittels Gesten. Wilson et al. zeigen in diesem Projekt auch, wie ein Objekt in der Hand zwischen zwei Displays transportiert werden könnte. Dort wird es dann als leuchtende Kugel dargestellt.

Auch hier fungiert die geöffnete Handfläche als Projektionsfläche für ein Menü. In diesem Fall streift man aber durch das Menü, indem man die Hand höher oder tiefer hält. Von „LightSpace“ gibt es ein sehenswertes Video.²⁷

²⁷Link zum Video: <http://delivery.acm.org/10.1145/1870000/1866073/293s-wilson.mp4>

3. Konzept für eine Experimentierplattform für die manuelle Montage

Dieses Kapitel stellt die Idee vor, die hinter den Experimenten und dem Toolkit ASED steht. Es zeigt auf, welche Intention hinter dem Experimenttisch und der Experimentsoftware stehen. Aus dem Wunsch, vergleichbare und messbare Ergebnisse für die Qualität eines Assistenzsystems zu erhalten, resultieren Anforderungen, die von Experimenttisch und Software umgesetzt werden müssen.

Der Abschnitt 3.2 stellt die Überlegungen zum Experimenttisch vor, und beschreibt die Funktionalität und auch die Details der Konstruktion. Dahingegen enthält der Abschnitt 3.3 nur eine kurze Beschreibung der Anforderungen an die Software. Die Details der Implementierung finden sich in Kapitel 4.

3.1. Aufbau der Experimente

Mittels Experimenten lassen sich Messdaten erheben, die zum Vergleich von Technologien benötigt werden. Der Aufbau und Ablauf der Experimente bestimmt maßgeblich, wie die Software beschaffen sein muss. Hier wird der Aufbau der Experimente diskutiert und Anforderungen daraus abgeleitet.

3.1.1. Rahmenbedingungen

Das Projekt ASLM beschäftigt sich mit leistungsgeminderten Mitarbeitern an manuellen Montagearbeitsplätzen. Die Arbeitsgestaltung hängt von vielen verschiedenen Faktoren ab. ([Wilo1, Abb. 2.4-1]) In einem Umfeld wie der Beschützenden Werkstätte spielen personen-abhängige Faktoren, wie Befinden, Motivation und individuelle Fähigkeiten und Einschränkungen eine größere Rolle. Um eine quantitative Erfassung gezielter Modifikationen des Arbeitsprozesses zu ermöglichen müssen Experimente unter möglichst kontrollierbaren Bedingungen durchgeführt werden.

Da alle Studienteilnehmer unterschiedlich schnell und gut lernen und vergessen sowie

3. Konzept für eine Experimentierplattform für die manuelle Montage

unterschiedlich körperlich und geistig befähigt sind, wird ein Bewertungssystem benötigt um die Ergebnisse der Experimente miteinander vergleichen zu können. Wir haben uns hierbei dem Lohnbewertungssystem der Beschützenden Werkstätten bedient.(A.1) Die Lohnbewertungszahl ist ein Faktor, der jährlich neu bestimmt wird und von körperlichen Fähigkeiten wie „greifen“ oder „setzen“ abhängt. Auch kognitive Fähigkeiten wie lesen und schreiben sowie Lernzeiten und Merkfähigkeit tragen zu der Lohnbewertungszahl bei. Je höher die Bewertungszahl, desto geringer auch der Betreuungsaufwand. Da diese Zahl also den Zustand des Arbeiters relativ gut erfasst, haben wir beschlossen, diese als Grundlage für die Auswahl der Probanden zu nehmen. Das arithmetische Mittel der Probanden soll in jeder Gruppe gleich sein. Auch soll ein Arbeiter nicht an zwei Studien teilnehmen, da das die Ergebnisse ebenfalls beeinflusst. Aufgrund der Vergleichbarkeit der Experimente wird auch der Experimentablauf nicht verändert.

3.1.2. Experimentablauf

Die Aufgabe für jeden Studienteilnehmer ist es, das Untergestell eines Autos aus Lego®-Steinen zu montieren. In mehreren Vorstudien wurde die Komplexität dieses Montagevorgangs als geeignet ermittelt. Das Auto an sich ist ein konkreter Gegenstand, der zum Einen vielgestaltig sein kann, zum Anderen aber auch so bekannt ist, dass er keiner Erklärung bedarf. Eine Vorstudie mit einer Asymmetrischen Brücke und einem Auto zeigte, dass sich die Teilnehmer mit dem Auto wesentlich leichter taten, obwohl es von der Komplexität her schwieriger war. Das komplette Automodell besteht aus 15 Teilen. Eine weitere Vorstudie ergab, dass dieser Montagevorgang zu umfangreich ist. Ein Montagevorgang ist üblicherweise nicht so komplex, falls doch, wird er in mehrere aufgeteilt. Deswegen haben wir uns für die Auswahl des Experiments auf den Unterbau des Fahrzeugs beschränkt. Dieser besteht aus 9 Teilen, die in 8 Arbeitsschritten montiert werden. Die Anleitung dazu wird vom System angezeigt. Der Studienteilnehmer muss zuerst die richtigen Teile entnehmen und nach Vorgabe der Anleitung montieren. Danach muss er oder sie durch Sichtkontrolle das Ergebnis des Montageschrittes auf Korrektheit prüfen und mittels Schaltfläche bestätigen. Danach zeigt das Anleitungssystem die nächsten Arbeitsanweisungen an. Nach Vollendung des letzten Arbeitsschrittes beginnt der Montagezyklus erneut. Nach acht vollendeten Fahrzeugen, spätestens jedoch nach 60 Minuten wird das Experiment abgeschlossen. Die Fahrzeuge werden dann auf ihre Richtigkeit überprüft. Das Fahrzeug enthält Asymmetrien, die beim Zusammenbau beachtet werden müssen. Wird die Montagereihenfolge nicht beachtet, oder das System nicht weitergeschalten, werden Zugriffe in die richtige Box als falsch gewertet. Deswegen wird jeder Studienteilnehmer wiederholt darauf aufmerksam gemacht, dass das System weitergeschalten werden muss.

Jeder Studienteilnehmer beantwortet vor und nach dem Experiment einige Fragen um das

subjektive Empfinden bei der Arbeit mit dem Assistenzsystem zu erfassen. Es werden auch der Gemütszustand und die Berufserfahrung, sowie die Erfahrung im Umgang mit einem Computer erhoben. Diese Angaben ermöglichen es, Korrelationen zu finden, bzw. eventuell falsche Korrelationen als Einzelphänomene zu entlarven und auf ihre mögliche Ursache zurückzuführen.

3.1.3. Erfassbare Messgrößen

ASED ist in der Lage zu jedem Arbeitsschritt beliebig viele Messungen durchzuführen. Im Wesentlichen sind dies Zeitmessungen. Beim Auslösen eines Ereignisses schreibt das Programm einen Eintrag mit der exakten Systemzeit und dem aktuellen Frame in der Videoaufzeichnung. Wird ein neuer Arbeitsschritt geladen, so speichert das Programm die verstrichene Zeit während des Arbeitsschrittes. Systemereignisse wie der Start, das Pausieren und Wiederaufnehmen eines Experiments werden ebenfalls in die Protokolldatei geschrieben. Weitere Messgrößen wie Reihenfolge, Präzision des Greifens, Unsicherheiten bei der Entnahme, Zeit für Montage und Kontrolle lassen sich aus den gespeicherten Daten auslesen. Dazu muss allerdings das Experiment entsprechend gestaltet sein. Um Beispielsweise Unsicherheiten bei der Entnahme herauszufinden müssten zwei Bereiche definiert werden, die den Entnahmeboxen vorgelagert sind. Lösen diese Bereiche mehrfach aus, kann man anhand der Häufigkeit der Ereignisse und der Zeiten eine Unsicherheit messbar machen. Für eine Unsicherheit allerdings ein repräsentatives Maß zu finden, hängt stark von Erfahrungswerten ab. Ebenso wie das Setzen dieser vorgelagerten Bereiche. Bei zu starken Abweichungen der Zahlen kann auch das Video an der vermerkten Stelle hinzugezogen werden. Alle Daten werden bei Experimentende im XML Format gespeichert.

3.1.4. Geplante Experimente

Im Rahmen von ASLM sind folgende Experimente geplant:

- Experiment zum Erfassen des Stands der Technik
- Experiment unter Verwendung von in-situ Projektion
- Experiment unter Verwendung einer Gamification Komponente
- Experiment unter Verwendung von aktiver Assistenz

Diese sollen mit ASED durchgeführt werden. Jedes Experiment umfasst 20 Teilnehmer. Für die Auswahl der Komplexität des Experimentaufbaus und der Auswahl der Versuchsteilnehmer, sowie einer geeigneten Kontrollgruppe wurden diverse Vorstudien durchgeführt. Dabei hat sich gezeigt, dass die Komplexität des Experiments von Leistungsgeminderten

3. Konzept für eine Experimentierplattform für die manuelle Montage

mit einer Lohnbewertungszahl von mindestens 75 bewältigt werden können. Bei niedrigeren Lohnbewertungszahlen zeigte sich, dass die Aufgabenstellung nicht verstanden wurde, bzw. die haptischen Fähigkeiten für den Umgang mit kleinteiligen Lego®-Steinen nicht gegeben waren. Eine zu geringe Komplexität wies der Experimentaufbau bei Teilnehmern mit einer Lohnbewertungszahl größer 120 auf. Dort war es teilweise so, dass die Teilnehmer nach 2 Durchläufen das Auto montieren konnten, ohne auf die Anleitung zu schauen.

Stand der Technik

Das Experiment zum Stand der Technik dient uns als Ausgangspunkt für alle weiteren Experimente. Es verwendet Instruktionen auf einem Monitor, ein Pick-by-Light System wie es an Montagearbeitsplätzen üblich ist und es verlangt eine Sichtkontrolle (in-Ordnung Schalter), nach deren Bestätigung der nächste Arbeitsschritt folgt. Auf diesem Experiment fußen alle vermeintlichen Verbesserungen, die wir für ein „Traum-Assistenzsystem“ testen wollen. Alle weiteren Experimente verändern dieses Experiment nur in einem Punkt, so dass signifikante Messwertsänderungen direkt auf die Veränderung zurückzuführen sind. Dieses Experiment wurde bereits vom 27.-29. August 2012 in den Beschützenden Werkstätten in Heilbronn Böckingen durchgeführt. Dabei kam ASED bereits zum Einsatz.

In-situ-Projektion

Das Experiment zur in-situ Projektion erweitert den Stand der Technik dadurch, dass das Anleitungssystem in geeigneter Weise direkt auf die Arbeitsfläche projiziert wird. Dies ermöglicht es dem Arbeiter, die Anleitung immer im Blickfeld zu haben, wohingegen nach einiger Montagezeit der Blick auf den Anleitungsmonitor meist vernachlässigt wird. Wir erhoffen uns durch die höhere Präsenz der Anleitung eine geringere Fehlerquote. Ein weiterer Vorteil von in-situ Projektion könnte eine verbesserte Sichtkontrolle sein. Wenn das in Originalgröße auf den Tisch projizierte Teil deckungsgleich mit dem montierten Teil ist, fällt ein Vergleichen von komplexen 3-dimensionalen Gegenständen vermutlich leichter.

Gamification

Gamification ist ein immer wichtiger werdendes Thema: Warum soll arbeiten keinen Spass machen? Wie könnte Arbeit mehr Spass machen? Ist es Effektiv im Sinne von Produktionskriterien und Mitarbeiterzufriedenheit, Arbeitsleistungen zur Steuerung eines Spiels einzusetzen? Hilft ein Spiel dem Arbeiter, sich ganz in die Arbeit zu vertiefen, oder lenkt das Spiel den Arbeiter eher von der eigentlichen Aufgabe ab, oder überfordert ihn gar?

Auf diese Fragen soll das Experiment zur Gamification Antworten liefern. Für dieses Experiment verbinden wir Arbeitserfolge wie den Griff in das richtige Entnahmegeräß und die Bestätigung des Arbeitsschrittes mit einem Spielerfolg. Dieses Spiel wird als externes Programm von ASED aus gestartet und erhält den jeweiligen Erfüllungsgrad als Datagramm mitgeteilt. Hierbei handelt es sich um ein an Tetris¹ angelehntes Spiel. Die Komplexität des herabfallenden Bausteins spiegelt die Komplexität des einzelnen Arbeitsschrittes wieder. Eine Drehung bzw. Translation bezüglich der Horizontalen ist allerdings nicht nötig, denn die Steine fallen bereits in die korrekte Position. Die Fallgeschwindigkeit des Steins sowie seine Farbe kennzeichnen die Geschwindigkeit des Montageprozesses. Die eigene Bestzeit wird als Schattenstein angezeigt.

Wie bei Tetris wird jede komplette horizontale Reihe weggesprengt. Dafür wird die Durchschnittsgeschwindigkeit der Steine, die eine Reihe bilden, als Maß für die Stärke des visuellen Effekts genommen: Eine gute Montagezeit wird durch tolle Effekte belohnt (versteinern und wegsprenzen der Reihe) wohingegen bei einer schlechten Zeit ein lahmer Effekt (Luft aus der Reihe lassen und in sich zusammensinken) gezeigt wird.

Es bleibt abzuwarten, ob die kognitive Belastung bei einem solchen Spiel nicht zu hoch ist, oder ob diese Art von Ansporn die Konzentration stärkt und die Produktivität steigert.

Aktive Assistenz

Die Mitarbeiter in den beschützenden Werkstätten sind es gewohnt, bei der Arbeit beobachtet und korrigiert zu werden, wenn sie einen Fehler machen. Dafür sind die Meister und Werkstattleiter zuständig. Die Anforderungen an die Betreuer sind dabei so vielfältig wie die Mitarbeiter selbst. Beim Einen ist das Erlernen eines Montageprozesses sehr schwierig, ein Anderer hat nur eine sehr kurze Konzentrationsspanne und montiert dann irgendwann nach seinem eigenen Bauplan. Da eine eins zu eins Betreuung keinen Sinn macht und auch nicht wirtschaftlich wäre, werden die Aufgaben in den beschützenden Werkstätten so stark zergliedert, dass weniger Betreuung notwendig ist. Dadurch arbeiten aber auch viele Mitarbeiter unter dem Potential, dass sie hätten, wenn sie umfassend unterstützt würden. Ziel dieses Experiments ist es, zu messen, wie sich durch ein frühzeitiges Assistieren Fehler vermeiden lassen und Prozesszeiten verbessert werden können. Das System soll in diesem Fall direkt bei der Entnahme und der Montage einschreiten, und eine Anweisung oder einen Hinweis geben, der dem Mitarbeiter seinen Fehler aufzeigt oder ihn erkennen lässt. Leider stößt hier das System an seine Leistungsgrenzen. Es ist zwar möglich eine Bewegung zu erfassen, und zu sehen, ob diese Bewegung in einem Korridor verläuft, der dem des Greifens und Montierens entspricht, allerdings ist eine Kleinteilige Betrachtung der Baugruppe

¹Tetris - Spiel von Alexey Pajitnov

3. Konzept für eine Experimentierplattform für die manuelle Montage

aufgrund der geringen Auflösung nicht möglich. Auch ist für dieses Experiment nicht klar, wie eine gute Assistenz denn aussieht. In der Werkstatt kann der Meister den Montageschritt vormachen, bzw. er kennt die verschiedenen Methoden, mit denen er jeden seiner Mitarbeiter individuell schulen kann. Die Versuche, bei der Bedienung des Systems beim Experiment zum Stand der Technik zu assistieren, haben gezeigt, wie unterschiedlich eine Anweisung aufgenommen werden kann. Hier sehe ich durchaus noch weiteren Forschungsbedarf: Welches Medium (Sprache, Bild) und welche Anweisungen (DIREKTIONEN, Hinweise, Anzeige von Zahlen und Pfeilen, etc...) helfen bei welchen Beeinträchtigungen wie gut. Welche Interaktions-Elemente eignen sich besonders gut im Umgang mit Leistungsgeminderten?

3.2. Experiment-Tisch

In diesem Kapitel werden die aus dem Stand der Technik und den Vorgaben des Experiments abgeleiteten Anforderungen an den Experiment-Tisch beschrieben. Es zeigt, wie diese Anforderungen umgesetzt wurden.

3.2.1. Anforderungen

Diese Anforderungen leiten sich aus den Vorgaben des Experiments ab. Wo es geht wird dabei versucht, den Stand der Technik abzubilden, ohne die Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu gefährden.

Mobilität

Das Experiment muss an verschiedenen Orten durchgeführt werden. Um nicht konstant einen großen Aufwand personeller und logistischer Art zu betreiben, wenn das Experiment den Ort wechselt, ist eine Zerlegbarkeit des Tisches in handliche Baugruppen gefordert. Die einzelnen Baugruppen sollen auch in einem PKW mit entsprechendem Kofferraum Platz finden. Ebenso sollen die empfindlichen Komponenten möglichst stoß-geschützt sein, so dass ein zusätzliches Verpacken nicht nötig ist.

Da zur Durchführung des Experiments auch die personellen Ressourcen klein gehalten werden sollen, dürfen die einzelnen Baugruppen auch nicht zu schwer sein, so dass sie von höchstens 2 Personen aufgebaut und transportiert werden können. Zu guter Letzt muss der Aufwand für den Auf- und Abbau sich in Grenzen bewegen, die zeitlich vertretbar sind. Angedacht sind hier Zeiten kleiner 30 Minuten.

Flexibilität

Da die Experimente hauptsächlich im Kontext von Menschen mit einer körperlichen oder geistigen Behinderung durchgeführt werden sollen, muss der Arbeitstisch eine gewisse Flexibilität im Bezug auf die Höhe der Arbeitsplatte haben. Die Studienteilnehmer sollen zwar nach Möglichkeit im Stehen arbeiten, wenn dies aber aus gesundheitlichen Gründen nicht möglich ist, der soll sich auch setzen können, bzw. mit dem Rollstuhl an den Tisch fahren können. Ebenso soll aus ergonomischen Gründen die Tischplatte auf eine angenehme Arbeitshöhe eingestellt werden können.

Abbildung Stand der Technik

Ein wichtiger Punkt ist die Abbildung des Stands der Technik in einer Minimalkonfiguration. Das Experiment erfordert den Einsatz von 6 KLTs, eines haptischen Monitors auf dem Anweisungen erfolgen, und der typischerweise auf der Seite montiert ist. Die KLTs befinden sich, leicht schräg nach vorn geneigt direkt vor dem Werker. Die Arbeitsfläche soll der eines typischen Arbeitstisches entsprechen. Auf Elemente eines Arbeitstisches, die nicht von Bedeutung für die Interaktion mit dem Werker sind, soll bewusst verzichtet werden. So werden KLTs fix befestigt. KLT Nach- und Rückführungen werden nicht verbaut.

Zum Stand der Technik gehört ebenso „Pick-by-Light“. Dies soll in unserem Experiment-Aufbau durch einen Projektor simuliert werden. Dieser bildet zusammen mit der „Microsoft Kinect for XBOX“ das Projektor-Kamera-System. Das Projektor-Kamera-System soll in einem starren Verbund aus Profilrohr befestigt sein, so dass es für den Transport geschützt ist und der Abstand zwischen Kamera und Projektor konstant bleibt.

Das Projektor-Kamera-System soll mittels eines Galgen über dem Tisch befestigt werden.

Anforderungen für die Vergleichbarkeit der Experimente

Einige wichtige Überlegungen resultieren daraus, die Experimente vergleichbar zu halten, und Störfaktoren soweit möglich zu eliminieren. Als mögliche Störfaktoren kommen äußere Einflüsse, wie unterschiedliche Lichtverhältnisse in den Sinn. Da wir mit einem optischen Bewegungserkennungssystem arbeiten, sind optische Einflüsse natürlich besonders zu beachten. Auf den Einsatz einer Lampe wurde aus mehreren Gründen trotzdem verzichtet. Zum Einen aus Gewichts- und Transportgründen, zum Anderen weil der lichtstarke Projektor ebenso mittels Software eine gleichmäßige Hintergrundbeleuchtung auf der Arbeitsfläche bewirken kann.

Um die Vergleichbarkeit zu gewährleisten ist die Anordnung der KLTs für den Experiment-Aufbau zwar flexibel in der Durchführung aber fix. Ebenso ist der Monitor, der sich an einem

3. Konzept für eine Experimentierplattform für die manuelle Montage

Schwenkarm befindet für den Experiment-Aufbau einstellbar, im Experiment aber immer an der gleichen Stelle um den Blickwinkel des Workers konstant zu halten.

3.2.2. Umsetzung

Der Tisch wurde von mir in Google Sketchup entworfen und dann von Herrn Bernhard Bader von der Firma Schnaithmann Maschinenbau GmbH konstruiert und zur Fertigung gebracht. Der Tisch lässt sich zu Zweit in ca. 10 Minuten zerlegen und passt in den Kofferraum eines Kombis. (bei umgeklappten Rücksitzen). Projektor und Kinect sind in einem Rahmen aus Alu-Profils Stoßsicher untergebracht. Der Projektor wird auf eine Aluminiumkonsole aufgeschraubt. Sollte also einmal ein anderer Projektor nötig sein, muss nur die Konsole ausgetauscht werden. Der Neigungswinkel des Projektors ist frei einstellbar. Projektor und Kinect haben die gleiche Ausrichtung (Unterseite zeigt zur Tischfront), so dass Projektor und Kamerabild korrespondieren. Die Kinect ist mit einem handelsüblichen Wandhalter am Alu-Profil befestigt.

Das Projektor-Kamera-System hängt mit zwei Schrauben an einem 1,4 m hohen Galgen. Dadurch ergibt sich für die Kinect ein Abstand von ca 105 cm zur Tischplatte. Der Projektionswinkel des Projektors reicht aus, um den vorderen Bereich der Tischplatte zu beleuchten. Der Galgen ist am hinteren Ende des Tisches ebenfalls auf einem Profil verschraubt und mit einem Winkel gesichert. Dieses Profil ist fest mit der Tischplatte verschraubt. An diesem Profil befindet sich auch der Schwenkarm, der den Touchmonitor trägt.

Die Füße sind mit je 2 Schrauben abnehmbar. Jeder Fuß ist durch ein 5 cm Raster höhenverstellbar. Eine eingerastete Position wird zusätzlich durch eine Schraube gesichert. Am unteren Ende der Füße befinden sich Rollen mit Bremsen für den unkomplizierten Transport im Raum. Die Halterung für die KLTs befindet sich in der Mitte des Tisches und hängt ebenfalls an einem von hinten vorlaufenden Profil. Bei der Halterung handelt es sich um eine schmale Aluminiumplatte, deren Dicke genau der hinteren Nut eines KLTs entspricht. Der Winkel ist einstellbar, so dass man die Neigung der KLTs bestimmen kann.

3.2.3. Probleme bei der Umsetzung

Projektor

Die Auswahl des passenden Projektors für den Experimenttisch war eine große Herausforderung: Auf eine Distanz von ca. 1,10 m sollte eine Bildgröße von 1,10 m mal 0,80 m projiziert werden. Nach langer Suche zeigte sich, dass ein ShortThrow Projektor aus dem Bestand der Universität diese Anforderungen erfüllte. Im ersten Praxistest am fertigen Tisch allerdings zeigte sich, dass der Projektor nicht zentral projiziert, sondern schräg nach oben. Betrachtet

man den eigentlichen Verwendungszweck ist dies auch wirklich sinnvoll, da man bei einer Projektion auf kurze Distanz mittels Zentralprojektion den Projektor mitten im Bild hätte. Nach einer Umkonstruktion der Aufhängung ist der Projektor nun ca. 40° nach vorn gekippt. Da nun die Projektionsfläche nicht mehr parallel zum Projektor ist, mussten starke Trapeze ausgeglichen werden. Die im Projektor vorhandene Trapezkorrektur war leider an ihrem Ende angelangt, bevor das Bild vollständig entzerrt war.

Die softwareseitige Korrektur brachte den Einsatz von OpenCV und JavaCV mit sich.

Mehrere Monitore

ASED ist auf den simultanen Betrieb von 3 Monitoren angewiesen: Ein Monitor zur Steuerung des Programms, einen für Instruktionen und einen dritten für den Projektor. Leider gibt es nur sehr wenige Geräte, die nativ den Anschluss von drei Monitoren unterstützen. Um die Monitore mit genug Bandbreite zu bedienen, fiel die Wahl auf einen USB 3.0 Dual Monitor Adapter von Targus. Dieses Gerät ist leider in Deutschland nicht erhältlich und musste aus den USA bezogen werden. Die Einbindung dieses Geräts funktionierte dagegen problemlos.

3.3. Software ASED

ASED steht für Assistive Systems Experiment Designer. Diese Software wurde speziell nach den Anforderungen die sich aus den Experimenten ableiten, erstellt. Sie vereint einen Design- und einen Wiedergabemodus. Abbildung 3.2 zeigt einen ersten Architekturentwurf von ASED.

3.3.1. Wiedergabemodus - ASE Runner

Im Wiedergabemodus können gespeicherte Experimente durchgeführt werden. Dabei werden die Zeiten und ein Video des Durchlaufs aufgezeichnet.

Der Experimentator hat eine augmentierte Kameraansicht auf dem Bildschirm, auf der er genau verfolgen kann, wann der Experimentteilnehmer ein Ereignis auslöst, indem er eine Triggerbox berührt. In einer Konsole bekommt der Experimentator laufend Meldungen über die ausgelösten Ereignisse. Das Wiedergabefenster enthält auch Elemente zur Flusssteuerung des Experiments.

Dem eigentlichen Wiedergabemodus vorgestellt ist ein Konfigurationsfenster, das die Einrichtung der Monitore, der Experimentdatei sowie des Zielverzeichnisses ermöglicht. Im Zielverzeichnis werden für jeden Studienteilnehmer die LOG-Datei und der Videomitschnitt

3. Konzept für eine Experimentierplattform für die manuelle Montage

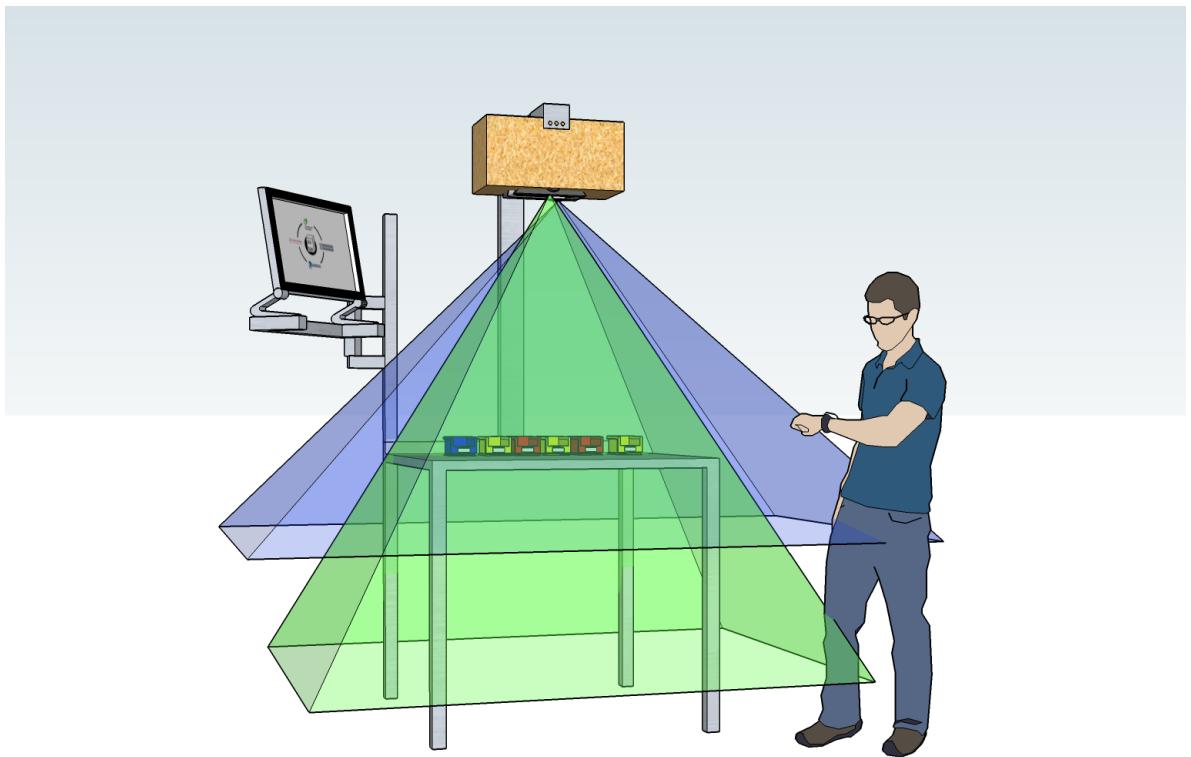


Abbildung 3.1.: Experiment-Tisch

im Mpeg-4 Format gespeichert. Die Experimentdatei ist eine Datei mit serialisierten Java Objekten. Sie hat die Erweiterung .ase (ASed Experiment). Diese Datei muss mit dem Designmodus erstellt und bearbeitet werden.

Der Bildschirm zur Ausgabe von Instruktionen und der Projektor lassen sich ebenso im Konfigurationsfenster einstellen. Hierzu wurde eine „Identifizieren“ Funktion gebaut, die der moderner Betriebssysteme ähnelt. Zusätzlich gibt es noch die Möglichkeit, jedes einzelne Display kurz zu testen. Dabei blinkt das Display für eine halbe Sekunde weiß. Auch lässt sich der Projektor in diesem Modus kalibrieren. Die Projektorkalibrierung wird ausführlich in Abschnitt 4.4.2 beschrieben. Abbildungen 3.3 und 3.5 zeigen die Papierprototypen zu ASERunner und dem Konfigurator.

3.3.2. Designmodus - ASE Designer

Der Designmodus bietet die Möglichkeit ein neues Experiment zu entwerfen oder ein vorhandenes Experiment zu bearbeiten. Am linken Bildrand von ASEDesigner sieht man eine

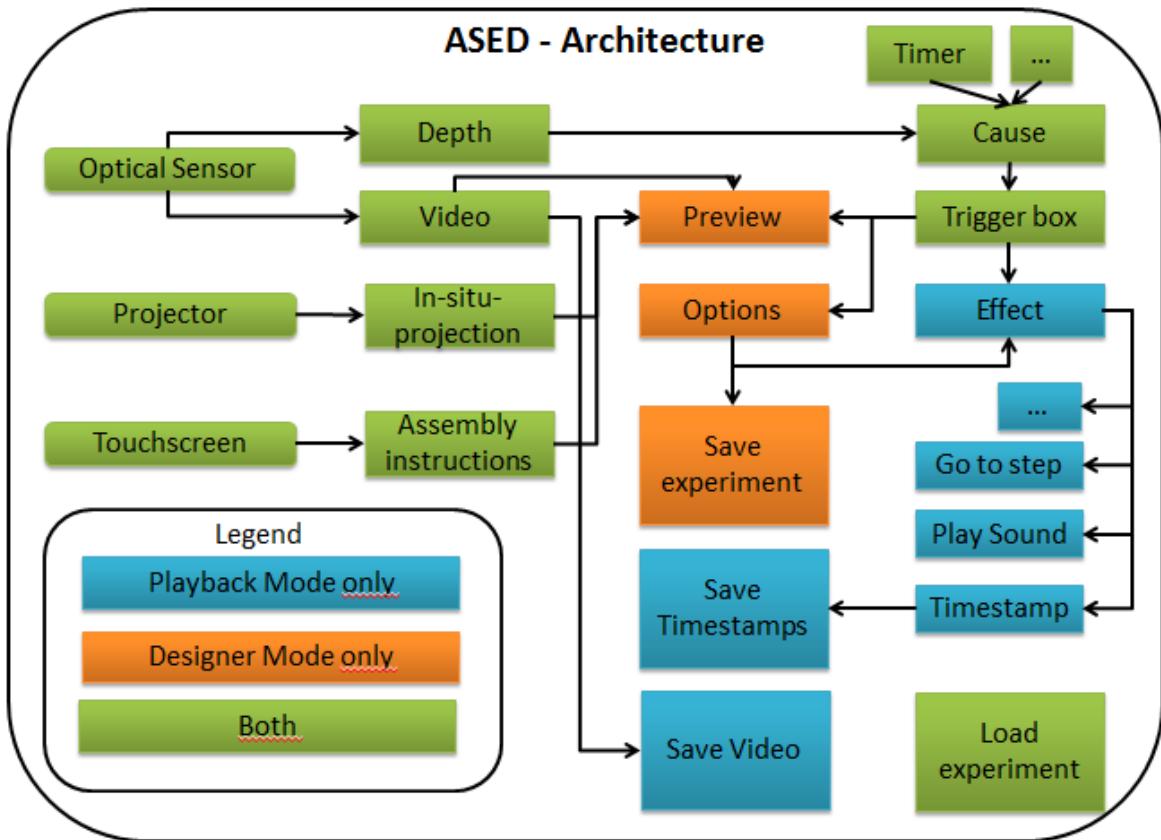


Abbildung 3.2.: Architekturentwurf von ASED

vertikale Toolbar. Diese enthält unterhalb der Funktionen „Neu“, „Öffnen“ und „Speichern“ Schaltflächen für alle Designerelemente.

Im Zentrum der Anwendung befinden sich 4 Vorschau-Fenster, die gleichzeitig die Arbeitsflächen für das Design sind. Oben links ist die augmentierte Kameraansicht, rechts daneben die Vorschau für den Projektor, darunter befindet sich die Vorschau für den Instruktionsmonitor auf dem die Anleitungen zu sehen sein sollen. In der linken unteren Ecke ist ein Bereich in dem kontextbezogene Einstellungen gesetzt werden können. Dies ist das OptionPanel. Am rechten Bildrand befindet sich die Arbeitsschritteverwaltung. Abbildung ?? zeigt den ASEDesigner in einer frühen Phase der Implementierung.

3.3.3. Algorithmus Triggerbox

Das gesamte System ASED baut sich um die Triggerbox herum auf. Hier soll nun ein Blick in die Triggerbox stattfinden: Bei der Definition einer Triggerbox werden ihr Mittelpunkt

3. Konzept für eine Experimentierplattform für die manuelle Montage

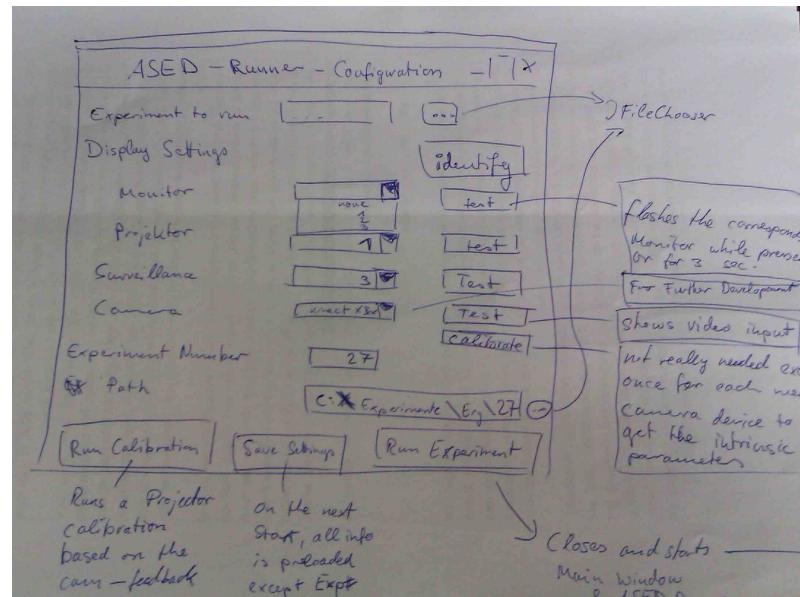


Abbildung 3.3.: Papier Prototyp des Konfigurators

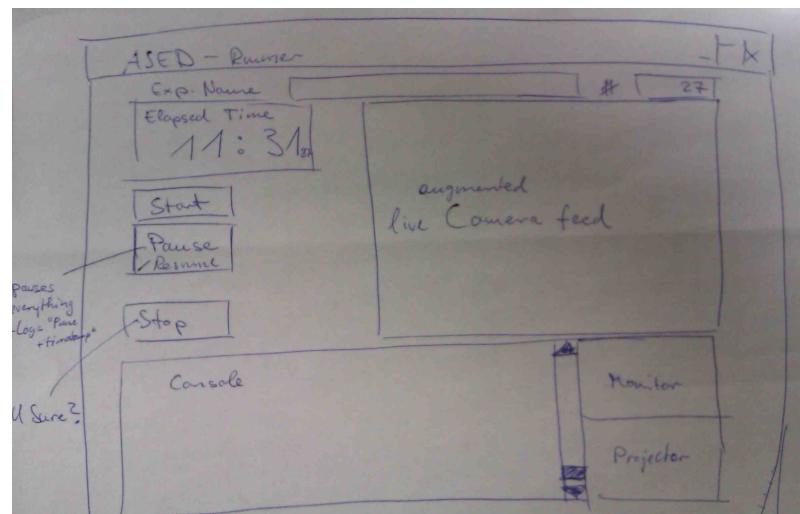


Abbildung 3.4.: Papier Prototyp von ASERunner

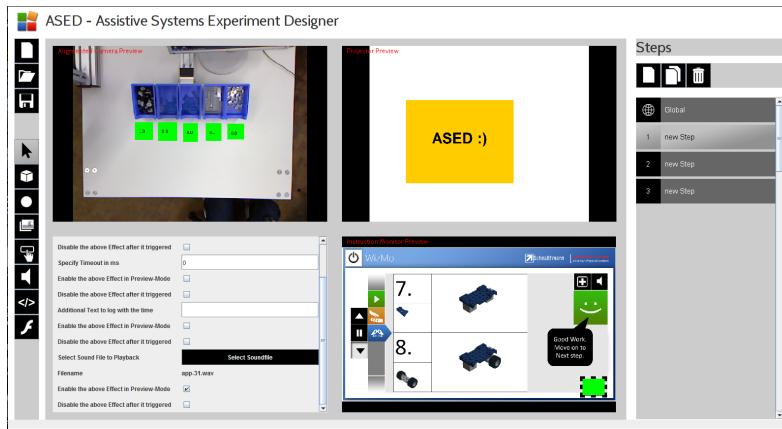


Abbildung 3.5.: Screenshot von ASEDesigner: Rechts die Arbeitsschritteverwaltung, Links die Menüleiste und in der Mitte die Vorschau monitore mit OptionPanel

und die Länge vom Mittelpunkt zu einer Ecke der Box berechnet. Diese Länge gilt später als Referenz. Je näher ein gefüllter Punkt dem Mittelpunkt der Box ist, desto größer ist sein Wert. Diese Werte werden aufaddiert und ergeben den Füllwert.

Da bei jeder x/y - Koordinate nur ein Z-Wert zur Verfügung steht, hat der mit dem niedrigsten Abstand zum Mittelpunkt den größten Wert. Daher ist die maximale Füllung einer Box eine Ebene parallel zur Z-Achse durch die Mitte der Box. An diesem Wert messen sich die Füllwerte der Box. So erhält man einen recht genauen Überdeckungswert in Prozent.

Die nachfolgenden Listings zeigen die einzelnen Berechnungsschritte:

3. Konzept für eine Experimentierplattform für die manuelle Montage

```
protected double computeValue(Point3d p){  
    double value = p.getDistance(centerPoint) / getLongestDistance() * 100.0;  
    return 100 - value;  
}  
  
private void computeMidPointAndDistance() {  
    Point3d p = new Point3d((getOffspring().x + getEndPoint().x) / 2,  
                           (getOffspring().y + getEndPoint().y) / 2, getDistance1() + getDistance2()  
                           / 2);  
    setCenterPoint(p);  
    setLongestDistance(p.getDistance(new Point3d(getOffspring().x,  
                                         getOffspring().y, getDistance1())));  
    if (getOuterRect() != null){  
        setLongestDistance2D(Math.sqrt((Math.pow(getOuterRect().getWidth() , 2)  
                                         + Math.pow(getOuterRect().getHeight() , 2))));  
    }  
    else {  
        setLongestDistance2D(getLongestDistance());  
    }  
}
```

Listing 3.1: Die Berechnung der Diagonalen und des Mittelpunkts

```
protected double checkTrigger() {  
    double z\_sum = 0;  
    if (getOffspring() != null && getEndPoint() != null){  
        for (int i = getOffspring().x; i < getEndPoint().x; i++) {  
            for (int j = getOffspring().y; j < getEndPoint().y; j++) {  
                int dist =  
                    VideoFrameGrabber.getInstance().getDepthValue(i, j);  
                if ( dist > getDistance1() && dist < getDistance2()){  
                    z\_sum = z\_sum + computeValue(new  
                        Point3d(i,j,dist));  
                }  
            }  
        }  
        return z\_sum;  
    }  
}
```

Listing 3.2: Aufruf von checkTrigger erfolgt bei jedem Bildaufbau

```
public boolean triggerFires(){
    double d = z\_sum / (z\_ref\_voll - z\_ref\_leer);
    return (d > (getThreshold() / 100.0));
}
```

Listing 3.3: Die Überprüfung von z_sum erfolgt in triggerFires()

4. Implementierung

4.1. Anforderungsanalyse

4.1.1. Anforderungen

Aus der Aufgabenstellung für diese Studienarbeit lassen sich folgende Anforderungen ableiten, die ASED erfüllen muss:

- User Interface Design-Modus
- Definition von Arbeitsabläufen / Montageschritten bei der Montage:
- Definition von Triggerboxen: 2D-Darstellung im Bild (x,y) Höheninformation über Textfeld (zmin, zmax); Visualisierung in Isometrie mit cm-Grid
- Definition der Montageschritte mit Zuordnung der jeweils anzuzeigenden Bilder, Triggerboxen und visuellen Markierungen
- Sicherung der Arbeitsabläufe in geeigneten Dateiformaten (z.B. XML)
- Durchführung Experiment
- Visuelle Markierung verschiedener Bereiche in der Projektion
- Anzeige von Bildbeschreibungen auf der Projektionsfläche oder auf einem angeschlossenen Monitor
- Analyse der Arbeitsabläufe einzelner Probanden:
- Speichern der Ein- und Austrittszeiten einer Hand in die Triggerboxen (ermöglicht das Messen der Verweildauer in der Box) je Versuchsperson
- Evtl. parallel dazu: Aufnahme des RGB-Video- und Audiostreams der Kamera
- Weiterschaltung der einzelnen Arbeitsschritte: manuell (Button) oder über Bewegungserkennung

Als weitere Anforderungen ergaben sich aus den Experimenten:

- Ansprechendes visuelles Design, ausführlich beschrieben in Abschnitt 4.5.

4. Implementierung

- Ansteuerung von externer Software für das Gamification-Experiment.
- Abspielen von Sounds bei Interaktion mit einer Triggerbox als akustisches Feedback.
- Intuitive Platzierung (Verschieben und Skalieren) von Designerelementen mittels Maus.
- Globaler Arbeitsschritt zur erleichterten Einrichtung von Triggerboxen in vielen Arbeitsschritten.
- Arbeitsschritt-Verwaltung zum einfachen Editieren von Arbeitsschritten.
- Vorschaumodus für Projektor und Instruktionsmonitor
- Projektorkalibrierung, ausführlich beschrieben in Abschnitt 4.4.2.
- Echtzeit-Anzeige über Zustand von Triggerboxen.
- Dreimonitorbetrieb.

4.1.2. Einschränkungen in der Realisierung

Einige dieser Anforderungen konnten nicht umgesetzt werden oder erwiesen sich im Test als nicht praktisch. Hier finden sich die Einschränkungen und Gründe dafür.

UI-Elemente und Isometrie

Auf die Isometrie im cm-Grid wurde verzichtet, da die Umrechnung von Bild- in Realkoordinaten nicht sehr genau ist. Das kann sowohl an schlecht reflektierenden Oberflächen liegen, als auch an einer unkalibrierten Kinect.

Die Darstellung der Z-Werte wurde hingegen statt mit 2 Textboxen mit einem RangeSlider (Abschnitt 4.4.3) realisiert. Dieses UI-Element ist intuitiver zu bedienen und bietet auch den Vorteil, keine Unterscheidung vornehmen zu müssen, welches der obere und welches der untere Z-Wert einer Triggerbox ist.

Audiostream bei Videoaufnahmen

OpenNI unterstützt das Mikrofonarray der Kinect noch nicht. Um das Mikrofon anzusprechen, muss in Java ein separater Treiber verwendet werden. Das war aus Zeitgründen nicht mehr möglich.

Andere Formen von Triggerboxen

In meinem ursprünglichen Entwurf waren 3 verschiedene Formen von Triggerboxen vorgesehen: „CubeTrigger“ für Eckige Triggerboxen, „SphereTrigger“ für Kugelförmige und ein „FreeFormTrigger“ der einen Polygonzug als zu überwachenden Bereich definiert. Praktische Tests ergaben, dass die letzteren beiden keinen wirklichen Vorteil gegenüber „CubeTrigger“ bedeuten. Daraufhin wurde die Entwicklung von „SphereTrigger“ und „FreeFormTrigger“ eingestellt.

Speicherformat

XML erwies sich zum Speichern eines Experiments als ungeeignet. Um die Datei aus XML-Daten wiederherzustellen, müssen detaillierte Informationen über jedes Member jeder zu speichernden Klasse angelegt werden. Da Objekte oft auch Referenzen auf andere Objekte beinhalten, muss jedes Objekt mit einer eindeutigen Id abgespeichert werden. Nicht zuletzt muss jede Instanz einer Klasse gespeichert werden.

Das macht die Vorteile, die XML gegenüber einer Serialisierung der Objekte bietet schon wieder wett, denn selbst eine strukturierte Datei ist so nicht mehr gut lesbar, geschweige denn editierbar. Serialisierung bietet den Vorteil, dass alle Objekte vom System geschrieben und gelesen werden. Der Implementierungsaufwand für die Serialisierung betrug nur einen Bruchteil dessen, was für die XML-Speicherung notwendig gewesen wäre.

Externe Komponente

Nach der ursprünglichen Recherche war das Paket „DJNativeSwing“ klarer Favorit für die Einbindung einer Flash-Komponente für die Gamification. Im Zuge erster Tests mit ASED und einer eigenen externen Flash Komponente zeigte sich aber, dass die Kommunikation über die „DJNativeSwing“-Klasse mit der eingebetteten Flash Anwendung nicht wie gewünscht funktionierte. Daraufhin wurde die Kommunikation auf Datagramm-Pakete umgestellt. Die Flashkomponente wurde dann anstelle von AS3¹ mit Flex® als Adobe Air® Anwendung implementiert. Somit ist die Verwendung von „DJNativeSwing“ nun eigentlich überflüssig, da die AIR-Anwendung als *.exe Datei gestartet werden kann. Da sich „DJNativeSwing“ recht tief in der Java Virtual Machine verankert, waren mit seinem Einsatz sowohl Performanceeinbußen als auch Stabilitätsprobleme verbunden. Kurz vor Ende der Implementierungsphase wurde dieses Paket wieder entfernt.

¹Adobe : „ActionScript Technology Center“ <<http://www.adobe.com/devnet/actionscript.html>> [Stand: 19. September 2012]

4. Implementierung

Leider ging damit auch die Möglichkeit, Webseiten einzublenden, verloren. Da viele Anleitungssysteme bereits als HTML Dokumente vorhanden sind, war es mir wichtig, auch dieses Format zu unterstützen. Allerdings ist dies kein Punkt, an dem das System tatsächlich etwas von seiner Einsatzfähigkeit einbüßt, da die Inhalte, die der HTML Anleitung zugrunde liegen, direkt als Bild eingefügt werden können.

Videokomponente

Ursprünglich war das Paket „MonteMedia“ zur Aufzeichnung der Videodaten gedacht. Nach einem kurzen Test schien auch alles gut zu funktionieren. Bei genauerer Betrachtung zeigte sich aber, dass meine mit „MonteMedia“ aufgezeichneten Videos nicht der Realzeit entsprachen. Deswegen wurde das besser dokumentierte Paket „Zuggler“ eingebunden. Nähere Details finden sich in Abschnitt 4.4.3.

4.2. Verwendete Hardware

Kamerasystem

Wie schon erwähnt kommt in diesem System eine Kinect für XBox zum Einsatz. Diese ist an einem Kinect Wandhalter in einem starren Verbund in einem Gehäuse aus Profilrohr mit dem Projektor angebracht.

Projektor

Der Projektor ist ein ShortThrow Projektor des Herstellers Optoma². Der Optoma EW610ST entspricht allen Anforderungen. Durch die ShortThrow Technologie kann er schon auf 1 m Distanz eine Bilddiagonale von 228 cm erzeugen. Leider projiziert der Optoma EW610ST schräg nach oben, was eine Trapezkorrektur nötig macht. Abbildung 4.1 zeigt den Projektor. Die 3D-Features des Beamers bleiben in ASED ungenutzt. Ursprünglich wurde auch der Einsatz eines pico-Projektors in Erwägung gezogen. Dieser erwies sich aber als zu lichtschwach.

²Optoma : „Optoma DLP Projektor EW610ST“

<<http://www.optoma.de/projectordetails.aspx?ShowMenu=B&PTypedb=Business&PC=EW610ST>> [Stand: 19. September 2012]



Abbildung 4.1.: Der Optoma EW610ST projiziert ein lichtstarkes Großes Bild schon auf kurze Entfernung

Instruktionsmonitor

Als Monitor für die Anweisungen und das manuelle Weiterschalten der Anwendung dient der Touchscreen AOC e2239Fwt.³ Für diesen Monitor spricht vor allem ein sehr gutes Preis-Leistungs-Verhältnis. Leider zeigte sich die Touchscreen-Komponente wenig kompatibel mit dem eingesetzten Lenovo Notebook. Bei allen anderen getesteten Geräten funktionierte der Monitor einwandfrei.

Dual Video Adapter

Da für das Projekt drei Monitore gleichzeitig angesteuert werden müssen, wurde in den USA der „Targus USB 3.0 Superspeed Dual Video Adapter“ bestellt. Dieser Adapter ist der einzige mit DisplayLink Chipsatz, der zwei Monitore über USB 3.0 ansteuern kann. Leider ist dieser Adapter in Europa nicht verfügbar.

Der Adapter unterstützt Auflösungen von bis zu 2048 x 1152 Pixel. Er steuerte problemlos zwei Monitore an, so dass im Test sogar ein simultaner 4-Monitorbetrieb möglich war.

³AOC Monitors(17.05.2010) : „AOC Press Release“
<http://www.aoc-europe.com/uploads/media/2010-05-17_e2239Fwt_Press_Release_English.pdf> [Stand: 19. September 2012]

4. Implementierung

Laptop

Als Plattform diente ein Laptop von Lenovo. Das Lenovo ThinkPad W520 ist mit 8 GB RAM und einem „Intel®Core i7 Quad Core Extreme“ mehr als ausreichend ausgerüstet. Das hochauflösende Display des ThinkPad dient als Überwachungsmonitor.

4.3. Systemarchitektur

Dieser Abschnitt beschreibt die Architektur von ASED.

4.3.1. ASED im Detail

Alle Experimente in ASED basieren auf einzelnen Arbeitsschritten. Für jeden Arbeitsschritt lassen sich Designelemente hinzufügen. Das Konzept der einzelnen Arbeitsschritte bildet sehr gut den Montageprozess ab. Man kann sich die Arbeitsschritte auch wie Folien in einer Präsentation vorstellen.

Die Arbeitsschritterverwaltung ermöglicht es, Arbeitsschritte zu selektieren, zu klonen, neu zu erstellen und zu löschen. Eine Neuanordnung der Arbeitsschritte ist mittels Drag'n'Drop möglich. Wichtig zu beachten ist, dass es einen globalen Arbeitsschritt gibt. Diesem Arbeitsschritt hinzugefügte Elemente gelten für alle anderen Arbeitsschritte. Einige Optionen können und müssen jedoch lokal gesetzt werden. Der globale Arbeitsschritt kann nicht umbenannt oder gelöscht werden. Im Wiedergabemodus kommt der globale Arbeitsschritt nur dann zum Einsatz, wenn kein anderer Arbeitsschritt angelegt wurde.

Es gibt aktive und passive Designelemente: passive Elemente zeigen eine Grafik an oder spielen ein Soundfile ab. Aktive Elemente reagieren auf Benutzerinteraktion. Alle Designelemente werden per Mausklick auf die entsprechende Schaltfläche in der Toolbar links aktiviert. Ein Doppelklick sorgt hierbei für eine Dauerselektion eines Werkzeugs. Ein Element wird nun durch 2 Klicks in einem der 3 Vorschaumonitore erzeugt und in einem Rahmen angezeigt. Dabei markieren die geklickten Positionen zwei diagonal gegenüberliegende Eckpunkte des Elements. Ein frisch erzeugtes Element wird sofort markiert und kann mit der Maus verschoben und in seiner Größe geändert werden. Das Optionsfenster zeigt die Eigenschaften dieses Elements an.

Manche Designelemente erwarten noch die Auswahl einer Datei. Dazu erscheint ein Öffnen-Dialogfenster. Erst nach erfolgreichem Öffnen der Datei ist das Designelement erstellt. Aktive Elemente haben wesentlich mehr Einstellungsmöglichkeiten: Unter anderem kann man ihnen Effekte hinterlegen. Ein Effekt tritt dann in Kraft, wenn eine Interaktion mit dem Element stattgefunden hat. Eine Interaktion ist beispielsweise die Hand des Probanden

in einem bestimmten Bereich. Hierzu definiert ein aktives Element einen Bereich, der überwacht wird. Wenn der Inhalt des Bereichs einen gewissen Schwellwert überschreitet, den man in den Optionen einstellen kann, meldet das Element eine Interaktion und stößt die mit ihm verbundenen Effekte an. Ein Effekt ist auch die Steuerung eines externen Programmes mittels Nachrichten über die UDP-Schnittstelle.

Die Vorschau kann im Selektionsmodus durch einen Doppelklick die volle Fenstergröße einnehmen. Ein weiterer Doppelklick zeigt wieder alle vier Vorschauen.

4.3.2. Klassenhierarchie

ASED besteht aus folgenden Paketen:

- DesignerElements
- Effects
- Panels
- Runner
- Designer
- Video
- Workingsteps
- Toolbar
- Utils

Das Paket DesignerElements (Abb.: 4.2) bildet sozusagen das Herzstück der Software. Alle Elemente, die im Designer gewählt und im Experiment platziert werden können, erben von `DesignerElement`. Dabei unterscheidet man noch zwischen interaktiven DesignerElements, die von `HitElement` erben und passiven Elementen, die von `MediaElement` erben. Jedes `HitElement` enthält eine Map mit Effekten, die als Schlüssel die ID eines Arbeitsschritts und als Wert eine `ArrayList` mit Elementen vom Typ `Effect` enthält. Das ermöglicht es, bei einem `HitElement` für jeden Arbeitsschritt eine Menge von Effekten zu definieren, die nur dann eintreten, wenn der entsprechende Arbeitsschritt aktiv ist. Von `HitElement` leiten sich die Klassen `TriggerBox` und `ButtonMedia` ab. `TriggerBox` wiederum ist die Superklasse für alle Elemente, die die Kinect als Auslöser benutzen. Je nach Körper des Elements erweitern `CubeTrigger` und `SphereTrigger` diese Klasse. `ButtonMedia` erzeugt ein rechteckiges Interaktionsfeld auf dem Instruktionsmonitor, das auf einen Klick reagiert. `ButtonMedia` ist so implementiert, dass es auf dem Instruktionsmonitor unsichtbar ist, während es im Vorschaumonitor sichtbar ist. Dies hat den Vorteil, dass es sauber platziert werden kann, und man aber jedes beliebige

4. Implementierung

Bild hinter die unsichtbare Schaltfläche legen kann. Das ist die Entsprechung der ebenso unsichtbaren 3D-Triggerbox auf den 2D-Monitor.

Die passiven Elemente wie Bilder, Klänge, HTML-Seiten und Flash-Anwendungen erben von MediaElement, das lediglich zur Unterscheidung eingeführt wurde. Alle DesignerElemente implementieren eine Methode `paintYourself(Graphics g)` die mit dem Graphics-Element eines Image-Objekts als Parameter aufgerufen wird. Dieses Image, das die Originalgröße des Instruktionsmonitors oder Projektors repräsentiert, kann dann gleichzeitig auf mehreren Ausgabegeräten (Vorschaufenster und Instruktionsmonitor / Projektor) angezeigt und unabhängig voneinander skaliert werden. Das wäre bei Kindklassen von JComponent nicht möglich, da eine JComponent nur in einem Container sichtbar gemacht werden kann. Somit war ein direktes Zeichnen der Elemente in den Graphics-Kontext des JPanels nicht möglich.

Eine Ausnahme hierzu bildet die Klasse `FlashMedia`, die ein Flash-File lädt und dieses aber nur auf dem Instruktions- Monitor anzeigt.

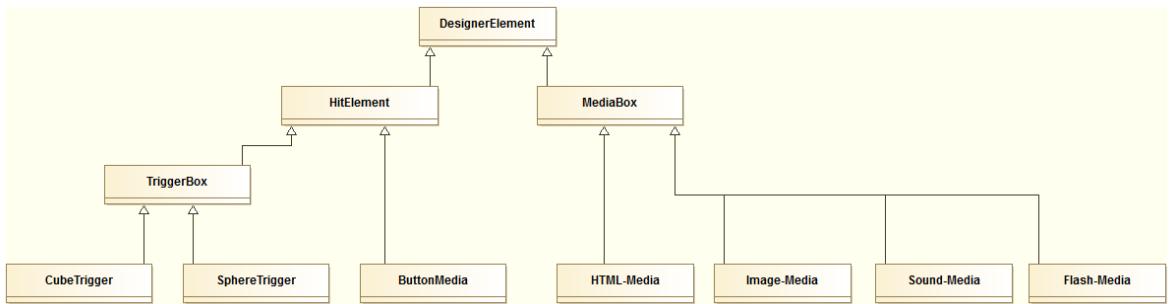


Abbildung 4.2.: Klassenhierarchie von DesignerElements

Der zweite integrale Bestandteil sind die Effekte, die alle im Package Effects untergebracht sind. Alle Effekte erben von Effect. Insbesondere implementieren Sie die Methoden `runEffect()` und `runEffectOnPreview()`. Um einen neuen Effekt zu kreieren reicht es, diese beiden Methoden zu implementieren, die Eingabeoptionen durch die Methode `addOptions()` festzulegen, und in der Klasse Effect der Methode `createEffects()` eine neue Instanz der neuen Effektklasse hinzuzufügen.

Die Effekte werden durch ein Entwurfsmuster gesteuert, das das Observer-Pattern der gestalt erweitert, dass das Observable ein Singleton-Objekt ist und eine `void update()` Methode bereitstellt, die im besten Fall nur ein `setChanged(true); notifyObservers(); setChanged(false);` enthält. Die Anmeldung im Observer erfolgt nun denkbar einfach über `Singleton.getInstance().addObserver(this);` Will irgendeine Komponente ein Update erzeugen muss sie nur die `update`-Funktion von `Singleton.getInstance()` aufrufen. Die Observer

werden dann wiederum über ihre `update()` Methoden benachrichtigt. Dieses Verhalten entspricht dem eines Melders, weswegen sich bei der Verwendung dieses Patterns immer ein `ClassName „Notifier“` im Namen findet. Ein Klassendiagramm findet sich in Abbildung 4.5.

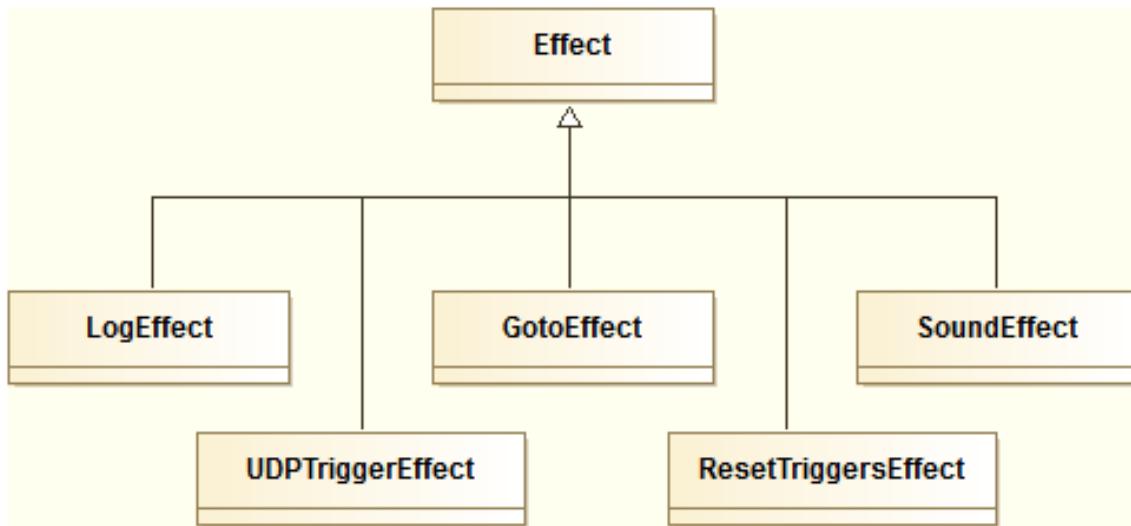


Abbildung 4.3.: Klassenhierarchie von Effects

ASERunner greift auf die gleichen Vorschau-Panels zurück, wie der Design-Modus. Die Zusammenhänge zwischen den Panels und den beiden Anwendungen MainGUI (Designer) und RunnerGUI geht aus Abbildung 4.4 hervor. Diese Abbildung zeigt ebenfalls, dass OptionPanel von Configurator verwendet wird. Das liegt darin begründet, dass OptionPanel die grafische Repräsentation aller Elemente übernimmt.

```

private void layoutPanel(ArrayList<Option> options) {
    allDummies.removeAll();
    for (int i = 0; i < options.size(); i++) {
        Option o = options.get(i);
        JPanel dummy = new JPanel();
        dummy.setLayout(new BoxLayout(dummy, BoxLayout.X_AXIS));

        JLabel dummyLabel = new JLabel(o.getName());
        dummyLabel.setSize(getWidth() / 2 - 10, 32);
        dummyLabel.setMaximumSize(dummyLabel.getSize());

        dummy.add(Box.createHorizontalStrut(10));
        dummy.add(dummyLabel);
        dummy.setSize(getWidth(), 32);
        dummy.setMaximumSize(dummy.getSize());
        switch (o.getInputType()) {
  
```

4. Implementierung

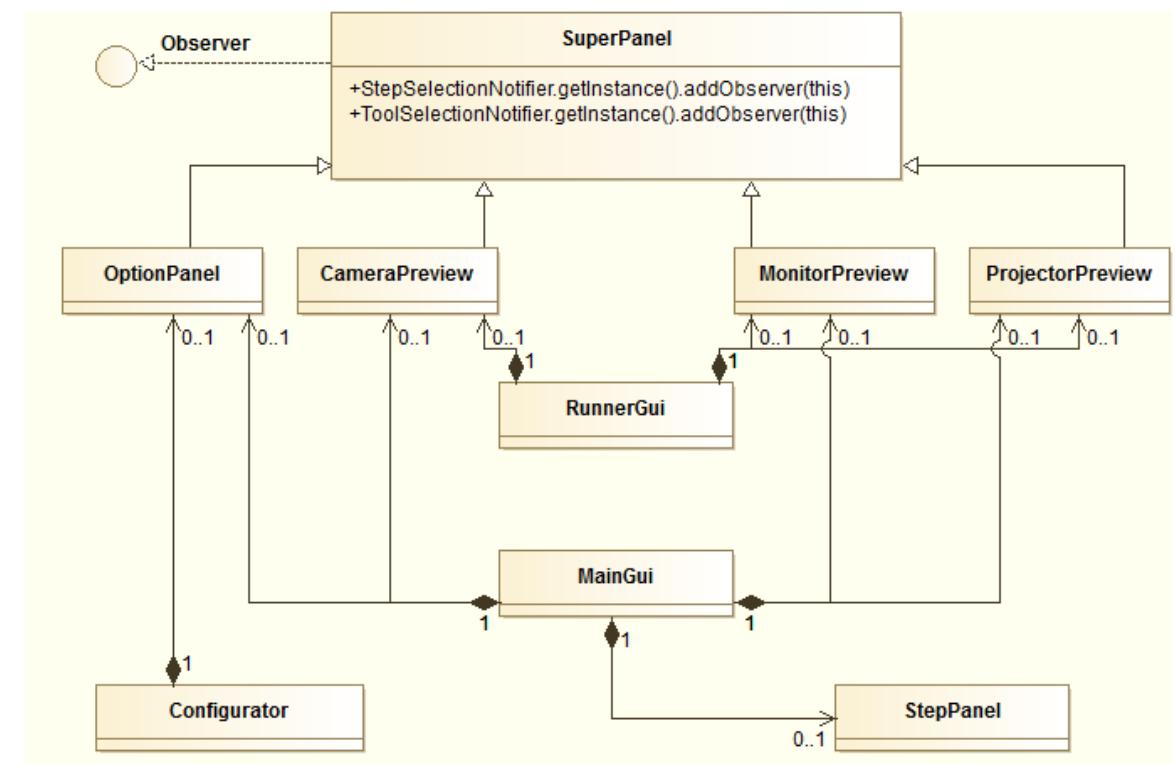


Abbildung 4.4.: Klassenhierarchie von Panels

```

        case "JLabel":
            JLabelEx anotherDummyLabel = new
                JLabelEx(o.getContent() [o.getPreselectedContentIndex()],
                         (getWidth() / 2));
            dummy.add(anotherDummyLabel);
            break;
        case "JTextField":
            JTextFieldEx2 dummyTextField = new
                JTextFieldEx2(o.getContent() [o.getPreselectedContentIndex()],
                             o.getAllowedKeys(), o, (getWidth() / 2));
            dummyTextField.addKeyListener(o.getKeyListener());
            dummy.add(dummyTextField);
            break;
        case "JComboBox":
            JComboBoxEx dummyComboBox = new JComboBoxEx(o.getContent(),
                o.getPreselectedContentIndex(), o.getAllowedKeys(), o,
                (getWidth() / 2));
            dummyComboBox.addItemListener(o.getItemListener());
            dummy.add(dummyComboBox);
            break;
    }
}

```

```

        case "JButton":
            JButtonEx dummyButton = new JButtonEx(o.getContent(),
                o.getPreselectedContentIndex(), o.getAllowedKeys(), o,
                (getWidth() / 2));
            dummyButton.addActionListener(o.getActionListener());
            dummy.add(dummyButton);
            break;
        case "JCheckBox":
            JCheckBoxEx dummyCheckBox = new JCheckBoxEx(o.getContent(),
                o.getPreselectedContentIndex(), o.getAllowedKeys(), o,
                (getWidth() / 2));
            dummyCheckBox.addItemListener(o.getItemListener());
            dummy.add(dummyCheckBox);
            break;
        case "MultiSlider":
            RangeSliderEx rangeSlider = new RangeSliderEx((getWidth() / 2),
                o);
            dummy.add(rangeSlider);
            break;
        case "JSlider":
            JSliderEx jSlider = new JSliderEx((getWidth() / 2), o);
            dummy.add(jSlider);
            break;
        default:
            break;
    }
    allDummys.add(dummy);
}
allDummys.validate();
allDummys.setVisible(true);
}

```

Listing 4.1: Funktion zum Bestücken der OptionPanels

Jedes Element, das Optionen darstellen möchte, muss nun nurnoch eine `ArrayList<Option>` übergeben.

```

Option bezeichnung = new Option("Caption");
bezeichnung.setAllowedKeys(null);
bezeichnung.setContent(new String[]{getCaption()});
bezeichnung.setPreselectedContentIndex(0);
bezeichnung.setInputType("JTextField");
class MyKeyListener implements KeyListener, Serializable{

    private static final long serialVersionUID = -6762232735053417160L;

    @Override
    public void keyTyped(KeyEvent e) {}
}

```

4. Implementierung

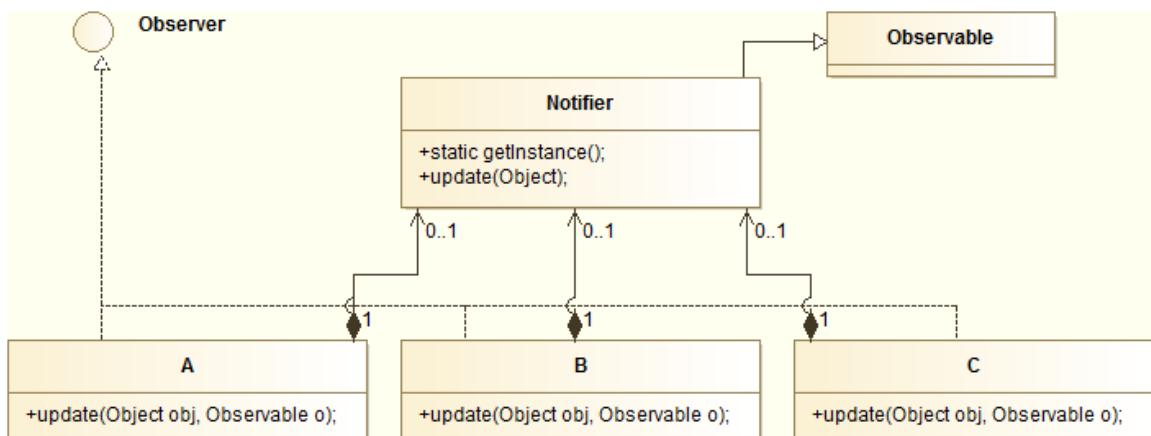


Abbildung 4.5.: Das Notifier-Pattern schematisch dargestellt: A, B und C können sich so gegenseitig beobachten, ohne voneinander zu wissen.

```
@Override
public void keyReleased(KeyEvent e) {
    if (!((JTextField)e.getSource()).getText().equals("")){
        DesignerElementSelectionNotifier.getInstance().
        getSelectedDesignerElement().
        setCaption(((JTextField)e.getSource()).getText());
    }
}

@Override
public void keyPressed(KeyEvent e) {}
bezeichnung.setKeyListener(new MyKeyListener());
```

Listing 4.2: Beispiel für eine Options-Instanz die ein JTextField erzeugt

4.4. Implementierungsdetails

4.4.1. Programmiersprache und verwendete Werkzeuge

ASED wurde komplett in Java entwickelt. Grundlage für diese Entscheidung waren zum Einen das Vorhandensein aller wichtigen Bibliotheken und der Hauptschwerpunkt der Software als Desktopanwendung mit einer einfach zu realisierenden Benutzerinteraktion, zum Anderen die Erfahrung und Präferenz des Programmierers. Als Framework diente Swing. ASED wurde in Java7 unter Windows7 64bit entwickelt und damit kompiliert. Als

Entwicklungsumgebung wurden Eclipse Indigo und Juno verwendet. Zur Versionskontrolle wurde Subversion verwendet, die Datensicherung erfolgte über Dropbox. Da viele native Bibliotheken eingebunden wurden, erwies sich DependencyWalker als unverzichtbares Instrument, um fehlende DLL-Dateien zu identifizieren.

4.4.2. Projektorkalibrierung

Dem Versuchsaufbau mit dem Projektor schräg zum Aufbau des Tisches ist eine starke Trapezverzerrung geschuldet. Da es sich bei einer solchen Verzerrung um eine Nicht-Affine Transformation handelt, genügen die nativen Swingkomponenten nicht, um eine entsprechende Korrektur des projizierten Bildes zu erreichen. Hier kommt die Bildverarbeitungsbibliothek openCV ins Spiel. Diese bietet zahlreiche Funktionen, um selbst schwierige und rechenaufwändige Transformationen in nahezu Echtzeit durchzuführen. Den Grad der Verzerrung zu ermitteln und daraus die Transformationsmatrix zu errechnen stellte sich als schwieriger wie geplant dar, da der OpenCV Java-Wrapper "JavaCV" bislang noch keine Funktion zur Erkennung eines Schachbrettmusters unterstützt. (OpenCV tut dies und errechnet auch die Eckpunkte). Eine Kantenerkennung stellt JavaCV allerdings zur Verfügung. Die Kalibrierung läuft nun in einem halbautomatischen Vorgang, in dem zuerst ein unverzerrtes Rechteck auf die Tischplatte projiziert wird und dann ein Bild der detektierten Kanten auf dem Monitor angezeigt wird. Der User muss nun mit 4 Mausklicks die Eckpunkte des projizierten Rechtecks identifizieren.(Abb.: 4.6) Danach sind dann Bildpunkt und Projizierter Punkt bekannt und die Projektionsmatrix kann durch

$$\begin{bmatrix} t_i x'_i \\ t_i y'_i \\ t_i \end{bmatrix} = \text{Ergebnismatrix} * \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ 1 \end{bmatrix}$$

beschrieben errechnet werden. Dafür sorgt die JavaCV Funktion `getPerspectiveTransform()`. Das Ergebnis, die CMat (Typ der Projektionsmatrix) wird dann in der Funktion `cvWarpTransform(src, dest, mat)` verwendet, um das Bild zu entzerren. Zuvor und danach muss eine Konvertierung des Bildtyps von `BufferedImage` nach `IplImage` und zurück erfolgen. Dies geht dank der Implementierung der JavaCV-Klasse `IplImage` problemlos



Abbildung 4.6.: Kamerakalibrierung: Durch Klick auf die erkannten Punkte einer rechteckigen Projektion wird die Trapezkorrekturmatrixt bestimmt

4.4.3. Verwendete Bibliotheken

OpenNI

OpenNI ist eine quellöffentliche Bibliothek für natürliche Interaktion (Open Natural Interaction). Das Entwicklerteam, das auch von der Firma Primesense gestellt wird, hat es sich zur Aufgabe gemacht, Treiber und eine Middleware für eine einfache Eingabesteuerung mittels natürlicher Interaktion bereitzustellen. Die Interessen der Firma Primesense liegen dabei klar darin, für den eigens entwickelten Sensor, der sowohl in der ASUS XTION als auch in den Modellen der Microsoft Kinect verbaut ist ansprechende Anwendungen bereitzustellen. Dabei liefert OpenNI einen relativ schlanken Treiber, der Kinect Rohdaten in unterschiedlichen Formaten liefern kann und grundlegende Einstellungen zu Auflösung und Art der Sensordaten setzen kann. Die komplexeren Funktionen wie eine Erkennung von Körpern und Auflösung nach Skelettpunkten wird von der NITE Middleware übernommen. Leider war die Middleware zu ihrem derzeitigen Entwicklungsstand nicht für den Einsatz in ASED geeignet, da eine Erkennung von einzelnen Körperteilen nicht möglich ist. Selbst der ganze Körper konnte zu Beginn der Entwicklung von ASED nur dann erkannt werden, wenn sich die Person in einer sogenannten PSI-Position aufstellt. Dies entfiel zwar während späterer Versionen, aber eine Erkennung und ein Tracking einzelner Körperteile wie der Hände ist aktuell in NITE nicht implementiert. ASED benutzt somit keine NITE Funktionen sondern lediglich OpenNI um das Bild zu erfassen. Außerdem liefert OpenNI eine Tiefenkarte, somit lassen sich die Tiefenwerte aus dem Tiefensensor für einen beliebigen Punkt direkt aus der Tiefenkarte auslesen. Diese Funktionalität könnte sicher auch durch OpenCV bereitgestellt werden, was die benötigte Fremdsoftware reduzieren würde. Allerdings kam OpenCV erst

zu einem späten Entwicklungszeitpunkt zum Einsatz, als das OpenNI basierte VideoCapture bereits implementiert war. Ausserdem könnte eine weitere Entwicklung von NITE eine native Handerkennung an Bord haben, und somit perfekt die Funktionalität von ASED erweitern was wiederum OpenNI den Vorrang geben würde.

JavaCV

OpenCV ist aus der Bildverarbeitung nicht mehr wegzudenken. Die von Willow Garage entwickelte und betreute Bilderkennungs und Verarbeitungssoftware ist weit verbreitet und liefert Algorithmen zur Mustererkennung und zur Transformation von Bilddaten. Es besitzt auch Funktionen um Video direkt von einem Eingabegerät zu erfassen. JavaCV ist ein sehr junges Projekt, dass es sich zum Ziel gesetzt hat, die OpenCV Bibliothek nach Java zu übertragen. Bislang stehen noch bei weitem nicht alle Funktionen von OpenCV zur Verfügung, aber der Support und die Entwicklung sind gut und gehen kontinuierlich voran. Leider mangelt es dieser Implementierung an einer sauberer Dokumentation. ASED benutzt JavaCV für die Projektorkalibrierung. Allerdings ist ein weiterer Einsatz durchaus denkbar, da die Flexibilität und der Umfang der OpenCV Bibliothek begeisternd ist.

DJNativeSwing

DJNativeSwing⁴ ist ein Java Paket, das auf Swing aufsetzt, dessen Prozesse aber direkt im zugegrundeliegenden SWT Thread ablaufen. Dadurch umgeht DJNativeSwing die Thematik mit Leightweight und Heavyweight-Containern und ermöglicht so das Einbinden nativer Komponenten, wie eines Browsers oder des Adobe Flash Players auch in Leightweight Komponenten. Diese Technologie führt zwar zum gewünschten Ergebnis, aber sorgt auch für einige Probleme. So war es nicht möglich, den Fokus von der laufenden Flashplayer-Anwendung zurückzuerhalten. Die Kommunikation mit einer Flash Anwendung funktionierte nur problemlos mit der Parameterübergabe mit „?“, wie man sie aus dem Webbrowser kennt. Das Paket stellt zwar eine Funktion `invokeFlashFunction(String functionName, Object... args)` zur Verfügung, aber es gelang mir nicht, eine Flash Funktion aufzurufen. Leider ist bei diesem Paket die Flash Seite überhaupt nicht dokumentiert.

Dieses Problem führte dazu, dass die Flash Anwendung für die Gamification künftig als ausführbare Datei installiert wird, und die beiden Anwendungen über Datagram-Pakete miteinander kommunizieren.

⁴DECKERS, Christopher : „The DJ Project“ <<http://djproject.sourceforge.net/main/index.html>>[19. September 2012]

4. Implementierung

RangeSlider

RangeSlider ist eine kleine Erweiterungsklasse für den klassischen JSlider. Sie implementiert einen Slider mit zwei Daumen (engl. Thumbs), die einen unteren und einen oberen Wert festlegen. Dieses UI-Element ist besonders geeignet um die Z-Werte einer Triggerbox zu setzen. Dabei sind Min und Max Werte des Sliders auf die minimale Distanz ab der eine Tiefenwerterkennung stattfindet bzw. auf die maximale Distanz (Entfernung Kinect - Tischplatte) gesetzt. RangeSlider wurde von „Ernie Yu“ implementiert und auf seinem Blog bereitgestellt.⁵ Die Thumbs dieses Sliders sind so gestaltet, dass der untere unter dem oberen sein muss und sich auch nicht über diesen ziehen lässt. Das erspart eine Abfrage nach dem größeren und kleineren Wert und macht eine intuitive Bedienung möglich. Die unterschiedlichen Farben der beiden Thumbs und die Einfärbung des ausgewählten Bereichs tragen sehr zur Übersichtlichkeit und guten Bedienbarkeit bei. RangeSlider ist einfach einzubinden.

Video-Aufzeichnung mit Xuggle

Xuggl⁶ ist eine Java-Bibliothek zum Dekodieren, Manipulieren und Kodieren von Audio- und Videodaten. Es ermöglicht eine einfache Einbindung und ist durch das Konzept von Pipelines, die zum Bearbeiten des Videos dienen, recht leicht zu erlernen. Diese Pipelines konstruiert man, indem man einzelne Elemente (als Beispiel einen 3gp Dekodierer und einen DivX Kodierer) hintereinanderschaltet und den Datenstrom durch diese Pipeline schickt. In ASED musste Xuggl lediglich die von der Klasse `VideoFrameGrabber` generierten `BufferedImages` mit einem Zeitcode versehen und zu einem MPEG-4 Video kodieren.

Verschieben und Resize

Um dem von Valentin Schwindt vorgeschlagenen Design nahezukommen, habe ich beschlossen, auf die Windows-Handles am JFrame zu verzichten. Dadurch ging aber auch die Möglichkeit verloren, das Fenster in Größe und Position zu verändern. Die beiden Klassen `ComponentMover`⁷ und `ComponentResizer`⁸ erfüllen diesen Zweck. Die Einbindung der beiden Klassen war denkbar einfach und die Funktionalität steht der von Windows nur in einem

⁵Yu, Ernie (27.12.2010): „Creating a Java Swing range slider“ <<http://ernienotes.wordpress.com/2010/12/27/creating-a-java-swing-range-slider/>> [Stand: 19. September 2012]

⁶ConnectSolutions, LLC : „Xuggl“ <<http://www.xuggl.com/>> [19. September 2012]

⁷CAMICK, Rob (14.06.2009): „Moving Windows“ <<http://tips4java.wordpress.com/2009/06/14/moving-windows/>> [19. September 2012]

⁸CAMICK, Rob (13.09.2009): „Resizing Components“ <<http://tips4java.wordpress.com/2009/09/13/resizing-components/>> [19. September 2012]

Punkt nach: Fenster lassen sich nicht über Bildschirmgrenzen hinweg bewegen. Für ASED ist dies aber sogar eher eine gute Eigenschaft, denn hier sollte nie ein Fenster den Monitor wechseln.

VideoFrameGrabber

Die Klasse `VideoFrameGrabber` ist zwar keinem Paket entnommen, aber die Grundidee stammt aus Andrew Davisons Buch ([Dav12]), das viele Details zur Kinect, zu JavaCV, OpenNI und der Java Einbindung von OpenNI enthält.

4.5. GUI-Design

Um ein möglichst ansprechendes Programm zu entwickeln wurde die Optik des Designers an das Metro-Design von Windows8 angepasst. Das Design und die Symbole wurden im Rahmen des ASLM Projekts vereinheitlicht und von dem Designer Valentin Schwindt produziert. Alle Symbole werden durch Hovering hervorgehoben, sobald der Mauszeiger darüber ist. Das Oberflächendesign ist komplett in Java Swing mit einem BoxLayout implementiert. Um dem Design gerecht zu werden wurde das Fenster auf `setUndecorated(true);` gesetzt. Dadurch verschwinden Umrandungen sowie die Kopfzeile des Fensters. Vergrößern und Verschieben des Fensters wurden separat nachimplementiert.

Für die Aufteilung der Abstände und Anordnung der Symbolleisten und Vorschaufenster lieferte Valentin Schwindt in Abstimmung mit mir über die geplanten Programmkomponenten ein MockUp. Abbildung 4.7 zeigt den ersten Entwurf. Der fertige Styleguide findet sich im Anhang.

4.6. Bekannte Fehler und Verbesserungsmöglichkeiten

Wie jedes System in einem frühen Stadium hat auch ASED noch mit einigen Kinderkrankheiten zu kämpfen. Nachfolgend eine nicht konklusive Liste der bekannten Fehler und Verbesserungswünsche.

- Fehler: Nach jedem Durchlauf muss der Run-Modus neu gestartet werden, da noch Objekte vom vorigen Durchlauf aktiv sind.
- Verbesserung: Tooltips erstellen
- Fehler: Die Videoaufzeichnung muss separat gestartet werden, da sonst Instabilitäten auftreten.

4. Implementierung

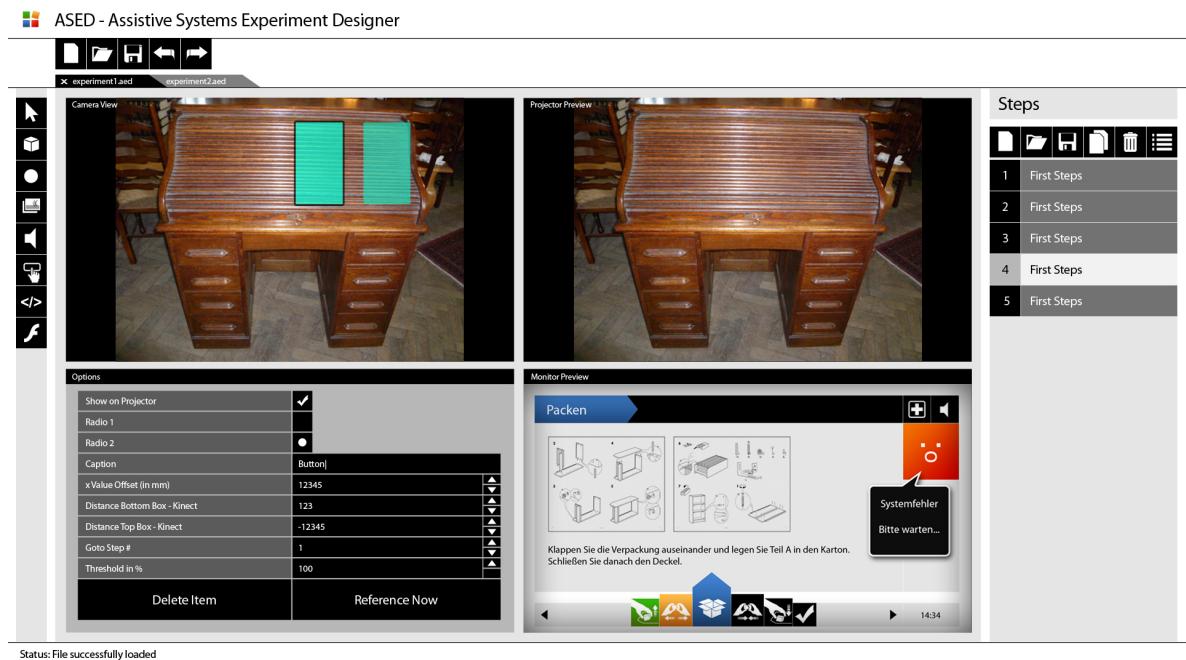


Abbildung 4.7.: Ein erstes MockUp von Valentin Schwindt

- Fehler: Kleine Inkonsistenzen bei der Anzeige der Mauszeiger im Designer
- Verbesserung: Rundenzähler und manuelle Stoppuhr als weitere Funktion
- Fehler: Automatische Größenänderung bei Umleitung der Konsole im Wiedergabemodus.

Ich hoffe, dass nachfolgende Arbeiten mit ASEd diese Fehler beheben können. Durch die Änderungen kurz vor Ende der Implementierungsphase ist vermutlich auch eine Überprüfung der Notwendigkeit der Pakete und ein Re-Design an mancher Stelle nötig.

5. Evaluierung

Dieses Kapitel zeigt, wie sich das System im Alltag schlägt und zeigt die Relevanz eines solchen Systems.

5.1. Erster Experimentdurchlauf

Im Experiment zur Erfassung des Stands der Technik kam ASED zum ersten Mal unter professionellen Bedingungen zum Einsatz. Zur Evaluation der Alltagstauglichkeit des Systems wohnte ich diesen Experimenten bei.

Nach einigen anfänglichen Schwierigkeiten bei der Einrichtung auf neuer Testhardware zeigte das System sich im großen ganzen als stabil. Es gab während der 3 Tage keinen softwarebedingten Systemabsturz und das System lieferte Meßergebnisse von 27 Probanden. Leider ging die Videodokumentation eines Experimentdurchlaufs durch einen Bedienfehler verloren. Glücklicherweise reichen in diesem Fall aber die gesammelten Zeitdaten und das Ersatzvideo (mit externer Kamera aufgezeichnet) aus, um die Arbeitsschritte nachvollziehen zu können.

Die Software zeigte beim Aufbau des Experiments Kinderkrankheiten, die in den vorhergehenden Tests noch nicht ans Tageslicht getreten waren, aber diese Fehler konnten mit geringem Mehraufwand beseitigt werden und haben den Experimentablauf nicht beeinflusst. Abbildungen 5.1 - 5.4 zeigen ASED im Einsatz in der beschützenden Werkstätte Heilbronn. Beispielhafte Ergebnisse der Testdurchläufe finden sich im Anhang A.2.

5.2. Wissenschaftliche Relevanz der Arbeit

Anhang A.4 ist ein Beitrag für die diesjährige ACM - ASSETS Konferenz. Die Projektinhalte - ein System zur Messung der Qualität von Anleitungssystemen und Methoden für Leistungsgeminderte - scheinen für die „SIGACCESS: ACM Special Interest Group on Accessible Computing“ eine gewisse Relevanz zu haben. Dieses Poster wurde für die Konferenz eingereicht und akzeptiert.

5. Evaluierung



Abbildung 5.1.: Taubstummer Experimentteilnehmer hochkonzentriert bei der Arbeit mit ASED

5.2. Wissenschaftliche Relevanz der Arbeit

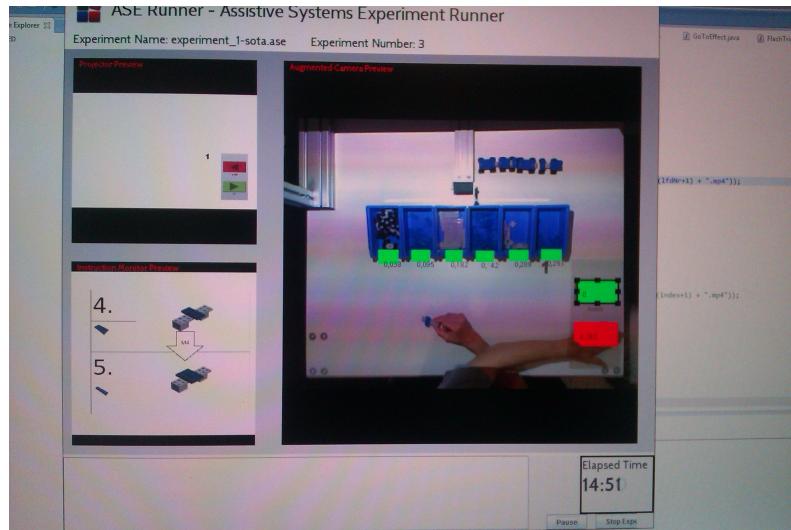


Abbildung 5.2.: Screenshot von ASERunner - Betätigung des „in Ordnung“ - Button

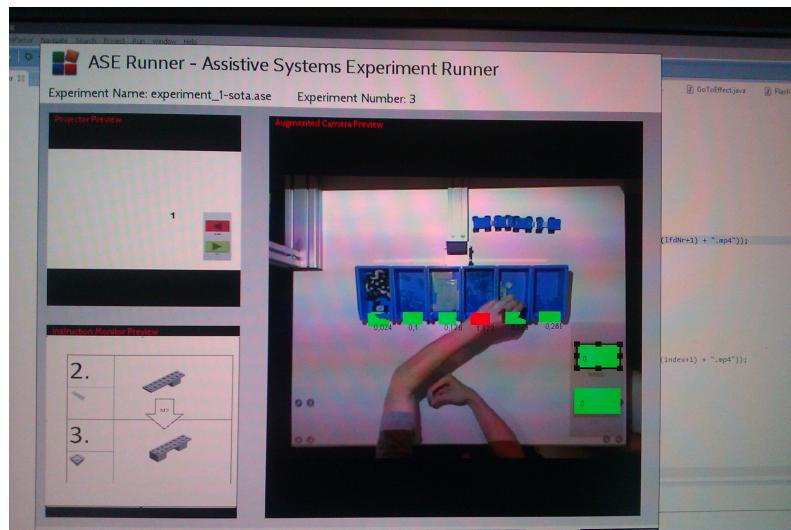


Abbildung 5.3.: Screenshot von ASERunner - Durchgriff durch falsche Box

5. Evaluierung

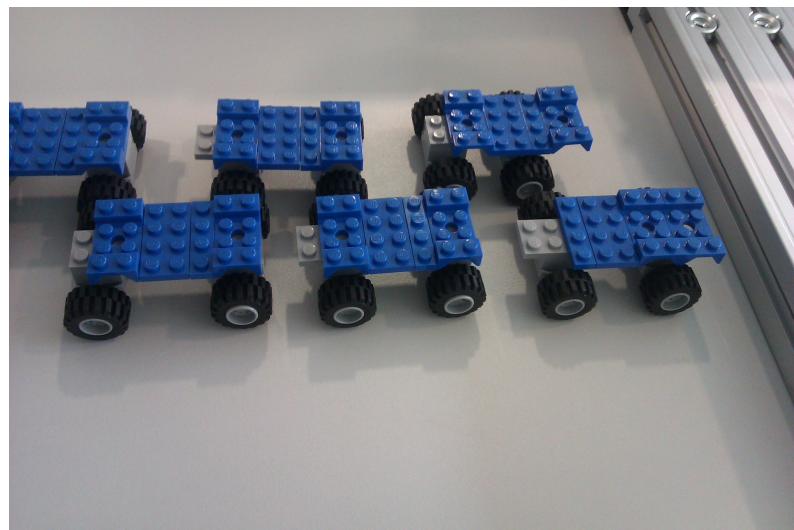


Abbildung 5.4.: Produktionsergebnis Lego Auto

6. Zusammenfassung und Danksagung

6.1. Zusammenfassung

Ziel dieser Studienarbeit war die Entwicklung eines Toolkits zur Messung der Leistungsfähigkeit von Anleitungssystemen für die manuelle Montage im Umgang mit Leistungsgeminderten. Die dabei entstandene Software Assistive Systems Experiment Designer hat ihren ersten Einsatz bereits erfolgreich gemeistert. Eine Reihe von Experimenten, die die Frage nach besseren Anleitungsmethoden, unter anderem durch den Einsatz von in-situ-Projektion, beantworten sollen, ist für die nahe Zukunft geplant. Diese Arbeit hat den Stand der Technik und die Grundlagen in den Themen dargestellt, die für das Umfeld und die Entwicklung von ASED die größte Rolle spielen: Dies sind die manuelle Montage, optische Bewegungserkennungssysteme, Assistenzsysteme und die in-situ-Projektion. Das Konzept hinter dem Experimenttisch, die Intention der Experimente und die Grundgedanken zu ASED wurden erläutert. Die Details der Implementierung wurden nur angerissen, da der Detailreichtum dieser Anwendung leider viel zu groß wurde. Dadurch verschob sich der Schwerpunkt auch sehr auf die Implementierung der Software. Es bleibt zu hoffen, dass die viele Entwicklungszeit für ASED auch die gewünschten Ergebnisse in möglichst vielen Studien bringen möge.

6.2. Danksagung

Ich möchte mich herzlich für die Möglichkeit bedanken, als Student der Universität Stuttgart in einem Projekt der Hochschule Esslingen mitzuwirken. Dieser Dank gilt insbesondere Prof. Dr. Thomas Hörz und Prof. Dr. Albrecht Schmidt, die diese Kooperation erst möglich gemacht haben. Danken möchte ich auch meinem Betreuer Bastian Pfleging und dem Leiter des ASLM Projektteams Oliver Korn für die wertvolle Hilfe in allen Belangen. Des Weiteren danke ich den Projektpartnern „Schnaithmann Maschinenbau GmbH“ und den „Beschützenden Werkstätten Heilbronn“ für den Einblick in die industrielle Fertigung und in den Arbeitsalltag von leistungsgeminderten Menschen, sowie für die unkomplizierte Unterstützung in vielen Fragen des Projektalltags.

A. Anhang

A.1. Lohnbewertungsbogen der Beschützenden Werkstätte Heilbronn



Lohnbewertung Mitarbeiter

| | | | |
|-----------------|-------------|-------------------|------|
| Name | | Abschluß | nein |
| Vorname | | Normalleistung | |
| Aufnahme-Nr | 000 | Tätigkeit/ Ident- | |
| Kostenstelle | BBB-Bereich | Nr aus Unipps | |
| Bewertungsdatum | | | |

I.A. Arbeitsmenge i.o. Teile

- | | |
|--------------------------|--------------------------------|
| <input type="checkbox"/> | 1 bis 10% der Normalleistung |
| <input type="checkbox"/> | 2 11- 20% der Normalleistung |
| <input type="checkbox"/> | 3 21- 30% der Normalleistung |
| <input type="checkbox"/> | 4 31- 40% der Normalleistung |
| <input type="checkbox"/> | 5 41- 50% der Normalleistung |
| <input type="checkbox"/> | 6 51- 60% der Normalleistung |
| <input type="checkbox"/> | 7 61- 70% der Normalleistung |
| <input type="checkbox"/> | 8 71- 80% der Normalleistung |
| <input type="checkbox"/> | 9 81- 90% der Normalleistung |
| <input type="checkbox"/> | 10 91-100% der Normalleistung |
| <input type="checkbox"/> | 11 101-110% der Normalleistung |
| <input type="checkbox"/> | 12 111-120% der Normalleistung |

Summe x Faktor 6 = 0 Punkte

II.A. Körperliche Belastung

- | | |
|--------------------------|--|
| <input type="checkbox"/> | 1 keine bes. Belastung, z.B. sitzende Tätigkeiten oder |
| <input type="checkbox"/> | 3 einseitige Belastung, z.B. man. Kniehebeipresse, Bohren mit Handvorschub |
| <input type="checkbox"/> | 5 nur stehende Tätigkeiten oder Einschränkung d. Spastik |
| <input type="checkbox"/> | 5 häufiges Heben über 5kg |
| <input type="checkbox"/> | 5 häufiges Heben über 10kg |
| <input type="checkbox"/> | 5 Häufige Arbeiten unter extremen Witterungsbedingungen |
| <input type="checkbox"/> | 3 häufig Schmutz- und Staubbela |
| <input type="checkbox"/> | 3 häufig Lärmbelastung |

Summe x Faktor 1 = 0 Punkte

II.B. Kognitive Anforderungen

- | | |
|--------------------------|---|
| <input type="checkbox"/> | 1 keine bes. Anforderungen oder |
| <input type="checkbox"/> | 1 Farbunterscheidung |
| <input type="checkbox"/> | 2 Größen- oder Formunterscheidung |
| <input type="checkbox"/> | 2 Lesen von Piktogrammen, visuellen Arbeitsplänen |
| <input type="checkbox"/> | 3 Lesen (Druckschrift) |
| <input type="checkbox"/> | 5 PC-Grundkenntnisse / Taschenrechner, Reg.kasse |
| <input type="checkbox"/> | 2 Schreiben (Fehler toleriert) oder |
| <input type="checkbox"/> | 5 Schreiben (Fehler nicht toleriert) |
| <input type="checkbox"/> | 2 Rechnen (Zahlen bis 100) oder |
| <input type="checkbox"/> | 5 Punkt-, Strichrechnen bis 1000 |
| <input type="checkbox"/> | 2 kurzzeitige Merkfähigkeit > 4 Std. bis zu 3 Anweisungen |
| <input type="checkbox"/> | 4 kurzzeitige Merkfähigkeit > 4 Std. mehr als 3 Anweisungen |

Summe x Faktor 1 = 0 Punkte



Beschützende
Werkstätte

Lohnbewertung Mitarbeiter

| | | |
|-----------------|-------------------|------|
| Name | Abschluß | nein |
| Vorname | Normalleistung | |
| Aufnahme-Nr. | Tätigkeit/ Ident- | |
| Kostenstelle | Nr aus Unipps | |
| Bewertungsdatum | | |

II.C. Feinmotorische Anforderungen

- 1 keine bes. Anforderungen oder
- 2 Zweifingergriff, Teile > 3cm, oder
- 4 Zweifingergriff, Teile < 3cm > 1cm, oder
- 6 Zweifingergriff, Teile < 1cm, oder
- 8 Lupe, Pinzette, o.ä. erforderlich

Summe x Faktor = Punkte

II.D Anzahl der Arbeitsschritte

Jedes hinzugefügtes/weggenommene Teil (Montage), jeder Bearbeitungsgang (man. Werkzeugwechsel), jeder Zählvorgang bei gleichen Teilen, jeder Messvorgang, auch wenn nur 10% Stichprobenkontrolle durch MA erfolgt, (das Auslösen einer Automatik ist kein Arbeitsschritt!), das Bestücken einer Verpackungseinheit mit gleichen oder ähnlichen Teilen, das Aufstellen einer Kartonage, soweit es aus einem Stück besteht. Bei komplexen Faltvorgängen (Knorr) ist jede Seite ein Schritt.

Jeder Arbeitsschritt erhält für Arbeiten an/mit Maschinen, Automaten: Faktor 3

Für Arbeiten mit empfindlichen Materialien (z.B. Druck-, Textilbereich), Hygieneanford. (Hauswirtschaft) sowie in Lager und Logistik: Faktor 2

Für einfache Montagearbeiten: Faktor 1

Summe x Faktor = Punkte

II.E Arbeitszeiten

die häufig, regelm. außerhalb der Regellarbeitszeiten liegen, wenn keine besonderen Stundenzuschläge vereinbart sind. Punkte können addiert werden wenn kein oder

- 5 Mo - Fr +/- < 1 Stunde außerhalb der Regellarbeitszeit oder
- 10 Mo - Fr +/- > 1 Stunde außerhalb der Regellarbeitszeit
- 10 Samstag bis 14.00
- 20 Samstag nach 14.00 und Sonntag

Summe x Faktor = Punkte

II.F Prüf- und Kontrollaufwand durch MA/innen (optisch, akustisch, taktil)

- 0 kein Prüfaufwand oder
- 2 Stichprobenprüfung oder
- 4 100% Prüfung

Summe x Faktor = Punkte



Beschützende
Werkstätte

Lohnbewertung Mitarbeiter

| | | |
|-----------------|-------------------|------|
| Name | Abschluß | nein |
| Vorname | Normalleistung | |
| Aufnahme-Nr | Tätigkeit/ Ident- | |
| Kostenstelle | Nr aus Unipps | |
| Bewertungsdatum | | |

II.G. Häufig wechselnde Aufgabenstellungen

innerhalb ähnlicher Tätigkeitsfelder. Gemeint sind vor allem Bereiche wie: Lager-Logistik, Galabau, Hauswirtschaft, Anne Sophie Haus

- 0 Kein Wechsel oder
- 2 Wechsel mehrmals wöchentlich oder
- 4 Wechsel mehrmals täglich
- 15 Außenarbeitsplatz 2-3 Arbeitstage/Woche
- 20 Außenarbeitsplatz 4-5 Arbeitstage/Woche

Summe x Faktor = Punkte

III. Arbeitsqualität (%- Anteil Gutteile)

- 1 > 50% < 70% oder
- 2 > 70% < 80% oder
- 3 > 80% < 90% oder
- 4 > 90% < 95% oder
- 5 > 95% oder
- 8 Kontrolle durch aMA nicht erforderlich

Summe x Faktor = Punkte

IV. Einsatzbereitschaft und Qualifikation

- 0 übernimmt keine andere Arbeit oder
 - 2 übernimmt nur ähnliche Arbeiten oder
 - 5 übernimmt alle ihm/ihr zugewiesene Arbeiten
- Anzahl schulungspflichtiger Maschinen > 1.
Jede zusätzliche Maschine wird mit 4 Punkten bewertet!

Summe x Faktor = Punkte

V. Pünktlichkeit am Arbeitsplatz

- 3 MA/in erscheint pünktlich zu Arbeitsbeginn am Arbeitsplatz
- 5 MA/in hält die Pausenzeiten ein
- 2 MA/in meidet sich bei Arbeitsunterbrechung ab
- 3 MA/in hat keine unangemessenen Arbeitsunterbrechungen

Summe x Faktor = Punkte



Beschützende
Werkstätte

Lohnbewertung Mitarbeiter

| | | | |
|-----------------|-------------|-------------------|------|
| Name | | Abschluß | nein |
| Vorname | | Normalleistung | |
| Aufnahme-Nr | 000 | Tätigkeit/ Ident- | |
| Kostenstelle | BBB-Bereich | Nr aus Unipps | |
| Bewertungsdatum | | | |

VI. Selbständigkeit, Ordnung am Arbeitsplatz

- 1 MA hält seinen Arbeitsplatz nach Aufforderung sauber und räumt auf
- 3 MA/in hält seinen Arbeitsplatz unaufgefordert sauber und räumt auf
- 3 MA/in holt selbständig Arbeitsmaterial oder meldet, wenn Material ausgeht
- 3 MA/in meldet fehlerhaftes Material, Werkzeug

Summe x Faktor = Punkte

VII. Hilfsbereitschaft, Umgang mit Kollegen

- 0 MA/in unterstützt selten oder nie Kollegen bei der Arbeit
- 2 MA/in unterstützt freiwillig Kollegen bei der Arbeit
- 2 MA/in unterstützt freiwillig Kollegen außerhalb des Arbeitsablaufs (Umkleiden, Mittagessen, u.ä.)

Summe x Faktor = Punkte



Gesetzlicher Betreuer Vermögen, wenn "ja", Kopie an Betreuer



Der/die MA/in ist z.Z. nicht bewertbar und erhält bis zur nächstmöglichen Bewertung den bisherigen Zusatzlohn auf der Grundlagen des neuen Punktwertes.

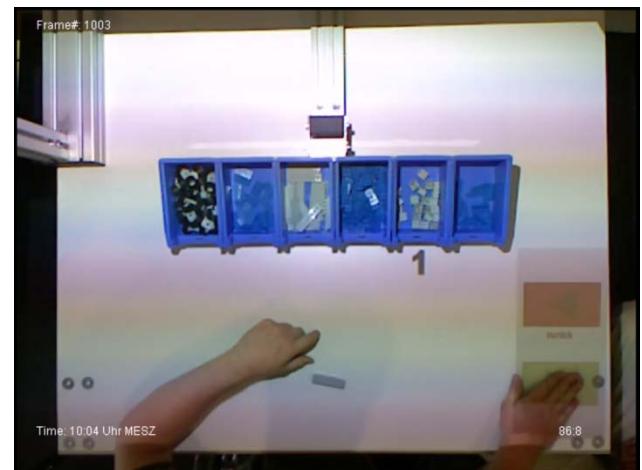
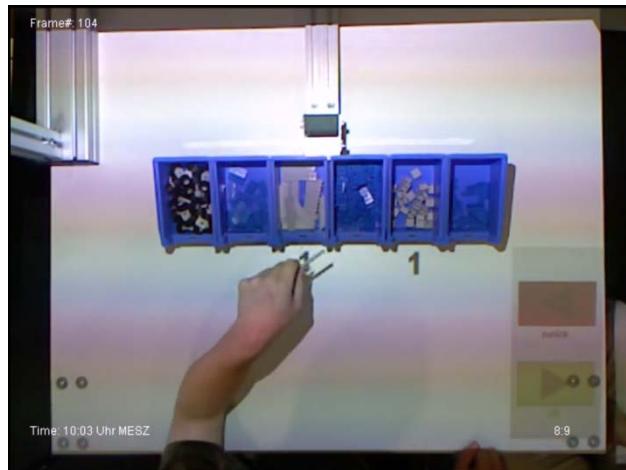
Gesamtsumme: Punkte

Beurteiler/in, Datum und Unterschrift

Mitarbeiter/in, Datum und Unterschrift

A.2. Erfasste Daten beim Experiment „Stand der Technik“

A.2. Erfasste Daten beim Experiment „Stand der Technik“



```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" ?>

<experiment_1-sota.ase #3>
<experiment_flow>Experiment Started at 27.08.2012 10:03:03</experiment_flow>
<workingStep caption=M1>
  <startTime>27.08.2012 10:03:03.4</startTime>
  <triggers>
    <triggerEvent>
      <time>27.08.2012 10:03:07.1</time>
      <info>falsch</info>
      <triggerName>4x2blau</triggerName>
    </triggerEvent>
    <triggerEvent>
      <time>27.08.2012 10:03:07.3</time>
      <info>richtig</info>
      <triggerName>8x2grau</triggerName>
    </triggerEvent>
    <triggerEvent>
      <time>27.08.2012 10:03:13.0</time>
      <info>falsch</info>
      <triggerName>mudguard blau</triggerName>
    </triggerEvent>
    <triggerEvent>
      <time>27.08.2012 10:03:13.2</time>
      <info>richtig</info>
      <triggerName>block 2x2 grau</triggerName>
    </triggerEvent>
    <triggerEvent>
      <time>27.08.2012 10:03:55.9</time>
      <info> </info>
      <triggerName>vor</triggerName>
    </triggerEvent>
  </triggers>
  <duration>52.4 seconds</duration>
</workingStep>
```

A. Anhang

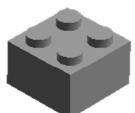
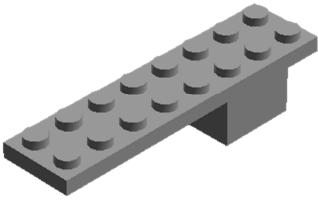
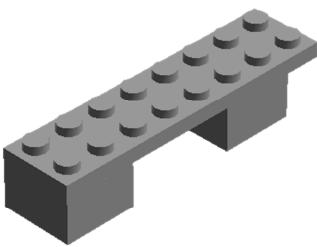


```
<workingStep caption=M2>
  <startTime>27.08.2012 10:03:55.9</startTime>
  <triggers>
    <triggerEvent>
      <time>27.08.2012 10:04:04.1</time>
      <info>richtig</info>
      <triggerName>block 2x2 grau</triggerName>
    </triggerEvent>
    <triggerEvent>
      <time>27.08.2012 10:04:29.7</time>
      <info> </info>
      <triggerName>vor</triggerName>
    </triggerEvent>
  </triggers>
  <duration>33.7 seconds</duration>
</workingStep>
```

A.3. Lego Anleitung für das Experiment

Montageanleitung 2 – Seite 1 von 3

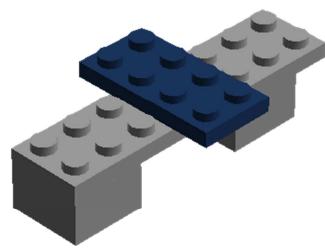


| | |
|---|--|
| 1. |  |
|  | |
| 2. |  |
|  | |
| 3. |  |
|  | |

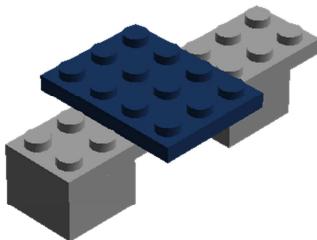


Montageanleitung 2 – Seite 2 von 3

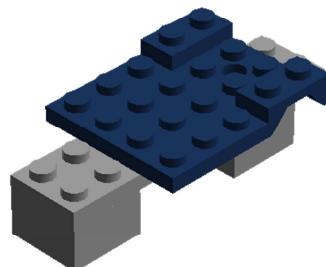
4.



5.



6.



Montageanleitung 2 – Seite 3 von 3



| | |
|-----------|--|
| 7. | |
| | |
| 8. | |
| | |
| 9. | |
| | |

A.4. ACM Beitrag über ASED

Assistive System Experiment Designer ASED: A Toolkit for the Quantitative Evaluation of Enhanced Assistive Systems for Impaired Persons in Production

Oliver Korn
University of Applied Sciences Esslingen,
Kanalstr. 33,
73728 Esslingen, Germany
oliver.korn@hs-esslingen.de

Albrecht Schmidt
University of Stuttgart, VIS,
Pfaffenwaldring 5a
70569 Stuttgart, Germany
albrecht.schmidt@vis.uni-stuttgart.de

Thomas Hörz
University of Applied Sciences Esslingen
Kanalstr. 33,
73728 Esslingen, Germany
thomas.hoerz@hs-esslingen.de

Daniel Kaupp
University of Stuttgart,
Keplerstraße 7,
70174 Stuttgart, Germany
kauppdl@studi.informatik.uni-stuttgart.de

ABSTRACT

This paper introduces the toolkit ASED: Assistive System Experiment Designer. Combining a specially constructed assembly table and new software it allows measuring the performance of impaired persons when using assistive systems for production environments (ASiPE).

The ASiPE design tested using ASED transgresses the state of the art by three enhancements. With the help of ASED we are able to quantify and rank their effects on work quality and performance. The ASED toolkit, however, is not confined to the design tested but can be used for the experimental analysis of every kind of manual process.

Categories and Subject Descriptors

H.5.2 [User Interfaces]: Evaluation/methodology, Interaction styles, User-centered design H.1.2 [User/Machine Systems]: Human factors, Human information processing, Software Psychology; H.5.1 [Multimedia Information Systems] Evaluation/methodology, Artificial, augmented, and virtual realities; H5.m [Miscellaneous]: HCI; I.2.10 [Vision and Scene Understanding]: Motion; K.4.2 [Social Issues]: Assistive technologies for persons with disabilities

Keywords

Assistive technology, Evaluation, User-Centered Design, Human Computer Interaction (HCI), Motion Recognition, Disabled

1. INTRODUCTION

Working in manual production requires the repeated performance of a sequence of tasks with high accuracy at a reasonable speed. The permanent repetition of a single or very few of these assembly sequences makes this kind of work prone to becoming dull, even for cognitively impaired workers who may have to retrain the task at the next morning. This underutilization leads to “boredom and a feeling of lacking appreciation” [1: 29]. However, reduced motivation also increases the likeliness of mistakes.

2. STATE OF THE ART

Current computer-based assistive systems in production environments (ASiPE) focus on the quality control of work results rather than the support of the worker in the process. The few systems offering process support focus on controlling the workers’ “picks” from boxes (fig. 1, green) and describing the upcoming steps of the current assembly sequence.

3. REQUIREMENTS

In our research we have studied the requirements for future ASiPE that address the needs of cognitively impaired persons more aptly [2, 3, 4]. Systems being able to take into account both the context and the user in real time would offer better assistance, more security and potentially more fun. To achieve this, the following requirements have to be met:

1. process-orientation (additional to result-orientation)
2. natural interaction (additional to haptic displays)
3. display of relevant information directly at the workplace (in-situ projection)
4. integration of motivating mechanisms (gamification)

In order to test if a new ASiPE meets these requirements in studies with cognitively impaired users, ASED needs to support motion detection (requirements 1 and 2), in-situ projection and gamification. To quantify the effect of each potential enhancement on work performance and work quality, ASED supports both setting-up experiments and logging all relevant user data. The quantification of individual enhancements then allows prioritizing their realization within the development process.

4. ASED: EXPERIMENTAL TABLE

ASED is based on a regular assembly table – however, the complexity has been lowered by reducing it to the core elements: a work space and several boxes for assembly parts (fig. 1, 2).

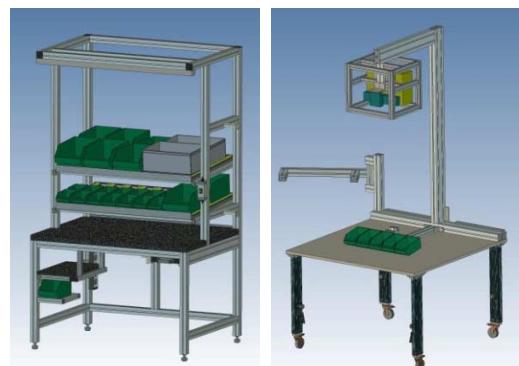


Figure 1. A regular assembly table (left) and the assembly table constructed for ASED (right)

The base to the left holds a monitor with a haptic display required to map state of the art assistive systems which use touch screens. It also displays the gamification elements. The top mount

construction holds the sensor used for motion detection (currently a Kinect) and the projector used for the in-situ projection.

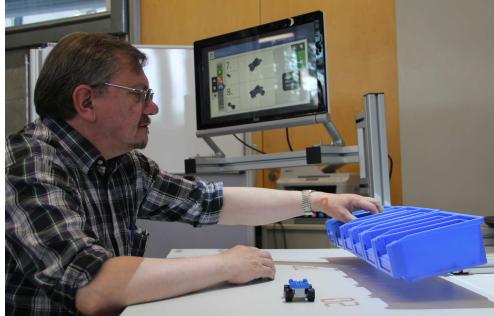


Figure 2. A worker in an experiment designed by ASED

The projector is fixed 1.4 meters above the work area to provide sufficient lens coverage for the working area and to ensure that workers with cognitive impairments are not irritated. The table's height is adjustable to provide equal conditions for wheelchair-bound persons. To allow experiments at various sheltered work organizations, the table has to be dismountable for transport.

5. ASED: SOFTWARE

The ASED software component has been developed to allow measuring performance in a wide range of manual work processes. It relies strongly on the benefits of motion recognition: marker-less real-time analysis of human body movement [5]. By using motion recognition, the work processes become transparent and can be analyzed and visualized in real-time – a prerequisite for gamification and context-specific in-situ projection.

ASED provides an easy and effective way for setting-up experiments (figure 2). At first 3-dimensional boxes are defined as “trigger areas”. These areas are then observed by the depth-sensor of the Kinect. In the second step “causes and effects” are assigned. A cause can be the passage of a user’s hand through a trigger area or just the exceeding of a time limit. ASED also allows events like hand gestures or triggers for the gamification element. Currently the effects ‘jump to process step’, ‘create timestamp’ and ‘trigger external action’ are implemented.

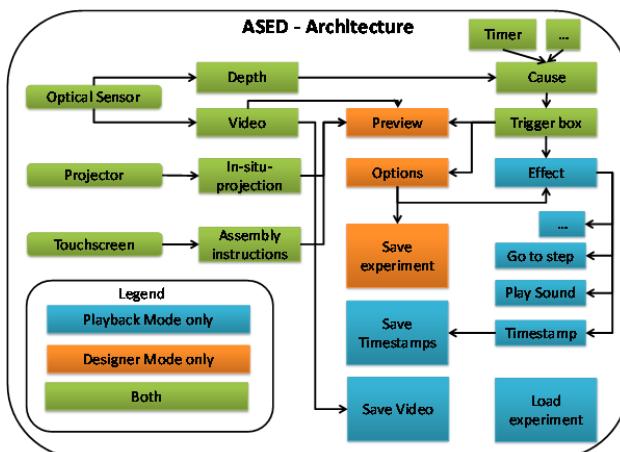


Figure 3. Architecture of the ASED software

For each process step ASED allows configuring what the touchscreen and by the projector show. Multimedia contents (images, sound, and video) can be included easily. Once the design phase of an experiment is completed, it can be saved as an

XML-file and run using ASED’s playback component. The following sequence illustrates a typical experiment cycle:

- the experiment is initialized by assigning a user ID
- ASED runs a short configuration cycle to adjust projector and Kinect
- the experiment starts with the first assembly instruction
- the touchscreen shows the instruction, while the projector highlights the relevant box to pick from
- motion detection observes the relevant trigger areas
- once the user’s hand enters a trigger area, the sum of the z-values measured by the motion detection system changes significantly
- once a trigger is activated, the effects are initiated
- in case of an error timestamps are generated when the hand enters and when it leaves the wrong trigger area

This exemplary scenario shows ASED’s potential: it allows designing as wide a range of causes and effects as the experiment requires. However it also is designed to save the data integrity and restrict changes which affect the comparability of the results after the experiment started. As a backup for the analysis, ASED does not only save the timestamps but also the video stream for later analysis. Thus statistical outliers can be cross-checked by comparing the timestamps with the video stream.

6. CONCLUSION

We introduced the ASED toolkit for empirical studies measuring the performance of workers using assistive systems in production environments. The toolkit has been specifically designed to help researchers in the field of assistive technologies for persons with impairments or disabilities. It combines a compact table and new software integrating motion detection to automate the evaluation of human movements. Thus it offers support and standardization potential for research on accessibility and ergonomics.

7. NEXT STEPS

The next steps will be to complete the main study on the enhanced ASiPE until the middle of 2013. During this time the ASED software will be improved to support additional requirements.

8. ACKNOWLEDGMENTS

Our thanks go to the company “Schnaithmann Maschinenbau GmbH” for building the experimental table and to the sheltered work organization in Heilbronn for supporting the tests.

9. REFERENCES

- [1] McGonigal, J.: *Reality is Broken: Why Games Make Us Better and How They Can Change the World*, London: Random House, 2011
- [2] Korn, O.: Industrial Playgrounds. How Gamification Helps to Enrich Work for Elderly or Impaired Persons in Production, *Proceedings of the ACM EICS 2012*
- [3] Brach, M. & Korn, O.: Assistive Technologies at Home and in the Workplace – A Field of Research for Exercise Science and Human Movement Science. *EURAPA (European Review of Aging and Physical Activity)*, vol. 9, 2012
- [4] Korn, O.; Schmidt, A.; Hörz, T.: Assistive Systems in Production Environments: Exploring Motion Recognition and Gamification *Proceedings of the ACM PETRA 12*
- [5] Shotton, J.; Fitzgibbon, A.; Cook, M.; Sharp, T.; Finocchio, M.; Moore, R.; Kipman, A.; Blake, A.: Real-Time Human Pose Recognition in Parts from Single Depth Images. In *Proceedings of the IEEE CVPR 2011*

A.5. ASED Styleguide von Valentin Schwindt

ASED Styleguide

Icon



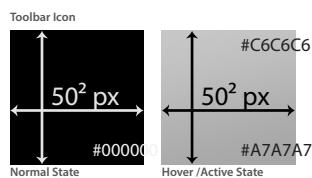
Font

Title

MyriadPro Light
ABCDEFGHIJKLMOPQRSTUVWXYZ
abcdefghijklmopqrstuvwxyz

Headings
Myriad Pro Bold
ABCD abcd 1234

Content
Arial Regular
ABCD abcd 1234



Colors

Button/Icon Hover Gradient

R:198, G:198, B:198
#c6c6c6

R:168, G:168, B:168
#a7a7a7

Color Gradients

R:209, G:107, B:17
#7d16b11

R:255, G:189, B:75
#ffb74d

R:65, G:132, B:212
#4184d4

R:33, G:57, B:129
#214b81

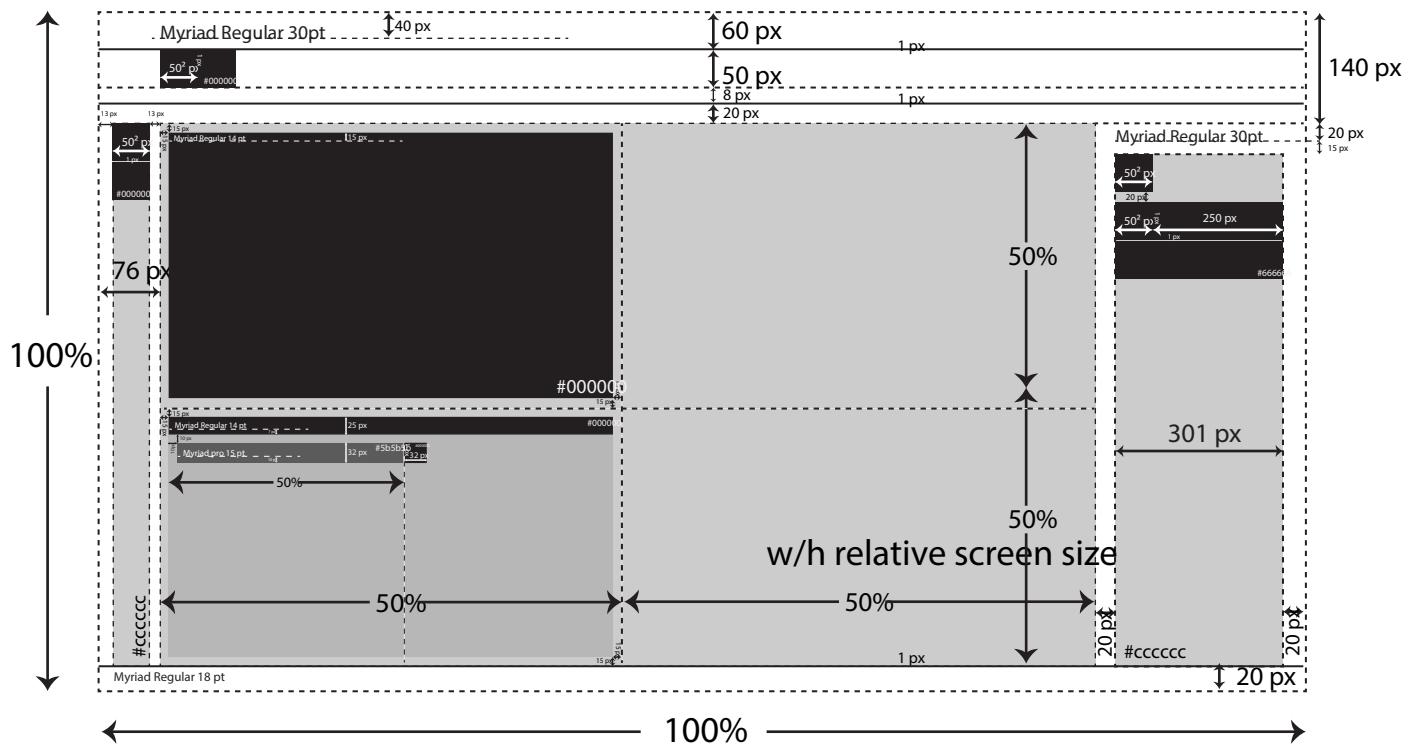
R:54, G:185, B:13
#36b90d

R:81, G:130, B:4
#518204

R:255, G:59, B:33
#ff3b21

R:178, G:0, B:0
#b20000

Layout



Literaturverzeichnis

- [Dav12] A. Davison. *Kinect Open Source Programming Secrets - Hacking the Kinect with OpenNI, NITE, and Java*. McGraw-Hill, 2012. (Zitiert auf Seite 61)
- [HBW11] C. Harrison, H. Benko, A. D. Wilson. OmniTouch: wearable multitouch interaction everywhere. In *Proceedings of the 24th annual ACM symposium on User interface software and technology*, UIST '11, S. 441–450. ACM, New York, NY, USA, 2011. doi: 10.1145/2047196.2047255. URL <http://doi.acm.org/10.1145/2047196.2047255>. (Zitiert auf Seite 26)
- [WB10] A. D. Wilson, H. Benko. Combining multiple depth cameras and projectors for interactions on, above and between surfaces. In *Proceedings of the 23nd annual ACM symposium on User interface software and technology*, UIST '10, S. 273–282. ACM, New York, NY, USA, 2010. doi:10.1145/1866029.1866073. URL <http://doi.acm.org/10.1145/1866029.1866073>. (Zitiert auf Seite 27)
- [Wilo01] U. Willnecker. Gestaltung und Planung leistungsorientierter manueller Fließmontagen. In *Forschungsberichte iwb, Berichte aus dem Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften der Technischen Universität München* / Hrsg. von G. Reinhart, 146. München : Utz, Wiss., 2001. URL http://www.iwb.tum.de/iwbmedia/Downloads/Publikationen/iwb_Forschungsberichte/Willnecker.pdf. (Zitiert auf den Seiten 9, 16 und 29)

Alle URLs wurden zuletzt am 19.09.2012 geprüft.

Erklärung

Hiermit versichere ich, diese Arbeit selbstständig verfasst und nur die angegebenen Quellen benutzt zu haben.

(Daniel Kaupp)