GEFÖRDERT VOM

Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Projektträger
VDI|VDE|IT

„Bundschuh – Bedienkonzepte und Schnittstellen im realen Wohnumfeld hochbetagter Nutzer“

Verbundprojekt, Förderkennzeichen 16SV6302K, 16SV6303, 16SV6304, 16SV6305, 16SV6306

Projektlaufzeit 01/2014 – 12/2016

Partner: TU Ilmenau, Fachgebiet Systemanalyse
(Prof. Dr. Christoph Ament, Dr.-Ing. Fred Roß)

TU Ilmenau, Fachgebiet Biomechatronik
(Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. med. (habil.) Hartmut Witte)

velixX GmbH

Orthopädische Schuhtechnik eG Themar

AWO AJS gGmbH Thüringen

aproxima - Gesellschaft für Markt- und Sozialforschung

Projektträger: VDI/VDE Innovation + Technik GmbH

Gefördert durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung im Rahmen der Förderinitiative „IKT 2000 - Forschung für Innovationen“.

Verantwortliche Endredaktion:

Dr.-Ing. Fred Roß, Dr.-Ing. Stefan Lutherdt

Autoren:

Dr.-Ing. Fred Roß (TU Ilmenau, Fachgebiet Systemanalyse)

Dr.-Ing. Stefan Lutherdt (TU Ilmenau, Fachgebiet Biomechatronik)

Dipl.-Ing. Ludmilla Popp, Dipl.-Ing. Manfred Augstein (velixX GmbH)

Dirk Fischer-Wanat (Orthopädische Schuhtechnik eG Themar

Denise Günther (AWO AJS gGmbH Thüringen)

Dr. Henry Kreikenbom (aproxima - Gesellschaft für Markt- und Sozialforschung)

Gesamtinhaltsverzeichnis

Teil A: Technische Universität Ilmenau

Teil B: VelixX GmbH

Teil C: Orthopädie Schuhtechnik eG Themar

Teil D: AWO AJS gGmbH

Teil E: aproxima Sozialforschung

Inhaltsverzeichnis Teil A: Projektteil TU Ilmenau

1 Einführung zum Projekt Bundschuh: Zielstellungen, Verbundpartner und Arbeitsplan - 6 -

2 Das Bundschuh-Assistenzsystem (Projektpartner Technische Universität Ilmenau) ..... - 8 -

2.1 Projektziel ..... - 8 -

2.2 Smarte Bedienung der Heimtechnik ..... - 9 -

2.2.1 Befehlssynthese ..... - 13 -

2.2.2 Plausibilitätsprüfung ..... - 15 -

2.2.3 Befehlsausführung ..... - 21 -

2.2.4 Das Datenschutzkonzept des Bundschuh-Assistenzsystems ..... - 23 -

2.2.5 Der Demonstrator ..... - 26 -

2.2.6 Die Testwohnräume ..... - 29 -

2.2.7 Während der Entwicklung bekannt gewordene Entwicklungen anderer Hersteller - 35 -

2.2.8 Ansätze zur Störgeräuscheliminierung bei Sprachanalyseproblemen ..... - 36 -

2.3 Der Intelligente Schuh ..... - 49 -

2.3.1 Idee und Konzept einer neuartigen Informationsschnittstelle ..... - 49 -

2.3.2 Untersuchungen zum Vibrationsempfinden an der Fußsohle ..... - 51 -

2.3.3 Aufbau, Test und Systemintegration der Komponenten des Intelligenten Schuhs .. - 58 -

2.3.4 Funktions- und Nutzertests der Schuhsohle in einer Testsandale ..... - 67 -

2.3.5 Integration in das Assistenzmodul ..... - 68 -

2.3.6 Trackingmodul des Intelligenten Schuhs ..... - 73 -

Literatur und Quellennachweise: ..... - 79 -

Abbildungsverzeichnis ..... - 81 -

Tabellenverzeichnis ..... - 85 -

Anhang ..... - 86 -

Abkürzungsverzeichnis

AAL	Ambient Assisted Living
AWO	Arbeiterwohlfahrt
COM	communication port
PIR	passive infrared
TU	Technische Universität
US	Ultraschall
USB	Universal Serial Bus
WLAN	Wireless Local Area Network
XML	Extensible Markup Language

Teil A: Technische Universität Ilmenau

1 Einführung zum Projekt Bundschuh: Zielstellungen, Verbundpartner und Arbeitsplan

Technik entwickelt sich weiter, rasant. Dies gilt auch, möglicherweise vor allem, für Technik im häuslichen Bereich. Genügte vor Jahren ein Fernseher mit zwei Bedienknöpfen für An- und Ausschalten sowie für die Programmauswahl so ermöglichen heutige Fernseher dank ihrer smarten Funktionen neben dem ursprünglichen Zweck des Schauens von Fernsehprogrammen auch das Abspielen von DVDs bzw. Radioprogrammen, das Surfen im Internet oder das Abrufen von Angeboten Drittanbieter. auch waren vor einigen Jahren programmierbare Küchengeräte nicht vorstellbar, geschweige denn elektrisch betriebe Wasserhähne. Als das hält Einzug in unseren Alltag oder hat es bereits getan. Hinzu kommt, dass, geschuldet der rasanten Technik-(weiter-)entwicklung, der Verbleib solcher Geräte im Haushalt zeitlich gesehen abnimmt, ehe sie durch neue, noch funktionsreichere Exemplare ersetzt werden. Diese Entwicklung birgt neben den unbestreitbaren angenehmen Effekten jedoch auch negative Folgen. Kaum jemand ist in der Lage, ein komplexes Gerät im Heimbereich wie Fernseher oder programmierbaren Herd in vollem Umfang zu bedienen ohne ständig in dicken oder gar nur online verfügbaren Handbüchern zu blättern. Hinzu kommt, dass ein Gerätewechsel meist auch mit einer Änderung der Bedienstruktur verbunden ist.

Diesem Dilemma stehen alle Menschen gegenüber, besonders jedoch ältere Menschen, die nicht im Umgang mit komplexen technischen Geräten aufgewachsen sind, und Menschen mit bestimmten kognitiven aber auch motorischen Defiziten. Viele Nutzer wünschen sich ein einheitliches Bedien- und Steuerkonzept für alle technischen Geräte und Systeme im Wohnumfeld. Gleichzeitig sollte die Ausführung nach Möglichkeit ohne zusätzliche Eingabegeräte ausschließlich über natürliche Kommunikationsformen wie Sprache und Gestik erfolgen. Eingabegeräte wie Fernbedienungen, Tablets oder Smartphones mit entsprechenden Apps sollten allenfalls als Backup-Lösungen und zur Konfiguration vorgehalten werden. Dies gilt eben umso mehr für ältere und hochbetagte Personen, die aus ihrem Erfahrungswissen keine oder nur geringe Kenntnisse über die Vielzahl technischer Geräte und die jeweils spezifischen Bedienkonzepte mitbringen.

Ein solches Bedienkonzept bietet die Chance, dass hochbetagte Menschen länger eigenständig in ihrer gewohnten häuslichen Umgebung wohnen bleiben können. Dem steht jedoch das Problem entgegen, dass gerade bei diesen Menschen häufig kognitive Defizite in Folge von dementen Erkrankungen auftreten. Betreuende Personen können solche Personen nicht lückenlos beaufsichtigen, zumal hier auch oft der Drang nach Verlassen des Hauses/Grundstückes besteht, ohne sich dann in der ungewohnten Umgebung zurecht zu finden. Wünschenswert wäre eine Assistenzfunktion, die unbemerkt immer bei sich geführt werden könnte und bei der ein versehentliches "Liegenlassen in der Wohnung" nahezu ausgeschlossen ist.

Deshalb hat sich das Projekt Bundschuh die zwei Aufgaben gestellt, zum einen ein für alle im häuslichen Umfeld befindlichen technischen Geräte gültiges intuitives, auf Sprache und Gestik beruhendes Bedienkonzept und zum anderen ein Navigations- und Lokalisationssystem, welches sich in den Schuhen

der betreffenden Person befindet, zu entwickeln und demonstratorhaft zu implementieren. Untersucht werden sollte auch die Frage, wie beide Systeme zusammenarbeiten, sich ergänzen und damit ihren Nutzen erweitern können. Diese Frage ist umso mehr berechtigt, da in immer mehr Bereiche des menschlichen Alltags Systeme mit Assistenzfunktionen Einzug halten (z.B. Sport, im Fahrzeug, bei der Medikamenteneinnahme).

Die im Projekt Bundschuh entwickelten Assistenzsysteme besitzen im Wesentlichen folgende Funktionalität:

- intuitive Bedienung von Technik im realen Wohnumfeld mittels Sprache und Gesten
- Adaptive Organisation von Bedienszenarien (Assistenzsystem stellt sich auf Nutzergewohnheiten ein)
- Lokalisierung dementer Personen im Gebäude und in gebäudenaher Umgebung
- Navigation dementer Personen im Gebäude

Entwickelt wurde das Bundschuh-System in einem Konsortium von Forschungseinrichtungen, mittelständigen Firmen einschließlich einem Sozialforschungsunternehmen für die Begleitforschung und einem Pflegedienstleister, welche die für die Entwicklung eines solchen Assistenzsystems notwendigen Kompetenzen und Fähigkeiten in idealer Weise einbringen. Diese Projektpartner waren im Einzelnen:

- Forschungseinrichtungen: Technische Universität Ilmenau, Fachgebiet Systemanalyse und Fachgebiet Biomechatronik
- Entwicklungsunternehmen: velixX GmbH, Orthopädische Schuhtechnik eG Themar
- Pflegedienstleister: AWO AJS gGmbH Thüringen
- Sozialforschungsunternehmen: aproxima - Gesellschaft für Markt- und Sozialforschung

2 Das Bundschuh-Assistenzsystem (Projektpartner Technische Universität Ilmenau)

2.1 Projektziel

Ziel des Projektes Bundschuh war die Neuentwicklung eines aktiven Gesamtsystems zur Steigerung der Autonomie Älterer vor allem in Pflege- und Seniorenheimen wie auch in Wohneinheiten des Betreuten Wohnens, wozu wir auch die private Betreuung innerhalb einer Lebenspartnerschaft rechnen. Wie bereits angeführt, weist Autonomie hierbei in zwei Richtungen. Zum einen sollen haushaltsnahe Techniken intuitiv und konzeptuell durchgängig bedienbar sein, zum anderen sollen, vor allem demente, Personen lokalisierbar sein und Personen sollen bei der Orientierung in Gebäuden aktiv unterstützt werden (besonders in Pflegeheimen nach einem Umzug dorthin bzw. mit fortschreitender Demenz). Beide Aufgabenbereiche sollen sich gegenseitig aktivieren/deaktivieren können, da es nur sinnvoll ist, Technik zu Hause bedienen zu können, wenn die Person zu Hause ist bzw. eine Person zu lokalisieren/navigieren, wenn diese unterwegs, also nicht zu Hause ist. In Abb. 2-1 wird beispielhaft eine mögliche Konfiguration des Assistenzsystems gezeigt. Hierbei gehören die Komponenten 7 und 8 zum Teil Lokalisierung/Navigation sowie die Komponenten 1, 2, 3, 4 und 5 zum Teil Technikbedienung. Die restlichen Komponenten sind durch das neue Bedienkonzept bedienbare technische Geräte.

Im Einzelnen sind im Beispiel aus Abbildung 2-1 folgende Systemkomponenten aufgeführt:

1. smart home Zentrale
2. Mini-PC (Assistenzsystem)
3. Touch-Screen (Wartung, Status-Anzeigen)
4. Kamera/Mikrofon (Gestenaufnahme, Sprachaufnahme)
5. Mini-PC (Rohbefehlserkennung Sprache/Geste)
6. Auswahl steuerbarer Wohneinrichtungsgegenstände (Fensterflügel, Haustürschloss, Deckenlampe, Stehlampe, Heizkörper, Fernseher)
7. Intelligenter Schuh
8. Ladestation und Datenübernahme als Fußmatte ausgeführt.

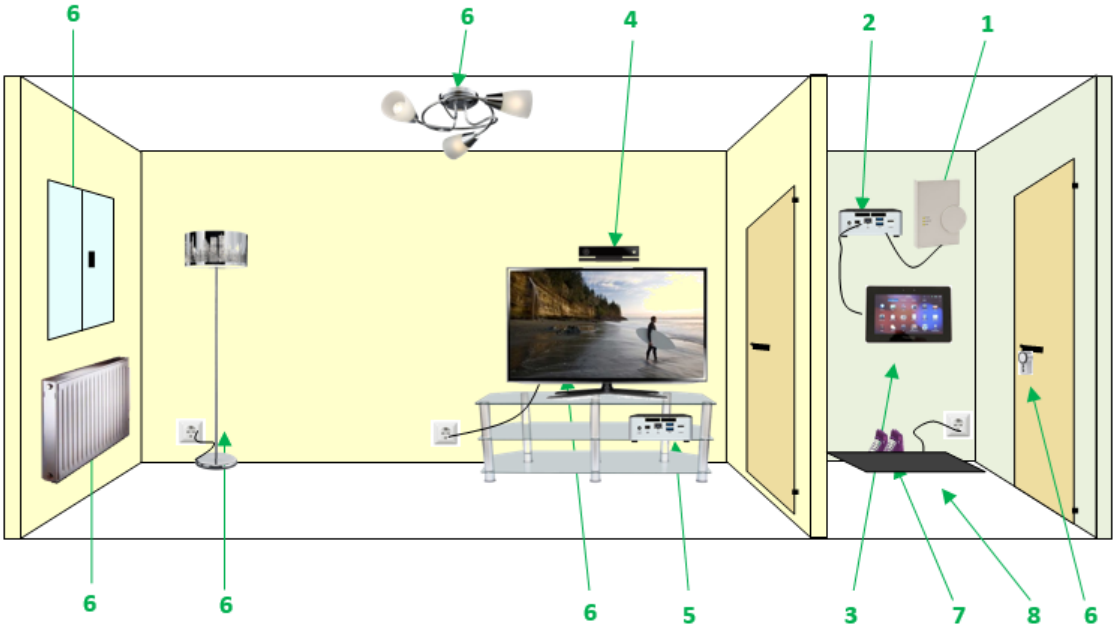


Abbildung 2-1: Komponenten des Bundschuh-Assistenzsystems (Quelle: TU Ilmenau)

2.2 Smarte Bedienung der Heimtechnik

Der Alltag von uns Menschen wird von einer Vielzahl von Routinen beherrscht, welche teils komplexe aber auch teilweise primitive Abläufe aufweisen. Zudem sind die Einsatzorte stark verstreut, sodass für die Durchführung häufig unverhältnismäßige Laufwege benötigt werden. Somit ist das Aufwand-Nutzen-Verhältnis in den meisten Fällen eher schlecht. Daher können derartige Tätigkeiten von uns Menschen als leidlich wahrgenommen werden. Mit zunehmenden Alter kann die Ausführung derartige Aufgaben zudem immer mühseliger werden. Dies kann sogar bis zu einem Punkt führen, an dem diese einfachen Aufgaben nicht mehr selbstständig zu bewältigen sind, sodass Hilfe von Mitmenschen in Anspruch genommen werden muss. Ein solcher Fall kann auch durch Krankheit eintreten. Gelingt es, einige wesentliche Handlungen des Alltags zu automatisieren bzw. deren Aufwand zu reduzieren, führt dies zu einer Effizienzsteigerung und gleichermaßen einem Komfortzuwachs. Unter Umständen kann auch ein Autonomiegewinn erzielt werden.

Bei der Entwicklung eines automatisierten Systems wird oft auf einem schmalen Grat zwischen Entlastung des Nutzers und dessen Bevormundung gewandelt. Dabei werden Entscheidungen selbst vom System aufgrund angelernter Verhaltensmuster getroffen, oder die Prozesse laufen schlicht und einfach nach einem fest definierten Ablaufplan ab. Im letzteren Fall kann der Ablauf zwar direkt nach den eigenen Wünschen gestaltet werden, jedoch wird dabei immer vorausgesetzt, dass die Bedürfnisse Tag für Tag identisch sind. Damit die Kontrolle weitreichend erhalten bleibt, müssen die grundlegenden Steuerentscheidungen beim Menschen verbleiben und nur die Ausführung einem technischen System überlassen werden. Eine Erleichterung wird also erzielt, indem einzelne Prozesse im Haushalt automatisiert werden und vom Menschen lediglich die Steuerbefehle erwartet werden. Bei der Vielzahl an Haushaltsgegenständen kann dies jedoch relativ schnell sehr komplexe Ausmaße annehmen, sodass hier eine Standardisierung in Form eines einheitlichen Bedienkonzepts erfolgen muss. Ein solches Kon-

zept sollte die natürlichen Kommunikationswege des Menschen berücksichtigen, um eine erhöhte Akzeptanz zu erreichen. Im Projekts Bundschuh wurden daher die beiden Hauptformen "Geste" und "Sprache" verwendet.

Dabei besteht der Wunsch, dies möglichst intuitiv zu gestalten, um den Lernaufwand zu senken und eine möglichst hohe Akzeptanz zu erreichen. Da Menschen durch eine Vielzahl von Umgebungseinüssen geprägt sind, kann es dabei mit einem einzelnen Steuerbefehlssatz nicht jedem Recht gemacht werden. Es ist zwar möglich eine Basis bestimmter Steuerbefehle zu generieren, welche von einem Großteil der Nutzer akzeptiert wird, allerdings muss für die Restlichen eine Anpassung der Befehle erfolgen. Dies kann durch eine implementierte Lernfähigkeit des Systems gewährleistet werden. Das macht die Wohnumgebung individuell und somit nicht mehr durch jedermann steuerbar. Für eine Realisierung im persönlich Wohnumfeld ist dies nicht problematisch. Soll das System jedoch ergänzend in Zukunft im öffentlichen Bereich eingesetzt werden, muss ein fest definierter Befehlssatz eingebunden werden. Ähnlich, wie es bei Tastaturen der Fall ist, können bestimmte Profile erstellt werden, zwischen denen die Nutzer wählen können. Zudem muss ein Dialogmodul erklärend eingreifen, wenn ein Nutzer Hilfe benötigt. Die Steuerung dieses Moduls sollte immer gleich gestaltet sein. In Abbildung 2-2 wird ein solches System grundlegend dargestellt. Die wesentlichen Schritte sind dabei wie in technischen Prozessen üblich zunächst die Erfassung von Signalen/ Informationen (Erfassungssystem) deren Sammlung und Verarbeitung (Zentrale Auswerte/Steuereinheit) und ein daraus resultierender Programmablauf, welcher in einer Manipulation der Umgebung münden kann (Steuermodule) oder Informationen nach außen gegeben werden. Diese Systemmodule können wiederum aus mehreren Modulen bestehen. Einzelne Teilprozesse können daher dezentral (direkt in der Hardware), bei Bedarf aber auch zentral verarbeitet werden. So kann das System entsprechend sich ändernder Anforderungen an den Datenschutz oder preiswerterer Systemmodule immer entsprechend der Kundenwünsche angepasst werden.

Im Zentrum des ganzen steht der Mensch, welcher entsprechend seiner Bedürfnisse die Geräte des Wohnumfeldes steuern kann. Dies kann er zum einen auf direktem Weg, indem er diese, wie üblich, per Hand bedient. Diese Möglichkeit soll immer gegeben sein. Zum anderen kann er durch die erfassten Sprach- und Gestenbefehle die Geräte fernsteuern. Dafür eignen sich Prozesse, die immer gleich ablaufen und kein permanentes Eingreifen des Menschen benötigen. Dies betrifft z.B. "Tür öffnen",

"Fenster öffnen", das Anschalten eines Gerätes und viele weitere Funktionen. Der Begriff "Erfassung" bezieht sich dabei nicht auf die sensorische Erfassung an sich, sondern auf die Erfassung verwertbarer aufbereiteter Datenströme. Das heißt, es werden keine direkt gemessenen Daten weitergegeben, sondern immer eine Auswertung im Erfassungsmodul durchgeführt. Können erfasste Befehle eindeutig gedeutet werden, wird der Befehl ausgeführt und der Nutzer über den Status informiert. Ist die Wahrscheinlichkeit hoch, dass ein Befehl vorliegt, jedoch keine eindeutige Interpretation möglich ist, können Rückfragen an den Nutzer gestellt werden. In Abbildung 2-2 ist der prinzipielle Aufbau eines solchen Systems dargestellt. Es muss in zweierlei Hinsicht modular aufgebaut sein. Zum einen müssen Erfassungssysteme ergänzt werden können um z.B. Vitaldaten (wichtig bei Menschen mit Handicap) oder zusätzliche Informationen wie Wetterdaten in die Hausautomation integrieren zu können, zum anderen müssen weitere/zukünftige smart home-Systeme eingebunden werden können, um sowohl die Sicherheit (z.B. Abschaltung des Herdes bei Verlassen der Wohnung) als auch den Komfort (z.B. Einbindung der Waschmaschine) zu erhöhen.

Ausgehend von den in Abbildung 2-2 dargestellten Funktionen wurde im Projekt ein System gemäß Abbildung 2-3 entwickelt und implementiert. Neben der manuellen Bedienung aller Geräte auf herkömmliche Weise („Schalter betätigen“) wurden das Gestenerkennungsmodul (im Projekt vom Projektpartner velixX entwickelt und implementiert) und das Spracherkennungsmodul (vom Projektpartner TU Ilmenau angepasste Spracherkennungssoftware Dragon NaturallySpeaking der Fa. Nuance) als Erfassungssystem integriert. Beide Module liefern unabhängig voneinander Steuerbefehle oder Teile davon. Erst in der Befehlssynthese- und Analysemodul werden diese Befehlsstrukturen zusammengeführt. Alle Informationsflüsse zwischen den Modulen des Bundschuh-Assistenzsystem erfolgen drahtgebunden über die vorhandene 220V-Stromleitung.

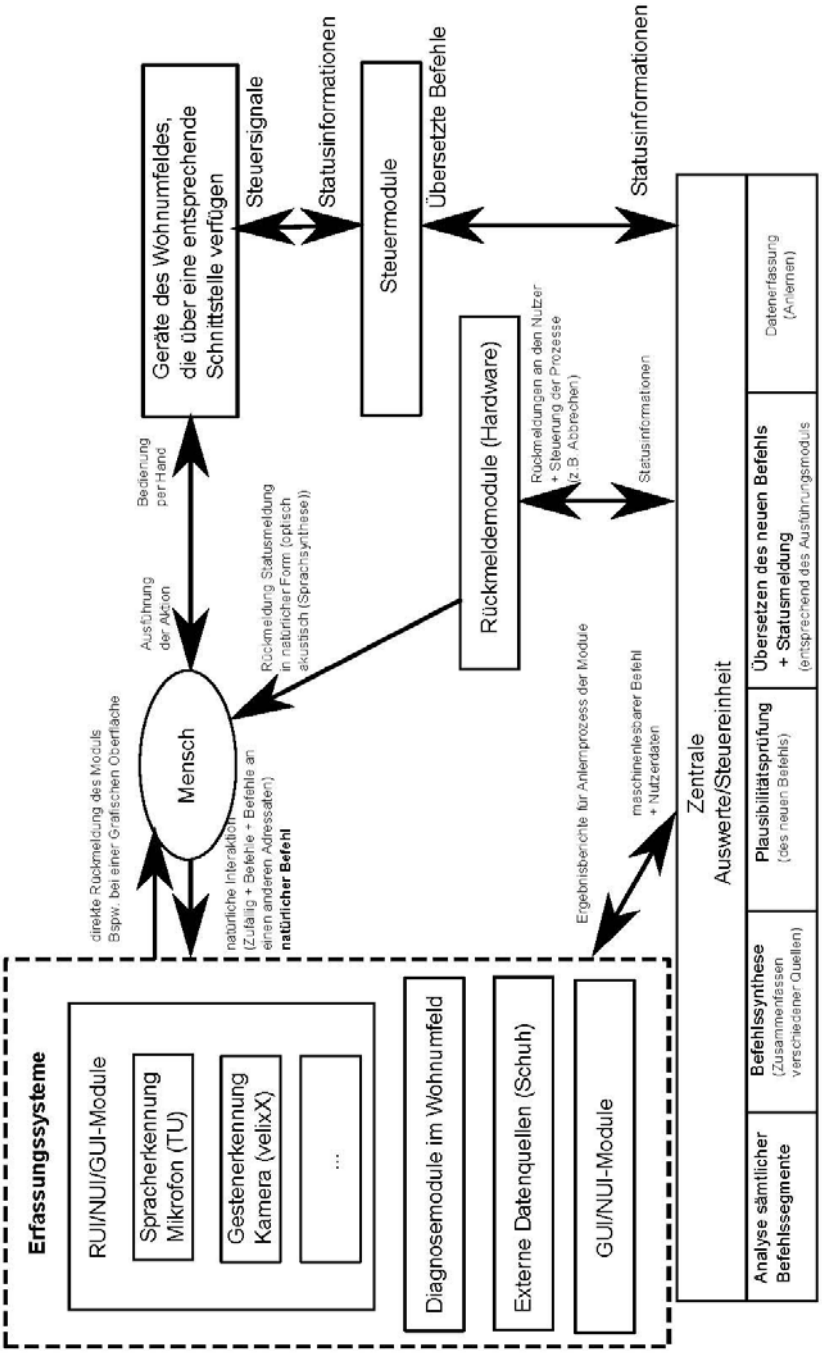


Abbildung 2-2: Grundprinzip der Funktionen

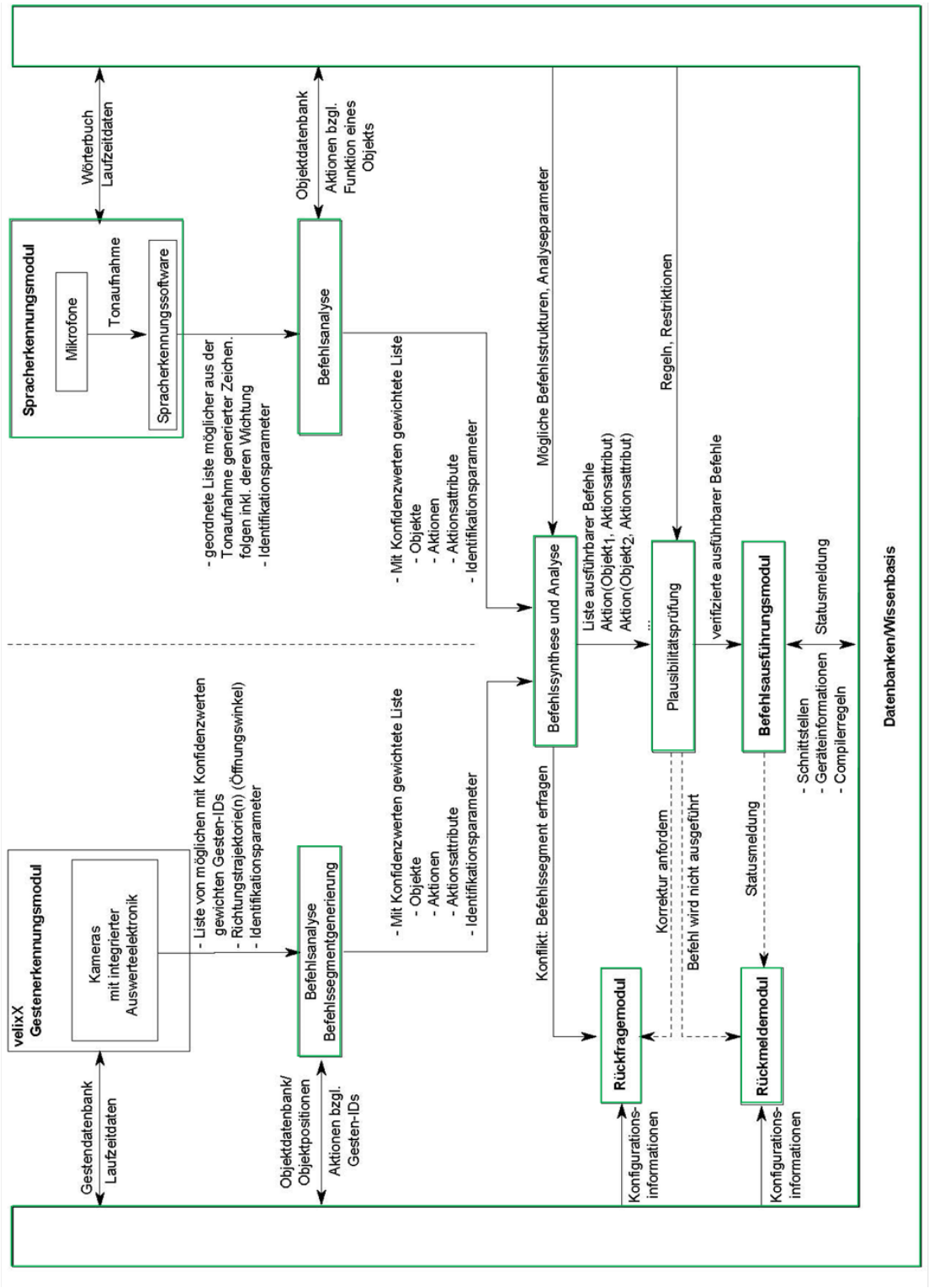


Abbildung 2-3: Grundmodule der Gerätesteuerung

Mit zwei separaten Befehlsausführungsmodulen wurden die beiden smart home-Systeme "digitalstrom" und "HomeMatic" eingebunden.

2.2.1 Befehlssynthese

Aufgabe des Befehlssynthesemoduls ist es, aus den von der Gestenerkennung und der Spracherkennung gelieferten Befehlssegmenten einen syntaktisch korrekten Befehl zu ermitteln. Hierzu erfolgt in den beiden vorangeschalteten Modulen bereits eine Voranalyse, so dass nur tatsächlich vorhandene Objekte und zulässige Aktionen (im Gesamtkontext) geliefert werden. Ob das Objekt die Aktion ausführen kann, wird erst später geprüft. Ein vollständiger syntaktisch richtiger Bundschuh-Befehl hat die Form:

Objekt <Raum> Aktion <Aktionszusatz>

Die Attribute in den spitzen Klammern sind optional.

Objekte sind hierbei alle im System hinterlegten steuerbaren Geräte. Jedes Gerät kann mit mehreren Namen belegt werden. So können z.B. die Bezeichnungen "Licht", "Deckenlicht" und "Lampe" gleichbedeutend sein. Dadurch kann das System an die Gewohnheiten mehrerer Nutzer angepasst werden. Aktionen sind ebenfalls alle im System hinterlegten ausführbaren Befehle. Dabei ist es unerheblich, von welchem Gerät sie ausgeführt werden können. Auch hier sind Mehrfachbezeichnungen möglich. So können die Worte "aus", "ausschalten" und "abschalten" die gleiche Aktion auslösen. Die optionale Raumangabe ermöglicht es, Geräte in anderen Räumen zu schalten. Dies ist z.B. sinnvoll, vergessene Lampen beim Verlassen der Wohnung oder vor der Nachtruhe auszuschalten. Aber auch das Starten der Kaffeemaschine morgens aus dem Bad heraus ist durchaus komfortabel. Um Missbrauch vorzubeugen, kann diese Option jedoch zimmerweise abgeschaltet werden. Wird kein Raum angegeben, bezieht sich die Aktion immer auf ein Objekt in dem Raum, in dem der Befehl gesprochen (Spracheingabe) oder das Objekt gezeigt wird (Gestenerkennung). Bei Angabe eines Raumes wird die Ausführung der Aktion durch eine Sprachansage quittiert.

Es können auch Gerätegruppen gebildet werden. So können mit dem Objekt "Licht" sowohl eine einzelne Lampe gemeint sein oder alle/einige in einem Raum befindliche Lampen. Ein optionaler Aktionszusatz kann eine Aktion genauer spezifizieren. Wird dieser weggelassen, wird ein voreingestellter Wert verwendet. So haben der Adresszusatz "um 5°" und das Fehlen eines Adresszusatzes bei der Aktion "erhöhen" die gleiche Aktionsausführung zur Folge.

Syntaktisch korrekte Befehle sind z.B.:

- Licht an
- Stehlampe anschalten
- Licht Küche anschalten
- Licht heller
- Temperatur erhöhen auf 30° C
- Temperatur erhöhen um 30°

Ob ein der Befehlsanalyse zugeführter Befehl komplett aus der Gestenerkennung bzw. der Spracherkennung stammt oder nur jeweils Teile davon, ist unerheblich. So kann z.B. auf ein Objekt gezeigt und die Aktion gesprochen werden, oder das Objekt wird gesprochen und die Aktion als Armbewegung ausgeführt (Tabelle 2-1). Lediglich die optionalen Befehlsangaben müssen gesprochen werden.

Tabelle 2-1: Mögliche Quelle einzelner Befehlssequenzen

Geste	Sprache
Objekt, Aktion	<Raum>, <Aktionszusatz>
	Objekt, Aktion, <Raum>, <Aktionszusatz>
Objekt	Aktion, <Raum>, <Aktionszusatz>
Aktion	Objekt, <Raum>, <Aktionszusatz>

Wie bereits erwähnt, können Objekte Einzelgeräte, aber auch Gerätegruppen ansprechen. Gerätegruppen müssen dabei nicht zwangsläufig vom gleichen Typ (z.B. Lampen) sein. Dies führt zu Begriff Szenarien. Ein Objekt mit der Bezeichnung "Fernseher" könnte z.B. die Geräte Fernseher, Deckenlampe, Stehlampe und Rollo ansprechen. Der Befehl "Fernseher an" könnte dann das Scenario auslösen:

- Fernseher einschalten
- Rollo herunterfahren
- Deckenlicht ausschalten
- Stehlampe auf 20% gedimmt anschalten

Damit diese Szenarien nicht von Beginn an bekannt sein müssen, können diese adaptiert werden. Bemerkt das Bundschuh-System, dass z.B. nach dem Betreten eines Raumes wiederkehrend die gleiche Steuerbefehlsfolge gesagt wird, werden zunächst im Hintergrund diese Befehle zu einem Szenario zusammengefasst und nach einer Weile auf Rückfrage frei gegeben. Auf diese Weise werden aber auch Einzelbefehle aus einem Szenario entfernt bzw. ausgetauscht. Wird z.B. festgestellt, dass bei obigem Szenario "Fernseher an" stets der Befehl "ARD ein" folgt, wird dieser Befehl in das Szenario integriert und muss dann nicht mehr separat gesprochen werden.

Weiterhin können mehrere Geräte in einem Befehl integriert werden, wenn auf diese die gleiche Aktion ausgeführt werden soll und dies quasi zur gleichen Zeit geschehen soll. So können die nacheinander gesprochene Befehle "Radio aus", "Kaffeemaschine aus" und "Deckenlampe aus" durch den Einzelbefehl "Radio, Kaffeemaschine, Deckenlampe aus" aktiviert werden. Ebenso können mehrere Aktionen auf ein und dasselbe Gerät in einem Befehl aktiviert werden. So kann der Dimmgrad einer Lampe z.B. durch den Befehl "Lampe heller, heller, heller, dunkler" verändert werden, bis die gewünschte Helligkeit erreicht ist. Die Aktionen müssen dabei innerhalb einer vorgegebenen Zeit angesagt werden (voreingestellt: 10 Sekunden). Das Bundschuh-System wandelt solche Befehle intern in Einzelbefehle um.

2.2.2 Plausibilitätsprüfung

Die wie im vorherigen Abschnitt beschrieben erzeugten syntaktisch richtigen Steuerbefehle müssen auf Ausführbarkeit überprüft werden. Dies geschieht in der Plausibilitätsprüfung. Dabei werden folgende Punkte überprüft:

- Ist ein solches Objekt bzw. eine solche Objektgruppe im bezeichneten Raum vorhanden?
- Kann das Objekt bzw. die Objektgruppe die angegebene Aktion überhaupt ausführen?
- Kann das Objekt bzw. die Objektgruppe die angegebene Aktion aus ihrem aktuellen Schaltzustand heraus ausführen bzw. ist dies sinnvoll?

Wenn das Befehlsobjekt im angegebenen Raum nicht vorhanden ist, sucht das System nach Objekten im Raum, die zur gleichen Kategorie gehören. Wird ein solches Objekt gefunden, gibt das System eine Nachricht über das nicht vorhandene Gerät und fragt nach, ob vielleicht das in der Datenbank gefundene Gerät der gleichen Kategorie gemeint war. Ähnlich wird verfahren, wenn ein Objekt zwar im Raum vorhanden ist, jedoch die angegebene Aktion nicht ausführen kann (z.B. "Schalte Fenster ein"). In diesem Fall wird ein Objekt in der Datenbank gesucht, welches die Aktion ausführen kann. Im positiven Fall wird ebenfalls rückgefragt, ob dieses Gerät gemeint ist. (Abbildung 2-4)

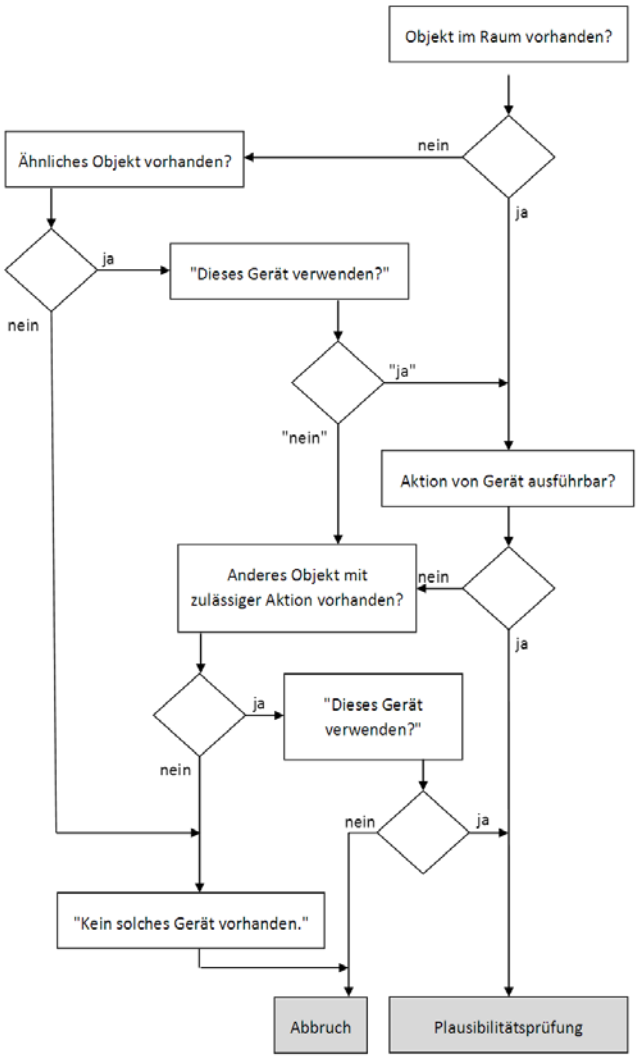


Abbildung 2-4: Objektprüfung

Wurde auf diese Weise ein Steuerbefehl erzeugt, welcher ein im Raum vorhandenes Gerät und eine Aktion, die dieses Gerät ausführen kann, beinhaltet, untersucht die anschließende Plausibilitätsprüfung, ob sich das Gerät in einem Zustand befindet, in dem die auszuführende Aktion möglich bzw. sinnvoll ist. Ein nichtsinnvoller Steuerbefehl wäre z.B. "Schalte das Licht ein", wenn das Licht schon eingeschaltet ist. In diesem Fall ist zu vermuten, dass ein anderes Gerät gemeint ist und das Bundschuh-System reagiert entsprechend (ähnlich Abb. 2-4). Ein Nichtreagieren hätte zwar keine negativen technischen Folgen, würde aber auf Dauer die Akzeptanz des Gesamtsystems verringern.

Bei allen Objekten im Wohnumfeld handelt es sich um Geräte, deren Betriebszustände und deren Überführung untereinander bekannt sind. Damit sind sie aus modelltheoretischer Sicht den white box-Modellen zuzuordnen. Diese zeichnen sich durch theoretische Grundlagen aus und gehören zu den Strukturmodellen (Abbildung 2-5).

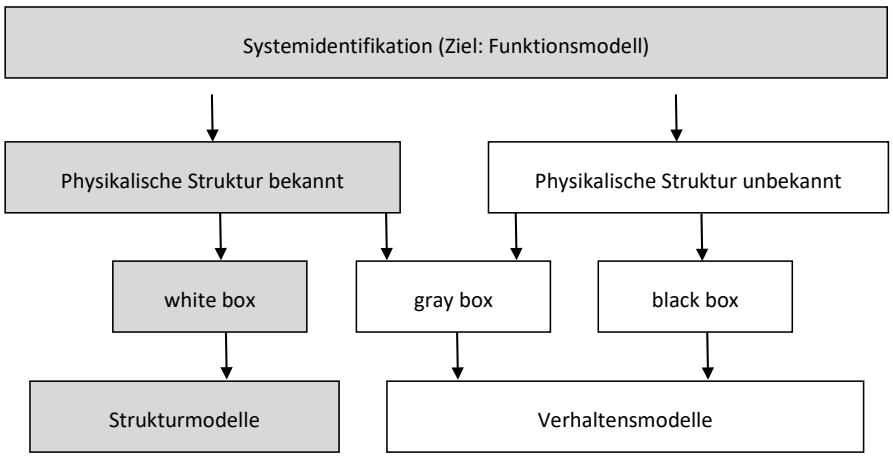


Abbildung 2-5: Weg zum Geräte-Funktionsmodell

Strukturmodelle können mit mathematischen bzw. physikalischen Gleichungen, mit Automaten oder mit Petri-Netzen beschrieben werden, wobei für die Gerätemodelle Automaten günstig erscheinen. Sie bestehen im Wesentlichen aus Zuständen, die durch Transitionen verbunden sind. Diese Transitionen beschreiben die Bedingungen zum Übergang in einen anderen Zustand. Da die Anzahl der Zustände, die ein jeweiliges Gerät annehmen kann, endlich ist, kommen ausschließlich endliche Automaten zum Einsatz.

Nach (Herschel 1974) ist ein endlicher Automat Q durch ein Quintupel mit $X = (\Sigma, Q, \delta, q_0, F)$ definiert, wobei gilt:

- Σ ist die endliche Menge der Transitionen
- Q ist die endliche Menge der Zustände
- δ ist die Übertragungs- oder Transitionsfunktion mit $\delta : Q \times \Sigma \rightarrow Q$
- q_0 ist der Startzustand mit $q_0 \in Q$
- F ist die endliche Menge der Endzustände mit $F \subseteq Q$

Die Abbildung 2-6 zeigt einen Automatengraphen zur Beschreibung des Funktionsmodells einer dimmbaren Lampe.

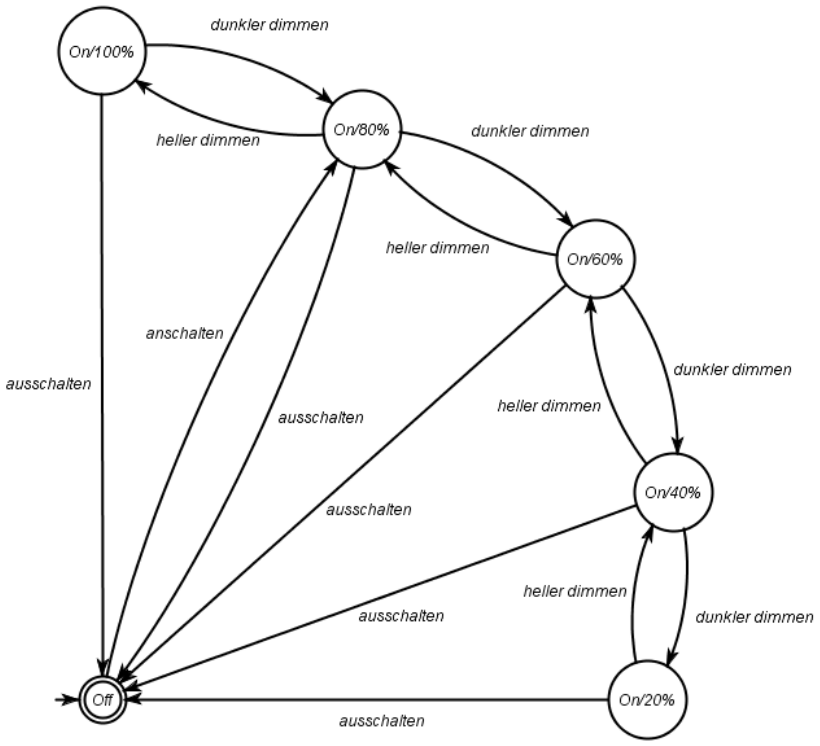


Abbildung 2-6: Automatengraph einer dimmbaren Lampe

Der Automat ist damit wie folgt definiert:

$X = (\Sigma, Q, \delta, q_0, F)$ mit:

- $\Sigma = \{anschalten, ausschalten, dunkler\ dimmen, heller\ dimmen\}$
- $Q = \{On/100\%, On/80\%, On/60\%, On/40\%, On/20\%, Off\}$
- $\delta(Off, anschalten) = On/100\%, \delta(On/100\%, ausschalten) = Off,$
  $\delta(On/80\%, ausschalten) = Off, \delta(On/60\%, ausschalten) = Off,$
  $\delta(On/40\%, ausschalten) = Off, \delta(On/20\%, ausschalten) = Off,$
  $\delta(On/100\%, dunkler\ dimmen) = On/80\%,$
  $\delta(On/80\%, dunkler\ dimmen) = On/60\%,$
  $\delta(On/60\%, dunkler\ dimmen) = On/40\%,$
  $\delta(On/40\%, dunkler\ dimmen) = On/20\%,$
  $\delta(On/20\%, heller\ dimmen) = On/40\%, \delta(On/40\%, heller\ dimmen) = On/60\%,$
  $\delta(On/60\%, heller\ dimmen) = On/80\%, \delta(On/80\%, heller\ dimmen) = On/100\%,$
- $q_0 = Off$
- $F=\{Off\}$

Die Definition kann direkt dem Automatengraphen entnommen werden, wobei die Zustände als Kreise dargestellt sind. Der unbeschriftete Pfeil zeigt auf den Startzustand. Der Endzustand ist durch einen doppelten Kreis markiert. Die Transitionen werden durch beschriftete Pfeile repräsentiert, die zwischen den Zuständen verlaufen.

Es handelt sich hier um einen nichtvollständig definierten Automaten, welcher durch fehlende Transitionen gekennzeichnet ist. Vollständig definierte Automaten besitzen auch Transitionen von einem Zustand auf sich selbst (Abb. 2-7). Solche Transitionen würden jedoch zu sinnlosen Befehlen führen

(z. B. "schalte Licht an" obwohl das Licht schon brennt). Aus diesem Grund verwendet das Bundschuh-System nichtvollständig definierte Automaten.

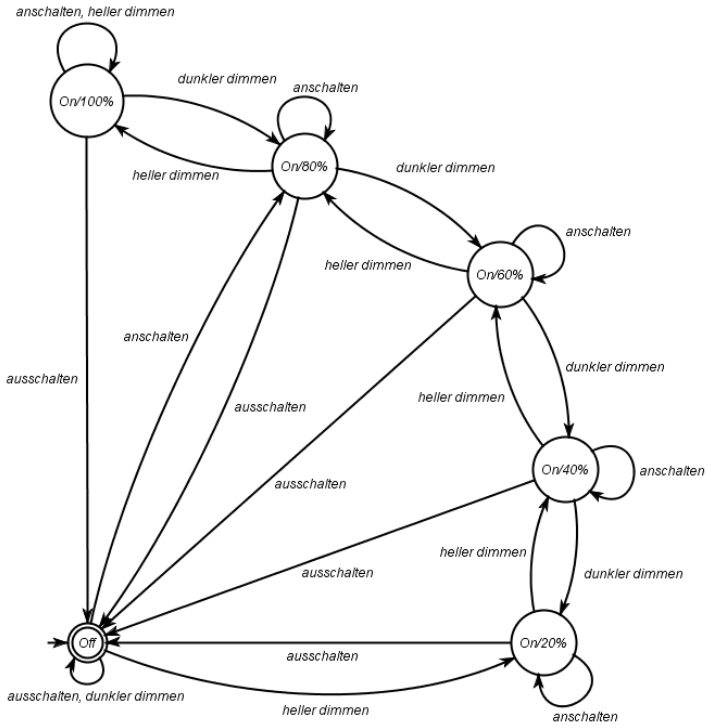


Abbildung 2-7: Vollständig definierter Automatengraph einer dimmbaren Lampe

Bei komplexeren Geräten wie z.B. Radio oder Fernseher kann der Automatengraph aufgrund der großen Anzahl von Transitionen sehr schnell unübersichtlich werden. Eine kompaktere Darstellungsform eines Automaten sind Zustandstafeln, die aber wiederum Nachteile in der Darstellung der Funktionalität mit sich bringen. In Tabelle 2-2 ist die Zustandstafel für die dimmbare Lampe aus Abbildung 2-6 dargestellt.

Tabelle 2-2: Zustandstafel einer dimmbaren Lampe

	anschalten	ausschalten	dunkler dimmen	heller dimmen
On/100%		Off	On/80%	
On/80%		Off	On/60%	On/100%
On/60%		Off	On/40%	On/80%
On/40%		Off	On/20%	On/60%
On/20%		Off		On/40%
Off	On/80%			

Die Abbildung 2-8 und die Tabelle 2-3 zeigen den Automaten eines Fensters.

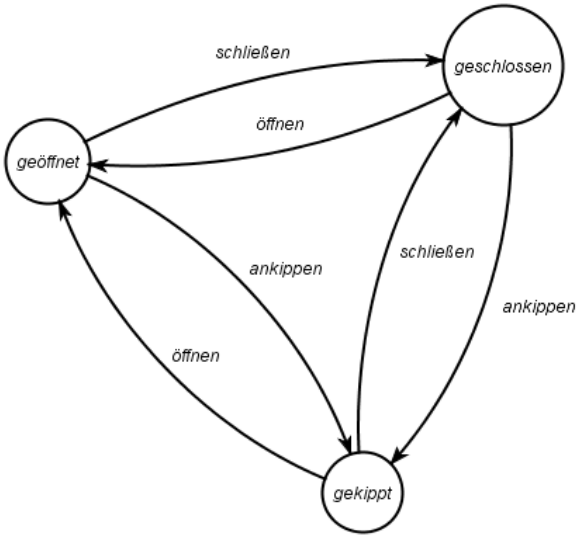


Abbildung 2-8: Automatengraph eines Fensters

Tabelle 2-3: Zustandstafel eines Fensters

	öffnen	ankippen	schließen
geöffnet		gekippt	geschlossen
gekippt	geöffnet		geschlossen
geschlos-sen	geöffnet	gekippt	

Die Implementierung der Automaten kann auf einfache Weise in Form von XML-Konstrukten geschehen. In Abbildung 2-9 ist beispielhaft der XML-Code eines Fensterautomaten dargestellt.

```xml
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<automaton name="Westfenster Wohnzimmer">
  <state name="opened" active="true">
    <transition name="close">
      <next>closed</next>
    </transition>
    <transition name="tilt">
      <next>tilted</next>
    </transition>
  </state>
  <state name="closed" active="false">
    <transition name="open">
      <next>opened</next>
    </transition>
    <transition name="tilt">
      <next>tilted</next>
    </transition>
  </state>
  <state name="tilted" active="false">
    <transition name="close">
      <next>closed</next>
    </transition>
    <transition name="open">
      <next>opened</next>
    </transition>
  </state>
</automaton>
```

Abbildung 2-9: XML-Code eines Fensterautomaten

Anhand dieser XML-Strukturen ist es nun möglich, aus dem aktuellen Zustand des Befehlsobjektes (dieser wird vor der Plausibilitätsprüfung aus der smart home-Zentrale ausgelesen) zulässige und sinnvolle Aktionen zu ermitteln und mit der Befehlsaktion zu vergleichen. Ist die Befehlsaktion zulässig und sinnvoll, wird der Steuerbefehl an das Befehlsausführungsmodul gesendet und die Aktion wird durch das entsprechende Gerät ausgeführt.

HomeMatic bietet neben Aktoren zum Schalten von Geräten auch Sensoren an, die auf verschiedene Weise in die Heimautomatisierung integriert werden können. Einige dieser Sensoren können auch in die neue Bundschuh-Bedienung eingefügt werden. So wird z.B. bei dem Befehl "Heizung an" geprüft, ob im gleichen Raum ein Fenster offen ist und im positiven Fall gefragt, ob zunächst stattdessen das Fenster geschlossen werden soll. Ebenso wird bei Aktivierung der Alarmanlage auf offene Fenster und laufende Geräte hingewiesen. Diese Meldungen müssen in jedem Fall bestätigt werden. Denkbar wären auch z.B. Hinweise auf bestimmte Fernsehsendungen aufgrund von Sehgewohnheiten u. ä.

2.2.3 Befehlsausführung

Wie das gesamte Bundschuh-Assistenzsystem ist auch die Befehlsausführung modular aufgebaut. Für unterschiedliche smart home-Systeme können verschiedene Module entwickelt und implementiert werden, die an das Bundschuh-System angekoppelt werden. In der ersten Phase wurde ein Modul zur Ankopplung des digitalstrom-Systems entwickelt. Die Grundidee dieses Systems ist es, sich in die vorhandene Stromverkabelung einzuklinken und die Stromleitung als Übertragungsmedium zu nutzen. Die Koppel- und Übertragungssysteme haben dabei etwa die Größe einer Lüsterklemme (s. Abbildung 2-10 und Abbildung 2-11) und können meist direkt hinter dem vorhandenen Schalter (z.B. Lichtschalter) zwischengeklemmt werden.

Abbildung 2-10: Lichtklemme (Quelle: digitalstrom)

Abbildung 2-11: Jalousieklemme (Quelle: digitalstrom)

Zusätzlich sind noch ein sogenannter digitalstromMeter und für jede Stromphase jeweils ein Phasenfilter notwendig (Abbildung 2-12 und Abbildung 2-13). Ersterer ist das Kommunikationstool und erzeugt proprietär verschlüsselte Übertragungstelegramme, Letzterer verhindert den unberechtigten Zugriff von außen auf den Stromkreis.

Abbildung 2-12: digitalstromMeter (Quelle: digitalstrom)

Abbildung 2-13: Phasenfilter (Quelle: digitalstrom)

Beide Geräte werden im Verteiler- bzw. Sicherungskasten installiert. Das digitalstrom-System bietet mehrere Vorteile:

- Die vorhandene Installation kann weiter genutzt werden, die gewohnte Bedienung ist weiterhin möglich.
- Durch die Verwendung der Stromleitung als Übertragungskanal ist die Informationsübertragung drahtgebunden und durch den Phasenfilter nahezu abhörsicher.

Der zweite Punkt war zunächst ausschlaggebend für die Wahl des digitalstrom-Systems. In der Praxis erwies sich jedoch, dass den o.g. Vorteilen gravierende Nachteile gegenüberstehen:

- Jede Informationsübertragung dauert 1 s. Da für die Plausibilitätsprüfung während der Steuerbefehlsgenerierung zunächst der Gerätezustand ermittelt werden muss, bedeutet das, dass erst die Zustandsinformation gesendet wird und danach der Schaltbefehl. Die gesamte Befehlsausführung "gesprochener Befehl" bis "Gerät führt Befehlsaktion aus" dauert 2 s. Diese Zeit wird auch benötigt, wenn auf herkömmliche Art geschaltet, also z.B. ein Lichtschalter betätigt wird. Tests haben ergeben, dass diese 2 s subjektiv als äußerst störend empfunden werden. Die Reaktion des Gerätes (z.B. Lampe) auf einen Tastendruck kommt einfach zu spät.
- Für typische smart home-Geräte wie Heizkörperthermostate ist die Informationsübertragung über das Stromkabel ungeeignet, da sich in den wenigsten Fällen in der unmittelbaren Nähe eines jeden Thermostaten eine Steckdose befindet. Diesen Umstand hat die Firma digitalstrom dazu bewogen, zusätzlich auch den Funkweg als Übertragungskanal zu nutzen, was aber der ursprünglichen Philosophie widerspricht.

Die beiden genannten Punkte führten dazu, dass ein weiteres Befehlsausführungsmodul implementiert wurde. Basis hierfür ist das smart home-System HomeMatic der Firma eq3. Das System benutzt zwar meist den Funkübertragungsweg, was sich jedoch im Vergleich mit digitalstrom nicht als Nachteil

erweist, da digitalstrom mittlerweile einige wichtige smart home-Geräte ebenfalls über Funk anspricht. HomeMatic benutzt ein verschlüsseltes proprietäres Übertragungsprotokoll. Neben dem Funkübertragungsweg bietet HomeMatic auch eine drahtgebundene Übertragung an. Hierfür müssen allerdings separate Kabel verlegt werden. Daten innerhalb des Bundschuhsystems werden weiterhin drahtgebunden gesendet. Wesentlicher Vorteil des HomeMatic-Systems ist die Verfügbarkeit einer großen Anzahl von smart home-Geräten. Dies ist das Ergebnis einer jahrzehntelangen Erfahrung von eq3 auf diesem Gebiet. Auch hier können bereits vorhandene (Licht-) Schalter weiterverwendet und Aktoren im Verteilerschrank untergebracht werden. In den Abbildung 2-14 bis Abbildung 2-20 sind typische HomeMatic-Komponenten dargestellt.

Der im Abschnitt 2.2.5 vorgestellte Demonstrator wurde sowohl mit dem digitalstrom- als auch mit dem HomeMatic-System ausgestattet. In der Testwohnung (Abschnitt 2.2.6) wurde ausschließlich das HomeMatic-System installiert. Die Einbindung weitere Module zur Ansteuerung anderer smart home-System ist möglich.

Abbildung 2-14: Aufputzschalter

Abbild**ung 2-15: Unterputzschalter zur Integration in bestehende Systeme**

Abbildung 2-16: Heizkörperthermostat

Abbildung 2-17: Türschliesser

Abbildung 2-18: Fensterantrieb

Abbildung 2-19: Aktor für Schaltschrank

Abbildung 2-20: HomeMatic Zentrale

(Abbildung 2-14 bis Abbildung 2-20 Quelle: eq3)

2.2.4 Das Datenschutzkonzept des Bundschuh-Assistenzsystems

Technisch gesehen beinhaltet das im Projekt Bundschuh entwickelte neuartige Bedienkonzept neben Kamera und Mikrofon zwangsläufig auch ein Rechnersystem. Die Abb. 2-17 zeigt ein Computernetzwerk, wie es heute üblicherweise im Wohnumfeld anzutreffen ist. Innerhalb eines solchen Netzwerkes ergeben sich mehrere Schwachpunkte, die einen unerlaubten Fremdzugriff auf Computerdaten ermöglichen:

- Nutzung mobiler Datenträger (Datenstick/externe Festplatte(n)
  Datensticks/externe Festplatten dienen zum mobilen Austausch von Daten. Damit können

Daten gewollt, aber auch ungewollt bzw. legal/illegal vom Home-Rechner nach außerhalb der Wohnung und damit aus dem Heimnetzwerk gebracht werden. Eine Überwachung dieses Datentransfers einschließlich der späteren weiteren Nutzung dieser Daten ist sehr schwer bis unmöglich, da selbst ein körperlicher Verlust der Daten durch Verlieren des Datenträgers nicht ausgeschlossen werden kann.

- WLAN/Bluetooth
  Ein WLAN-Netzwerk ist bekanntermaßen ein besonderer Anziehungspunkt krimineller Energie. Selbst gesicherte Netzwerke sind vor einem illegalen (Hacker-)-Zugriff nicht 100%ig geschützt. Man kann den Bereich, indem eins solches Netz betrieben wird (z.B. Wohnung, Haus, Wohnanlage) nach außen hin auch nicht abschirmen, da auch unsichtbar geschaltete Netze über frei verfügbare technische Komponenten wie Funkscanner aufgespürt werden können. Ein illegaler Datenabgriff sowie eine Veränderung von Daten sind daher nicht ausgeschlossen. Gleiches gilt analog für BT-Netze oder andere Funknetzderivate.

- Internetzugang
  Jeder Computer mit Internetzugang ist ein Ziel möglicher krimineller Angriffe. Trojaner, Spähprogramme, Programme zur Computersteuerung (z.B. der Webcam) können durch infizierte Internetseiten oder Email-Anhänge eingeschleust werden. Ziel ist es in den meisten Fällen, Daten vom betreffenden Computer zu kopieren.

Abbildung 2-21: allgemeine Struktur eines Computernetzwerkes im Home-Bereich

Für das Bundschuh-System Teil "Wohnumfeld" wird deshalb eine separate und von bestehenden Heimnetzwerken unabhängige Infrastruktur geschaffen. In Abb. 2-1 ist eine typische Bundschuh-Installation zu sehen. Folgende datenschutzrelevante Eigenschaften besitzt dies Struktur:

- Einsatz eines speziellen Computers ohne nach außen zugängliche Standard-Schnittstellen (wie z.B. USB, Ethernet, COM-Port). Der Anschluss von handelsüblichen mobilen Datenträgern ist somit physisch nicht möglich. Dieser Computer wird entweder in den vorhandenen Verteiler-/Sicherungskasten eingebaut oder in dessen unmittelbarer Nähe platziert. Das Bedien-Panel dient nur zur manuellen Steuerung der Haustechnik für den Fall eines Ausfalls der Sprach-/Gestensteuerung, nicht aber zur Bedienung des Computers.
- Das Bundschuh-System hat keinen WLAN- oder anderweitigen (Funk-)Netz-Zugang nach außerhalb der Wohnung.
- DAS Bundschuh-System ist an keinen Router angeschlossen und besitzt damit keinen Internet-Zugang

- Alle Daten werden verschlüsselt über das Stromnetz übertragen. Durch in das Stromnetz eingeschaltete Spezialfilter ist ein Datentransport über die Wohnungsgrenzen hinaus (wahlweise sogar zwischen einzelnen Stromkreisen innerhalb der Wohnung) nicht möglich.

Im Bundschuhsystem (Teil "Wohnumfeld") fallen verschiedene Arten von Daten an:

1. Sensordaten (genutzte Sensoren sind Kameras, Mikrofone): die Rohdaten (Video-, Sprachaufnahme) werden direkt am Sensor verarbeitet und nicht übertragen. Die daraus ermittelten Steuerbefehlssegmente werden drahtgebunden an den Bundschuh-Computer gesendet. Als Datenbus dient das proprietäre, in sich geschlossene System der Fa. digitalstrom bzw. spezielle powerline-Adapter.
2. Aktordaten: hierbei handelt es sich um Steuerbefehle für die Haustechnik. Sie werden in Abhängigkeit des verwendeten smarthome-Systems gesendet:
   - digitalStrom: drahtgebunden vom Bundschuh-Computer an die einzelnen Geräte mittels proprietärem Protokoll
   - HomeMatic: über Funk vom Bundschuh-Computer an die einzelnen Geräte mittels proprietärem Protokoll
3. Verarbeitungsdaten: Diese Daten fallen ausschliesslich im Bundschuh-Computer während der Steuerbefehlsgenerierung an und sind nach außerhalb des Rechners nicht auslesbar.
4. personalisierte Nutzerdaten: hierbei handelt es sich ausschließlich um Nutzungsberechtigungen für das Bundschuh-System sowie um Sensorregeln. Die Nutzung des gesamten Systems kann nur durch authentifizierten Zugriff erfolgen, welcher mittels Nutzungsberechtigungen festgelegt wird.

Aufbereitete Sensordaten, Aktordaten und Verarbeitungsdaten werden nur während der Ermittlung des aktuellen Steuerbefehls im temporären Speicher gehalten. Nach Ausführung der Aktion werden sie sofort gelöscht. Videodaten und Mikrofondaten werden überhaupt nicht übertragen.

Für den Projektteil "intelligenter Schuh" (Schematisch dargestellt in Abb. 2-18) werden in einem Schuh elektronische Schaltungen integriert, die über ein RFID-bzw. Bluetooth-Nahfeldfunknetz Daten mit festinstallierten Lesegeräten austauschen. Diese Lesegeräte sind mit dem im AWO-Pflegeheim bereits vorhandenen Netzwerk verbunden und fügen sich in das hier vorhandene Datenschutzkonzept ein bzw. nutzen es. Die im Schuh platzierten sog. RFID-Tags sind kleine Spulen, die als Antennen wirken und mit einem Mikrochip verbunden sind, der eine codierte Nummer enthält. Eine Kommunikation mit diesen RFID-Tags im herkömmlichen Sinne ist technisch möglich. Ähnliches gilt für die Bluetooth-Sender.

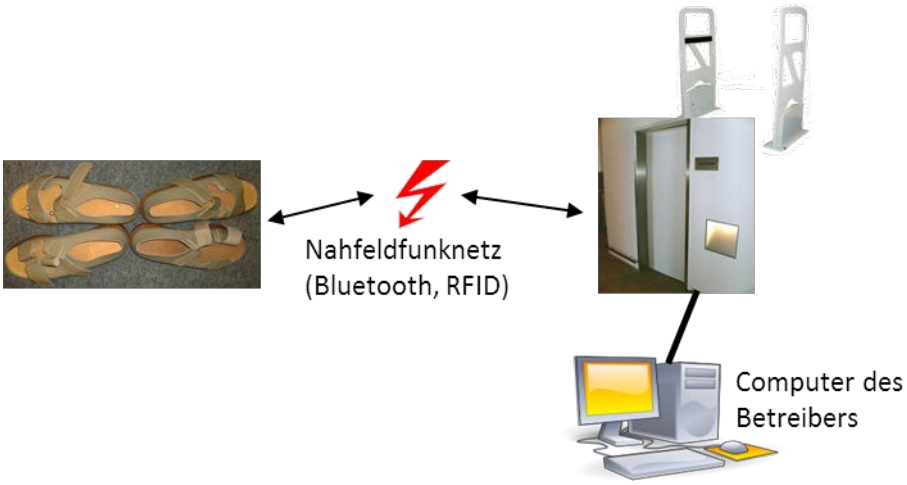


Abbildung 2-22: Struktur der Bundschuh-Infrastruktur (Teil intelligenter Schuh)

Folgende datenschutzrelevanten Eigenschaften besitzt diese Struktur:

- Es werden keinerlei Nutzerdaten, sondern nur Geräte-IDs (codierte Zahlenwerte) übertragen
- Die Zuordnung dieser IDs zu realen Personen und ihren Nutzerdaten erfolgt ausschließlich im vorhandenen Computer des Wohnheimbetreibers AWO (dessen Zugriffsrechte sind geregelt und die Struktur des Netzwerkes datenschutzrechtlich zertifiziert).
- Es wird lediglich die aktuelle Position der Schuhe (z.B. zur Lokalisierung dementer Heimbewohner) und deren letzte Position (zur Richtungsermittlung) gespeichert. Die Aufenthaltsbestimmung von Personen in Pflegeumfeld unterliegt einer starken gesetzlichen Reglementierung, die Möglichkeit zur elektronischen Positionsbestimmung verändert diesen Status Quo nicht. Es gelten dieselben Bedingungen und Voraussetzung wie für jede andere Form der Aufenthaltsbestimmung und –beschränkung.

2.2.5 Der Demonstrator

Im Projekt wurde als Möglichkeit der Demonstration der entwickelten Bedienkonzepte ein Demonstrator aufgebaut. Damit wurde die Möglichkeit geschaffen, ohne weiteren Installationsaufwand Nutzertests sowohl im Pflegeheim als auch im betreuten Wohnen durchzuführen und Zwischenergebnisse im Dialog mit potentiellen Nutzern zu verifizieren. Weiterhin kam und kommt der Demonstrator auf Tagungen, Messen und anderen Events mit Publikumsverkehr zum Einsatz. Folgende Anforderungen wurden an den Entwurf des Demonstrators gestellt:

- Der Demonstrator muss innerhalb des Gebäudes einfach bewegt werden können. Standardmaße für Türen und Fahrstühle sind zu berücksichtigen.
- Der Demonstrator muss in einem PKW-Kombi transportiert werden können.
- Der Demonstrator muss typische Technik aus dem Wohnumfeld enthalten.
- Der Demonstrator muss erweiterbar sein.
- Der Demonstrator muss den elektrischen Vorschriften entsprechen.

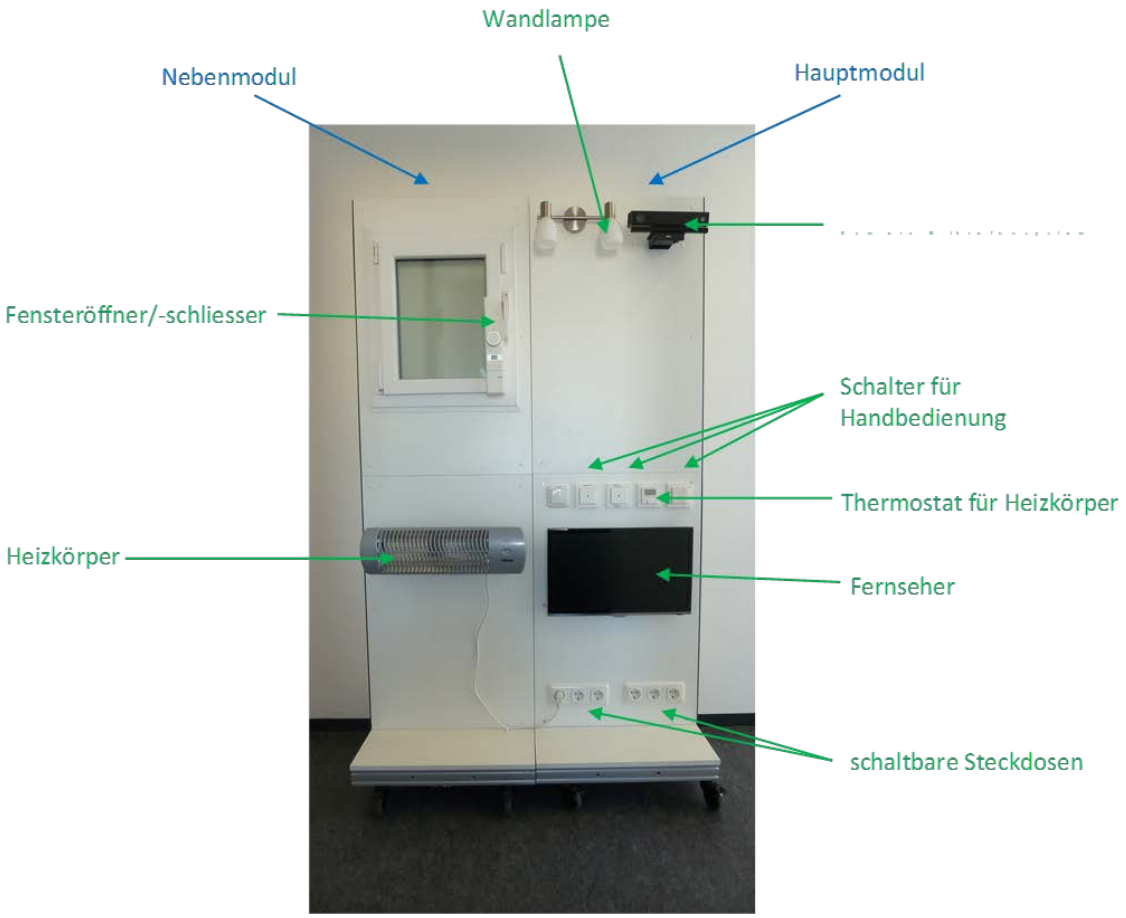


Abbildung 2-23: Bedienkonzept-Demonstrator Vorderseite Haupt- und Nebenmodul (Quelle: TU Ilmenau)

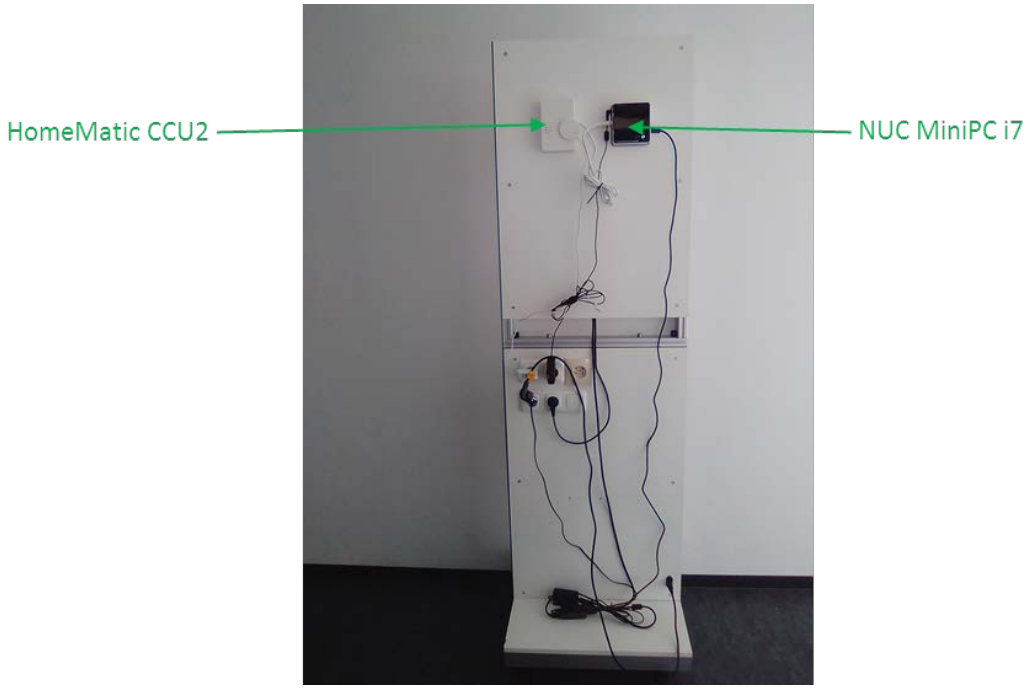


Abbildung 2-24: Bedienkonzept-Demonstrator Rückseite Hauptmodul (Quelle: TU Ilmenau)

Im Ergebnis ist der Demonstrator aus einem Hauptmodul und möglichen separaten Nebenmodulen aufgebaut. Die Module bestehen aus jeweils zwei übereinanderliegenden, zum Transport trennbaren Grundmodulen in den Maßen 600mm x 900mm (Breite x Höhe). Die gesamte Elektrik befindet sich im unteren Grundmodul des Hauptmoduls, so dass keine Kabel zwischen den Modulen verlegt sind. Die Stromversorgung der Haustechnik erfolgt über in diesem Grundmodul installierten Steckdosen. Folgende Haustechnik wurde in das Grundmodul integriert:

- Wandlampe, dimmbar
- Fernseher
- Zusätzlich wird im Einsatz eine nicht dimmbare Stehlampe an einer schaltbaren Steckdose betrieben

Weiterhin befindet sich die komplette Bedientechnik im Grundmodul:

- Microsoft Kinect 2.0 (Gesten- und Sprachsensor)
- HomeMatic CCU2 (smart-home-Zentrale der Firma eq3)
- MiniPC intel NUC i7 (Gesten- und Sprachbefehlsgenerierung, Assistenzsystem Technikbedienung)

Das aufgebaute Nebenmodul beinhaltet folgende Technikkomponenten:

- Fenster mit elektrischem Öffner/Schliesser
- elektrischer Heizkörper (geregelt mittels Thermostat im Hauptmodul)

In den Abbildung 2-23 undAbbildung 2-24 sind das Haupt- und ein Nebenmodul dargestellt.

Der Demonstrator wurde im Projekt in allen Phasen eingesetzt, abwechselnd oder gemeinsam betreut von den Projektpartnern TU Ilmenau, AWO, aproxima und velixX (über Fernbetreuung). Folgende Aufgabenbereiche wurden damit unterstützt:

- Anforderungsanalyse durch Nutzerbefragung (im Pflegeheim und im betreuten Wohnen
- Evaluierung einzelner Entwicklungsergebnisse (im Pflegeheim, an der TU Ilmenau)
- Test des Gesamtsystems (im Pflegeheim und im betreuten Wohnen)

Weiterhin diente der Demonstrator der Vorstellung des Projektes der Öffentlichkeit, z.B. zum Tag der offenen Tür der TU Ilmenau, zur Langen Nacht der Technik der Stadt Ilmenau (siehe auch Abbildung 2-25) und vor dem Seniorenbeirat der Stadt Ilmenau.

Abbildung 2-25:Präsentation des Demonstrators zur Langen Nacht der Technik 2016 der TU Ilmenau (Quelle: TU Ilmenau)

2.2.6 Die Testwohnräume

Tests am Demonstrator sind immer Tests zu bestimmten Zeitpunkten und in bestimmten Räumen (Aufenthalts-, Gemeinschaftsräume). Sie dienen der Evaluierung bestimmter Funktionen des Assistenzsystems, können aber kein Langzeitverhalten in gewöhnlichen Lebenssituationen nachbilden. Aus diesem Grund war eine Testinstallation in einer realen Wohnumgebung geplant. Die zunächst verfolgte Variante der Installation in zwei Wohnräumen des Pflegeheims musste verworfen werden, da zum einen der Pflegeheimbetreiber den Eingriff in die Elektrik (von Fremdfirma betreut) als problematisch ansah und zum anderen die TU Ilmenau für evtl. Schäden an der Elektrik keine Verantwortung übernehmen kann. Daraufhin konnte ein Privathaushalt gefunden werden, deren Besitzerehepaar sich bereit erklärte, eine Testinstallation in einigen Räumen zuzulassen. Als vorteilhaft erwies sich, dass die Beleuchtung bereits mit einem ähnlichen System wie das in Bundschuh verwendete HomeMatic angesteuert wurde. Alle anderen technischen Geräte konnten über HomeMatic-Steckdosenaktoren angesteuert werden.

Im Gespräch mit dem Tester-Ehepaar wurde entschieden, dass für den Langzeittest die Wohnräume Küche, Esszimmer, Wohnzimmer und Teile des Flures verwendet werden. Dies ist ausreichend, da hier die meiste Zeit zu Hause verbracht wird. Folgende Geräte wurden für das neu entwickelte Bedienkonzept vorbereitet:

- Küche: Deckenlampe, Arbeitsplattenbeleuchtung, Dunstabzugshaube, Kaffeemaschine, Küchenradio
- Esszimmer: Deckenlampe, Heizungsthermostat
- Wohnzimmer: Deckenlampe, Leselampe, Fernseher
- Flur: Deckenlampe, Warmluftheizung, Hautürschloss

Zusätzlich wurden alle Fensterflügel mit Kontakten ausgestattet, um offenstehende Fenster zu erkennen. Auf elektrische Fensteröffner wurde aus Kostengründen verzichtet, zumal sie aus Sicht der Tester auch nicht einen lohnenden Mehrwert ergeben. In Abbildung 2-22 ist die physische Anordnung der

HomeMatic-Steuerelemente dargestellt. Die Taster gewährleisten, dass alle Geräte auch auf herkömmliche Weise angesteuert werden können (z.B. falls die Gesten-/Sprachsteuerung oder die HomeMatic-Zentrale ausfällt oder weil es ein Nutzer bevorzugt).

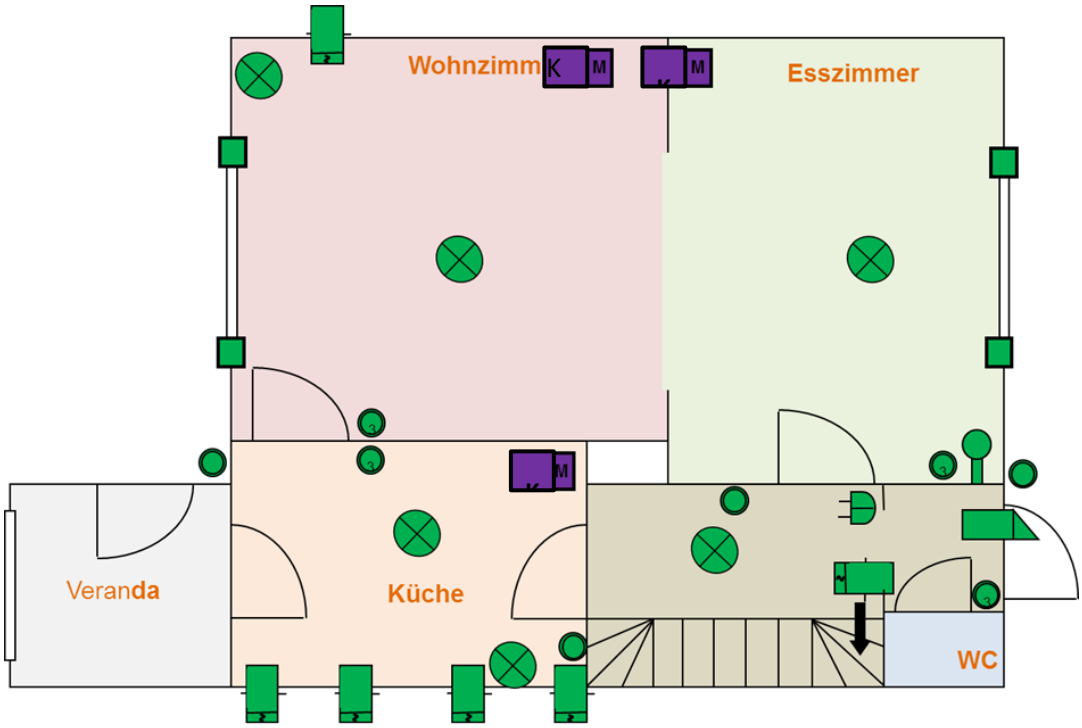


Abbildung 2-26: Ausstattung der Testumgebung mit HomeMatic-Komponenten zur Komfortsteigerung

Die in Abb. 2-22 dargestellten Symbole haben folgende Bedeutung:

- ampe/Leuchte
- chalter/Taster
- ktor
- ensterkontakt
- ektrisches Türschloss
- Thermostat
- P3-Sprachausgabe
- ultisensor (Sprache, Gesten) an MiniPC

Bei der Ausstattung der Wohnräume mit den Sprach-/Gestensensoren wurde sich auf einen Sensor je Wohnraum beschränkt. Dies ist zum einen aus baulichen Gründen geschehen, zum anderen aber auch mit Blick auf die Installationskosten. Für die "Ausleuchtung" der Räume zwecks Sprachaufnahme ist dies ausreichend. Für die Gestenerkennung wurde sich auf bestimmte, häufiger frequentierte Bereiche der Räume beschränkt. Für eine optimale Abdeckung aller Bereiche der Wohnräume unter Berücksichtigung der Möblierung und damit der Festlegung der Nutzungsbereiche müsste eine Sensorbestückung gemäß Abbildung 2-27 erfolgen.

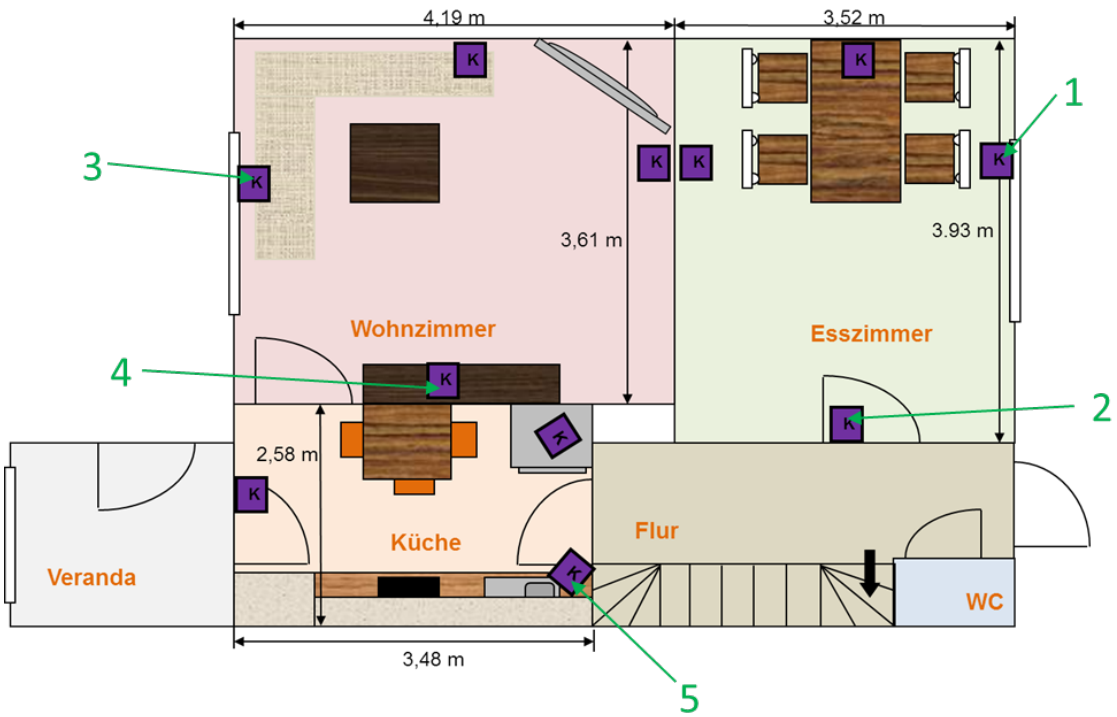


Abbildung 2-27: Sensorbestückung für optimale Gestenerkennung

Hier zeigt sich deutlich, dass es neben finanziellen Grenzen auch bauliche Beschränkungen geben kann. Bei einer optimalen Höhe des Gestensensors von 190 cm ergeben sich Orte, an denen das Aufstellen/Anbringen des Sensors unmöglich ist. Das betrifft in Abbildung 2-27 die Sensoren 1 und 3 (dort befindet sich ein Fenster), die Sensoren 2 und 4 (hier befindet sich eine Tür) sowie den Sensor 5 (auf der notwendigen Anbringhöhe befindet sich die obere Küchenschrankzeile).

Die in Abbildung 2-26 dargestellten Komponenten dienen alle der intuitiven Bedienung der technischen Geräte im Wohnumfeld und damit der Komfortsteigerung für die Bewohner. Einige dieser Komponenten können aber auch zusätzlich genutzt werden, um z. B. Einbrüche (Fenstersensoren) oder Geräte, die beim Verlassen der Wohnung nicht ausgeschalten wurden (Schaltaktoren in Verbindung mit Türschließer), zu erkennen. Die Testnutzer sahen diese Sicherheitsfunktionen als äußerst wichtig und akzeptanzerhöhend an. Zusätzlich wurden für den Bereich "Sicherheit" drei Rauchmelder installiert und mit den Lampenschaltaktoren sowie dem Türöffner gekoppelt. In Abb. 2-24 sind die für Sicherheitsfunktionen verwendeten smart-home-Komponenten dargestellt.

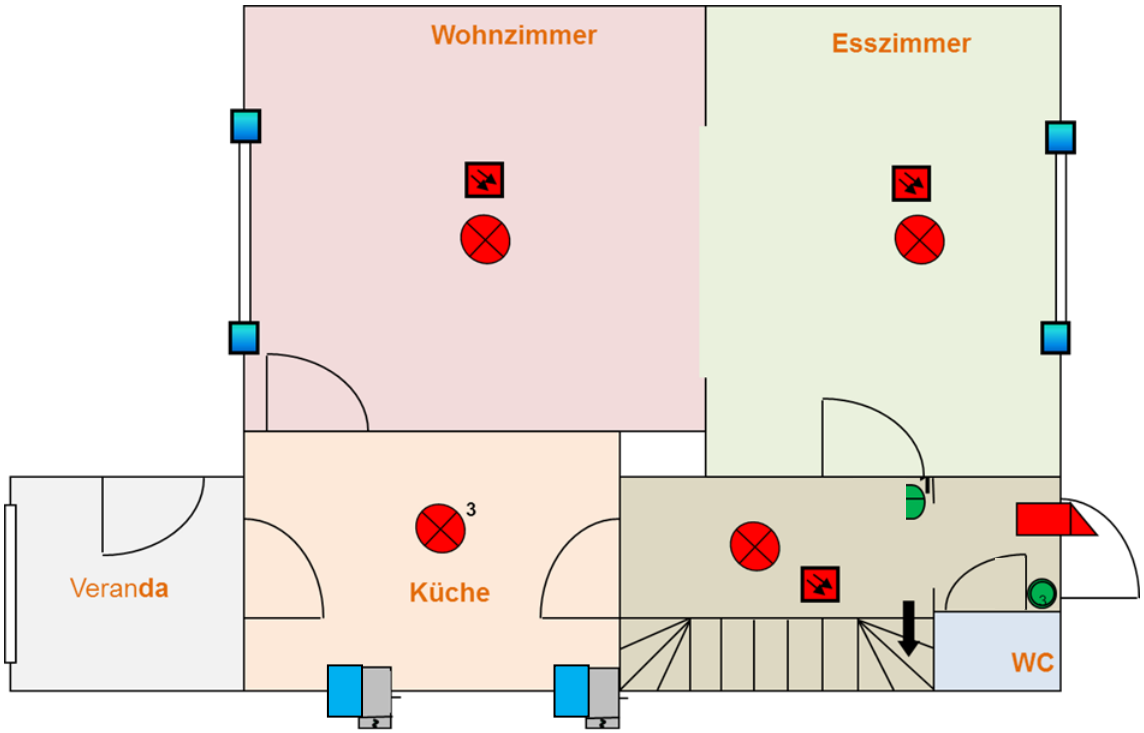
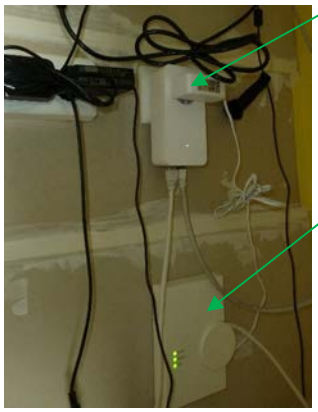


Abbildung 2-28: Für Sicherheitsfunktionen verwendete HomeMatic-Komponenten der Testumgebung

Dabei unterscheiden wir drei Sicherheitsbereiche:

- Feueralarm
  - Feueralarm wird durch einen oder mehrere Rauchmelder ausgelöst. Es werden alle Deckenlichter angeschaltet, um Fluchtwege zu beleuchten und die Haustür geöffnet.
- Einbruch
  - Ein Einbruch wird durch einen oder mehrere Fensterkontakte erkannt. Es wird ein stiller Alarm über das Handynetz an eine feste Telefonnummer ausgelöst. Weiterhin kann eine Sirene aktiviert werden.
- Haus verlassen
  - Wenn alle Bewohner die Wohnung verlassen, prüft das Bundschuhsystem, ob noch Fenster offen sind oder ob sicherheitsrelevante Geräte (z.B. Kaffeemaschine) eingeschaltet sind. In diesem Fall wird die die Wohnung verlassende Person darüber informiert. Diese Meldung muss bestätigt werden. Sicherheitsrelevante Geräte werden auf jeden Fall abgeschaltet.

Als smart home-System wurde HomeMatic-Komponenten eingesetzt. In der Nähe des Verteilerkastens wurden die HomeMatic-Zentrale CCU2, der Bundschuh-Server sowie ein Bedienpanel als Touchscreen installiert (Abb. 2-25 und 2-26). Über das Panel können grundsätzliche Einstellungen wie Aktivierung/Deaktivierung einzelner Räume, Festlegung eines Schlüsselwortes und Schwellwerte für die Spracherkennung vorgenommen werden. Gleichzeitig wird jeder Steuerbefehl angezeigt und ob dessen Ausführung erfolgreich war. Alle Angaben wurden zwecks späterer Auswertung aufgezeichnet.



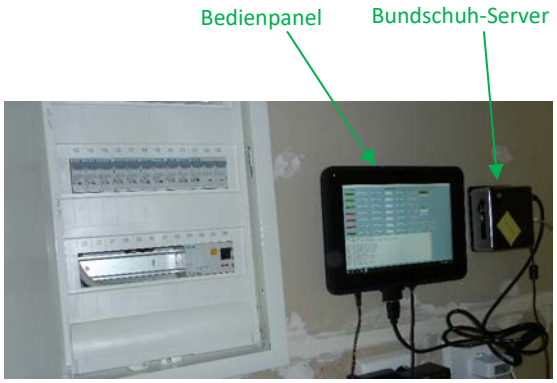


Abbildung 2-29: HomeMatic-Zentrale **Abbildung 2-30: Bundschuh-Server und Bedienpanel**

(beide Abbildungen Quelle: TU Ilmenau)

Der Langzeittest wurde über einen Zeitraum von zwölf Monaten durchgeführt, wobei aber während des Tests die Software weiterentwickelt wurde und neue Funktionen hinzukamen. Da es nicht möglich war, hochbetagte Personen zu finden, die einverstanden waren, diesen Test über einen solch langen Zeitraum durchzuführen, konnten etwas jüngere Personen interessiert werden. Folgende Personen nahmen am Test teil:

1. männliche Person, 55 Jahre alt, keine körperlichen Einschränkungen, Bewohner
2. weibliche Person, 46 Jahre alt, hochgradige multiple Sklerose und damit starke Bewegungseinschränkungen, Bewohner
3. weibliche Person, 14 Jahre alt, Bewohner
4. verschiedene Gäste zu unterschiedlichen Zeitpunkten

Haupttestpersonen waren die 1. und 2. Person. Person 3 wurde nur in ihrem Verhalten beobachtet. Die ersten drei Personen sind sehr technikinteressiert, die Gäste unterschiedlich. Das Nutzungsverhalten technischer Geräte war wie folgt:

1. Computer beruflich (Office, Internet, Programmierung), Smartphone (Telefonieren), Fernseher, Radio, alle Küchengeräte
2. Computer privat (Internet, kleine Texte schreiben), Smartphone (Telefonieren), Fernseher, Radio, alle Küchengeräte
3. Computer privat, schulisch (Internet, Texte schreiben, Computerspiele, Filme schauen), Fernseher, MP3-Player/Internetradio, wenige Küchengeräte bzw. unter Aufsicht

Alle drei Testpersonen waren sehr aufgeschlossen gegenüber den Testaufgaben und -anforderungen. Tester Nr. 3 wurde jedoch nicht als Haupttestperson einbezogen, da die Testzuverlässigkeit als nicht gegeben eingeschätzt wurde.

Nachfolgend werden die wichtigsten Testergebnisse zusammengefasst:

- Installation

Die Installation der Steckdosenaktoren war problemlos möglich und wurde von allen toleriert. Eine

(nachträgliche) Installation von Aktoren im Verteilerkasten wurde abgelehnt. Die Installation neuer Lichtschalter und Licht-Schaltaktoren wurde erlaubt, weil bereits ein Funksystem im Einsatz war und dessen Schalter und Aktoren nur ausgetauscht wurden. Das ermöglichte auch einen ziemlich zügigen Aufbau des Test-Systems, ohne lange in den Testwohnräumen zu "handwerken". Das kam insbesondere Person 2 entgegen, da durch die Grunderkrankung MS der gesamte Tagesablauf möglichst gleichbleibend verlaufen muss. Generell wären aber größere Umbaumaßnahmen auch von Person 1 abgelehnt worden. Auch nach der zwölfmonatigen Testphase waren beide der Meinung, ein dauerhaftes System mit Umbaumaßnahmen nur im Zuge einer umfassenden Renovierung zu installieren.

Wichtig war den beiden Haupttestern, dass es keine Verbindung nach außen, z.B. über das Internet gab. Testperson 3 wäre das egal gewesen.

- Gerätesteuerung mittels Sprachbefehl

Beide Haupttester gaben an, dass das System bei klarer Aussprache und normalen Nebengeräuschen gut funktioniert. Je länger das System benutzt wurde, desto besser wurde die Spracherkennung. Änderungen der Schwellwerte für die Worterkennung (wurden von Person 1 nach Einweisung am Bedien-Panel selber vorgenommen) optimierten die Erkennungsrate raumbezogen. Auswertungen der Logfiles ergaben am Ende der Testperiode eine Befehlserkennung von 80% und höher. Auch der Einsatz von unterschiedlichen Mikrophonen ergab keine weitere Verbesserung. Bei ungünstigen Bedingungen wurden diese 80 % stark unterschritten, so z.B. bei starken Außengeräuschen und geöffnetem Fenster oder bei angeschaltetem Fernseher, bis dahin, dass keine Spracherkennung mehr erfolgte. Änderungen in den Erkennungsalgorithmen waren dem Entwicklerteam nicht möglich, so dass hier keine Verbesserung mehr erreicht werden konnte.

Während Person 1 aufgrund der "nur" 80prozentigen Erkennungsrate (im Idealzustand) oftmals weiterhin den Schalter benutzte, um Geräte zu schalten, benutzte Person 2 aufgrund ihrer MS fast ausschließlich die Sprachsteuerung. Hier war es einfacher, den Befehl zu wiederholen als zum Schalter zu gehen, zumal die Person auch in der Wohnung öfter Gehhilfen benutzt.

Zunächst war die Spracherkennung immer aktiv (Bundschuh hört ständig mit). Dies führte dazu, dass das Bundschuhsystem Rückfragen stellte, während sich zwei Personen unterhielten. Dies führte mindestens zu Verwunderungen, störte aber meist. Die Einführung eines Aktivierungswortes verhinderte dies. Nun wurde jedoch das Aktivierungswort als störend empfunden. jedoch als das kleinere "Übel" betrachtet.

Person 2 würde das System dauerhaft benutzen, weil es eine wesentliche Verbesserung seiner Lebensqualität bedeuten würde. Person 1 würde es sporadisch benutzen (z.B. keine Hände frei). Würde sich die Spracherkennungsrate deutlich erhöhen, würde sie es ebenfalls dauerhaft nutzen und als wesentlichen Komfortgewinn ansehen.

Testperson 3 findet die Spracherkennung "cool", weil man damit auf der Couch liegend Licht und Geräte schalten kann. "Mist" ist es, dass es nicht funktioniert, wenn der Fernseher läuft.

- Gerätesteuerung mittels Gestenbefehl

Die Gestenerkennung konnte nicht in vollem Umfang getestet werden, da nicht die vom Projektpartner

velixX vorgeschlagene Menge an Kameras installiert werden konnte. Weiterhin konnte die Gestenerkennung von Person 2 aufgrund der körperlichen Einschränkungen aufgrund der MS nicht getestet werden.

Grundsätzlich funktionierte die Gestenerkennung gut, wenn man bestimmte Regeln einhielt. Dies betraf vor allem den Abstand zur Kamera und die Gestenrichtung zur Kamera. Weiterhin musste beachtet werden, dass bei der Objektauswahl ziemlich genau auf das Objekt gedeutet werden musste, auch wenn sich keine anderen Geräte in dessen Nähe befanden. Das führte insgesamt dazu, dass die Gestenbedienung als anstrengend empfunden wurde und nur noch bei laufendem Fernseher benutzt wurde. Als nachteilig wurde genannt, dass in ziemlich aufrechter Position vor dem Fernseher sitzen muss.

Es wurde eingeschätzt, dass die Gestenbedienung neben einer Sprachbedienung (mit hoher Erkennungsrate) eher nicht zum Einsatz kommt, mit Ausnahme von Personen mit Sprachstörung.

- Gesamtfunktionalität

Die Gesamtfunktionalität des Bundschuh-Systems wurde über den gesamten Testzeitraum positiv bewertet. Dazu zählten vor allem das Schalten von Geräten in anderen Räumen (erspart bei vergessenem Lichtausschalten den Weg dorthin), die adaptive Gestaltung von Szenarien und die Bedienung von Gerätegruppen (z.B. beim Zubettgehen das Ausschalten aller Lichter in der Wohnung). Bei der Adaption/Bedienung von Szenarien wäre eine Stimmerkennung wünschenswert, um personengebundene Szenarien zu erstellen (Anm.: Dafür könnte im Sprachspektrum die Grundfrequenz ausgewertet werden, um zumindest männliche, weibliche und Kinderstimmen zu unterscheiden. Das gibt die Spracherkennung aber momentan nicht her).

Die Erweiterung der smart home-Lösung um sicherheitsrelevante Funktionen wurde von beiden Haupttestern als äußerst positiv rückgemeldet. Neben dem Gefühl der Sicherheit (Rauchmelder und intelligente Fluchtwegweisung im Brandfall) wurde auch die Unterstützung beim Wohnungverlassen (Wohnung wird in einen sicheren Zustand gebracht) als wichtig genannt. Dabei wurde neben dem Zuschalten der Einbruchsmeldung per Sirene/SMS vor allem das Hinweisen auf offenstehende Fenster und nicht ausgeschaltete Geräte bzw. das Abschalten sicherheitsrelevanter Geräte (z.B. Kaffeemaschine) genannt. Mehrfach wurde darauf hingewiesen, dass diese Funktionalität nicht mehr gemisst werden möcht. Die Bewohner der Testwohnung stehen auch weiterhin als Tester zur Verfügung.

2.2.7 Während der Entwicklung bekannt gewordene Entwicklungen anderer Hersteller

Sprachsteuerung im Heimbereich ist seit einigen Jahren im Einsatz. So verfügen alle Computer- und Handybetriebssysteme über herstellerspezifische Spracherkennungssysteme (Windows mit Cortana, Apple iOS mit Siri, Android mit Google Now). Auch werden einige Fernseher mit Sprachbedienung angeboten. Letztere verwenden meist das Spracherkennungssystem Dragon der Fa. Nuance. Allen Systemen sind zwei Eigenschaften eigen:

- Das Gerät muss im Internet online sein.
- Das Mikrofon muss sich in der Nähe des Sprechers (seines Mundes) befinden (Deshalb muss bei Fernseher in die Fernbedienung gesprochen werden, da diese das Mikrophon enthält).

Beide Eigenschaften widersprechen der Zielstellung des Projektes Bundschuh und den Anforderungen

der meisten Nutzer. So macht es keinen Sinn, erst eine Fernbedienung in die Hand zu nehmen und dann einen Sprachbefehl hinein zu sprechen.

Systeme zu Gestenbedienung finden sich im Heimbereich z.Z. ausschließlich in Spielkonsolen wie xBox, Wii U und Playstation.

Wenn man sich bei der Bedienung von technischen Geräten auf die Spracheingabe beschränken kann/will, ist das Ende 2016 auf den Markt gekommene Alexa-Spracherkennungssystem von Amazon mit den beiden Raummikrofonen Echo und Echo dot (Abb. 2-27 und 2-28) eine Alternative, allerdings mit großen Einschränkungen. Zunächst funktioniert das Alexa-System ebenfalls nur online. Eine durch das Aktivierungswort "Alexa" aufgenommene Sprachsequenz wird an die Amazon-Server geschickt, dort analysiert und als übersetzter Code in einer Cloud zur Verfügung gestellt. In dieser Cloud kann die smart-home-Anwendung darauf zugreifen. Dafür muss ein sogenannter Skill entwickelt werden. Z.Z. ist es jedoch nur möglich, einfache Anweisungen wie "Licht an/aus", "Heizung auf xx/Grad" oder Rollo hoch/runter" zu verwenden. Andere lässt die Alexa-Spracherkennung nicht zu. Eine intuitive oder gar adaptive Bedienung der Geräte ist nicht möglich. Auch Informationen über den Hauszustand oder Rückfragen des Systems bei Alternativen Handlungen sind nicht möglich. Als großer Vorteil ist jedoch die sehr gute Qualität der Spracherkennung anzusehen. Bei normaler Umgebungslautstärke (incl. Unterhaltungen in normaler Lautstärke) und normaler, nicht besonders betonter Aussprache beträgt die Erkennungsrate fast immer 100%. Selbst laufende Fernseher sind kein größeres Problem.

Abbildung 2-31: Amazon Echo

Abbildung 2-32: Echo dot

(beide Abbildungen Quelle: Amazon)

2.2.8 Ansätze zur Störgeräuscheliminierung bei Sprachanalyseproblemen

Für die Spracherkennung im Bundschuh-System wurde die Software Dragon der Fa. Nuance eingesetzt. Diese ist die führende Software für Spracherkennungssysteme weltweit und wird z.Z. auch für Entertainment-Systeme im Heimbereich (Fernseher) eingesetzt. Da diese Software ursprünglich für Diktiersysteme und zur PC-Bedienung entwickelt wurde, werden als Mikrofone Headsets eingesetzt. Je weiter entfernt das Mikrofon von der Sprachquelle ist, desto schlechter ist die Erkennungsrate. Eine Filterung von Störgeräuschen erfolgt nur rudimentär. Aus diesem Grund befindet sich bei Fernsehern mit Sprachsteuerung das Mikrofon in der Fernbedienung, welche direkt vor den Mund gehalten werden muss. Für das Bundschuh-System ist das so nicht realisierbar. Das Mikrofon muss frei im Raum platziert werden können. Um die Erkennungsrate der Spracherkennungssoftware zu verbessern, muss deshalb neben der Wahl geeigneter Mikrofone mit Raumabdeckungscharakteristik auch Maßnahmen zur Unterdrückung von Hintergrundgeräuschen getroffen werden. Hintergrundgeräusche sind innerhalb und außerhalb einer Wohnung verschiedene vorstellbar, die von den Geräuschen von Haushaltsgeräten

über die eines Fernsehers bis hin zu Außengeräuschen bei geöffnetem Fenster reichen. Im Zuge der Spracherkennung muss also berücksichtigt werden, dass bei der Aufnahme des Sprachsignals akustische Hintergrundstörungen auftreten können und das Nutzsignal dabei möglicherweise verzerren.

2.2.8.1 Grundlagen der Spracherkennung

Zum besseren Verständnis für die hohen Anforderungen an die bei der Sprachvorverarbeitung eingesetzten Filter, wird im Folgenden der Aufbau von Sprachverarbeitungssystemen vorgestellt. Aufgrund der Relevanz für den Filterentwurf wird dabei der Fokus insbesondere auf die Eigenschaften und die Vorverarbeitung des Sprachsignals, sowie auf die Merkmalsbildung gelegt.

2.2.8.2 Anregung der Sprache

Der Sprechapparat des Menschen ist ein äußerst komplexes biologisches System. Mehrere Organe und Muskeln sind daran beteiligt, so z. B. die Lunge, das Zwerchfell, die Zunge und der Kehlkopf. Sie alle zusammen bilden den Sprechtrakt. Abbildung 2-33 verdeutlicht den Aufbau des Sprechapparats.

Die menschliche Spracherzeugung erfolgt in zwei Schritten: Anregung und Signalformung. Den Eingang des Prozesses bildet ein Luftstrom aus der Lunge, welcher im Sprechtrakt bearbeitet wird, wodurch letztendlich ein Sprachsignal entsteht. Die Interaktion zwischen allen an der Spracherzeugung beteiligten Organen des Sprechtrakts sorgt dafür, dass der Mensch in der Lage ist, verschiedene Laute von sich zu geben. [Schwarz 2010]

Der Prozess der Spracherzeugung läuft wesentlich im Vokaltrakt ab. Dieser bildet sich aus dem Rachenraum oberhalb der Glottis (Stimmritze) und dem Mundraum. Der aus den Lungen gepresste Luftstrom gelangt über die Stimmritze in den Vokaltrakt. Beim Sprechprozeß wird ein Luftstrom aus den Lungen durch die Luftröhre gepresst und gelangt durch die Stimmritze in den Vokaltrakt. Je nach Öffnungsgrad der Stimmritze (Glottis) gibt es zwei grundlegende Anregungsarten: stimmhaft und stimmlos. Steht die Stimmritze weit offen, bewirkt die vorbeiströmende Luft Verwirbelungen an den Stimmbändern oder an den Verengungsstellen im Vokaltrakt und erzeugt so stimmlose Laute, wie zum Beispiel das [s]. Im anderen Fall ist die Stimmritze verengt und es kommt zu einem annähernd periodischen Öffnen und Schließen der Stimmbänder. Aus diesen quasiperiodischen Luftstößen gehen stimmhafte Laute wie [a] oder [z] hervor. Durch die Druckdifferenz zwischen den Lungen und dem Vokaltrakt wird eine Schwingung der Glottis erzeugt. [Schwarz 2010]

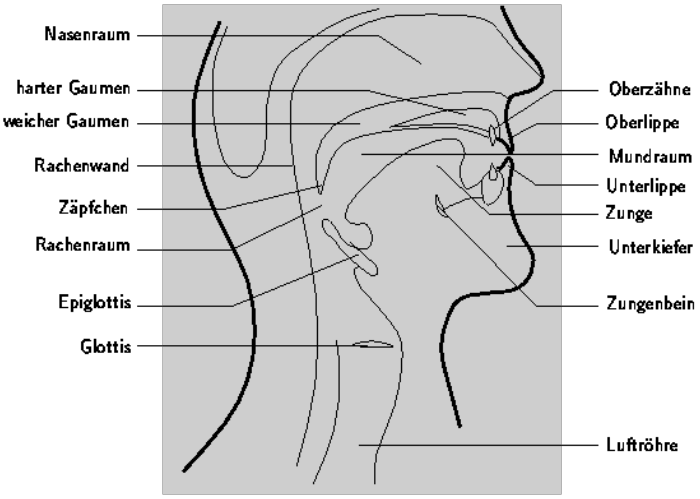


Abbildung 2-33: Schematische Darstellung des menschlichen Sprechapparats.
(Quelle: http://fbim.fh-regensburg.de/~saj39122/pscheidt/diplomarbeit/1_1_1.html)

Die im Vokaltrakt erzeugte akustische Energie wird nun weiter fortgeleitet und durch die verschiedenen Einengungen und Erweiterungen des Vokaltraktes akustisch gefiltert. Der Vokaltrakt kann dabei mit einem Röhrensystem verglichen werden. Durch unterschiedliche Wahl der Röhrendurchmesser kann somit eine unterschiedliche akustische Filterwirkung erzeugt werden, die schließlich zur Ausbildung verschiedener Laute führt. [Lazarus 2010] Dieser Prozess bildet den zweiten Schritt der Spracherzeugung, die Signalformung.

2.2.8.3 Merkmale der Sprache

Das kleinste Element der Sprache ist das Phon, wohingegen das Phonem die kleinste bedeutungsunterscheidende Einheit ist. Durch das Weglassen eines Phonems, ändert sich der Sinn eines Wortes. Jedes Phonem hat jedoch eine Vielzahl an möglichen Realisierungen (Phone), die sprecherabhängig sind und jedes Mal ein anderes akustisches Signal erzeugen. [Steffen1998]

Eine geeignete Methode zur Untersuchung gesprochener Sprache ist ein Spektrogramm. Dies ist eine Kurzzeit-Spektralanalyse als Funktion der Zeit. [Meyer 2011] Dem Spektrogramm können wichtige Merkmale entnommen werden, so z.B. die Grundfrequenz und die Formanten. Insbesondere bei Vokalen liegt eine Periodizität im Spektrum vor, die sogenannte Grundfrequenz. Diese besitzt harmonische Obertöne. Charakteristisch sind nun für die Vokale die Lagen der Maxima im Spektrum, die sogenannten Formanten. Diese entsprechen gerade den Resonanzfrequenzen im Vokaltrakt. Für die einzelnen Vokale gibt es relativ charakteristische Lagen dieser Formanten. Die Lagen der ersten beiden Formanten der Vokale bilden das Vokaldreieck. Die Bestimmung der Konsonanten erweist sich gegenüber den Vokalen vergleichsweise schwieriger. Während einige Konsonanten nur durch die Übergänge zwischen Vokalen vermutet werden können, sind andere Konsonanten aufgrund ihres Energieanteils identifizierbar. [Lazarus 2010]

Neben den Formanten ist die Grundfrequenz eine weitere wichtige Charakteristik der menschlichen Sprache. Sie ist die Frequenz, mit der der Vokaltrakt angeregt wird. Folglich kann sie also nur in den stimmhaften Anteilen des Sprachsignals wiedergefunden werden. Durch Veränderung der Grundfrequenz kann der Mensch bestimmte Stellen eines Satzes betonen und so seine Äußerung als Frage oder Aussage festlegen. Des Weiteren ist die Grundfrequenz ein Indiz für das Geschlecht des Sprechers. Die durchschnittliche Grundfrequenz beträgt bei Männern etwa 150 Hz und bei Frauen ungefähr 200 Hz. [Lazarus 2010] Die Grundfrequenz könnte sich somit hervorragend auch als Parameter für weitere Module des Sprachsteuerungssystems anbieten.

Ein Modul wäre dabei die Sprechererkennung. Unabhängig vom häuslichen Umfeld ist es bei einer Steuerung stets wichtig, dass nicht jede Person jeden Befehl ausüben kann. In einer Wohnung tritt diese Problematik beispielsweise in Bezug auf elektrische Geräte auf, die teilweise erst ab einem bestimmten Alter bedient werden sollten. Die Möglichkeit, dass Menschen unterschiedliche Grundfrequenzen besitzen, könnte hierbei als ein Parameter der Sprechererkennung ausgenutzt werden.

Jedoch ist die Bestimmung des Grundfrequenzverlaufes in Sprachsignalen aus verschiedenen Gründen nicht einfach. Bisher existiert kein Algorithmus, der zuverlässig und fehlerfrei funktioniert. Die Schwierigkeit des Problems der Grundfrequenzbestimmung hat mehrere Ursachen. Ein Grund dafür ist, dass

die Grundfrequenz verschiedener Sprecher sich in einem breiten Frequenzspektrum bewegt: Sie reicht von 50 Hz bei besonders tief sprechenden Männern, bis zu 550 Hz bei hoch sprechenden Frauen oder Kindern. Dadurch kann es zu Verwechslungen zwischen der tatsächlichen Grundfrequenz und ihrer Oberwellen kommen. Außerdem kann selbst bei einem einzelnen Sprecher die Grundfrequenz innerhalb eines Satzes stark variieren. [Hess 1983]

2.2.8.4 Spracherkennung

Die vorherigen Erläuterungen haben bereits gezeigt, wie komplex sich der Prozess der Spracherzeugung beim Menschen gestaltet. Dementsprechend hoch sind auch die Anforderungen an Spracherkennungssysteme. Die Spracherkennung nimmt die akustischen Signale des Menschen auf und generiert bei voller Funktionalität daraus die korrekte Wortfolge. Aufgrund dieser Wortfolge führt die Sprachsteuerung einen Befehl aus. Die Performance eines Spracherkennungssystems wird über die Verfügbarkeit angegeben. Diese ist als Trefferquote in Prozent aufzufassen. Die folgenden Abschnitte sollen einen Überblick über die grundlegende Funktionsweise eines Spracherkennungssystems geben, um darauf aufbauend Erkenntnisse für die Anforderungen an Filter im Bereich der Spracherkennung zu definieren. Die Abbildung 2-34 fasst diesen Prozess vorab zusammen.

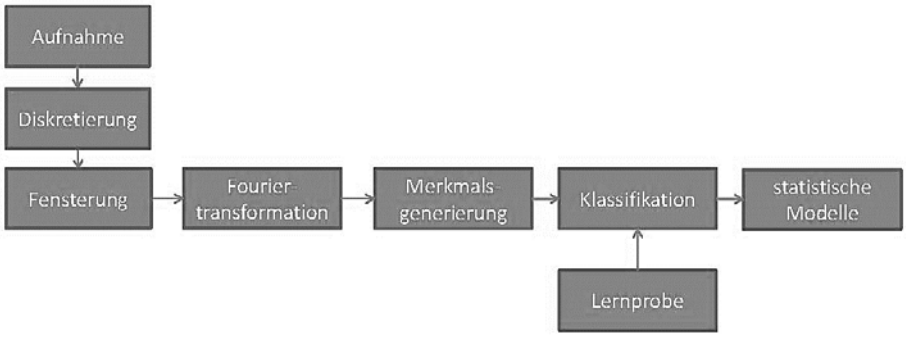


Abbildung 2-34: Prozess der Spracherkennung

Den Eingang der Spracherkennung bildet ein kontinuierliches Sprachsignal, welches über ein Mikrofon aufgenommen wird. Das vorliegende Sprachsignal wird nun abgetastet, d.h. es wird digitalisiert. In Abhängigkeit von der gewählten Abtastfrequenz, liegen nun an verschiedenen Stützstellen Werte vor. In diesem Zusammenhang soll nicht unerwähnt bleiben, dass im Zuge der Vorverarbeitung bereits Filter zum Einsatz kommen, die bestimmte Umgebungsgeräusche filtern, insbesondere das Rauschen. Ein sehr wichtiger Schritt im Rahmen der Vorverarbeitung ist die Fensterung. Da sich der Verlauf des Sprachsignals nicht stationär verhält, sondern in hohem Maße vom aktuell ausgesprochenen Laut abhängig ist, müssen für eine Merkmalsextraktion Bereiche gewählt werden, in denen sich das Signal stationär verhält. Mit Hilfe einer Fensterfunktion wird das Signal in einem kleinen Zeitabschnitt multipliziert, sodass der übrige Bereich ausgeblendet wird und das Fenster zur Analyse von Merkmalen genutzt werden kann. In der Praxis wird dafür in der Regel das sogenannte Hamming-Window verwendet. Mit Hilfe der Fensterfunktion ist es möglich, bestimmte Bereiche hervorzuheben. Die Vorverarbeitung übergibt somit ein gefenstertes und gewichtetes Signal. [Schless 2000]

Im Rahmen der Merkmalsgenerierung wird das Signal nun mittels der diskreten Fouriertransformation vom Zeitbereich in den Frequenzbereich transformiert. Wie im vorderen Abschnitt bereits angespro-

chen, ist für die Analyse besonderer Sprachmerkmale die Darstellung in einem Spektrogramm vorteilhaft. Dafür ist das Leistungsdichtespektrum zu ermitteln. Im Spektrogramm können Merkmale u. a. anhand der Lage der Formanten oder anhand der Energieverteilung ermittelt werden. Aus dem vorverarbeiteten Sprachsignal werden anschließend die markantesten Werte in Merkmalsvektoren übertragen. [Steffen 1998]

Die erstellten Merkmalsvektoren werden vom System bestimmten Klassen zugeordnet. Ein geeigneter Klassifikator ordnet den Merkmalsvektoren Werte, z.B. Wahrscheinlichkeiten, für die Zugehörigkeit zu bestimmten Klassen zu und ermöglicht dadurch die Zuordnung verschiedener Laute. Das System befindet sich nun an dem Punkt, an dem es die eingehenden Daten in Text umwandelt. Die Aufgabe des Algorithmus besteht nun darin, anhand von Mustervergleichen Wortketten zu generieren. Dabei vergleicht das System die eingehenden Daten mit denen, die in Mustern hinterlegt sind und wählt zunächst diejenigen aus, welche die höchsten Übereinstimmungen besitzen. Dieser Prozess ist höchst komplex und enorm aufwendig. Das System bedient sich dabei unterstützend der Hidden-Marcov Modelle, die auf den Grundlagen der Statistik basieren und benutzt werden, um die Übergangswahrscheinlichkeit eines Phonems zu einem nächsten Phonem zu bestimmen. So sind im System Wahrscheinlichkeiten hinterlegt, dass beispielsweise nach einem [a] zu einem bestimmten Prozentsatz ein [o] und zu einem höheren Prozentsatz ein [n] folgt. Somit kann die Verfügbarkeit des Spracherkennungssystems deutlich verbessert werden. Diese Wahrscheinlichkeiten basieren auf einem gründlichen und intensiven Trainingsprozess. [Steffen 1998]

Die bisherigen Erkenntnisse haben gezeigt, dass sich die menschliche Sprache durch zahlreiche Merkmale beschreiben lässt. Daraus lässt sich schließen, dass Spracherkennungssysteme unter kontrollierten Bedingungen eine hohe Verfügbarkeit erzielen können. Da jedoch die Annahme eines störungsfreien Umfeldes in einer Wohnung unrealistisch ist, muss zudem darauf eingegangen werden, wie zuverlässig sich die Merkmale der menschlichen Sprache unter verschiedenen Bedingungen erweisen. In der Literatur wird bezüglich dieser Fragestellung vielfach auf den Lombard-Effekt verwiesen. Die zentrale Aussage dieser Beobachtung besteht darin, dass der Mensch auf die Wahrnehmung von Hintergrundgeräuschen reagiert, indem er seine Lautstärke nach oben korrigiert. Das Ausmaß dieses Effekts ist dabei in hohem Maße vom Menschen selber, aber auch von der wahrgenommenen Amplitude des Störgeräusches abhängig. Durch die Anpassung der Lautstärke erhöht sich die Grundfrequenz der Stimmanregung, die eine Verschiebung der Frequenzmittellagen der Formanten impliziert. Die Stimme besitzt dadurch andere Charakteristika. Dies hat für das Spracherkennungssystem die Konsequenz, dass aufgrund der verschiedenen Sprachmerkmale die Verfügbarkeit des Systems sinkt. [Schless 2000]

Da im folgenden Kapitel verschiedene Filtertypen vorgestellt werden, um ihre Eignung für den Einsatz in einem Sprachverarbeitungssystem zu diskutieren, wird zunächst auf die Schwierigkeit der Problemstellung hingewiesen, um anschließend Anforderungen, die an die Filter zu stellen sind, zu definieren.

In [Schukat-Talamazzini 1995] werden die Schwierigkeiten in vier Kategorien unterteilt, die die Kontinuität, die Variabilität, die Komplexität und die Ambiguität der gesprochenen Sprache betreffen. Für den Filterentwurf ist hierbei insbesondere die Variabilität der gesprochenen Sprache problematisch. So kann eine Spracheinheit akustisch sehr unterschiedlich realisiert werden. Außerdem stellen sich hohe Variationen unter anderem aufgrund der Sprechweise, und individueller Sprechermerkmale ein. [Schukat-Talamazzini 1995] Dementsprechend hoch sind die Anforderungen an die Filter für die Vorverarbeitung des Sprachsignals in einem Sprachsteuerungssystem.

Die Merkmalsbildung für das Spracherkennungssystem geschieht über verschiedene Stimmcharakteristika, die bei jedem Nutzer individuell ausgeprägt sind. Um das Spracherkennungssystem nicht zu beeinträchtigen, dürfen also keine Frequenzen gefiltert werden, die für die Merkmalsbildung bei der Spracherkennung genutzt werden. Daraus folgend muss sich das Filter sowohl auf den Nutzer und deren Stimmlage, als auch auf das zu filternde Störsignal einstellen können. Um einen Mehrwert für das Sprachverarbeitungssystem zu schaffen muss das gefilterte Signal dem Nutzsignal sehr ähnlich sein. Eine rein akustische Verbesserung des Signals ist aufgrund der unterschiedlichen Frequenzbereiche, die bei der Merkmalsbildung genutzt werden, nicht ausreichend.

2.2.8.5 Ausgewählte digitale Filter zur Störgeräuschreduktion

In diesem Kapitel wird zunächst auf die grundlegenden Funktionen von verschiedenen digitalen Filtern der Elektrotechnik eingegangen. Anschließend erfolgt eine Einordnung und Beschreibung spezieller Filtertypen, um im nachfolgenden Kapitel die Anforderungen an Filter in der Sprachverarbeitung aufzuzeigen und relevante Filter zur Reduktion verschiedener Störgeräusche auszuwählen. Im vorliegenden Fall stellen die Störgeräusche akustische Hintergrundgeräusche dar. Die ausgewählten Filter sollen also Maßnahmen zur Reduktion derselben sein. Dementsprechend werden potenzielle Filter zur Störgeräuschreduktion beschrieben. Die Darlegungen verzichten auf eine mathematische Beschreibung.

2.2.8.5.1 Grundlagen

Als Filter werden allgemein Systeme bezeichnet, die abhängig von der Frequenz bestimmte Frequenzanteile des Ausgangssignals sperren, wohingegen sie andere Frequenzanteile passieren lassen. Es existieren verschiedene Möglichkeiten der Einordnung. Zunächst wird zwischen analogen und digitalen Filtern differenziert. Da die aufgenommenen Signale für die Spracherkennung für die Weiterverarbeitung zunächst digitalisiert werden, beschränkt sich die weitere Betrachtung auf digitale Filter. Grundsätzlich lassen diese sich in IIR-Filter (Infinite Impulse Response) und FIR-Filter (Finite Impulse Response), also Filter mit endlicher Impulsantwort, unterscheiden. Die Entwurfsverfahren beider Filtertypen unterschieden sich deutlich. [Meyer 2014] Eine weitere Klassifikationsmöglichkeit ist die Unterscheidung nach zeitinvarianten und adaptiven Filtern. Während bei zeitinvarianten Filtern die Filterkoeffizienten vor dem Filterbetrieb festgelegt und währenddessen nicht mehr geändert werden, passen sich adaptive Filter an die Signalcharakteristik an. Zuletzt wird zwischen einkanaligen und mehrkanaligen Filtern unterschieden. Grundsätzlich können Signale sowohl im Zeit-als auch im Frequenzbereich arbeiten. Ein Großteil digitaler Filter arbeitet jedoch im Frequenzbereich, auf die sich in dieser Arbeit beschränkt wird. Im Folgenden wird auf spezielle Filter bzw. Filtertypen gesondert eingegangen.

2.2.8.5.2 Grundformen digitaler Filter

Wie bereits im vorherigen Abschnitt angesprochen, wird zwischen sogenannten FIR-Filtern und IIR-Filtern unterschieden. IIR-Filter, auch Rekursivfilter, sind Filter mit unendlich langer Impulsantwort, die immer Rückkopplungszweige aufweisen. Ihre Grundformen sind, wie bei den analogen Filtern der Tiefpass, Hochpass, Bandpass oder die Bandsperre. Die Pole und Nullstellen der Übertragungsfunktion von IIR-Filtern sind frei wählbar, wohingegen FIR-Systeme fixe Polstellen im Ursprung haben. Daher ist es bei IIR-Filtern möglich, analoge Filter mit einem IIR-System zu simulieren und somit den digitalen Filter anhand des analogen Systems zu dimensionieren. Zudem stehen noch weitere Methoden der Synthese von IIR-Filtern zur Verfügung. Zusammenfassend sind IIR-Filter sowohl beim Entwurf, als auch in ihrem

Verhalten eng mit den klassischen analogen Filtern verwandt, das heißt sie sperren bestimmte Frequenzen und lassen andere Frequenzen des Ausgangssignals passieren. Sie besitzen also einen Durchlassbereich, einen Übergangsbereich und einen Sperrbereich und filtern so, je nach Dimensionierung, bestimmte Frequenzbereiche.

FIR-Filter stellen hingegen eine neue Klasse diskreter Systeme dar, die im analogen Bereich keine Entsprechung haben. Sie besitzen keine Signalrückführung und weisen eine endliche Impulsantwort auf. Aufgrund ihrer Eigenschaften eignen sich FIR-Systeme zur problemlosen Realisierung von adaptiven Systemen. Im Folgenden wird zunächst der sogenannte Wiener Filter vorgestellt, um anschließend allgemein auf adaptive Filter einzugehen. [Kammeyer/Kroschel 2009], [Meyer 2014]

2.2.8.5.3 Das Wiener-Filter und spektrale Subtraktion

Das Wiener-Filter, auch Optimalfilter genannt, lässt sich sowohl als IIR-System, als auch als FIR-System realisieren. Die Abbildung 2-35 zeigt die Ausgangssituation der weiteren Überlegungen.

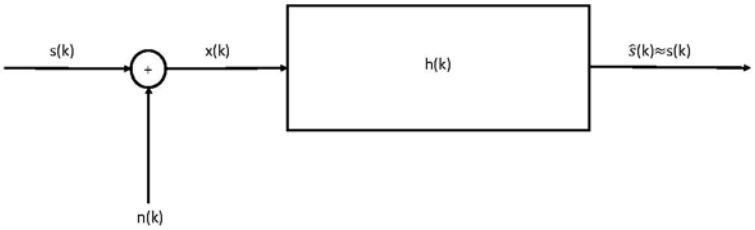


Abbildung 2-35: Filterung eines gestörten Signals

Das Nutzsignal $s(k)$ wird additiv durch ein Störsignal $n(k)$ überlagert. Das gestörte Signal soll anschließend so gefiltert werden, sodass das Ausgangssignal das Nutzsignal möglichst gut approximiert. Als Approximationskriterium wird beim Wiener Filter der mittlere quadratische Fehler genutzt. Bei der Herleitung des Wiener Filters wird im Standardfall davon ausgegangen, dass sowohl das Nutzsignal, als auch das Störsignal mittelwertfrei und stationär, das heißt zeitunabhängig, sind. Die Übertragungsfunktion $h(k)$ ist so zu gestalten, dass das geschätzte Nutzsignal $\hat{s}(k)$ möglichst genau dem Nutzsignal $s(k)$ entspricht. Das Wiener Filter wird als optimal bezeichnet, da der mittlere quadratische Fehler des Fehlersignals minimal wird. Für die spätere Diskussion der Eignung verschiedener Filtertypen sind für das Wiener Filter in seiner Grundform stationäre Signale notwendig. Des Weiteren werden das Nutzsignal und das Störsignal als bekannt vorausgesetzt. Eng verwandt mit dem Wiener Filter, ist die sogenannte spektrale Subtraktion. Ausgangspunkt ist auch hier das additiv durch das Störsignal überlagerte Nutzsignal. Anders als das Wiener Filter ist die spektrale Subtraktion jedoch ein nichtlineares Verfahren zur Rauschreduktion, das insbesondere zur Aufbereitung von Sprachsignalen geeignet ist. Die spektrale Subtraktion schätzt den Einfluss des Störsignals und subtrahiert diesen vom Eingangssignal, um ein möglichst entstörtes Signal am Ausgang zu erhalten.

Da bei der vorliegenden Problemstellung die überlagerten Nutzsignale, den von Störgeräuschen überlagerten Sprachsignalen entsprechen, ist die Annahme der Stationarität von Nutz-und Störsignal zu hinterfragen. Während in einigen Fällen das Störsignal für einen bestimmten Zeitraum als stationär angenommen werden kann, ist die Annahme für Sprachsignale nicht erfüllt. Dennoch gelten Sprachsignalfenster als kurzzeitstationär. Somit ist es möglich, die gesprochene Sprache in Blöcke zu zerlegen und diese einzeln zu verarbeiten. Dennoch ist für die einzelnen Blöcke eine Anpassung des jeweiligen

Filters notwendig. Die Möglichkeit der Adaption wird im folgenden Abschnitt beschrieben. [Vary/Martin 2006], [Vary/Heute/Hess 1998], [Moschytz/Hofbauer 2011], [Mertins 2012]

2.2.8.5.4 Realisierung des Wiener-Filters zur Störgeräuschreduktion

Im Allgemeinen bezeichnet der Begriff der Adaptivität die Fähigkeit eines Systems, sich auf Veränderungen der Umgebung anzupassen. Bezogen auf die Filtertechnik, wird dann von adaptiven Filtern gesprochen, wenn diese sich an eine sich ändernde Umgebung anpassen und damit optimale Betriebseigenschaften erreichen können. Abb. 2-32 stellt das allgemeine Schema eines adaptiven Filters dar.

Zum Zeitpunkt k kommt das gestörte Eingangssignal $x(k)$ am Filter an, der das neue Ausgangssignal $y(k)$ berechnet, das dem Wert des Soll-Ausgangssignals $d(k)$ entsprechen soll. Der entstehende Schätzfehler $e(k)$, als Differenz zwischen Soll-Ausgangssignal und gefiltertem Ausgangssignal fließt in den Adaptionsalgorithmus ein, der die Filterkoeffizienten entsprechend anpasst. Der Adaptionsalgorithmus wird so entworfen, dass er den mittleren quadratischen Fehler minimiert. Das adaptive Filter kann man als Wiener Filter interpretieren, der sich selbst konfiguriert. Es existiert eine hohe Anzahl an verschiedenen Filteralgorithmen, die als Optimierungsalgorithmen eingeordnet werden können.

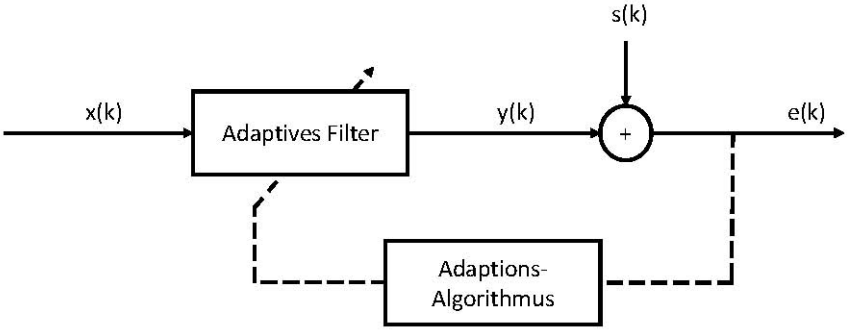


Abbildung 2-36: Grundschema eines adaptiven Filters

Zunächst scheint bei dieser Filtermethode der Mehrwert nicht ersichtlich, da zur Filterung das Soll-Ausgangssignal zur Verfügung stehen muss. An dieser Stelle ist es jedoch möglich, dass wenn Stör-und Nutzsignal unkorreliert sind, ein mit dem Störsignal korreliertes Signal $n'(k)$ als Eingangssignal des adaptiven Filters zu nutzen (beispielsweise durch Schätzverfahren zu erlangen). Damit wird das (unbekannte) Störsignal $n(k)$ approximiert. Verwendet man das gestörte Signal als Soll-Signal $d(k)$, entspricht der Schätzfehler $e(k)$ der Approximation des ungestörten Signals. [Moschytz/Hofbauer 2011]

Einkanalige und Mehrkanalige Störgeräuschreduktion

Wie in Abschnitt 3.1 angesprochen wird je nach Anzahl der genutzten Mikrofone bzw. Kanäle zwischen Ein-oder Mehrkanal-Ansätzen zur Störgeräuschreduktion unterschieden. Die bisherigen Methoden werden, so wie beschrieben, zu den einkanaligen Methoden gezählt. Allerdings haben diese Filter auch eine mehrkanalige Entsprechung. Während bei den einkanaligen Methoden nur das gestörte Signal $x(k)=s(k)+n(k)$ zur Verfügung steht, werden bei mehrkanaligen Ansätzen die räumlichen Gegebenheiten des Störsignals und des Nutzsignals ausgenutzt. Voraussetzung ist hierbei, dass die Quellen von Störsignal und Nutzsignal getrennt sind.

Bei Mehrkanal-Ansätzen erfolgt die Störgeräuschreduktion in der Regel über zwei Stufen. Zunächst werden die Signale der Mikrofone einem sogenannten Beamformer zugeführt. Unter Beamforming

wird in der Verarbeitung von Sprachsignalen eine Rechenvorschrift verstanden, die es auf Basis der Kombination aller Mikrofonsignale ermöglicht, Signalkomponenten, die nicht aus einer bestimmten Richtung des Raumes, der sogenannten Nutzrichtung, stammen, zu unterdrücken. Der Ausgang des Beamformers ist wiederum einkanalig. Im zweiten Schritt wird das einkanalige Ausgangssignal des Beamformers dann einem einkanaligen Filter, in dieser Anordnung als Postfilter bezeichnet, zugeführt. Mehrkanalige Verfahren zur Störgeräuschreduktion werden unter anderem bei Freisprecheinrichtungen im Auto eingesetzt, um Fahrgeräusche zu unterdrücken. Dabei ist die Nutzrichtung die Richtung des Fahrersitzes. [Vary/Heute/Hess 1998], [Kaps 2008]

2.2.8.6 Analyse von Störgeräuschen im Wohnumfeld

Um die Einflüsse von Störgeräuschen in Spracherkennungssystemen zu reduzieren wichtig, potentielle Störgeräusche zu identifizieren und in ihren charakteristischen Merkmalen zu untersuchen.

Ein Störgeräusch kann als eine schädliche Beeinflussung des Systems definiert werden. Das bedeutet, dass aufgrund des Störgeräusches die Verfügbarkeit des Spracherkennungssystems reduziert wird und in der Folge potentielle Einschränkungen in der Nutzbarkeit zu verzeichnen sind. Störgeräusche zeichnen sich klassischerweise dadurch aus, dass sie akustisch gut wahrnehmbar sind. Jedoch muss festgehalten werden, dass ein akustisches Signal erst dann ein Störgeräusch ist, wenn es die Verfügbarkeit des Systems beeinträchtigt. Umgekehrt ist es auch vorstellbar, dass Geräusche, die vom Menschen unmittelbar nicht als störend empfunden werden, das System stark beeinträchtigen.

Folgende Geräuschquellen werden in die weiteren Untersuchungen einbezogen:

- Kaffeemaschine
- Staubsauger
- Außengeräusche
- Fernseher
- Abendveranstaltung

Die ausgewählten Geräuschquellen sind dabei als Vertreter einer bestimmten Klasse von Störgeräuschen zu interpretieren. Auf weitere Vertreter der Klassen wird im Abschnitt 5.4 eingegangen.

Für den Versuchsaufbau wurden die Mikrofone eines Microsoft-Kinect-Sensors verwendet. Dieser wurde zentral im Raum positioniert. Die Sprachaufnahmen setzten sich aus einer Folge von drei Sprachbefehlen zusammen: "Licht an", "Heizung hoch", "Fernseher aus". Die drei Befehle sind durch Sprachpausen getrennt und wurden jeweils von drei verschiedenen Positionen im Raum aufgenommen. Durch die Sprachpausen ist es möglich ein reines Störsignal aufzunehmen. Aufgrund der verschiedenen Positionen kann der Einfluss der Entfernung vom Mikrofon auf die Verfügbarkeit des Systems diskutiert werden.

2.2.8.6.1 Spektralanalyse

Nach Aufnahme der Signale unter Verwendung der später in der Testwohnung eingesetzten Mikrofone des Microsoft-Kinect Sensors wurde eine Spektralanalyse mittels Spektrogrammen in Matlab vorgenommen. Ein Spektrogramm stellt das Sprachsignal in drei Dimensionen dar: der Zeit, der Frequenz und der Energie bzw. Intensität. Die Frequenz entspricht der Tonhöhe, die Energie der Lautstärke. Die

Darstellung des Spektrogramms ist sowohl dreidimensional als Wasserfall-Diagramm, als auch zweidimensional möglich. Aus Gründen der besseren Erkennbarkeit werden zweidimensionale Darstellungen verwendet. Die Intensität wird dabei durch die Färbung dargestellt.

2.2.8.6.2 Sprachsignal

Im Spektrogramm des reinen Sprachsignals sind deutlich die drei Sprechabschnitte und die dazwischenliegenden Pausen zu erkennen. Ebenso können die drei Befehle, die in jedem der drei Abschnitte gesprochen wurden, in ihre einzelnen Silben zerlegt werden. Der erste Befehl "Licht-an" ist im Spektrogramm durch zwei Frequenzbänder zu erkennen. Der zweite Befehl "Heizung-hoch" enthält drei Elemente. Beim dritten Befehl "Fernseher aus" ist sehr schön zu sehen, wie die einzelnen Silben ineinander übergehen. Des Weiteren können viele der im zweiten Kapitel vorgestellten Merkmale der Sprache erkannt werden. Zur besseren Visualisierbarkeit wurde dafür der Abschnitt von null bis drei Sekunden zusätzlich herausgeschnitten. Der Abstand der vertikalen Linien ist innerhalb der Silben nahezu konstant und entspricht der Grundfrequenz bzw. der Frequenz der Glottisschläge. Eine leicht verschiedene Grundfrequenz am Ende eines Befehls lässt auf eine andere Betonung am Befehlsende schließen. Die Formanten sind in der zweidimensionalen Betrachtung deutlich schwieriger zu erkennen. In einem kleinen Zeitfenster von wenigen Millisekunden zeigen sie sich als waagerechte Linien mit hoher Intensität. In der dreidimensionalen Darstellung entsprechen die Formanten den Intensitätsgipfeln in den entsprechenden Frequenzbereichen und sind dadurch deutlich einfacher zu erkennen.

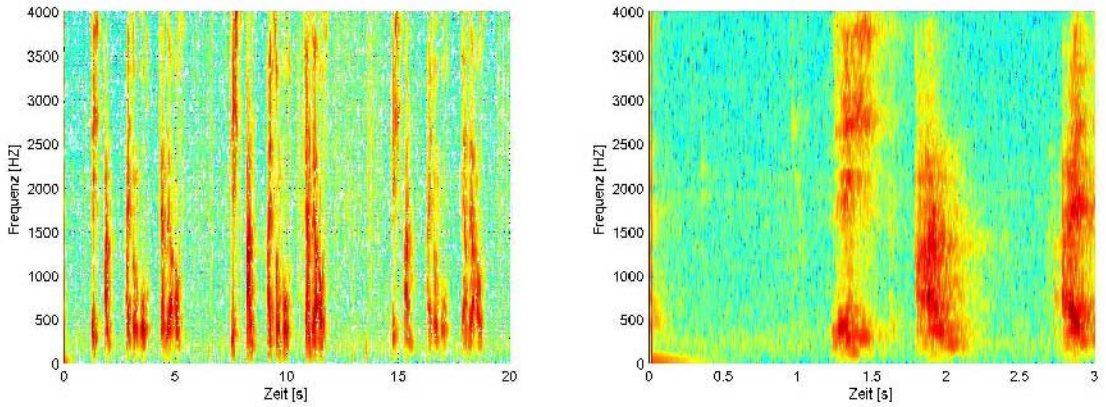
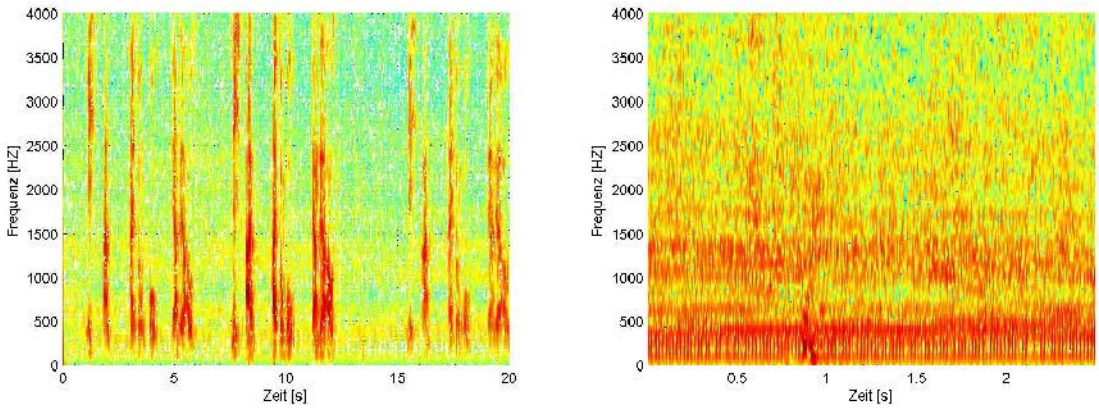


Abbildung 2-37: Darstellung der Spektrogramme des Sprachsignals (links gesamtes Spektrogramm, rechts Teilspektrogramm, alles eigene Abbildungen)

2.2.8.6.3 Geräuschquelle Kaffeemaschine

Das Leistungsdichtespektrum einer Kaffeemaschine kann als äußerst konstant charakterisiert werden. Dies zeigt sich auch in der additiven Überlagerung mit dem Sprachsignal. Die Formanten bleiben weiterhin gut erkennbar. Ebenso ist das Störsignal in den Sprachpausen gut detektierbar. Somit ist entsprechend der eingangs erwähnten Definition zu diskutieren, ob es sich hierbei tatsächlich um ein Störgeräusch handelt.



(a) Spektogramm mit überlagertem Sprachsignal (b) Spektogramm Störgeräusch Kaffeemaschine

Abb. 2-34: Darstellung der Spektogramme des Störgeräuschs Kaffeemaschine.

2

Das Leistungsdichtespektrum des Staubsaugers erweist sich im Vergleich zur Kaffeemaschine als deutlich intensiver, kann jedoch noch als annähernd konstant beschrieben werden. Dies ist auf die hohe Lautstärke zurückzuführen. Vom Sprachsignal sind vereinzelt noch die Formanten zu erkennen. Dabei kann beobachtet werden, dass bei höherer Distanz zum Mikrofon kaum noch Charakteristika des Sprachsignals zu erkennen sind. Es ist somit davon auszugehen, dass hierbei ein Störgeräusch vorliegt.

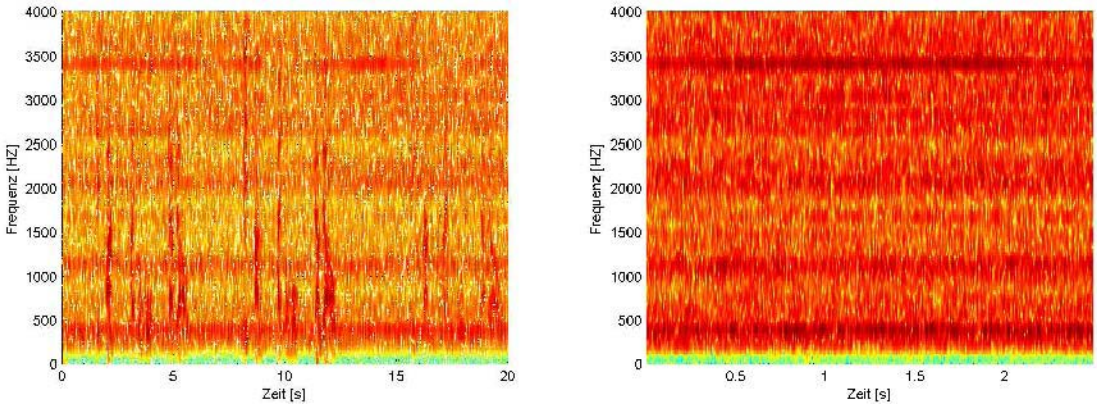


Abbildung 2-39: Darstellung der Spektrogramme des Störgeräuschs Staubsauger, links Spektrogramm überlagertes Sprachsignal, rechts Spektrogramm Störgeräusch Staubsauger

2.2.8.6.5 Geräuschquelle Fernseher

Das Leistungsdichtespektrum des Fernsehsignals ist in keiner Weise konstant. Vielmehr zeigt es einen ähnlichen Verlauf wie das reine Sprachsignal. Bei einer hohen Amplitude des Sprechers, können einzelne Charakteristika des Sprachsignal weiter identifiziert werden, wenn auch nicht eindeutig. Je höher jedoch die Distanz zum Mikrofon ist, desto weniger ist vom ursprünglichen Sprachsignal noch zu erkennen. Dieser Effekt erweist sich als noch viel drastischer, als beim zuvor beschriebenen Staubsauger. Das Störsignal und das Sprachsignal überlagern sich in einem hohen Maße, sodass die Merkmale der Sprache objektiv nicht mehr erkannt werden können.

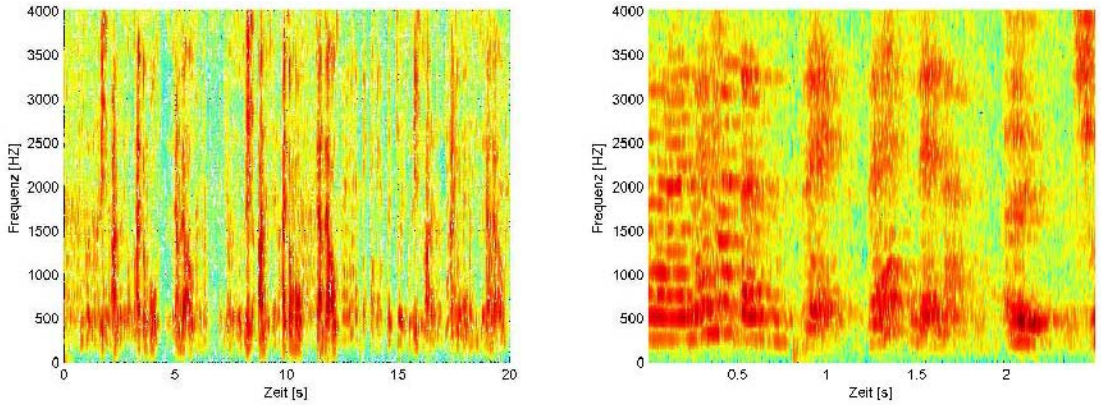


Abbildung 2-40: Darstellung der Spektrogramme des Störgeräuschs Fernseher, links Spektrogramm überlagertes Sprachsignal, rechts Spektrogramm Störgeräusch Fernseher

2.2.8.6.6 Geräuschquelle Außengeräusche

Der Einfluss von Außengeräuschen ist schwer zu verallgemeinern. So treten einzelne Geräusche in der Regel nicht konstant und nur über eine sehr kurze Dauer auf. Das Störsignal zeigt sich in seiner Ausprägung sehr variabel. Im Experiment waren während der Sprachaufnahmen ein Fahrradfahrer und ein vorbeifahrendes Auto beteiligt. Der Einfluss eines vorbeifahrenden Fahrradfahrers (ca. bei 00:06) inkl. Klingel kann als vernachlässigbar eingestuft werden. Ein vorbeifahrendes Auto hat hierbei einen deutlich höheren Einfluss (00:06-00:11). Es ist zu sehen, dass insbesondere im Frequenzbereich bis 1000 Hz eine deutlich höhere Intensität festzustellen ist. Im zweiten Bild ist das reine Störsignal des vorbeifahrenden Autos dargestellt worden. Hier ist noch einmal deutlich zu sehen, dass auch dieses Störsignal zeitveränderlich ist.

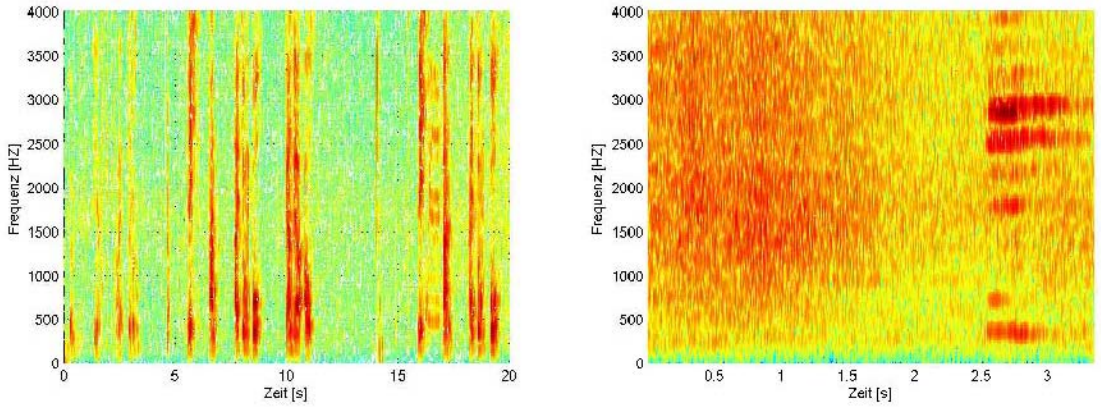


Abbildung 2-41: Darstellung der Spektrogramme des Störgeräuschs Außengeräusche, links Spektrogramm überlagertes Sprachsignal, rechts Spektrogramm Störgeräusch Außengeräusche

2.2.8.6.7 Geräuschquelle Abendveranstaltung

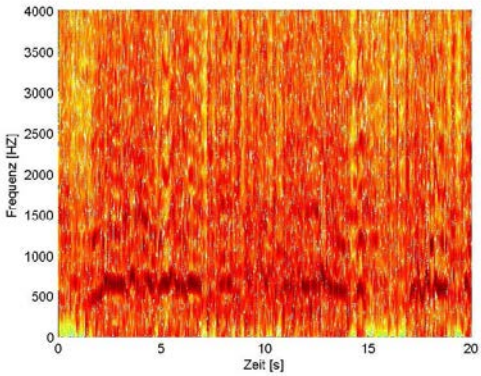


Abbildung 4.6: Spektogramm Sprachsignal mit Störgeräusch Abendveranstaltung.
Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 2-42: Darstellung des Spektogramms des Störgeräuschs Abendveranstaltung

Die Einflüsse einer intensiven Abendveranstaltung mit lauter Musik und vielen verschiedenen Teilnehmern stellt offensichtlich einen Grenzfall dar. Das Spektogramm zeigt ein extrem hohes Leistungsdichtespektrum. Das reine Sprachsignal ist quasi nicht zu erkennen. Es können keine objektiven Aussagen über bestimmte Merkmale des Sprachsignals getroffen werden.

Ausgehend von den bisherigen Überlegungen können folgende Maßnahmen ergriffen werden, um Störgeräusche zu minimieren:

- Abgreifen der bekannten Geräuschquelle und Eliminierung des Störsignals aus dem Mikrofonsignal (Bei Störquelle akustisches Gerät, z.B. Fernseher)
- Eliminierung des Störsignals Filterung des Störsignals aus dem Mikrofonsignal durch ein adaptives Filter (Geräuschquelle z.B. Kaffeemaschine, Außengeräusche)
- Abschalten der Spracherkennung automatisch bei bekannten lauten Geräuschquellen (z.B. Staubsauger) bzw. manuell (z.B. bei lauten Gesprächen, Feiern usw.)

Im Projekt wurde ein adaptives Filter implementiert, welches sehr gute Ergebnisse lieferte. Eine Einbindung in das Bundschuh-System erfolgte nicht, da hierzu Veränderungen in der Spracherkennungssoftware der Fa. Nuance erforderlich gewesen wären.

2.3 Der Intelligente Schuh

2.3.1 Idee und Konzept einer neuartigen Informationsschnittstelle

Vibrationsschnittstellen sind bereits seit langem ein Bestandteil der Mensch-Technik-Interaktion, sowohl als Gegenstand der Forschung wie auch in der Umsetzung. Daher gibt es eine Reihe von Beispielen für eine erfolgreiche bzw. erfolgversprechende Realisierung, so z.B. der Active Belt (Tsukada und Yasumura 2001), NavBelt (Borenstein 1990) und das Guide4Blind (Navigationssystem für Blinde auf dem iPhone in der Stadt Soest). Auch eine Integration in Schuhe (direkt oder als Einlegesohle) wurde bereits angedacht und exemplarisch umgesetzt (s. Lechal in Abbildung 2-43 und Abbildung 2-44).

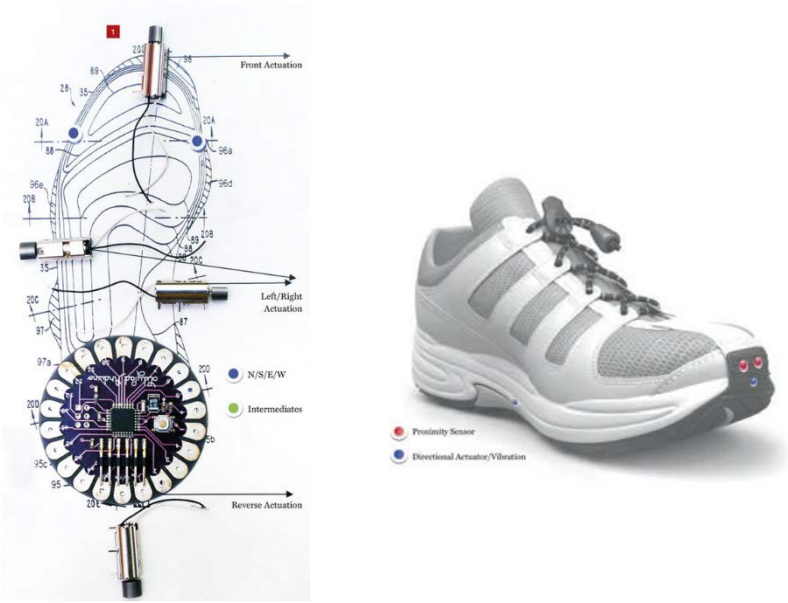


Abbildung 2-43: Prinzip des „Lechal"-Schuh (Quelle: http://www.gizmag.com/le-chal-haptic-shoe-for-blind/20186/)

Abbildung 2-44: Umsetzung des Lechal als Einlegesohle zum Verkauf an Endkunden (aus amazon 2017)

Die neuartige Vibrationsschnittstelle „Intelligenter Schuh" soll die aus den Vergleichsprojekten (u.a. in Abbildung 2-45) ermittelbaren Vorteile mit eigenen Untersuchungen zum Vibrationsempfinden und zur Gestaltung von Nutzerschnittstellen verbinden. Damit soll eine für Senioren geeignete Art der Informationsvermittlung zur Unterstützung der Orientierung in unbekannten Umgebungen gefunden werden.

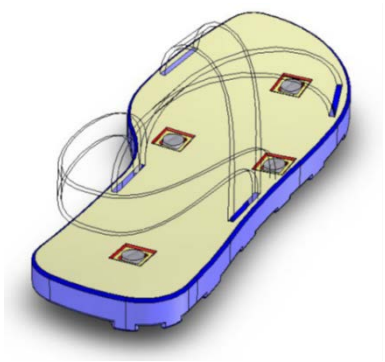


Abbildung 2-45: Beispiel für einen ähnlichen Entwicklungsansatz aus (Velazquez et al. 2009)

Grundsätzlich ist der haptische Kanal gut geeignet, um die räumliche Orientierung zu unterstützen, da wie in (Grunwald und Beyer 2001, Grunwald 2008) gezeigt und beschrieben wurde, ähnliche Wahrnehmungs- und Repräsentationsmuster in der Großhirnrinde erzeugt werden wie bei der visuellen Orientierung, und z. T. werden dabei sogar dieselben Areale (17 - 19) aktiviert werden.

Die Wahl der Fußsohle und damit der Schuh als Träger der Schnittstelle fiel deshalb, weil mit dem Schuh ein bekannter, häufig genutzter Alltagsgegenstand gefunden wurde, der im Alltag der Senioren auch bei bereits beginnender Demenz integriert ist (und bleibt). Das Beispiel der Funkfinger (zur Alarmierung bei persönlichen Notsituationen) zeigt, dass zusätzliche, neuartige Geräte und Schnittstellen nicht akzeptiert oder schlichtweg vergessen werden.

2.3.1.1 Grundanforderungen an den Intelligenten Schuh und die integrierte Vibrationsschnittstelle

In Gesprächen und Interviews bereits vor Projektstart bzw. unmittelbar danach wurden gemeinsam mit den Partnern (AWO AJS) erste Grundanforderungen an den zu entwickelten Schuh erhoben. Diese ergeben sich in erster Linie aus dem Anwendungskontext und können wie folgt zusammengefasst werden:

- Nutzungszeit länger als vier Stunden (entspricht einer längeren Wanderung oder amderen Freizeitaktivität außerhalb der eigenen Räumlichkeit)
- Einsatzmöglichkeit im Outdoorbereich
- Stimulation weit unterhalb der Schmerzschwelle
- Möglichkeit zur Vermittlung verschiedener Informationen (Bildung einer einfachen Semantik)
- Robustheit gegenüber Einflüssen durch den mobilen Einsatz (u. a. Sicherung gegen Verrutschen oder Verlieren, Feuchtigkeit und Schmutz)
- Einstellbare Reizfrequenz und -amplitude
- Alle elektrischen Kenngrößen im Bereich der Sicherheitskleinspannung[1] (Sicherstellung durch Versorgung mit Kleinakkumulatoren ohne zusätzliche Komponenten zur Spannungserhöhung)

Da die Motoren in direkten Hautkontakt kommen können, sind neben den Anforderungen zur adäquaten Reizvermittlung auch thermische Bedingungen einzuhalten, damit es nicht zu Verbrennungen durch lokale Überhitzung der Hautkontaktstelle kommt. Laut der Norm DIN EN ISO 13732-1 (2006) gilt

[1] Sicherheitskleinspannung (engl. Safety Extra Low Voltage, SELV) s. DIN EN 61140 (VDE 0140-1) < 42 V

für direkten Hautkontakt zu metallischen Oberflächen bei Langzeitberührung 43°C als Obergrenze zum Schutz vor Verbrennungen.

2.3.2 Untersuchungen zum Vibrationsempfinden an der Fußsohle

(a) Physiologische Grundlagen der Wahrnehmung von Vibrationsreizen

Wie in der Abbildung 2-46 zu erkennen ist, besitzt der Mensch vier verschiedene Rezeptoren für die Wahrnehmung taktiler Reize, die Meißner-und Ruffinikörperchen, die Merkelzellen sowie die Vater-Paccini-Körperchen. Zusätzlich sind an der Wahrnehmung auch noch die Haarfollikelsensoren, freien Nervenendigungen sowie Schmerz- und Thermorezeptoren beteiligt. Diese Rezeptoren werden anch der Art des Adaptationsverhaltens und der Adaptationsgeschwindigkeit in schnell adaptierende (fast adapting, FA, bzw. rapidly adapting, RA) sowie langsam adaptierende (slowly adapting, SA) eingeteilt. Für die Vibrationswahrnehmung sind im Wesentlich die Vater-Paccini-Körperchen verantwortlich, die zum FA II-Typ gezählt werden.

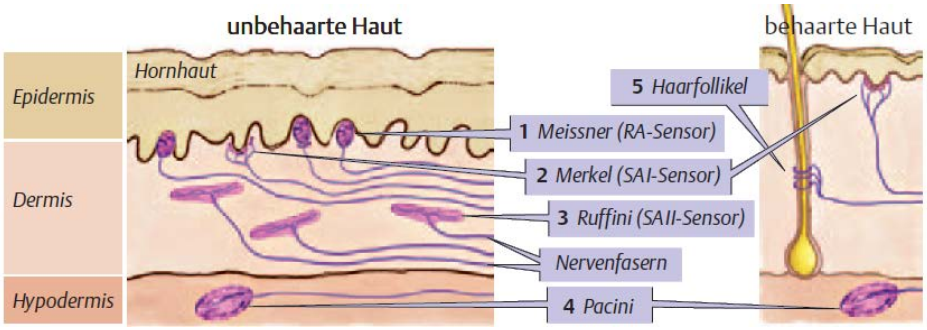


Abbildung 2-46: Schematischer Aufbau der Haut mit den eingebetteten Mechanorezeptoren (aus (Silbernagl & Despopoulos 2003)

Die Mechanorezeptoren sind sowohl nach Art als auch Adaptationsgeschwindigkeit sehr unregelmäßig über die Körperoberfläche in der Haut verteilt, wie in der Abbildung 2-47 zu sehen ist, was sich in einer stark schwankenden Zwei-Punkt-Schwelle[2] messtechnisch bemerkbar macht. Die genaue Kenntnis dieser Verteilung ist bedeutsam für bestimmte Gestaltungsaufgaben. So ist die Wahl des Stimulationsortes wie auch der genutzten Frequenz beim Aufbau einer Vibrationsschnittstelle in der Schuhsohle stark von dieser Verteilung und Sensibilität abhängig.

[2] Die Zweipunktschwelle: eigentlich Zwei-Punkte-Diskriminationsschwelle, ist der Abstand zweier Tastspitzen auf der Haut, der gerade noch als getrennt wahrgenommen werden kann. Dabei kann das Aufsetzen gleichzeitig (simultan) oder nacheinander (sukzessiv) erfolgen, wobei die simultane Schwelle ca. viermal höher liegt.

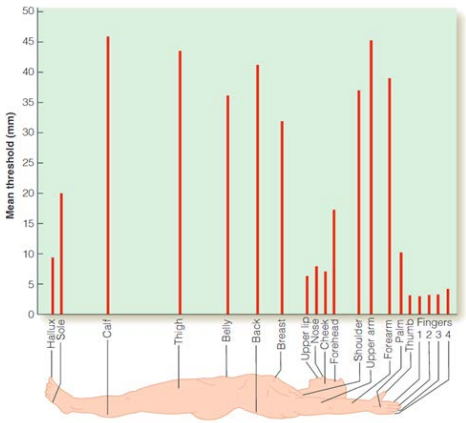


Abbildung 2-47: Darstellung der über die Körperoberfläche unterschiedlich ausgeprägten Sensibilität der Mechanorezeptoren anhand der Zwei-Punkt-Schwelle (Weinstein 1968, aus Goldstein 2010, S. 368)

Außerdem besteht zusätzlich eine Abhängigkeit der wahrgenommenen Reizstärke von der Reizfrequenz, auch jeweils unterschiedlich für die verschiedenen Rezeptortypen, wie aus der folgenden Abbildung 2-48 ersichtlich ist. Da die FA-II-Rezeptoren (Vater-Pacini-Körperchen) am besten auf Vibration reagieren, ergibt sich aus dieser Darstellung eine optimale Reizfrequenz von 200 Hz.

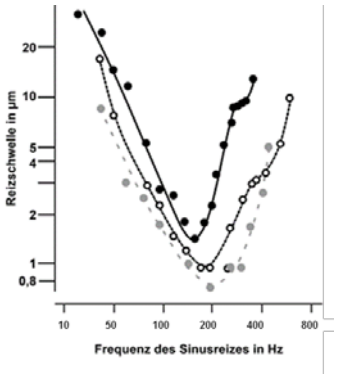
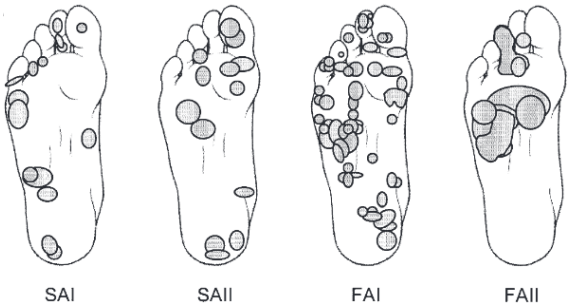


Abbildung 2-48: Schematische Darstellung der Abhängigkeit der Schwellenreizstärke dreier Pacini-Rezeptoren von der Reizfrequenz (eigene Darstellung nach Schmidt et al. 2005, S. 302)

Diese allgemein für die gesamte Körperoberfläche geltenden Aussagen über die Mechanorezeptoren, gelten im Speziellen auch für die Fußsohle. Hier findet sich ebenfalls eine Ungleichverteilung aller Typen von Mechanorezeptoren, wie auch funktionell bedingt der jeweils einzelnen Typen, was anhand der folgenden Abbildung 2-49 zu erkennen ist.

Absolute Verteilung aller Mechanorezeptoren unter der Fußsohle



Ermittelte relative Verteilung der einzelnen Typen von Mechanorezeptoren unter der Fußsohle

Abbildung 2-49: Messtechnisch ermittelte Verteilungen der Mechanorezeptoren in der Fußsohle (aus Kennedy & Inglis 2002)

Aus dieser Verteilung der Mechanorezeptoren, verknüpft mit den räumlichen Beschränkungen, lässt sich unmittelbar ein erstes Grobdesign der Motorenanordnung ableiten (s. rote Markierungen in der Abbildung 2-50).

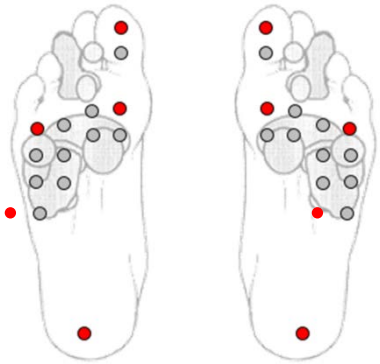


Abbildung 2-50: Abgeleitete Anordnung von Vibrationsaktoren zur Stimulation der Fußsohle mit vibrotaktilen Reizen (aus Kaiser 2014, rot Minimum, grau Maximum möglicher Aktoren)

Die durch Gerontologen häufig beschriebene (und durch Studien belegte) mitunter stark heraufgesetzte Reizschwelle für taktile (mechanische) Reize bei älteren bzw. hochaltrigen Personen stellt prinzipiell keinen Ausschlussgrund dar, da über die Wahl der Arbeitsparameter der Vibrationsgeber eine Anpassung an veränderte Reizbedingungen möglich ist. Pathologisch bedingte starke Veränderungen der Wahrnehmung (Neuropathien) sind natürlich ein Ausschlusskriterium für eine spätere Nutzung der Schnittstelle.

(b) Aufbau eines Teststandes

Aus den Recherchen und Vorüberlegungen ergab sich schnell die Erkenntnis, dass zur genauen Bestimmung der Anforderungen an die zu applizierenden Reize wie auch deren genaue räumliche Aufteilung unter der Fußsohle eigene Untersuchungen notwendig sein werden. Die Beispiele aus der Literatur konnten dafür keine ausreichend gesicherten Kenntnisse liefern.

Zur Erhebung dieser Daten wurde ein Teststand (s. Abbildung 2-51) konzipiert und aufgebaut, der es ermöglicht, flexibel an verschiedene Fußgrößen (im Bereich der Schuhgröße 36 bis 45) angepasst jeweils bis zu 14 verschiedene Regionen der Fußsohle mit Vibrationsreizen zu beaufschlagen.

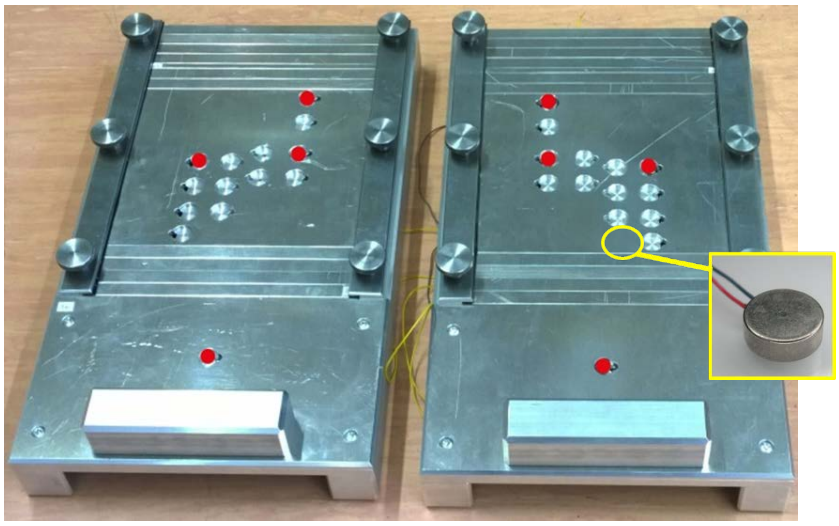


Abbildung 2-51: Teststand zur Überprüfung der Vibrationsempfindung der Fußsohle (aus Lutherdt et al. 2016, ergänzt mit Darstellung der verwendeten Vibrationsmotoren)

Die Vibrationen zur Stimulation der Fußsohle werden durch ERM[3]-Motoren in Münzenform (sog. Coinmotoren) der Fa. Precision Microdrives erzeugt, wie sie schematisch in der folgenden Abbildung 2-52 zu sehen sind. Konstruktionsbedingt sind bei diesem Motorentyp die entstehende Vibrationsfrequenz und -amplitude direkt mit der anliegenden Spannung (und damit durch das Ohm'sche Gesetz mit dem fließenden Strom) verknüpft.

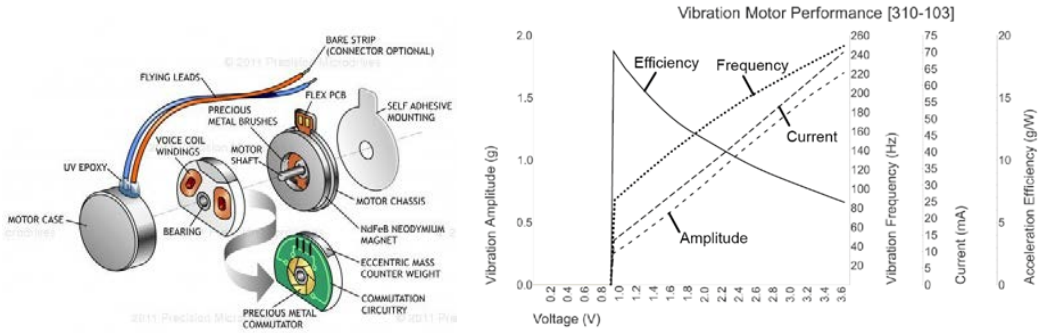


Abbildung 2-52: links Aufbau eines ERM-Motors (Schema, Explosionsdarstellung), rechts Kennlinie der gewählten Motoren (aus Precision Microdrives 2016)

Als Alternativen für die Vibrationserzeugung kommen auch noch ERM-Motoren in Zylinderform sowie LRA-Motoren (Linearresonanz-Aktoren) in Frage.

Die Ansteuerung des Teststands erfolgt über ein LabView®-Programm mittels mehrerer USB-Messwertaufnehmer von National Instruments® (NI USB-6008). Dazu wurde für eine erhöhte Nutzerfreundlichkeit eine zusätzliche grafische Oberfläche (GUI) programmiert und mit einer Datenbank zur Messwertablage verbunden. Mit dieser GUIK können einfach und schnell verschiedene Parameter der Motoransteuerung geändert werden und damit Testsequenzen generiert werden. Das Programm merkt sich diese, speichert sie mit einem dafür geeigneten Namen ab und gibt einen Hinweis aus, falls eine bereits

[3] ERM-Motor: excentric rotating mass (engl.) - Unwuchtmotor

bekannte Sequenz nochmals neu generiert wird. In der folgenden Abbildung 2-53 ist ein Screenshot der GUI zu sehen.

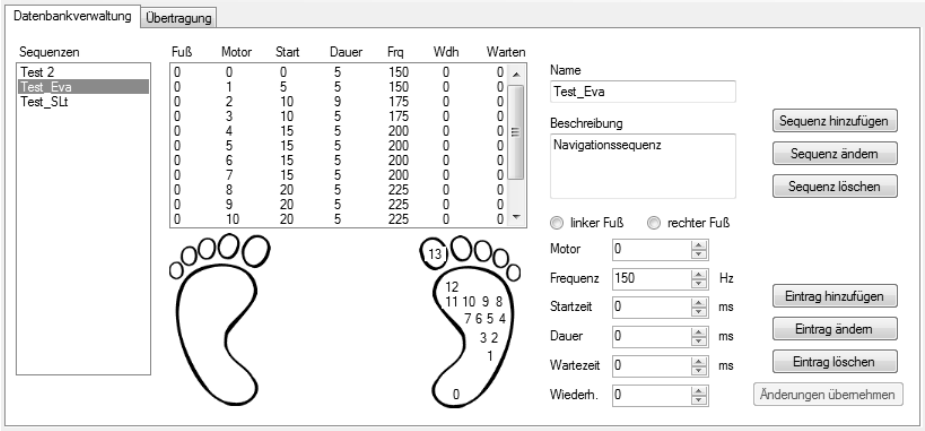


Abbildung 2-53: Ansicht der grafischen Oberfläche zur Teststandssteuerung (aus Kirchhofer 2014)

(c) Tests zum Vibrationsempfinden

Mit dem beschriebenen Teststand (weitere Details s. Anhang) wurden Untersuchungen zum Vibrationsempfinden der Fußsohle durchgeführt. Dazu wurden zuerst zur Verringerung der individuellen Streuung vorselektierte junge Erwachsene (männlich/weiblich zwischen 20 und 29 Jahren) mit verschiedenen Vibrationsmustern gereizt. Die Tests wurden im Stehen durchgeführt, um der Situation beim Laufen zu entsprechen. Die Abbildung 2-54 zeigt eine Versuchsperson während der Tests.

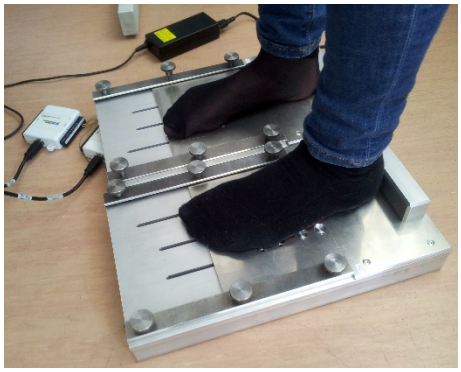


Abbildung 2-54: Durchführung von Tests zur Erkennung von Vibrationsreizen auf dem Teststand (aus Kaiser 2014)

Tests mit dem in der Abbildung 2-51 gezeigten, eigens für die Untersuchungen zum Entwurf der Vibrationsschnittstelle aufgebauten, Teststand haben ergeben, dass eine Stimulation auch im Bereich der Großzehe und der Ferse möglich ist, was zur Auswahl der Stimulationspunkte in der entworfenen Schnittstelle (Vibrationssohle) wie in der Abbildung 2-57 führte.

Als optimal erkennbare Stimulationsfrequenz wurde in den Tests eine Frequenz von 225 Hz gefunden (s. Abbildung 2-55), was die Angaben anderer Quellen stützt. Gleichzeitig wurde jedoch auch eine hohe Erkennungsrate bei Frequenzen unter 175 Hz gefunden (s. Abbildung 2-56). Um dies weitergehend zu untersuchen (vor allem niedrigeren Frequenzbereichen um150 Hz), bedarf es anderer Vibrationsmotoren, da die verwendeten Motoren konstruktionsbedingt zu geringe Vibrationsamplituden lieferten, um eine belastbare Aussage über die Erkennbarkeit in diesen Frequenzbereichen treffen zu können.

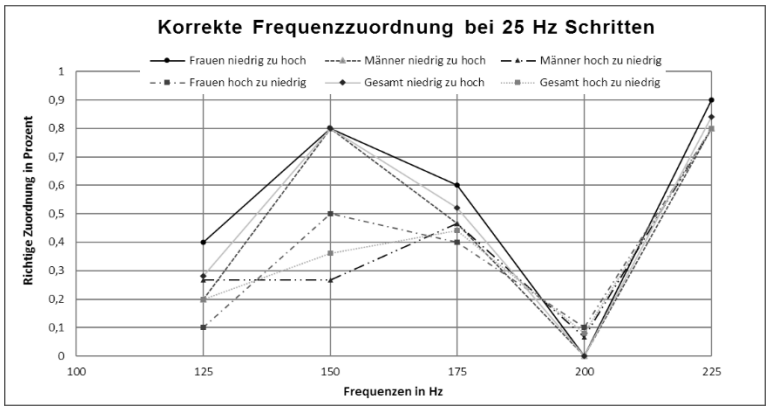


Abbildung 2-55: Korrekte Zuordnung der Frequenzwechsel ansteigend und abfallend in 25 Hz- Schritten (aus Kaiser 2014)

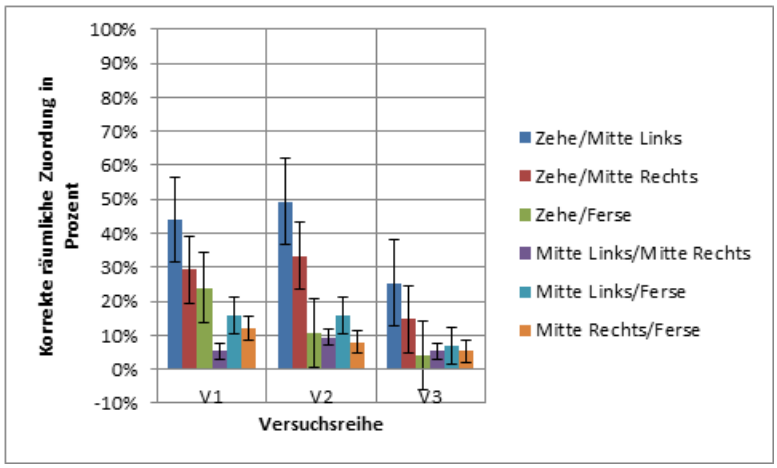


Abbildung 2-56: Richtige Frequenzzuordnung von jeweils zwei kombinierten Motoren (V1=100 Hz, V2=150 Hz und V3=200 Hz mit jeweils angegebener Standardabweichung der Messung)

Im Ergebnis der Untersuchungen mit dem Teststand musste festgestellt werden, dass eine Stimulation über Vibrationsreize zwar prinzipiell möglich ist und auch gut wahrgenommen werden kann. Bei voller Körperlast auf den Füßen (entspricht der Standphase beim Gehen) ist jedoch keine oder eine nur noch stark verminderte Wahrnehmbarkeit der Vibrationsreize gegeben. Dies ist erklärbar über eine mögliche Desensibilisierung der Fußsohle (bzw. der in der Haut eingebetteten Rezeptoren), die durch eine Vorspannung des Fußsohlengewebes durch das sich aktiv aufrichtende Fußgewölbe eintritt.

Es wird aus der Abbildung 2-57 (links) deutlich, dass die durchschnittliche Erkennungsrate (unter 50 % über alle Versuche auf dem Teststand) nicht ausreichend ist, um die Grundlage für eine Informationsschnittstelle zu bilden. Allerdings bietet die hundertprozentige Erkennung der Reize am inneren Ballen den Ansatzpunkt für weitere Untersuchungen und Optimierungen. Dies ist beim Aufbau der ersten Testschuhsohle berücksichtigt worden, die sich u. a. durch eine Verringerung der Steifigkeit der Ankopplung der Vibrationsmotoren an ihre Einspannung vom Prüfstand unterscheidet. Im Ergebnis wurden mit diesem Aufbau Erkennungsraten von über 80 % bis zu 100 % (Ballen innen sowie Großzehe) erreicht. Dies ist für eine technische Nutzung ausreichend und gibt die Möglichkeit zur Realisierung der angestrebten neuartigen Informationsschnittstelle.

Aufgrund der schlechten Ergebnisse zur räumlichen Auflösung wurde die Anzahl der Vibrationsmotoren in der Schuhsohle drastisch reduziert auf die Positionen P0, P8, P11 und P13 aus Abbildung 2-53.

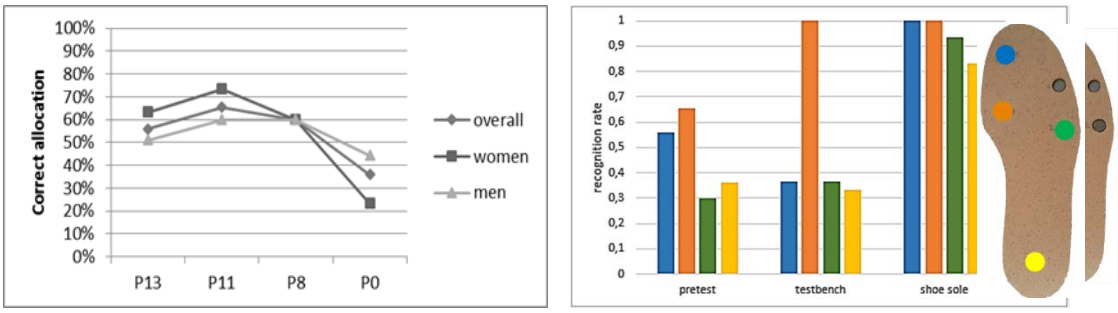


Abbildung 2-57: Zusammenfassung aller korrekt erkannten Reize auf dem Teststand (links, vier ausgewählte Reizorte äquivalent zur Testschuhsohle) sowie Ergebnisse derselben Reizorte und Testpersonen mittels Testschuhsohle (rechts)

(d) Untersuchungen zum Lastverhalten der ERM-Motoren

Während der Tests sowie durch weitergehende Untersuchungen zeigte sich, dass die Coinmotoren unter Last (Testperson auf dem Motor stehend) stark in ihrer Amplitude bedämpft wurden bzw. gänzlich zum Stillstand kamen. Um dies zu verifizieren und Empfehlungen für eine Verbesserung zu erarbeiten, wurden spezielle Tests geplant und durchgeführt. Dazu wurde neben einem passenden Testaufbau eine Frequenzanalyse unter Matlab® implementiert. Diese analysiert mittels einer FFT das über ein Mikrofon aufgenommene akustische Spektrum der Motoren. Die Vibrationsgeräusche sind direkt proportional zur Drehgeschwindigkeit und damit Vibrationsfrequenz der Motoren.

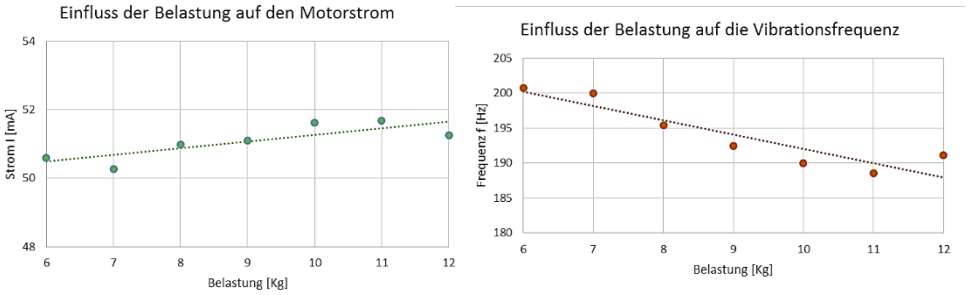


Abbildung 2-58: Einfluss der Belastung auf den Strom- und Frequenzverlauf der Motoren

Es zeigte sich, dass die beobachtete Abhängigkeit experimentell nachweisbar war (s. Abbildung 2-58). Die mittels eines Massestücks punktuell aufgebrachte Last (adäquat einer Last, die durch eine 120kg-Person unter der Fußsohle aufgebracht würde) führte zu einer deutlichen Frequenzabnahme. Eine mögliche Erklärung liegt im Aufbau der in Abbildung 2-52 gezeigten Motoren. Durch die Last kommt es zu einer Verformung der Metallumhüllung, welche auf den Rotor des Motors drückt und diesen abbremst.

Damit ergibt sich die Notwendigkeit, dass die Motoren nur in der Schwungphase des Gangzyklus angesteuert werden können. Diese lässt sich durch einen zusätzlichen Drucksensor auf oder unter der Sohle ermitteln.

(e) Ableitung von Schlussfolgerungen und Anforderung an die Schnittstelle

Aus den Tests konnten Anforderungen an den Aufbau der Schuhsohle (zusätzlich zu den bereits getroffenen) abgeleitet werden. Diese Anforderungen stellen sich wie folgt dar:

- Reizfrequenz der Vibrationsmotoren 225 Hz
- Reizorte: Großzehe, Fußballen innen und außen, Mittelfuß außen und (als Referenz) Ferse
- Zusätzlicher Sensor (Foliendrucksensor) zur Detektion der Standphase
- Alternierende Reizung des jeweils nicht belasteten (also frei schwingenden) Fußes
- Möglichst weiche bzw. elastische Ankopplung der Motoren

2.3.3 Aufbau, Test und Systemintegration der Komponenten des Intelligenten Schuhs

2.3.3.1 Lademodul für den Intelligenten Schuh

Für den geplanten Einsatz des Schuhs ist eine eigene Energieversorgung unumgänglich. Dafür kommt aufgrund des gegebenen Nutzungskontextes nur eine netzunabhängige Versorgung in Frage. Für eine einfache und möglichst fehlerfreie Nutzung der Schuhe sollte dann auch die Wiederaufladung der Energiespeicher drahtlos und ohne zusätzlich nötige Nutzereingriffe erfolgen. Damit wr die Anforderung zur Entwicklung einer eigenständigen Lösung für ein drahtloses (kontaktloses) Lademodul gegeben.

In verschiedenen Vorüberlegungen wurden Prinzipe zur Umsetzung diskutiert, und letztlich aufgrund der Bewertung der verschiedenen möglichen Lösungen die induktive Nahfeldkopplung gewählt.

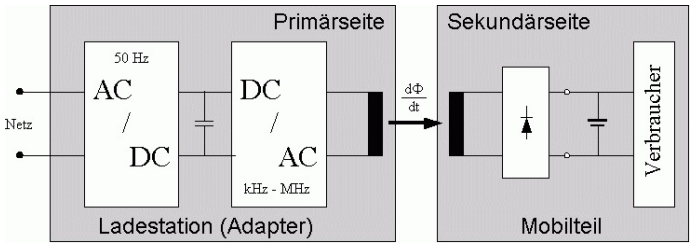


Abbildung 2.1: Prinzip der induktiven Nahfeldkopplung (nach Wiesspeiner 2005, S. 2)

Die Berechnungsformeln und nähere Erläuterungen zum genutzten Prinzip (Gleichrichtung der Wechselspannung auf der Primärseite, Zerhacken und Frequenzvervielfachung sowie Induktion der Sekundär-Wechselspannung mit anschließender erneuter Gleichrichtung) finden sich in (Huwig und Wambsganß 2010, Aichele 2010, Gebhart 2011, Nührmann 1980 und Marinescu 2009), spezielle Berechnungen zur Gegeninduktivität, zum Kopplungsfaktor und zum Einfluss des räumlichen Versatzes der Spulen zueinander finden sich auch in (Meyer 2012 und Schwarz 2014).

Aus der folgenden Abbildung 2-59 wird deutlich, welch große Bedeutung der genauen Positionierung der Spulen zueinander zukommt, da schon kleine Abweichungen den Wirkungsgrad drastisch absinken lassen und zum völligen Funktionsversagen führen können. Dies wurde zudem über eigene Messungen verifiziert.

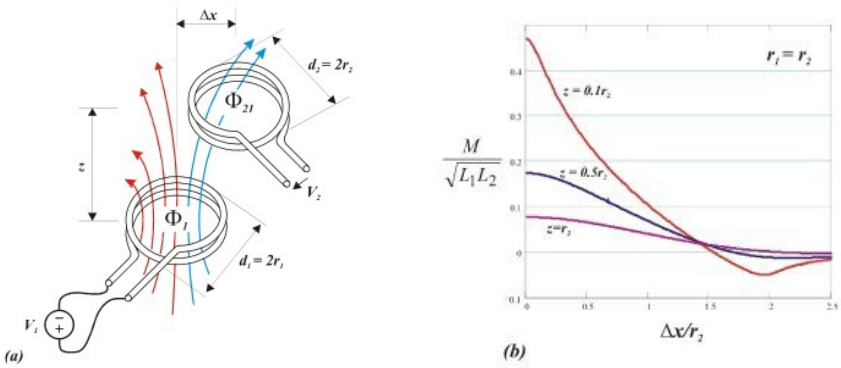


Abbildung 2-59: (a) räumlicher Versatz der Spulen bei gleichen Spulendurchmesser, die roten Feldlinien durchdringen ausschließlich die Primärspule (b) Abhängigkeit des räumlichen Versatzes vom Kopplungsfaktor (s. Huwig und Wambsganß 2010, S.2)

Einen weiteren Einfluss auf den Wirkungsgrad und damit die später erreichbare Ladezeit (bzw. Ladestrom) ist die Spulengüte Q, die im Wesentlichen ein Maß der frequenzabhängigen Blindwiderstandsverluste darstellt. In der Abbildung 2-60 ist der Zusammenhang zwischen Wirkungsgrad, Spulengüte und Kopplungsfaktor grafisch dargestellt (aus Huwig und Wambsganß 2010).

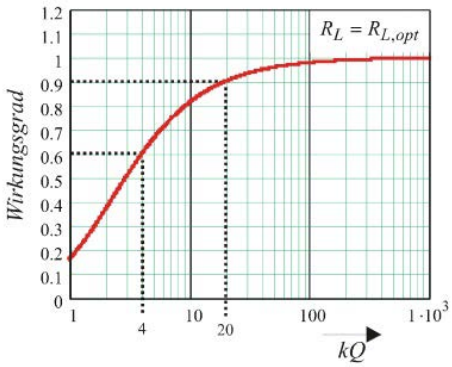


Abbildung 2-60: Abhängigkeit des Wirkungsgrades vom Faktor k*Q (Huwig und Wambsganß 2010, S.4)

Aus den vielfältigen zur Verfügung stehenden Lösungsmöglichkeiten wurde aus Gründen der Einfachheit und Kostenminderung ein Single-Coil-System (eine einzelne Primärspule, s. Abbildung 2-61) gewählt.

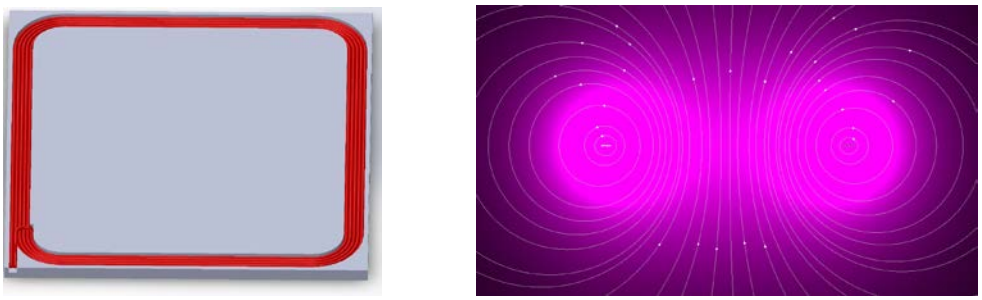


Abbildung 2-61: Aufbau und Simulation des magnetischen Felds eines Single-Coil-Systems (stationär)

Zur Dimensionierung einer solchen Spulenanordnung kann näherungsweise die folgende Formel genutzt werden.

$$L \approx 4 * (a * ln * \left[\frac{2 * a * b}{c * (a + \sqrt{a^2 * b^2})}\right] + b * ln * \left[\frac{2 * a * b}{c * (b + \sqrt{a^2 * b^2})}\right] + \\ + 2 * [c + \sqrt{a^2 * b^2} - (a + b)])$$

Neben der auch möglichen Umsetzung der Ladeschaltung als Royer-Coverter wurde für die Realisierung eine selbst entworfene Schaltung mit frei verfügbaren Bauelementen und Spulen nach dem Qi-Standard aufgebaut. Das Schema einer solchen Qi-Standard-Schaltung ist der Abbildung 2-62 zu entnehmen (nach Texas Instruments 2011).

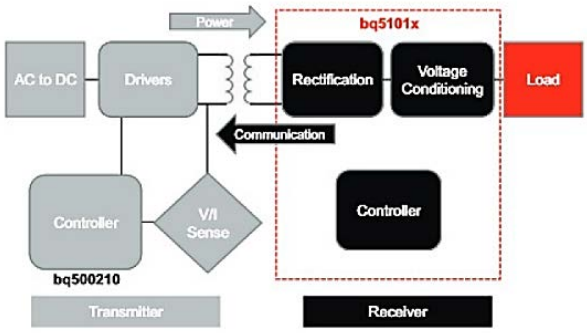


Abbildung 2-62: Schema eines drahtlosen Lademoduls basierend auf dem Qi-Standard (Texas Instruments 2011)

Vorteile eines Systems, wie in Abbildung 2-63 dargestellt, sind:

- Nutzung des Qi-Standards, der in vielen anderen Geräten verwendet wird
- Geräteerkennung, Fremdteilerkennung
- Standby-Betrieb möglich
- paralleles Laden mehrerer Sekundärteile
- kleinere Abmessungen des Transmitters sind realisierbar, da fast ausschließlich integrierte Bauelemente verwendet werden
- Energieübertragung und einzelne Systemparameter (Temperatur, Fehler, Spannung, Strom) werden primär- sowie sekundärseitig überwacht und im Fall einer Störung abgeschaltet
- die Bauteiltoleranzen sind geringer, durch die Verwendung integrierter Bauelemente

Nachteilig bei dieser Variante ist vor allem der gesteigerte Aufwand (Anzahl von Bauelementen), es ist nicht jede Spule geeignet und zur Kontrolle der Primärspannung ist ein weiterer Controller nötig.

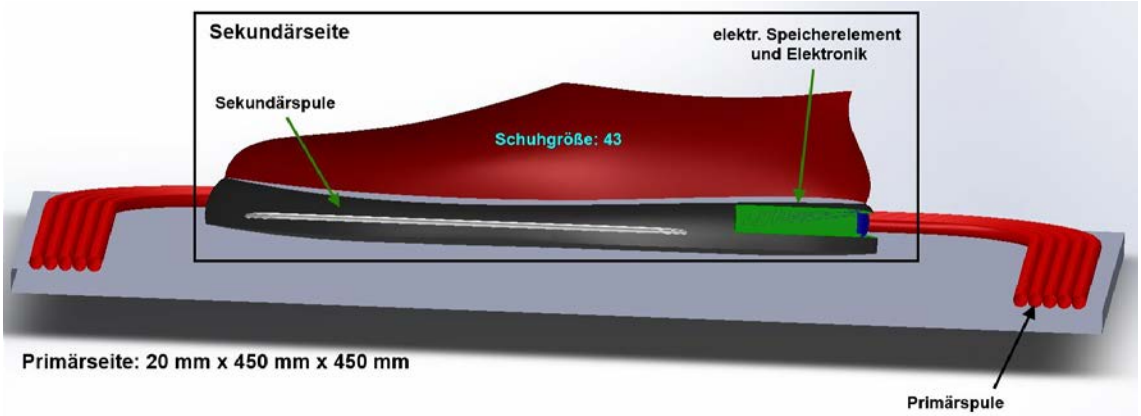


Abbildung 2-63: Schematischer Aufbau des Lademoduls (Primärteil als Platte, Sekundärteil in der Schuhsohle)

Es wurden verschiedene Spulentypen und -konfigurationen (s. Abbildung 2-64) hinsichtlich ihrer Eignung und der Robustheit gegen räumlichen Versatz getestet. Dazu wurde als Indikator ein gerade noch fließender Ladestrom auf der Sekundärseite genutzt, dieser wurde mittels einer LED-Anordnung auf 5 mA festgelegt und durch das Aufleuchten der LED angezeigt. Die Ergebnisse sind den Diagrammen aus der Abbildung 2-65 zu entnehmen.

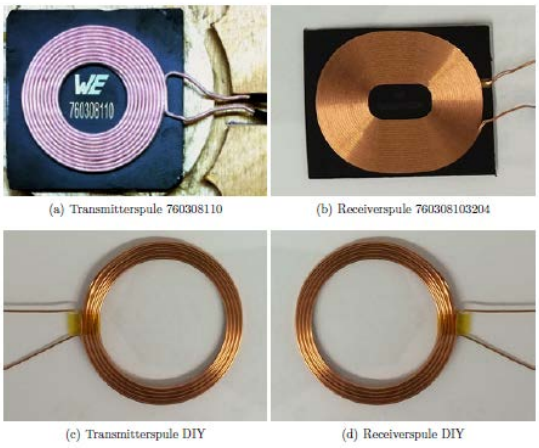


Abbildung 2-64: Getestete Spulentypen und -konfigurationen (Auswahl, mit und ohne magnetic shield)

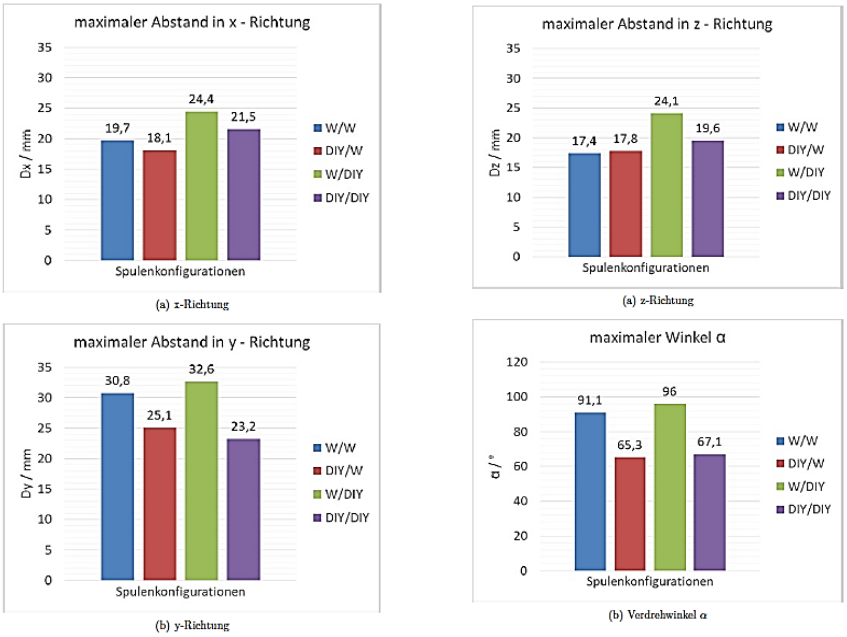


Abbildung 2-65: Ergebnisse der Tests zur Bestimmung der besten Spulenkonfiguration

Zur Verbesserung der Eigenschaften des magnetischen Feldes zwischen Primär- und Sekundärspule sowie zur Begrenzung der unkontrollierten Abstrahlung nach außerhalb des Lademoduls wurde ein magnetischer Schild eingesetzt. Dessen Wirkung auf den Verlauf der magnetischen Feldlinien und der erreichbaren Flußdichten wurde mittels Comsol multiphysics® simuliert und ist in Abbildung 2-66 dargestellt.

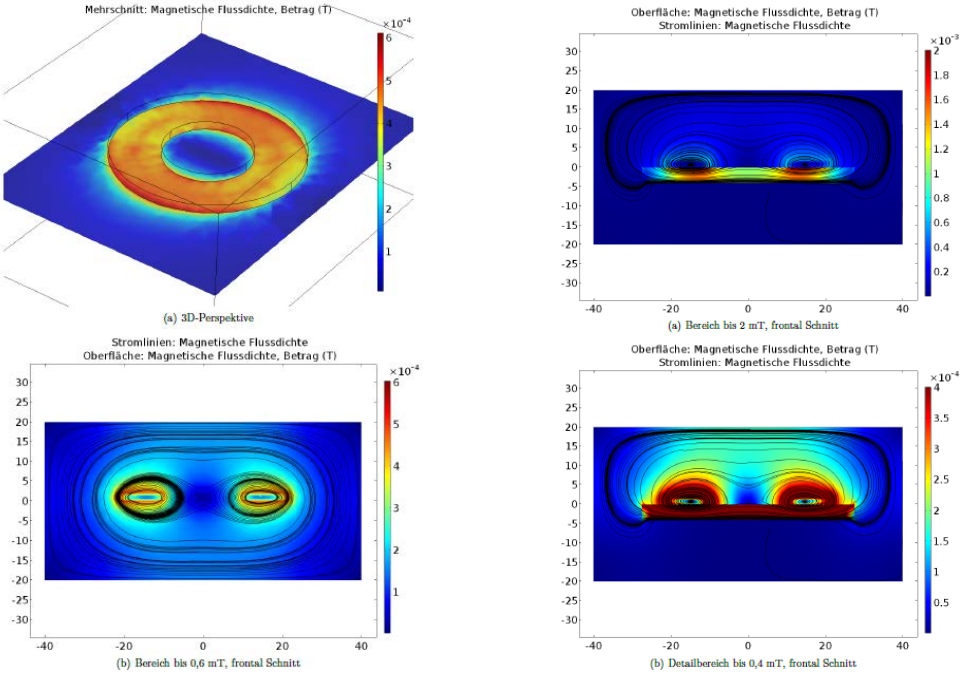


Abbildung 2-66: Simulation des Verlaufs der magnetischen Felddichten zur Verdeutlichung der Wirkung eines magnetischen Schilds

Aus den beschriebenen Überlegungen und Voruntersuchungen wurde als beste Variante die Kombination zweier DIY-Spulen mit magnetischem Schild auf der Primärseite ausgewählt. Die für diese Kombination erreichbaren Ladeströme sind der folgenden Abbildung 2-67 zu entnehmen. Dabei ist bauartbedingt zu berücksichtigen, dass die Receiverspule niemals länger als 5 s in einem Abstand < 5 mm betrieben werden darf. Der induzierte hohe Ladestrom würde sonst die Ladeelektronik überlasten und zerstören. Für die vorgesehene Anwendung stellt dies jedoch kein Problem dar, da der Mindestabstand bereits durch die Sohlendicke sichergestellt wird. Entscheidens ist aber die Erkenntnis, dass bei üblichen Sohlenstärken von 15 – 25 mm noch ein ausreichender Strom zum Laden der Energiespeicher fließt.

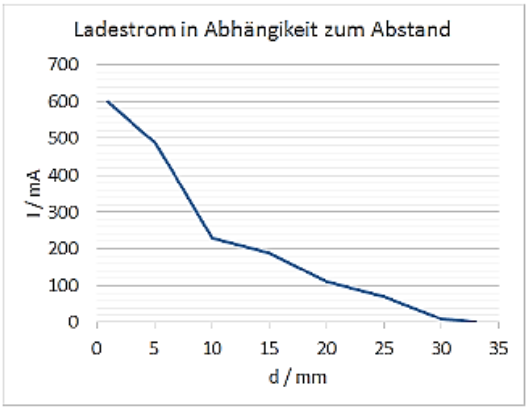


Abbildung 2-67: Darstellung der Abhängigkeit des fließenden Ladestroms auf der Sekundärseite in Abhängigkeit vom Spulenabstand

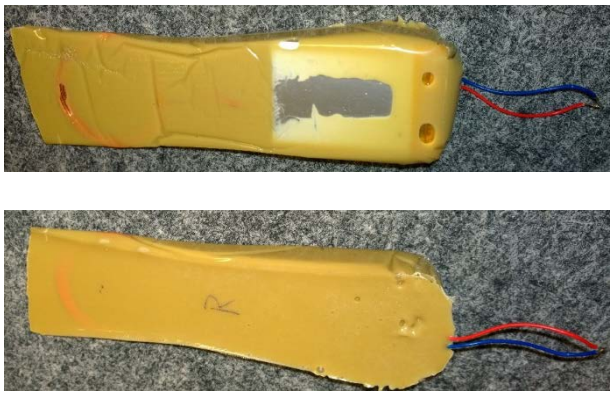


Abbildung 2-68: Aus Kunstharz gegossene Fersenkeile mit den darin gekapselten elektronischen Komponenten (Sekundärspulen, Ladeelektronik, LiPo-Akkumulator incl. Anschlusskabel)

Die Abbildung 2-68 zeigt die fertige Elektronik, in Kunstharz als Fersenkeile gegossen, die in die vorgesehene Höhlung der Sohlen eingelegt werden und diese ausfüllen. Diese Keile enthalten alle elektronischen Komponenten der Sekundärseite des Lademoduls einschließlich der Energiespeicher (Lithiumpolymerakkumulatoren). Zusätzlich erfüllen sie eine mechanische Stützfunktion in der Sohle, da sie den Hohlraum auffüllen, der für die Elektronik im Fersenteil der Sohle geschaffen wurde. Die Gießform sowie Abbildungen der Konstruktionszeichnungen des Primärmoduls finden sich im Anhang. Das fertige Modul der Primärseite (Ausführung in Sperrholz) zeigt die Abbildung 2-69.

Abbildung 2-69: Lademodul Primärseite: links Oberseite mit der Aussparung für die Schuhe (auswechselbar, für verschiedene Schuhgrößen); rechts Unterseite mit den Primärspulen incl. der magnetischen Schilde

2.3.3.2 Aufbau der Schuhsohle und Integration in die Testsandalen

In der Umsetzung der festgelegten Anforderungen wurden gemeinsam mit dem Partnerunternehmen verschiedene Varianten von Einlegesohlen für die Schuhe entwickelt. In diese Sohlenaufbauten wurden die Vibrationsaktoren und die Anschlüsse an die Ansteuerelektronik integriert. Als Aktoren wurden in den vorausgegangenen Tests bereits ERM-Motoren als die am günstigsten und am besten geeignetsten identifiziert. Zum Nachweis der Erfüllung der Anforderungen an den notwendigen Frequenzbereich wurden die Frequenzkennlinien der verschiedenen Motoren (Coinmotoren in zwei Größe und zwei verschiedene Zylindertypen) aufgenommen. Dazu wurden die Ansteuerspannung der Motoren schrittweise erhöht, das Vibrationsgeräusch über ein Mikrofon aufgenommen und mittels FFT die Hauptfrequenz bestimmt. Die folgende Abbildung 2-70 zeigt die Spannungs-Frequenz-Kennlinien der vier untersuchten Motortypen.

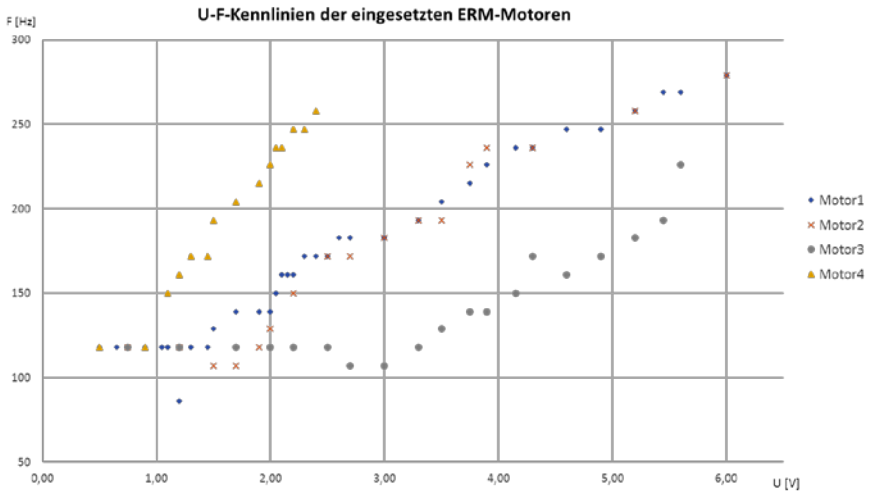


Abbildung 2-70: Durch FFT ermittelte U-F-Kennlinien der eingesetzten Motoren

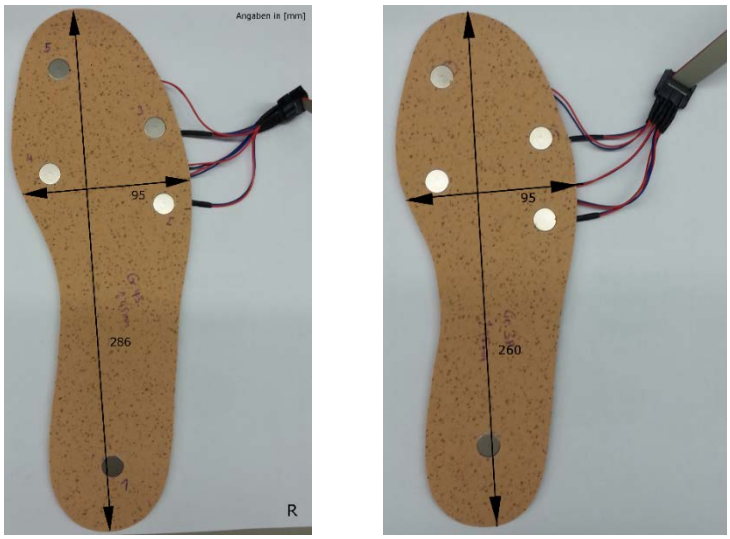


Abbildung 2-71: Skizzen der Grundmaße der zwei verschiedenen Sohlengrößen (links Gr. 43, rechts Gr. 38)

Unter der Maßgabe zur Einhaltung der gestellten Anforderungen wurden durch den Projektpartner OST verschiedene Varianten von Testsohlen sowie Testschuhen angefertigt und zur Verfügung gestellt. Der Fokus lag dabei auf einer guten Integrierbarkeit der benötigten Komponenten wie einem bequemen An- und Ausziehen bei den Tests. Es wurden zwei häufige Schuhgrößen (Gr. 38 und Gr. 43 s. Abbildung 2-71) mit mehreren verschiedenen Einlegesohlen hergestellt, wie sie in Abbildung 2-72 zu sehen sind, aufgebaut und getestet.

Abbildung 2-72: Testsandalen der Fa. Orthopädieschuhtechnik Themar in unterschiedlichen Größen mit verschiedenen Sohlenaufbauten (ERM-Coinmotoren, LRA-Motoren und ERM-Zylindermotoren).

Die Sohlen der Schuhe wie auch Sandalen wurden ausgehöhlt, damit im Inneren die notwendigen elektronischen Komponenten insbesondere zur Energieversorgung untergebracht werden können.

Die Abbildung 2-73 zeigt links die Ansteuerelektronik, bestehend aus einem Mikrocontroller (Arduino Mikro) und Bluetooth®-Kommunikationsmodul sowie den zugehörigen Anschlusskabeln. Rechts ist die Vibrationssohle (incl. Motoren und Drucksensor, in die Testsandale eingelegt und konnektiert) abgebildet. Durch die Verbindung von Sohle und Ansteuerelektronik werden auch alle Komponenten mit Spannung versorgt, und es beginnt automatisch eine gespeicherte Testsequenz der Motoren abzulaufen. Damit ist sichergestellt, dass auch tatsächlich alle Motoren funktionsfähig sind, bevor der Nutzer die Sandalen zum Test anzieht. Die weitere Ansteuerung erfolgt mittels eines beliebigen Terminalprogramms via Bluetooth® von einem PC, Laptop, Notebook oder Smartphone. Aus Handlingsgründen wurden in den folgenden Tests die Befehle immer über Smartphone gesendet.

Vergleichend wurden die Sohlen auch in den bereitgestellten Schuhen eingesetzt. Dies wurde jedoch nur zu Funktionstests im Labor durchgeführt, da sich die Sandalen für Nutzertests besser eigneten und explizit dafür angefertigt wurden.

Abbildung 2-73: Ansteuerelektronik und integrierte Schuhsohle (links und Mitte) sowie fertiger Schuh mit Vibrationssohle (rechts)

2.3.4 Funktions- und Nutzertests der Schuhsohle in einer Testsandale

Mit den aufgebauten Schuhen bzw. Sandalen (insgesamt in sechs Varianten: zwei verschiedene Schuhgrößen und drei verschiedene Vibrationsaktoren) wurden Funktions- und Nutzertests zur Überprüfung der generellen Nutzbarkeit wie auch der Akzeptanz von Vibrationsreizen durchgeführt. Die folgende Abbildung 2-74 zeigt einen Ausschnitt eines solchen Tests im Labor des Fachgebiets. Nach erfolgreicher Durchführung der Funktionstests im Labor wurden die Tests beim Projektpartner in der realen Umgebung des Pflegeheims wiederholt.

Abbildung 2-74: Testsandale während Nutzertests (mit angeschlossenem Kommunikationsmodul, Energieversorgung und Controller befinden sich in der Sohle des Schuhs)

Im Ergebnis der Tests mit den vom Projektpartner übergebenen Testsandalen und -schuhen konnte folgendes festgestellt werden:

- Vibrationen können passend für ältere Nutzer durch die aufgebauten Schuhsohlen appliziert werden. Die individuelle Anpassung der Amplitude muss durch Tests für jeden einzelnen Nutzer ermittelt werden.
- Alle benötigten Komponenten können in Schuhe integriert werden und sind in der Schuhsohle ausreichend gegen die entstehenden Belastungen geschützt. Zum Schutz vor Feuchtigkeit werden die elektronischen Komponenten wasserdicht in Kunstharz vergossen.
- Die Ansteuerung über eine drahtlose Bluetooth®-Verbindung war robust und störsicher innerhalb der getesteten Einsatzbedingungen (indoor, reale Pflegeheimumgebung), es traten keine Verbindungsfehler oder Kommunikationsunterbrechungen auf.

- Die räumliche Zuordnung der Reize (insb. der Ferse) war nur ungenügend möglich und kann somit nur eingeschränkt zur Informationsvermittlung genutzt werden. Dies wird verbessert durch die zweiseitige, alternierende Stimulierung, was als zusätzliche Information genutzt werden kann.
- Mit Ausnahme eines Reizmusters bei einer Probandin wurden alle applizierten Reizmuster als nicht störend oder angenehm empfunden. Bei keinem Probanden wurde eine unbewusste Reaktion (wie z.B. Innehalten in der Bewegung, Trittunsicherheit o.ä.) auf die plötzlich einsetzenden Vibrationen durch den beobachtenden Testleiter erkannt, genauso nicht auf deren Ausbleiben.
- Die Zylindermotoren haben bei allen Probanden eine bessere Erkennungsrate gezeigt.

2.3.5 Integration in das Assistenzmodul

2.3.5.1 Systemstruktur Schuhmodul

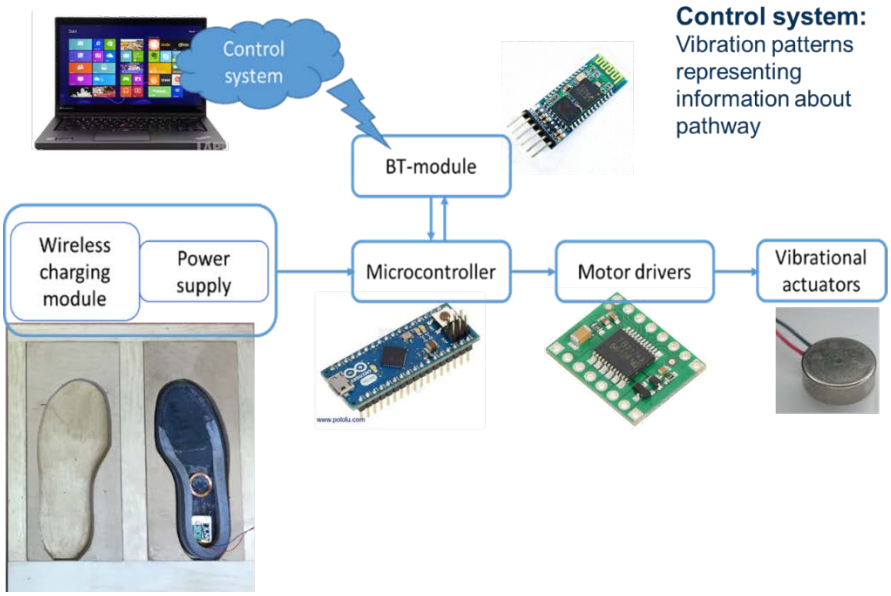


Abbildung 2-75: Schematische Darstellung der Systemstruktur des Moduls Intelligenter Schuh (ohne Trackingkomponenten)

In der Abbildung 2-75 ist die grundlegende Struktur schematisch abgebildet. Es erfolgt eine ständige drahtlose Kommunikation zum Control System (Server, der auch die Daten des Trackings und der Türmodule erhält, s Kapitel 1.1.1.6 und 2.3.6). Aus der Verarbeitung der Eingangsdaten ergeben sich die notwendigen Orientierungshinweise, die durch Auswahl vorprogrammierter Vibrationsmuster und deren Übertragung auf den Mikrocontroller an den Nutzer weitergegeben werden. Für diese Muster wird nur die Nummer zum Aufrufen an den µC gesendet, die verknüpften Muster sind im Speicher des µC abgelegt. Diese Muster sind:

0 - alle Motoren aus

1 - durchlaufend von der Ferse zum Ballen

2 - Intensitätsunterschiede (an-/abschwellende Amplitude alle Motoren)

3 - Wechsel von links nach rechts bzw. rechts nach links (innen nach außen)

4 - an / aus im Wechsel

Tests mit einer Verknüpfung der Muster zu Orientierungsaufgaben unter Nutzung des Trackingmoduls konnten im Rahmen des Projekts nicht mehr durchgeführt werden, sind aber in der weiteren Forschungsarbeit nach Projektabschluss vorgesehen und werden passend publiziert.

2.3.5.2 Konzeptvorstellung:

Um das Schuhmodul mit dem Assistenzmodul zur Gesten- und Sprachsteuerung zum Gesamtsystem vereinigen zu können, musste eine Schnittstelle zwischen diesen beiden Teilsystemen geschaffen werden. Damit ist zum einen die Datenübergabe möglich, zum anderen sind damit aber auch Ruhe- und Sparfunktionen sowie Sicherheitsfunktionen realisierbar. Diese sind abhängig davon, ob und wie viele Nutzer sich in der Wohnung aufhalten bzw. mit dem Intelligenten Schuh den Wohnbereich verlassen haben. Damit sind bereits Grundanforderungen beschrieben, als Schnittstelle kommt nur die Wohnungstür in Frage. Es muss zudem eine Möglichkeit zur Detektion geben, um die Anzahl und Richtung der Personen zu ermitteln, die durch die Tür gehen.

Diese Detektion wird von einer Sensormatte durchgeführt, die auf dem Boden an der Tür liegt (entweder vor der Wohnung oder im Inneren hinter der Tür). Für diese Aufgabe sollte ursprünglich die Sensormatte Sensfloor® der Fa. FutureShape zum Einsatz kommen. Diese ließ sich aber nicht ausreichend an die Bedingungen adaptieren und war somit nicht nutzbar. Somit wurde eine eigene Matte entwickelt und aufgebaut. Zusätzlich wurde noch Türsensoren auf Ultraschallbasis angebracht sowie die Tür selbst sensorisiert. Mit diesen Sensoren (Drehwinkelgebern zur Detektion des Öffnungswinkels und Hallsensor für die Detektion der Klinke bzw. des Schließens/Öffnens) lassen sich zusätzliche Informationen für die logische Verknüpfung der Daten gewinnen und u.a. Plausibilitätstests durchführen.

Die sensormatte besteht aus einem Trägermaterial (Teppichbelag) und darauf befestigte Foliendrucksensoren (Array aus 12 FSR) sowie der benötigten Ansteuer- und Kommunikationselektronik. Die Abbildung 2-76 zeigt schematisch den Aufbau. Die beiden folgenden Tabellen enthalten die grundlegenden Spezifikationen der verwendeten Bauelemente.

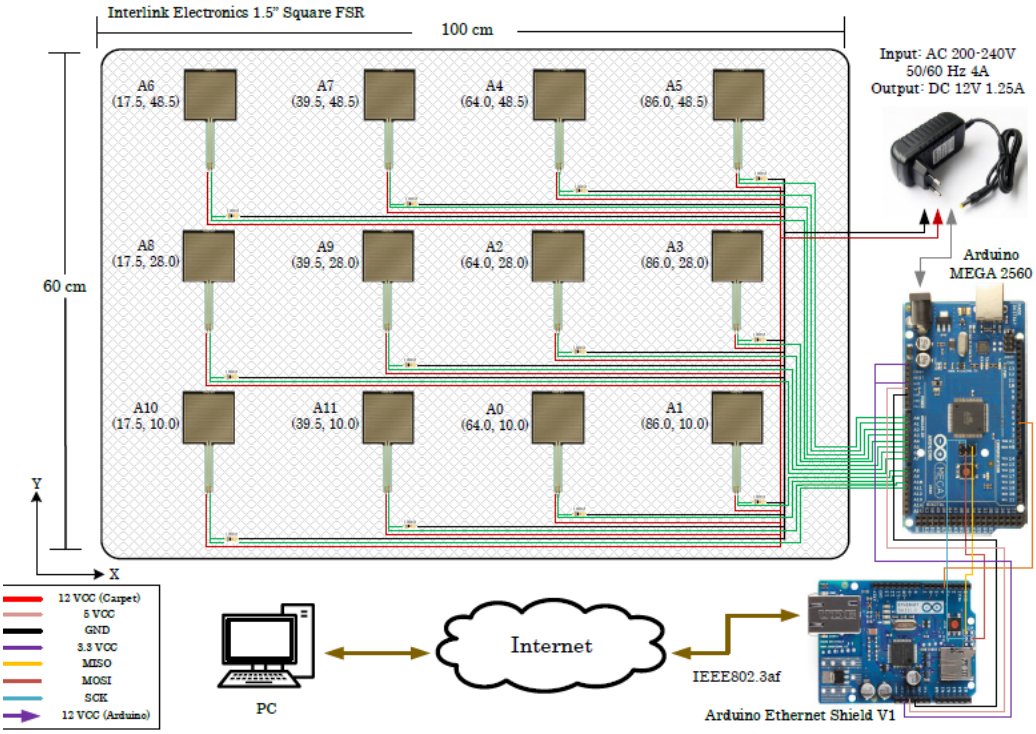


Abbildung 2-76: Schematische Darstellung des Aufbaus und der Komponenten der Sensormatte

Tabelle 2-4: Technische Daten Foliendrucksensor

Sensor Type	Force Sensitive Resistor
Force Min	1 N
Force Max	20 N
Pressure Min	10.3 kPa
Pressure Max	1 MPa
Repeatability Error Max	± 2 %
Hysteresis Max	10 %
Long-Term Drift Max	5 %
Response Time Max	3 μ s
Temperature Sensitivity Max	0.15 % per °C
Sensing Area	14.5 cm^2
Lifespan	10 million actuations
Operating Temperature Min	-30 °C
Operating Temperature Max	70 °C
Size	Square 39.6mm

Tabelle 2-5: Technische Daten Arduino Ethernet

Requierement	Arduino board
Operating voltage	5V (supplied from the Arduino Board)
Ethernet Controller	W5100 with internal 16K buffer
Connection speed	10/100Mb
Connection with Arduino	on SPI port

Der US-Türsensor nutzt vier US-Entfernungsmesser SRF02, die über i²C mit einem Arduino Leonardo ETH verbunden sind. Dieser empfängt die dAten, wertet sie nach einem gespeicherten Algorithmus aus und liefert das Ergebnis an den PC. Das Prinzip ist in dargestellt.

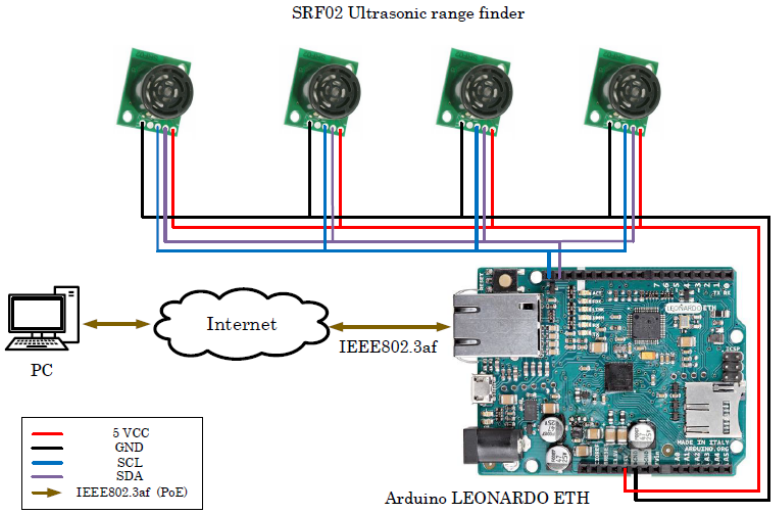


Abbildung 2-77: Schema der Verschaltung und Funktionsweise der US-Türsensorik

Die folgenden Tabellen enthalten die technische Spezifikation der verwendeten US-Sensoren sowie des Arduino Leonardo ETH.

Tabelle 2-6: Technische Daten US-Entfernungsmesser SRF02

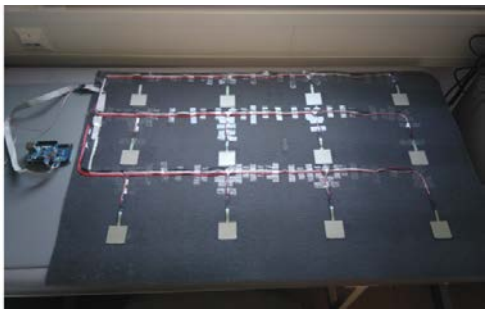
Voltage	5v only required
Current	4mA Typ.
Frequency	40KHz
Range	15cm - 6m.
Analogue Gain	Automatic 64 step gain control
Connection Modes	1- Standard I2C Bus 2- Serial Bus (Connects up to 16 devices to any uP orUART serial port)
Full Automatic Tuning	No calibration, just power up and go
Timing	Fully timed echo, freeing host controller of task.
Units	Range reported in uS, mm or inches.
Light Weight	4.6gm
Small Size	24mm x 20mm x 17mm height.

Tabelle 2-7: Technische Arduino Leonardo ETH

Ethernet	802.3 10/100 Mbit/s
Microcontroller	ATmega32u4
Input Voltage	7-12 V
Input Voltage PoE	36-57 V
Reserved Pins	4 used for SD card select; 10 used for W5500 select
Digital I/O Pins	20
PWM Output	7
Power Consumption	82 mA
PCB Size	53.34 x 68.58 mm
Card Reader	Micro SD card, with active voltage translators
Weight	28 g
Product Code	A000022 (without PoE) - A000023 (with PoE)

1.1.1.1 *Umsetzung:*

Die an der Unterseite des Teppichbodens aufgeklebten Foliendrucksensoren wurden über Einzeldrahtverbindungen zu Zeilen zusammengeschlossen und mit dem Arduino Mega (für die Datenauswertung) verbunden. Zusätzlich wurden zur Verbesserung des Ansprechverhaltens zeilenweise Schaumstoffstreifen über die FSR geklebt, wie in Abbildung 2-78 zu sehen.



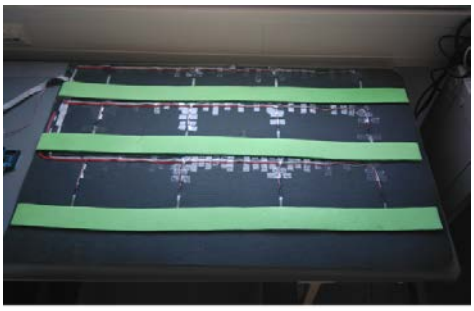


Abbildung 2-78: Ansicht Rückseite der Sensormatte (links Verkabelung zu drei Zeilen, rechts Schaumstoffstreifen zur Verbesserung des Ansprechverhaltens)

Die Sensitivität der Sensoren wurde über Vorwiderstände eingestellt. Die Abhängigkeit der Sensorspannung vom gewählten Vorwiderstand zeigt die folgende Abbildung 2-79. Die Berechnung des Vorwiderstands ist über die nachfolgende Formel möglich.

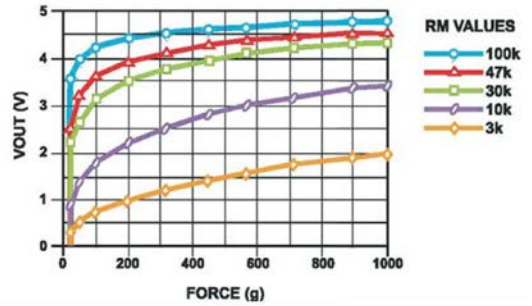


Abbildung 2-79: Darstellung der Abhängigkeit der Sensorspannung vom Vorwiderstand

$$V_{out} = \frac{R_M V^+}{(R_M + R_{FSR})}$$

Mit: V_{OUT} = Output voltage.
V^+ = Source voltage.
R_M = Measuring sensor resistor.
R_{FSR} = Force Sensing Resistor.

Für die Sensormatte des Projekts wurde der Widerstand mit 10 kΩ gewählt, damit ergibt sich eine Sensorspannung von ca. 3,5 V.

Die Daten der beiden Türsysteme (Fußmatte und US- sowie Türsensoren) werden über Ethernet von den Auswertecontrollern (Arduino ETH) an einen Server des Moduls Schuh gesendet. Dieser leitet die Daten ebenfalls über Ethernet weiter an den Server des Assistenzsystems zur Integration ins Gesamtsystem. Diese Struktur ist in der folgenden Abbildung 2-80 dargestellt.

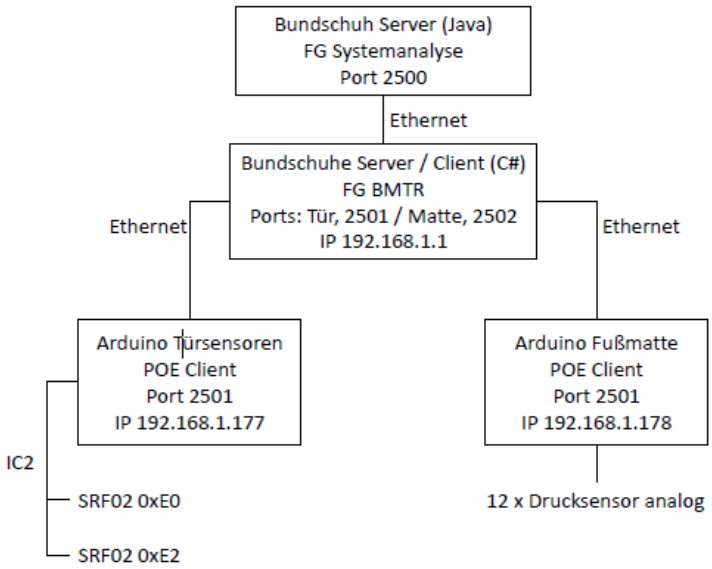


Abbildung 2-80: Struktur und Verteilung der Komponenten zur Zusammenführung der Teilsysteme von Bundschuh

2.3.6 Trackingmodul des Intelligenten Schuhs

2.3.6.1 Komponenten, technische Daten:

Der ursprüngliche Ansatz für das Trackingmodul über RFID-Technik wurde nach ersten Tests fallengelassen. Diese Technologie erwies sich mit den verfügbaren Komponenten als zu störanfällig, um in dem

sensiblen Anwendungsfeld zum Einsatz kommen zu können. Als zweite Technologie wurde daraufhin das Tracking mithilfe von Nahbereichsfunkknoten, sog. Bluetooth-Beacons, getestet. Diese verlief zwar vielversprechend, konnte jedoch ebenfalls aufgrund von vielen Störeinflüssen nicht bis zum Projektende fertiggestellt werden. Dieser Ansatz wird jedoch in Zusammenarbeit mit einer Arbeitsgruppe der Fraunhofer Gesellschaft weiterverfolgt.

Eine robuste Lösung konnte mit der Nutzung von passiven Infrarotsensoren (PIR) gefunden werden. Diese Sensoren werden auch für Bewegungsmelder und zum Schalten von Geräten verwendet. Die Abbildung 2-81 zeigt einen solchen Sensor, wie er im Projekt zum Einsatz kam.

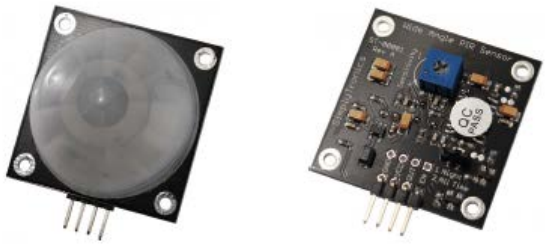


Abbildung 2-81: Wide Angle PIR Motion Sensor (a) PIR sensor front view. (b) PIR sensor back view.

Mit Hilfe dieser PIR-Sensoren lassen sich Bereiche eines Raumes dahingehend überwachen, ob sich in diesem Bereich eine Person aufhält bzw. bewegt oder nicht. Dies ist im Sinne des Projekts ausreichend, da nur der Weg einer Person verfolgt und mit der gewünschten Richtung verglichen werden muss. Mit einem Array aus einer ausreichenden Anzahl von solchen PIR-Sensoren ist damit diese Aufgabe erfüllbar. Ähnlich der Sensormatte werden jeweils vier Sensoren zu einer Zeile zusammengeschaltet und von einem Mikrocontroller ausgelesen. Die einzelnen Mikrocontroller geben ihre Daten an einen PC drahtlos über ZigBee weiter, dort werden die Daten fusioniert und ausgewertet. Das Prinzip einer einzelnen solchen Sensorzeile zeigt die folgende Abbildung 2-82.

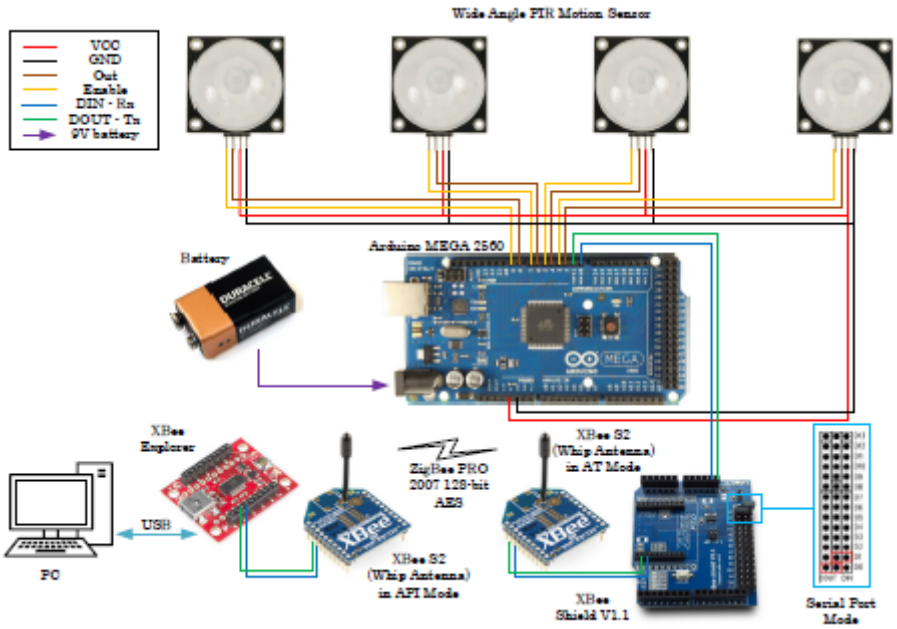


Abbildung 2-82: Prinzipieller Aufbau und Verschaltung einer Sensorzeile aus vier PIR-Sensoren und dem Auswertecontroller

2.3.6.2 Software Interface für das Trackingsystem und die Sensormatte

Das grafische Nutzerinterface (GUI) wurde mit Microsoft Visual Studio programmiert. Es dient zur schnellen Erkennung der jeweils aktivierten PIR-Sensoren.

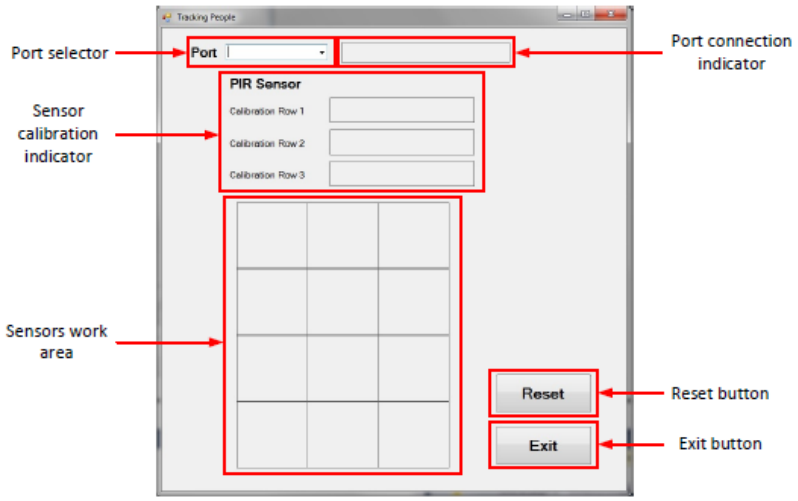


Abbildung 2-83: Darstellung der GUI des Trackingmoduls

Tabelle 2-8: API-Format der ZigBee-Kommunikation der Sensoren des Trackingmoduls

Frame fields		Offset	Example	Description
Start delimiter		0	0x7E	
Length		MSB 1 LSB 2	0x00 0x11	Number of bytes between the length and the checksum
Frame-specific data	Frame type	3	0x90	
	64-bit source address	MSB 4 5 6 7 8 9 10 LSB 11	0x00 0x13 0xA2 0x00 0x40 0x52 0x2B 0xAA	64-bit address of sender. Set to 0xFFFFFFFFFFFFFFFF (unknown 64-bit address) if the sender's 64-bit address is unknown.
	16-bit source network address	MSB 12 LSB 13	0x7D 0x84	16-bit address of sender.
	Receive options	14	0x01	0x01 – Packet acknowledged. 0x02 – Packet was a broadcast packet. 0x20 – Packet encrypted with APS encryption. 0x40 – Packet was sent from an end device (if known).
	Received data	15 16 17 18 19 20	0x52 0x78 0x44 0x61 0x74 0x61	Received RF data.
Checksum		21	0x0D	0xFF – the 8-bit sum of bytes from offset 3 to this byte.

2.3.6.3 Umsetzung und Test:

In der folgenden Abbildung 2-83ist die Installation der in einem XBee[4]-Netzwerk zusammengefassten einzelnen PIR-Sensoren an der Zimmerdecke zu erkennen. Die Sensoren wurden zur besseren räumlichen Auflösbarkeit mit einem Tubus versehen, der die seitliche Erkennung wie auch gegenseitiges

[4] XBee: ZigBee-Variante von Arduino

Übersprechen einschränkt. Insgesamt wurden 12 Sensoren in einem Abstand von jeweils 30 cm angebracht und jeweils vier mit einem Arduino Mega verbunden.

Abbildung 2-84: Installation der PIR-Sensoren an der Zimmerdecke der Testumgebung

Um von jedem einzelnen Sensor nur ein bestimmtes Feld des Raumes überwachen zu können, wurden den Sensoren das Sichtfeld mittels kleiner aufgesteckter Röhren begrenzt. Dies ist schematisch in Abbildung 2-84 dargestellt und lässt sich nach der sich anschließenden Formel berechnen.

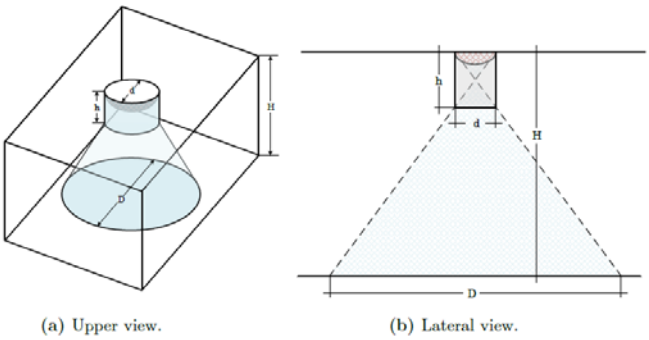


Abbildung 2-85: Beziehung zwischen Tubuslänge und Arbeitsbereich der Sensoren

$$h = \frac{2dH}{D + d}$$

mit: D = Work area.
d = Diameter of the sensor.
H = Height of the room.
h = Height of the tube.

Die Richtigkeit der Berechnungen (bei einer Raumhöhe von 250 cm, Tubus-Durchmesser 3,6 cm) wurde experimentell überprüft und die folgenden Werte für den Arbeitsbereichsdurchmesser D ermittelt (s. Abbildung 2-85.

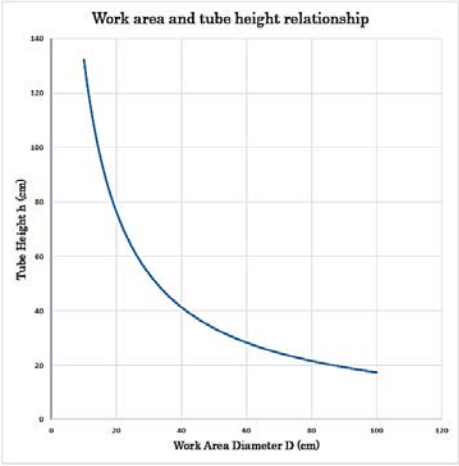


Abbildung 2-86: Durchmesser des Arbeitsbereichs der Sensoren in Abhängigkeit von der Tubuslänge

Befindet sich eine Person im Arbeitsbereich eines Sensors, so liefert dieser ein Signal an den Mikrocontroller. Bauartbedingt und durch Latenzen der Sensoren können gleichzeitig auch mehrere Sensoren des Arrays aktiviert werden. In der folgenden Abbildung 2-86 ist eine schematische Darstellung der Funktionsweise zu sehen. Eine sich bewegende Person aktiviert nacheinander die Sensoren, die den durchschrittenen Bereich überwachen.

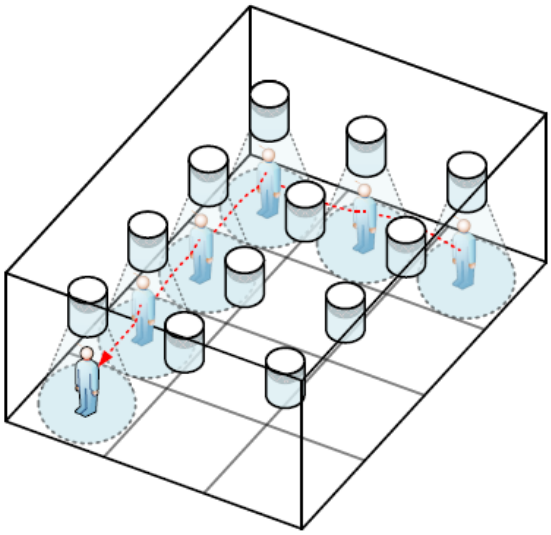


Abbildung 2-87: Schema der Funktionsweise der Raumüberwachung durch das PIR-Sensornetzwerk

Auf der Benutzeroberfläche des angeschlossenen PC ist die Bewegung nachverfolgbar. Die aktivierten Sensoren stellen sich als rote Quadrate dar, die inaktiven als blaue, wie die Abbildung 2-87 zeigt.

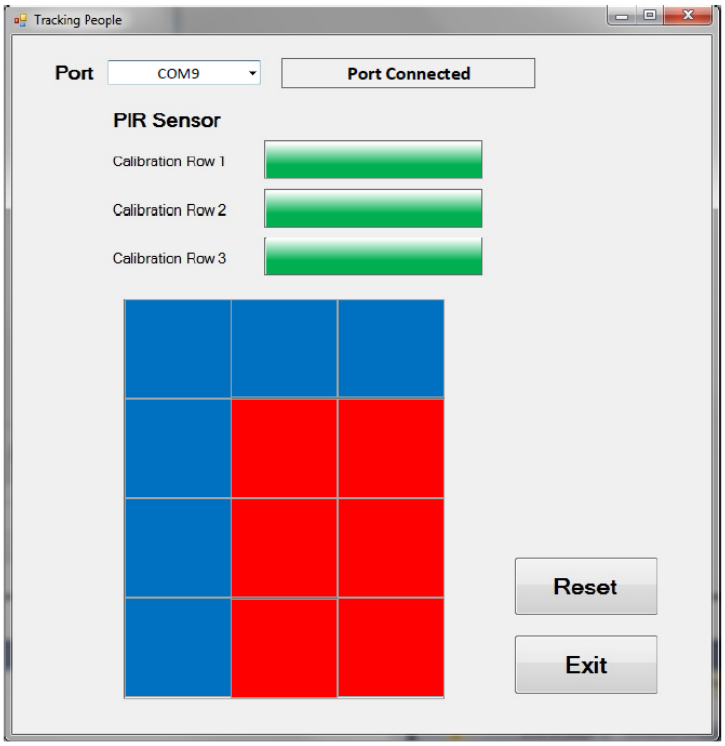


Abbildung 2-88: Verfolgung der Bewegung der getrackten Person auf der GUI

2.3.6.4 Auswertung der Tests, Schlussfolgerungen:

Die Tests aller Module konnten erfolgreich abgeschlossen werden, alle Komponenten haben ihre Tauglichkeit für den Einsatz in Realumgebungen in mehrtägigen Dauertests nachweisen können. Eine Portierung in die Wohnumgebung der vom Projektpartner betreuten potentiellen Nutzer konnte nicht mehr erfolgen. Das Zusammenspiel der Teilmodule Gestensteuerung und Intelligenter Schuh konnte nur exemplarisch gezeigt werden, bietet aber keine ungelösten Probleme.

Die Trackindaten sind geeignet, um als Input für eine Navigation zu dienen. Die damit erhältliche Route ist die Vorgabe für die Richtungsinformationen, die dann mittels Vibrationen an die Fußsohle der Nutzer weitergegeben werden. Weitere Trackingverfahren sind alternativ oder ergänzend sinnvoll einzusetzen und sollten in weiteren Forschungsarbeiten für das System nutzbar gemacht werden.

Literatur und Quellennachweise:

Aichele, Thomas (2010): Elektrodynamik. URL: http://www.physik.hu-berlin.de/nano/lehre/folder_pk2/4edyn5/view, zuletzt abgerufen 20.06.2017.

Amazon 2017: https://www.amazon.de/lechal-Navigation-Fitness-Tracking-Einlegesohlen/dp/B01GFWQQGS (zuletzt abgerufen 10.06.2017)

Borenstein, Johann (1990): The NavBelt - A Computerized Multi-Sensor Travel Aid for Active Guidance of the Blind. In: Proc. of the CSUN's Fifth Annual Conference on Technology and Persons with Disabilities, S. 107–116.

DIN EN ISO 13732-1 (Dez. 2006). Ergonomie der thermischen Umgebung. Berlin Beuth Verlag GmbH.

DIN EN 61140 (VDE 0140-1:2007-03) (März 2007). Schutz gegen elektrischen Schlag. Gemeinsame Anforderungen für Anlagen und Betriebsmittel. Berlin Beuth Verlag GmbH.

Gebhardt, Michael (2011): Einige Grundlagen der magnetischen Nahfeldkopplung. URL: http://www.rfid-systems.at/03_Grundlagen_2011.pdf, zuletzt abgerufen 10.06.2017.

Goldstein, Bruce E. (2010): Sensation and Perception. Belmont: Wadsworth. 8. Aufl.

Grunwald, Martin (2008): Human haptic perception. Basics and applications. Basel: Birkhäuser.

Grunwald, Martin; Beyer, Lothar (Hg.) (2001): Der bewegte Sinn. Grundlagen und Anwendungen zur haptischen Wahrnehmung. Basel: Birkhäuser.

Heinrich, Elisabeth (2014): Konzeption, Aufbau und Funktionstest einer Einrichtung zum Übermitteln von Vibrationen in die Fußsohlen von Probanden. Bachelorarbeit. Fachgebiet Biomechatronik, Fakultät für Maschinenbau der Technischen Universität Ilmenau.

Herschel, R. (1974): Einführung in die Theorie der Automaten, Sprachen und Algorithmen, München: Oldenburg Verlag.

Hess, W. (1983): Pitch Determination of Speech Signals, Berlin.

Huwig, Dominik (2014): Energieübertragung durch Nahfeldkopplung. URL: http://www.etatronix.de/wp-content/uploads/2014/11/Huwig_Energieuebertragung_durch_Nahfeldkopplung.pdf, zuletzt abgerufen 20.06.2017.

Huwig, Dominik & Wambsganß, Peter (2010): Kontaktlose Energieversorgung mobiler Geräte durch induktive Nahfeldkopplung. http://www.channel-e.de/nachrichten/article/kontaktlose-energieversorgung-mobiler-geraete-durch-induktive-nahfeldkopplung.html, zuletzt abgerufen 20.06.2017.

Kaiser, Eva (2014): Konzeption und Durchführung von Probandentests zur Ermittlung und Überprüfung von Vibrationsmustern zur Informationsvermittlung über die Fußsohle auf einem Vibroprüfstand. Bachelorarbeit. Fachgebiet Biomechatronik, Fakultät für Maschinenbau der Technischen Universität Ilmenau.

Kammeyer, K.-D./Kroschel, K., Digitale Signalverarbeitung: Filterung und Spektralanalyse mit MATLAB, Wiesbaden 2009

Kaps, A., Mehrkanalige Geräuschreduktion bei Sprachsignalen mittels Kalman-Filter, Dissertation, Technische Universität Darmstadt 2008

Kennedy, Paul M.; Inglis, J. Timothy (2002): Distribution and behaviour of glabrous cutaneous receptors in the human foot sole. In: Journal of Physiology (538.3). S. 995–1002.

Kirchhofer, Tim (2014): Entwurf und Programmierung der Ansteuersoftware zur Informationsvermittlung über die Fußsohle auf einem Vibro-Prüfstand mit Ablage der Vibrationsmuster in einer Datenbank. Bachelorarbeit. Fachgebiet Biomechatronik, Fakultät für Maschinenbau der Technischen Universität Ilmenau.

Lazarus, H.; Akustische Grundlagen sprachlicher Kommunikation, Berlin 2010

Lutherdt, Stefan, Roß, Fred; Witte, Hartmut (2016): Development of a New Information Interface for Elderly Using Vibrations. In Goonetilleke, Ravindra S. & Karwowski, Waldemar (Hg.): Advances in physical ergonomics and human factors: Proc. of the AHFE 2016 Int. Conference on Physical Ergonomics and Human Factors, July 27-31, 2016, Walt Disney World®, Florida, USA. Switzerland: Springer. (Advances in intelligent systems and computing, Vol. 489), S. 751–759.

Marinescu, M. (2009): Elektrische und magnetische Felder: Eine praxisorientierte Einführung. Springer Berlin, Berlin, 2nd edition, 2009. ISBN 978-3-540-89696-8.

Mertins, A.; Signaltheorie: Grundlagen der Signalbeschreibung, Filterbänke, Wavelets, Zeit-Frequenz-Analyse, Parameter- und Signalschätzung, Wiesbaden 2012

Meyer, M.; Signalverarbeitung, 7. Aufl., Wiesbaden 2011

Meyer, P. (2012): Modeling of Inductive Contactless Energy Transfer Systems. PhD thesis, ÉCOLE POLYTECHNIQUE FÉDÉRALE DE LAUSANNE, 2012. URL http://infoscience.epfl.ch/record/181224.

Moschytz, G./Hofbauer, M.; Adaptive Filter: Eine Einführung in die Theorie mit Aufgaben und MATLAB-Simulationen auf CD-ROM, Berlin/Heidelberg 2011

Nührmann, D. (1980): Werkbuch Elektronik: Das große Arbeitsbuch mit Entwurfsdaten, Tab. und Grundschaltungen für alle Bereiche der angewandten und prakt. Elektronik. Franzis-Verlag, München, 2nd edition, 1980.

Precision Microdrives (2016): Product Guides, Vibration motors. URL: http://www.precisionmicrodrives.com/vibrating-vibrator-vibration-motors/pancake-shaftless-coin-vibration-motors/design-considerations, zuletzt abgerufen 20.06.2017.

Schless, V.; Automatische Erkennung von gestoerten Sprachsignalen, Dissertation, Universität Erlangen-Nürnberg 2000

Schmidt, Robert F.; Lang, Florian; Thews, Gerhard (2005): Physiologie des Menschen: mit 598 vierfarbigen Abbild. in 1.127 Einzeldarst. und 78 Tab. 29. vollst. neu bearb. und aktual. Aufl. Springer Medizin Verlag Heidelberg.

Silbernagl, Stefan; Despopoulos, Agamemnon (2003): Taschenatlas der Physiologie. Mit 186 Farbtafeln von Rüdiger Gay und Astried Rothenburger. 6. korr. Auflage. Stuttgart: Thieme Verlag.

Schukat-Talamazzini, E.; Automatische Spracherkennung: Grundlagen, statistische Modelle und effiziente Algorithmen, 1. Aufl., Braunschweig, Wiesbaden 1995

Schwarz, J.; Statistische Stimmenumwandlung in Kombination mit prosodischen Modellen, Dissertation, RWTH Aachen 2010

Steffen, J.; Spracherkennung, Düsseldorf 1998

Tsukada, Koji; Yasumura, Michiaki (2004): ActiveBelt: Belt-Type Wearable Tactile Display for Directional Navigation. In: LNCS 3205 - UbiComp 2004: Ubiquitous Computing, S. 384–399. Online verfügbar unter http://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F978-3-540-30119-6_23.pdf, zuletzt geprüft am 24.07.2013.

Vary, P./Martin, R.; Digital Speech Transmission: Enhancement, Coding and Error Concealment, Chichester et al 2006

Vary, P./Heute, U./Hess, W.; Digitale Sprachsignalverarbeitung: mit 30 Tabellen, Stuttgart 1998

Velazquez, Ramiro; Bazan, Omar; Magana, Marco (2009): A shoe-integrated tactile display for directional navigation. In: 2009 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2009). St. Louis, MO, USA, S. 1235–1240.

Weinstein, S. (1968): Intensive and Extensive Aspects of Tactile Sensitivity as a Function of Body Part, Sex, and Laterality. In Kenshalo, Dan R. (Ed): The Skin Senses: Proc. of the First International Symposium on the Skin Senses. Springfield: Charles C. Thomas Publisher. S. 195–222.

Wiesspeiner, Gerhard (2005): Drahtlos Akkus aufladen. URL: http://www.bticcs.com/pub/d+e2005.pdf, zuletzt abgerufen 20.06.2017.

Wikimedia (Haut): https://commons.wikimedia.org/wiki/File:HautAufbau.png, zuletzt geprüft am 20.06.2017.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1: Komponenten des Bundschuh-Assistenzsystems (Quelle: TU Ilmenau) ..... - 9 -

Abbildung 2-2: Grundprinzip der Funktionen ..... - 11 -

Abbildung 2-3: Grundmodule der Gerätesteuerung ..... - 12 -

Abbildung 2-4: Objektprüfung ..... - 16 -

Abbildung 2-5: Weg zum Geräte-Funktionsmodell ..... - 17 -

Abbildung 2-6: Automatengraph einer dimmbaren Lampe ..... - 18 -

Abbildung 2-7: Vollständig definierter Automatengraph einer dimmbaren Lampe ..... - 19 -

Abbildung 2-8: Automatengraph eines Fensters ..... - 20 -

Abbildung 2-9: XML-Code eines Fensterautomaten ..... - 21 -

Abbildung 2-10: Lichtklemme (Quelle: digitalstrom) ..... - 22 -

Abbildung 2-11: Jalousieklemme (Quelle: digitalstrom) ..... - 22 -

Abbildung 2-12: digitalstromMeter (Quelle: digitalstrom) ..... - 22 -

Abbildung 2-13: Phasenfilter (Quelle: digitalstrom) ..... - 22 -

Abbildung 2-14: Aufputzschalter ..... - 23 -

Abbildung 2-15: Unterputzschalter zur Integration in bestehende Systeme ..... - 23 -

Abbildung 2-16: Heizkörperthermostat ..... - 23 -

Abbildung 2-17: Türschliesser ..... - 23 -

Abbildung 2-18: Fensterantrieb ..... - 23 -

Abbildung 2-19: Aktor für Schaltschrank ..... - 23 -

Abbildung 2-20: HomeMatic Zentrale ..... - 23 -

Abbildung 2-21: allgemeine Struktur eines Computernetzwerkes im Home-Bereich ..... - 24 -

Abbildung 2-22: Struktur der Bundschuh-Infrastruktur (Teil intelligenter Schuh) ..... - 26 -

Abbildung 2-23: Bedienkonzept-Demonstrator Vorderseite Haupt- und Nebenmodul (Quelle: TU Ilmenau) ..... - 27 -

Abbildung 2-24: Bedienkonzept-Demonstrator Rückseite Hauptmodul (Quelle: TU Ilmenau) - 27 -

Abbildung 2-25:Präsentation des Demonstrators zur Langen Nacht der Technik 2016 der TU Ilmenau (Quelle: TU Ilmenau) ..... - 29 -

Abbildung 2-26: Ausstattung der Testumgebung mit HomeMatic-Komponenten zur Komfortsteigerung ..... - 30 -

Abbildung 2-27: Sensorbestückung für optimale Gestenerkennung ..... - 31 -

Abbildung 2-28: Für Sicherheitsfunktionen verwendete HomeMatic-Komponenten der Testumgebung ..... - 32 -

Abbildung 2-29: HomeMatic-Zentrale ..... - 33 -

Abbildung 2-30: Bundschuh-Server und Bedienpanel ..... - 33 -

Abbildung 2-31: Amazon Echo ..... - 36 -

Abbildung 2-32: Echo dot ..... - 36 -

Abbildung 2-33: Schematische Darstellung des menschlichen Sprechapparats. (Quelle: http://fbim.fh-regensburg.de/~saj39122/pscheidt/diplomarbeit/1_1_1.html) ..... - 38 -

Abbildung 2-34: Prozess der Spracherkennung ..... - 39 -

Abbildung 2-35: Filterung eines gestörten Signals ..... - 42 -

Abbildung 2-36: Grundschema eines adaptiven Filters ..... - 43 -

Abbildung 2-37: Darstellung der Spektrogramme des Sprachsignals (links gesamtes Spektrogramm, rechts Teilspektrogramm, alles eigene Abbildungen) ..... - 45 -

Abbildung 2-38: Spektrogramme der Störgeräuschquelle Kaffeemaschine: links überlagertes Sprachsignal, rechts Spektrogramm des Störgeräuschs ..... - 46 -

Abbildung 2-39: Darstellung der Spektrogramme des Störgeräuschs Staubsauger, links Spektrogramm überlagertes Sprachsignal, rechts Spektrogramm Störgeräusch Staubsauger ..... - 46 -

Abbildung 2-40: Darstellung der Spektrogramme des Störgeräuschs Fernseher, links Spektrogramm überlagertes Sprachsignal, rechts Spektrogramm Störgeräusch Fernseher ..... - 47 -

Abbildung 2-41: Darstellung der Spektrogramme des Störgeräuschs Außengeräusche, links

Spektrogramm überlagertes Sprachsignal, rechts Spektrogramm Störgeräusch Außengeräusche- 47 -

Abbildung 2-42: Darstellung des Spektogramms des Störgeräuschs Abendveranstaltung .....- 48 -

Abbildung 2-43: Prinzip des „Lechal“-Schuh (Quelle: http://www.gizmag.com/le-chal-haptic-shoe-for-blind/20186/) .....- 49 -

Abbildung 2-44: Umsetzung des Lechal als Einlegesohle zum Verkauf an Endkunden (aus amazon 2017) .....- 49 -

Abbildung 2-45: Beispiel für einen ähnlichen Entwicklungsansatz aus (Velazquez et al. 2009)- 50 -

Abbildung 2-46: Schematischer Aufbau der Haut mit den eingebetteten Mechanorezeptoren (aus (Silbernagl & Despopoulos 2003) .....- 51 -

Abbildung 2-47: Darstellung der über die Körperoberfläche unterschiedlich ausgeprägten Sensibilität der Mechanorezeptoren anhand der Zwei-Punkt-Schwelle (Weinstein 1968, aus Goldstein 2010, S. 368).....- 52 -

Abbildung 2-48: Schematische Darstellung der Abhängigkeit der Schwellenreizstärke dreier Pacini-Rezeptoren von der Reizfrequenz (eigene Darstellung nach Schmidt et al. 2005, S. 302) .....- 52 -

Abbildung 2-49: Messtechnisch ermittelte Verteilungen der Mechanorezeptoren in der Fußsohle (aus Kennedy & Inglis 2002).....- 53 -

Abbildung 2-50: Abgeleitete Anordnung von Vibrationsaktoren zur Stimulation der Fußsohle mit vibrotaktilen Reizen (aus Kaiser 2014, rot Minimum, grau Maximum möglicher Aktoren) ....- 53 -

Abbildung 2-51: Teststand zur Überprüfung der Vibrationsempfindung der Fußsohle (aus Lutherdt et al. 2016, ergänzt mit Darstellung der verwendeten Vibrationsmotoren).....- 54 -

Abbildung 2-52: links Aufbau eines ERM-Motors (Schema, Explosionsdarstellung), rechts Kennlinie der gewählten Motoren (aus Precision Microdrives 2016) .....- 54 -

Abbildung 2-53: Ansicht der grafischen Oberfläche zur Teststandssteuerung (aus Kirchhofer 2014) .....- 55 -

Abbildung 2-54: Durchführung von Tests zur Erkennung von Vibrationsreizen auf dem Teststand (aus Kaiser 2014).....- 55 -

Abbildung 2-55: Korrekte Zuordnung der Frequenzwechsel ansteigend und abfallend in 25 Hz-Schritten (aus Kaiser 2014).....- 56 -

Abbildung 2-56: Richtige Frequenzzuordnung von jeweils zwei kombinierten Motoren (V1=100 Hz, V2=150 Hz und V3=200 Hz mit jeweils angegebener Standardabweichung der Messung) .....- 56 -

Abbildung 2-57: Zusammenfassung aller korrekt erkannten Reize auf dem Teststand (links, vier ausgewählte Reizorte äquivalent zur Testschuhsohle) sowie Ergebnisse derselben Reizorte und Testpersonen mittels Testschuhsohle (rechts) .....- 57 -

Abbildung 2-58: Einfluss der Belastung auf den Strom- und Frequenzverlauf der Motoren ...- 57 -

Abbildung 2-59: (a) räumlicher Versatz der Spulen bei gleichen Spulendurchmesser, die roten

Feldlinien durchdringen ausschließlich die Primärspule (b) Abhängigkeit des räumlichen Versatzes vom Kopplungsfaktor (s. Huwig und Wambsganß 2010, S.2) ..... - 59 -

Abbildung 2-60: Abhängigkeit des Wirkungsgrades vom Faktor k*Q (Huwig und Wambsganß 2010, S.4) ..... - 59 -

Abbildung 2-61: Aufbau und Simulation des magnetischen Felds eines Single-Coil-Systems (stationär) ..... - 59 -

Abbildung 2-62: Schema eines drahtlosen Lademoduls basierend auf dem Qi-Standard (Texas Instruments 2011) ..... - 60 -

Abbildung 2-63: Schematischer Aufbau des Lademoduls (Primärteil als Platte, Sekundärteil in der Schuhsohle) ..... - 61 -

Abbildung 2-64: Getestete Spulentypen und -konfigurationen (Auswahl, mit und ohne magnetic shield) ..... - 61 -

Abbildung 2-65: Ergebnisse der Tests zur Bestimmung der besten Spulenkonfiguration ..... - 62 -

Abbildung 2-66: Simulation des Verlaufs der magnetischen Felddichten zur Verdeutlichung der Wirkung eines magnetischen Schilds ..... - 62 -

Abbildung 2-67: Darstellung der Abhängigkeit des fließenden Ladestroms auf der Sekundärseite in Abhängigkeit vom Spulenabstand ..... - 63 -

Abbildung 2-68: Aus Kunstharz gegossene Fersenkeile mit den darin gekapselten elektronischen Komponenten (Sekundärspulen, Ladeelektronik, LiPo-Akkumulator incl. Anschlusskabel) ..... - 63 -

Abbildung 2-69: Lademodul Primärseite: links Oberseite mit der Aussparung für die Schuhe (auswechselbar, für verschiedene Schuhgrößen); rechts Unterseite mit den Primärspulen incl. der magnetischen Schilde ..... - 64 -

Abbildung 2-70: Durch FFT ermittelte U-F-Kennlinien der eingesetzten Motoren ..... - 64 -

Abbildung 2-71: Skizzen der Grundmaße der zwei verschiedenen Sohlengrößen (links Gr. 43, rechts Gr. 38) ..... - 65 -

Abbildung 2-72: Testsandalen der Fa. Orthopädieschuhtechnik Themar in unterschiedlichen Größen mit verschiedenen Sohlenaufbauten (ERM-Coinmotoren, LRA-Motoren und ERM-Zylindermotoren). ..... - 66 -

Abbildung 2-73: Ansteuerelektronik und integrierte Schuhsohle (links und Mitte) sowie fertiger Schuh mit Vibrationssohle (rechts) ..... - 67 -

Abbildung 2-74: Testsandale während Nutzertests (mit angeschlossenem Kommunikationsmodul, Energieversorgung und Controller befinden sich in der Sohle des Schuhs) ..... - 67 -

Abbildung 2-75: Schematische Darstellung der Systemstruktur des Moduls Intelligenter Schuh (ohne Trackingkomponenten) ..... - 68 -

Abbildung 2-76: Schematische Darstellung des Aufbaus und der Komponenten der Sensormatte- 70 -

Abbildung 2-77: Schema der Verschaltung und Funktionsweise der US-Türsensorik ..... - 71 -

Abbildung 2-78: Ansicht Rückseite der Sensormatte (links Verkabelung zu drei Zeilen, rechts Schaumstoffstreifen zur Verbesserung des Ansprechverhaltens) ..... - 72 -

Abbildung 2-79: Darstellung der Abhängigkeit der Sensorspannung vom Vorwiderstand ..... - 73 -

Abbildung 2-80: Struktur und Verteilung der Komponenten zur Zusammenführung der Teilsysteme von Bundschuh ..... - 73 -

Abbildung 2-81: Wide Angle PIR Motion Sensor (a) PIR sensor front view. (b) PIR sensor back view. - 74 -

Abbildung 2-82: Prinzipieller Aufbau und Verschaltung einer Sensorzeile aus vier PIR-Sensoren und dem Auswertecontroller ..... - 74 -

Abbildung 2-88: Darstellung der GUI des Trackingmoduls ..... - 75 -

Abbildung 2-83: Installation der PIR-Sensoren an der Zimmerdecke der Testumgebung ..... - 76 -

Abbildung 2-84: Beziehung zwischen Tubuslänge und Arbeitsbereich der Sensoren ..... - 76 -

Abbildung 2-85: Durchmesser des Arbeitsbereichs der Sensoren in Abhängigkeit von der Tubuslänge ..... - 77 -

Abbildung 2-86: Schema der Funktionsweise der Raumüberwachung durch das PIR-Sensornetzwerk ..... - 77 -

Abbildung 2-87: Verfolgung der Bewegung der getrackten Person auf der GUI ..... - 78 -

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1: Mögliche Quelle einzelner Befehlssequenzen ..... - 14 -

Tabelle 2-2: Zustandstafel einer dimmbaren Lampe ..... - 19 -

Tabelle 2-3: Zustandstafel eines Fensters ..... - 20 -

Tabelle 2-4: Technische Daten Foliendrucksensor ..... - 70 -

Tabelle 2-5: Technische Daten Arduino Ethernet ..... - 70 -

Tabelle 2-6: Technische Daten US-Entfernungsmesser SRF02 ..... - 72 -

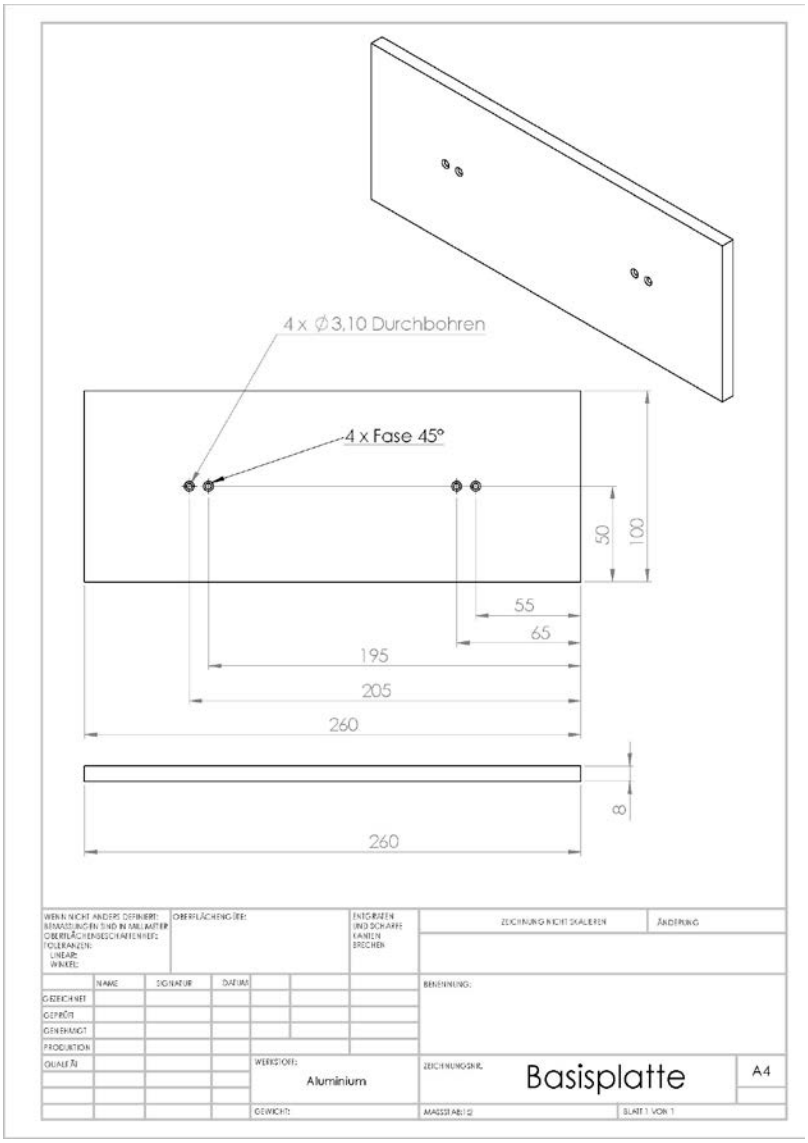
Tabelle 2-7: Technische Arduino Leonardo ETH ..... - 72 -

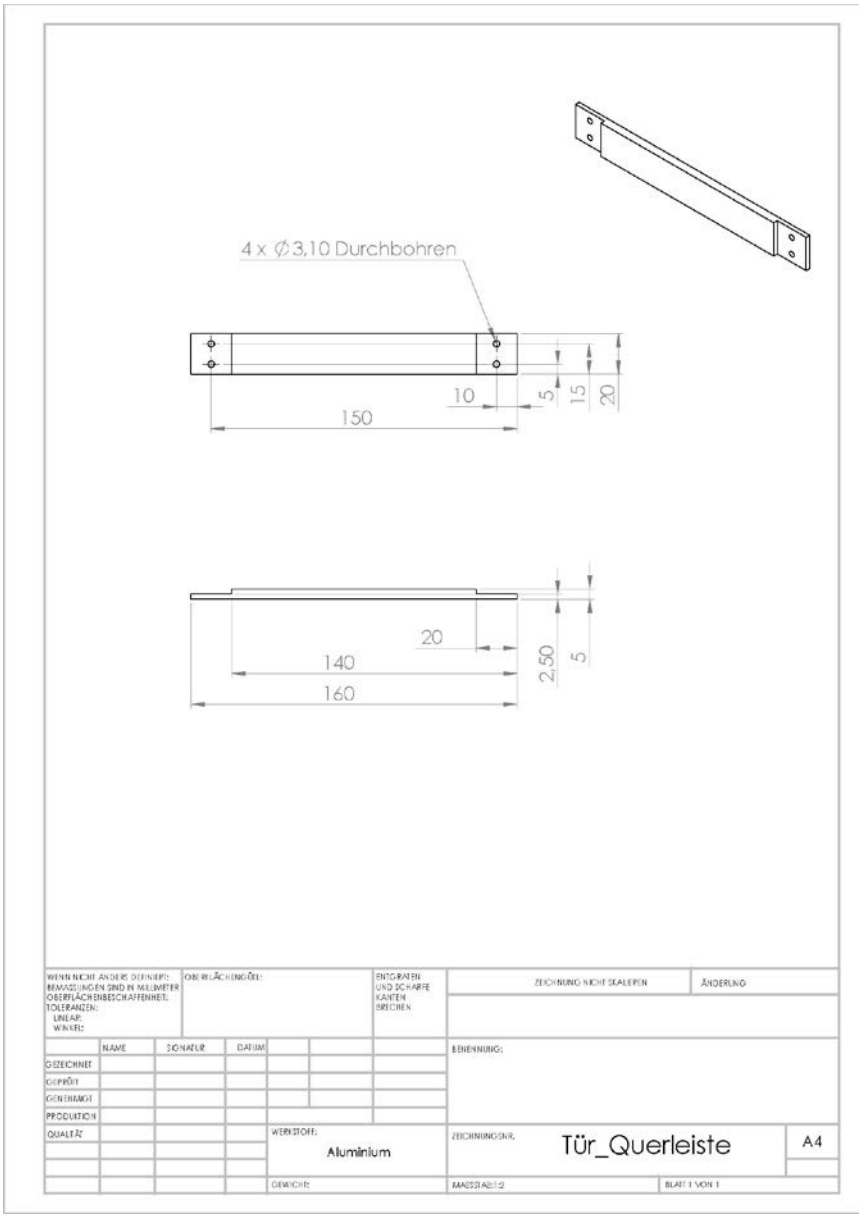
Tabelle 2-8: API-Format der ZigBee-Kommunikation der Sensoren des Trackingmoduls ..... - 75 -

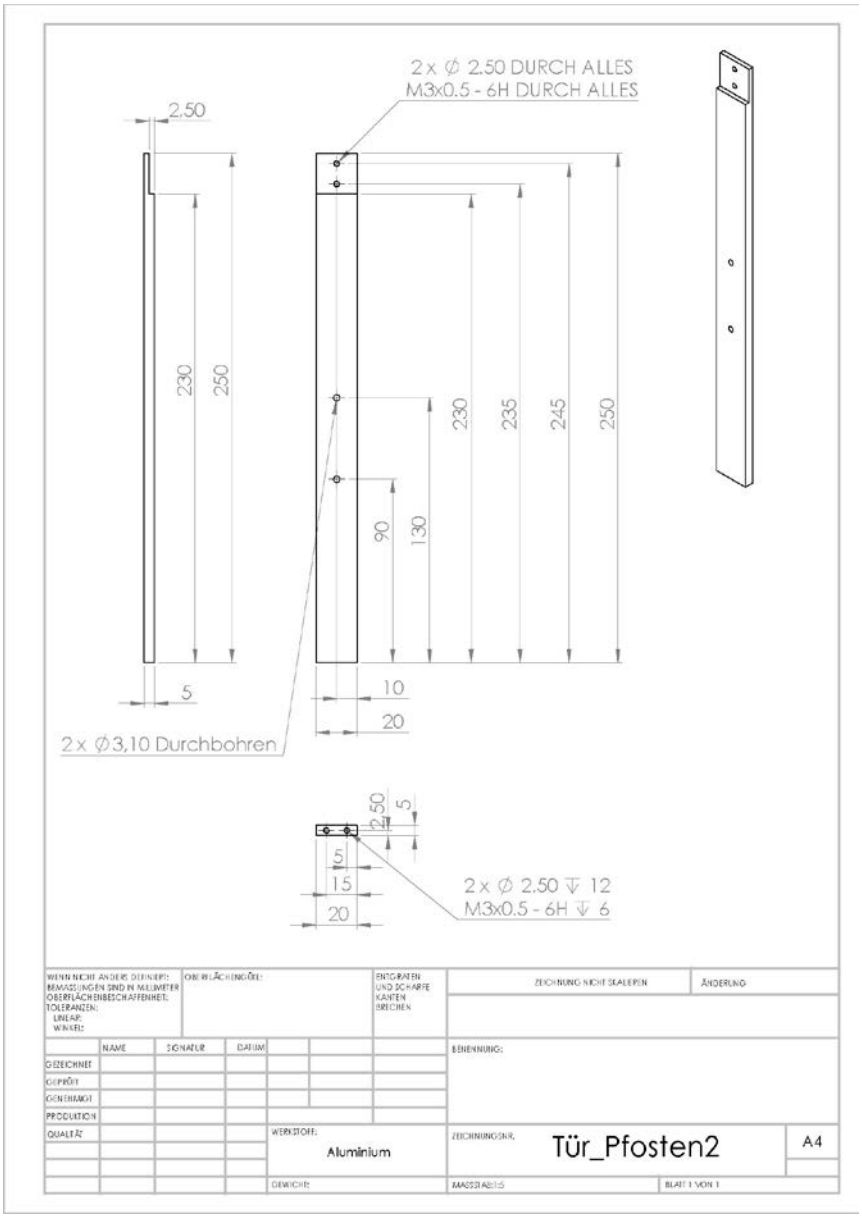
Anhang

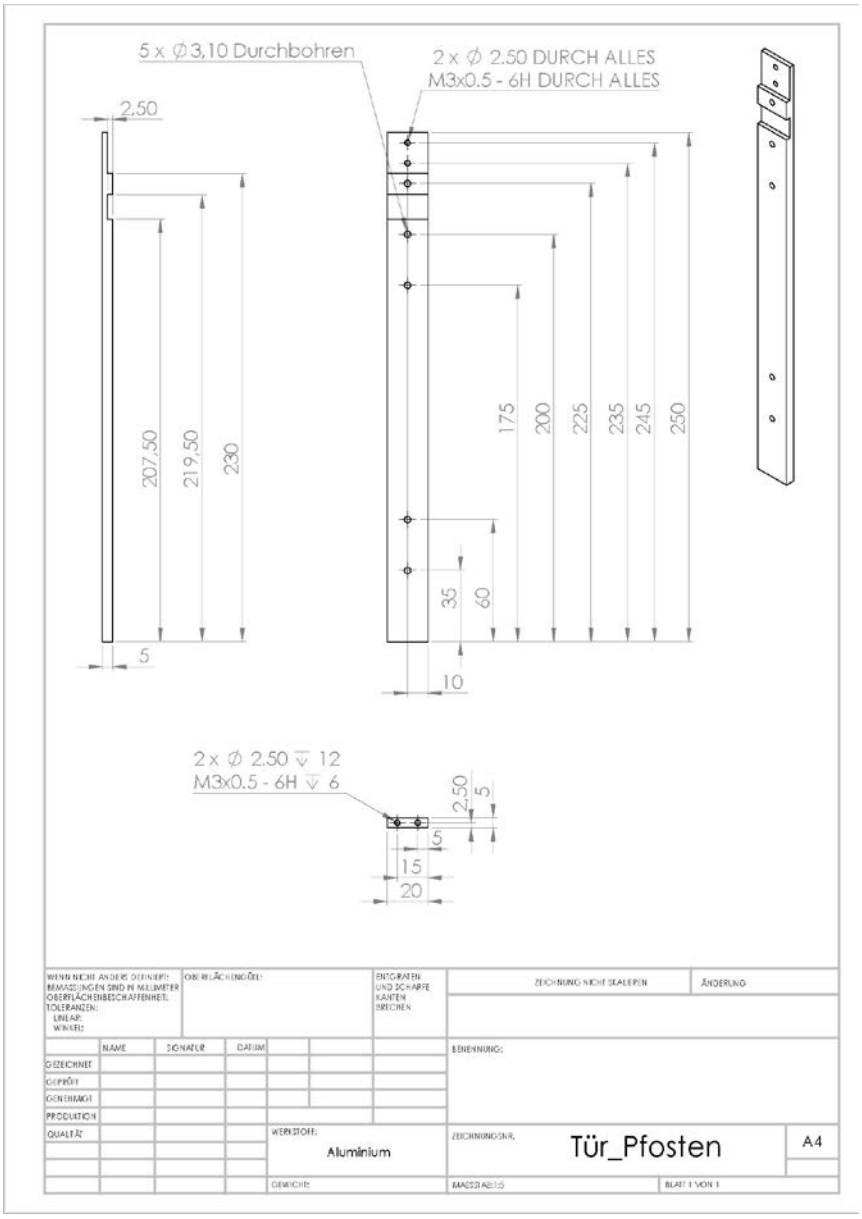
Anhang A: Zeichnungen

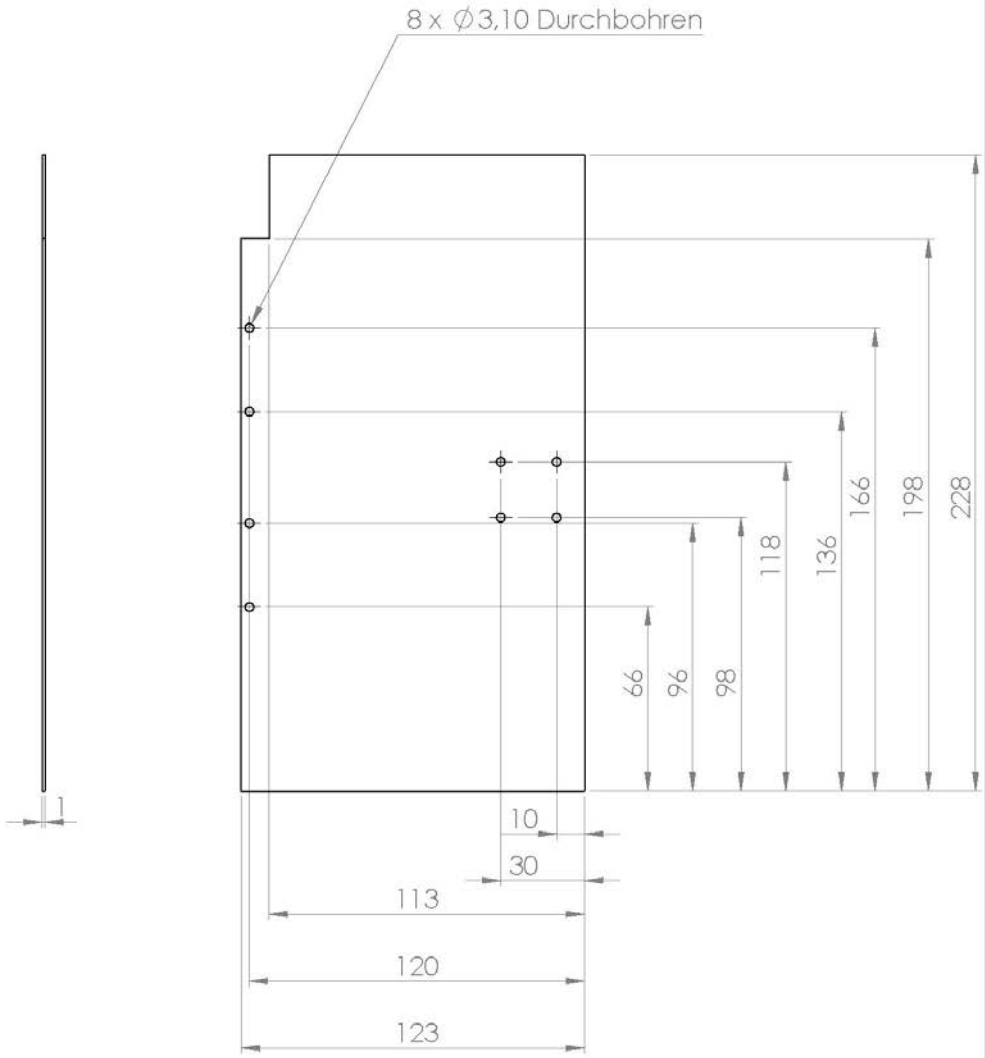
Türmodell




4 x ∅3,10 Durchbohren
10
5
15
20
150
20
140
160
2,50
5
WENN NICHT ANDERS DEFINIERT:
MAASZUNGEN SIND IN MILLIMETER
OBERFLÄCHENBESCHAFFENHEIT:
TOLERANZEN:
LINEAR:
WINKEL:
OBERFLÄCHENÖEL:
ENTGRATEN
UND SCHARFE
KANTEN
BRECHEN
ZEICHNUNG NICHT SKALIEREN
ÄNDERUNG
NAME
SIGNATUR
DATUM
GEZEICHNET
GEPRÜFT
GENEHMIGT
PRODUKTION
QUALITÄT
BENENNUNG:
WERKSTOFF:
Aluminium
ZEICHNUNGSNR.
Tür_Querleiste
A4
GEWICHT:
MAASSTAB:1:2
BLATT 1 VON 1


2 x ∅ 2.50 DURCH ALLES
M3x0.5 - 6H DURCH ALLES
2.50
230
250
5
230
235
245
250
90
130
10
20
2 x ∅3,10 Durchbohren
2.50
5
5
15
20
2 x ∅ 2.50 ↧ 12
M3x0.5 - 6H ↧ 6
WENN NICHT ANDERS DEFINIERT:
MAASSEINGEN SIND IN MILLIMETER
OBERFLÄCHENBESCHAFFENHEIT:
TOLERANZEN:
LINEAR:
WINKEL:
OBERFLÄCHENÖEL:
ENTGRATEN
UND SCHARFE
KANTEN
BRECHEN
ZEICHNUNG NICHT SKALIEREN
ÄNDERUNG
NAME
SIGNATUR
DATUM
GEZEICHNET
GEPRÜFT
GENEHMIGT
PRODUKTION
QUALITÄT
BENENNUNG:
WERKSTOFF:
Aluminium
ZEICHNUNGSNR.
Tür_Pfosten2
A4
GEWICHT:
MAASSTAB:1:5
BLATT 1 VON 1


5 x ∅3,10 Durchbohren
2 x ∅ 2.50 DURCH ALLES
M3x0.5 - 6H DURCH ALLES
2,50
207,50
219,50
230
5
175
200
225
235
245
250
35
60
10
2 x ∅ 2.50 ↧ 12
M3x0.5 - 6H ↧ 6
2,50
5
5
15
20
WENN NICHT ANDERS DEFINIERT:
MAASSEINGEN SIND IN MILLIMETER
OBERFLÄCHENBESCHAFFENHEIT:
TOLERANZEN:
LINEAR:
WINKEL:
OBERFLÄCHENÖEL:
ENTGRATEN
UND SCHARFE
KANTEN
BRECHEN
ZEICHNUNG NICHT SKALIEREN
ÄNDERUNG
NAME
SIGNATUR
DATUM
GEZEICHNET
GEPRÜFT
GENEHMIGT
PRODUKTION
QUALITÄT
BENENNUNG:
WERKSTOFF:
Aluminium
ZEICHNUNGSNR.
Tür_Pfosten
A4
GEWICHT:
MAASSTAB:1:5
BLATT 1 VON 1

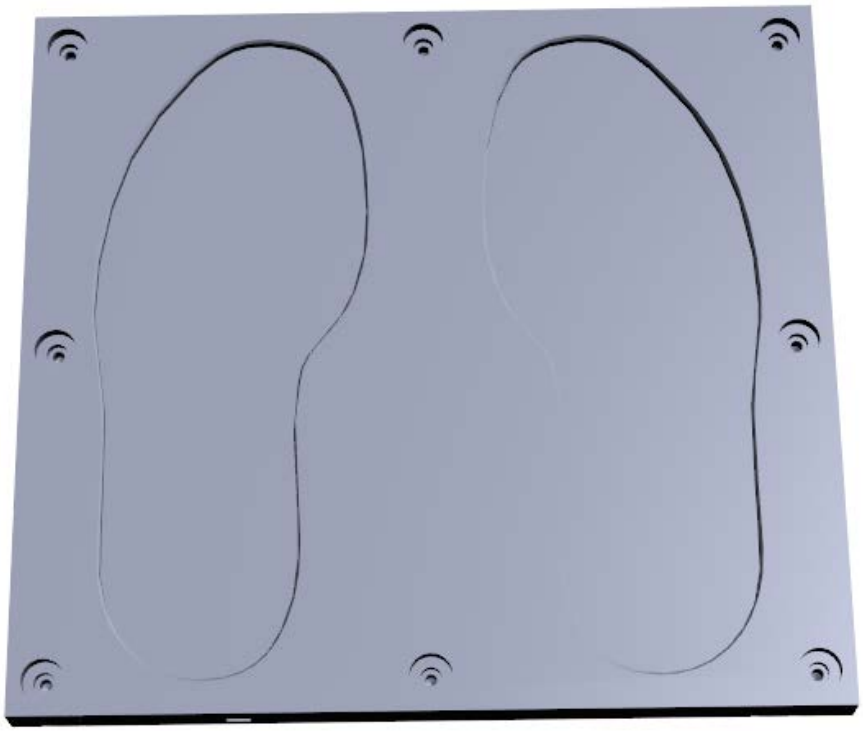


WENN NICHT ANDERS DEFINIERT: BEMASSUNGEN SIND IN MILLIMETER OBERFLÄCHENBESCHAFFENHEIT: TOLERANZEN: LINEAR: WINKEL:	OBERFLÄCHENGÜTE:			ENTGRATEN UND SCHARFE KANTEN BRECHEN	ZEICHNUNG NICHT SKALIEREN	ÄNDERUNG
	NAME	SIGNATUR	DATUM		BENENNUNG:	
GEZEICHNET						
GEPRÜFT						
GENEHMIGT						
PRODUKTION						
QUALITÄT				WERKSTOFF: Blech oder Aluminium	ZEICHNUNGSNR. Tür	A4
				GEWICHT:	MASSSTAB:1:2	BLATT 1 VON 1

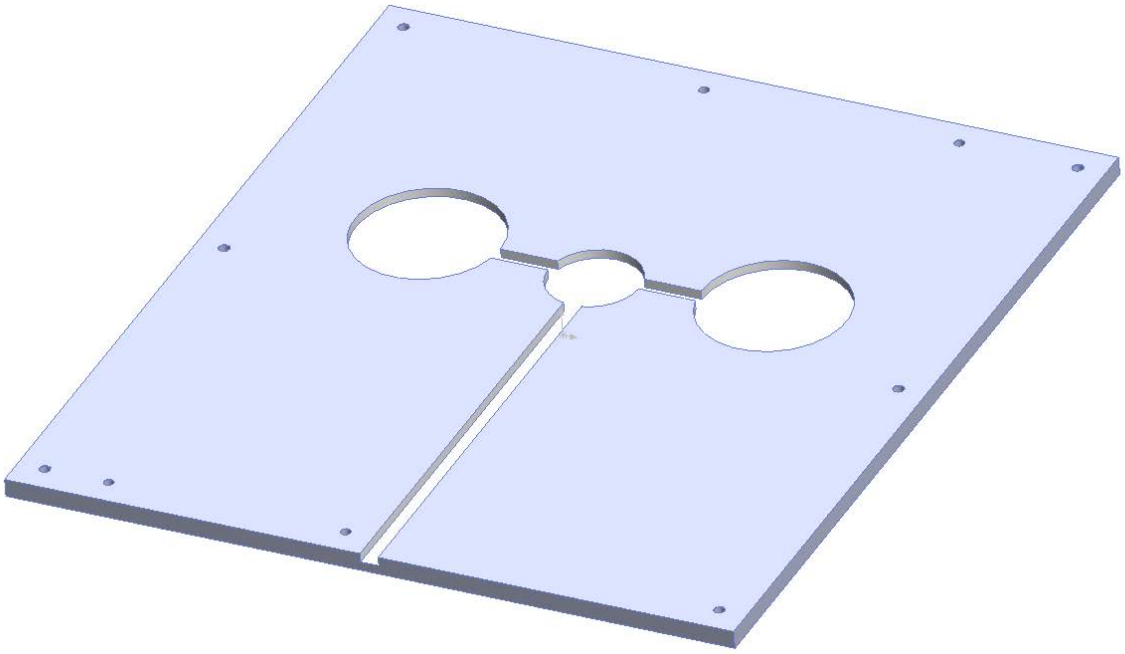
Lademodul:

(1) Gussform Akku-Elektronik

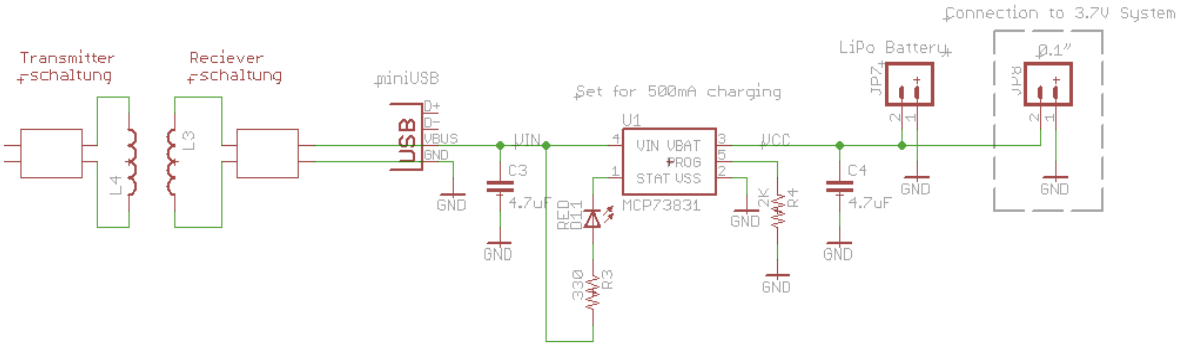
Transmittereinheit Vorderseite

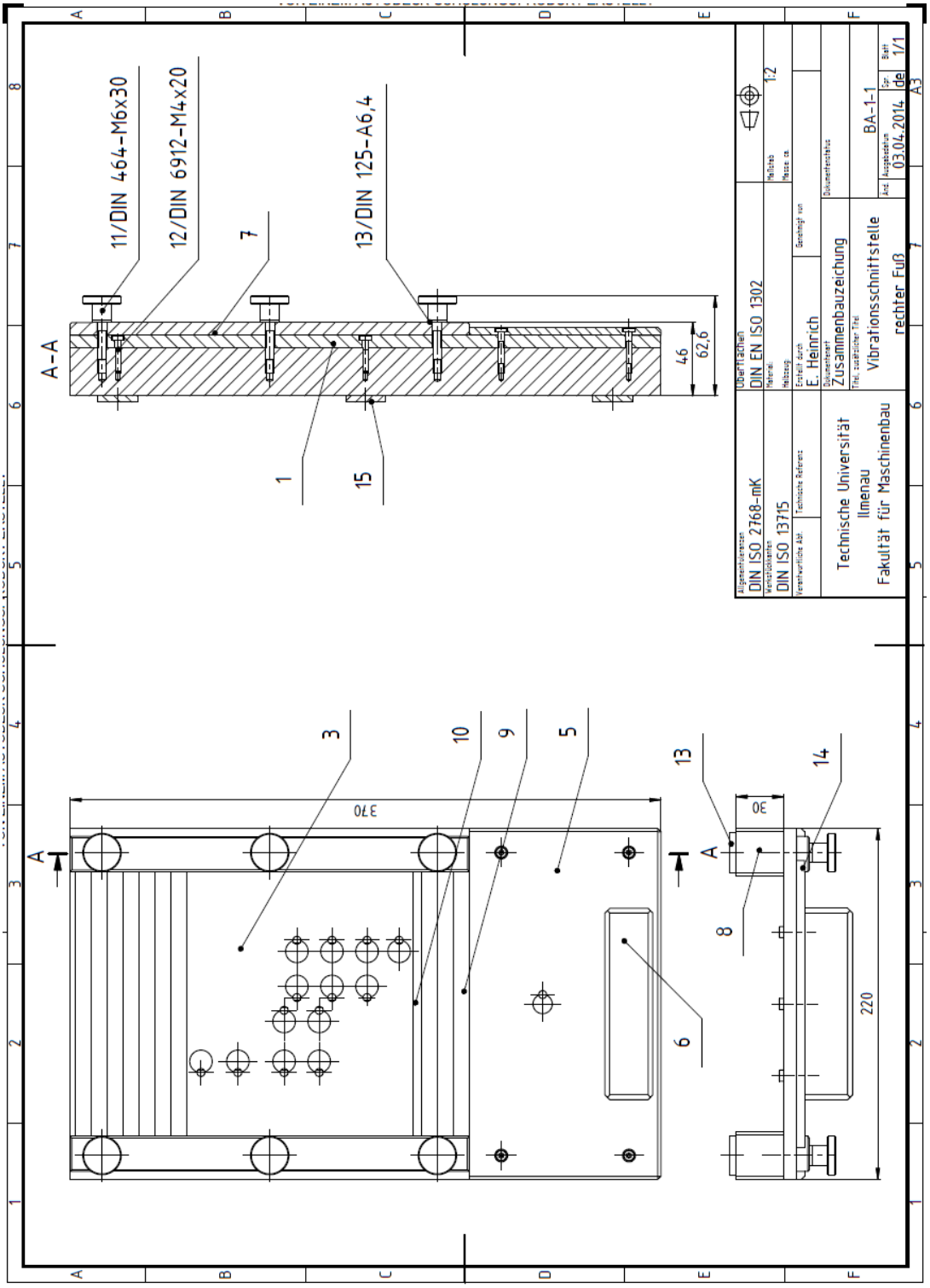


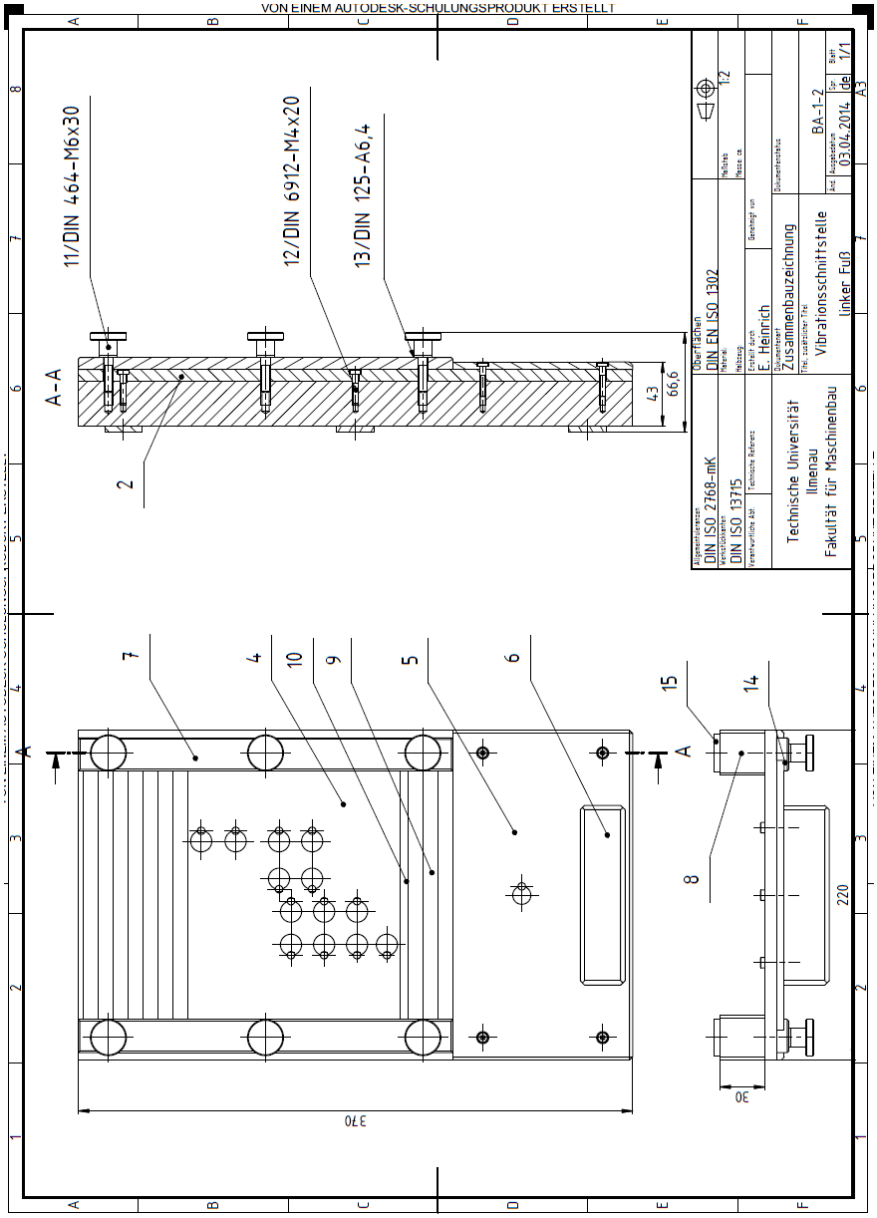
Transmitter Rückseite



Schaltung des Lademoduls:




A-A
11/DIN 464-M6x30
12/DIN 6912-M4x20
7
13/DIN 125-A6,4
1
15
46
62,6
3
10
9
5
13
14
8
6
370
30
220
A
Allgemeintoleranzen
DIN ISO 2768-mK
Werkstücktoleranzen
DIN ISO 13715
Verantwortliche Abt.
Technische Reference
Oberflächen
DIN EN ISO 1302
Material:
Halbzeug
Erstellt durch
E. Heinrich
Genehmigt von
Dokumentenstatus
1:2
Maßstab
Masse ca.
Dokumentenart
Zusammenbauzeichnung
Titel, zusätzlicher Titel
Vibrationsschnittstelle
rechter Fuß
Technische Universität
Ilmenau
Fakultät für Maschinenbau
BA-1-1
Änd.
Ausgestellt
03.04.2014
Spr.
de
Blatt
1/1
A3


VON EINEM AUTODESK-SCHULUNGSPRODUKT ERSTELLT
A-A
11/DIN 464-M6x30
12/DIN 6912-M4x20
13/DIN 125-A6,4
2
43
66,6
7
4
10
9
5
6
15
14
8
370
220
30
Allgemeintoleranz
DIN ISO 2768-mK
Werkstoffnummer
DIN ISO 13715
Verwendung aus:
Technische Referenz:
Oberflächen
DIN EN ISO 1302
Material:
Maßstab
1:2
Gezeichnet von
E. Heinrich
Gewicht
Maßstab
Blattnummer
Technische Universität Ilmenau
Fakultät für Maschinenbau
Dokumentenbezeichnung
Zusammenbauzeichnung
Titel, zusätzlicher Titel
Vibrationsschnittstelle
linker Fuß
BA-1-2
Ausgegeben am
03.04.2014
Sprache
de
Blatt
1/1
A3

Pos.	Menge	Einh.	Benennung	Sachnummer/Norm-Kurzbez.	Bemerkung
1	1	Stck.	Trägerplatte-rechts		AlMg3
2	1	Stck.	Trägerplatte-links		AlMg3
3	1	Stck.	Motorplatte-rechts		AlMg3
4	1	Stck.	Motorplatte-links		AlMg3
5	2	Stck.	Fersenplatte		AlMg3
6	2	Stck.	Fersenanschlag		AlMg3
7	4	Stck.	Klemmleiste		AlMg3
8	4	Stck.	Seitenteil		AlMg3
9	20	Stck.	Platte breit		AlMg3
10	2	Stck.	Platte schmal		AlMg3
11	12	Stck.	Rändelschraube	DIN 464 - M6 x 30	Stahl, weich
12	22	Stck.	Zylinderkopfschraube	DIN 6912 - M4 x 20	Stahl, weich
13	12	Stck.	Unterlegscheibe	DIN 125 - A 6,4	PA 6,6
14	4	Stck.	Dämmstreifen	250x5x1,5	Filz
15	12	Stck.	Filzfüße	D25-30	Filz
16	50	ml	Klebstoff		geignet für Aluminium

	Datum	Name
Gezeichnet	2.4.2014	E. Heinrich
Kontrolliert		
Norm		

Stückliste

Blatt BA-2-1

1/1

Status	Änderungen	Datum	Name

Teil B: VelixX GmbH Mannheim

Schlussbericht zum BMBF Verbundprojekt: „Bedienungskonzepte und Schnittstellen im realen Wohnumfeld hochbetagter Nutzer“ (BUNDSCHUH)

Teilvorhaben: Neuentwicklung des Teilsystems zur Gestenerkennung

Förderkennzeichen: **16SV6303**

Laufzeit des Vorhabens: **01.01.2014 – 31.12.216**

Autoren: **Dipl.-Ing. Ludmilla Popp**

Dipl.-Ing. Manfred Augstein

velixX GmbH
Wildbader Strasse 7
68239 Mannheim

Schlussbericht gemäß Anlage 2 zu Nr. 8.2 NKBF 98 für das BMBF-Forschungsvorhaben.

Das diesem Bericht zugrundeliegende Teilvorhaben wurde zu 50% mit Mittel des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert.

Kontakt:

velixX GmbH
Wildbader Str. 7
68239 Mannheim

T: +49 (0) 621 43708001
F: +49 (0) 621 43706407
E: mail@velixX.com
I: www.velixX.com

Mannheim, 17.05.2017

Kurzzusammenfassung

Unter den sich in den letzten Jahren schnell und umfassend wandelnden technischen Möglichkeiten, aber auch demografischen Verhältnissen mit Zunahme von älteren und hochbetagten Personen, ist es ein logisches Ziel, den vielen älteren Menschen ein Stück Autonomie und Selbstbestimmung durch technische Mittel zurückzugegeben.

Im Verbundprojekt BUNDSCHUH sollten verschiedene unterstützende Maßnahmen entwickelt werden, um diesem Personenkreis speziell den Umgang mit der Vielzahl an technischen Geräten zu erleichtern. Das Teilprojekt „Gestenerkennung“ hatte hierbei zum Ziel, die Steuerung von verschiedenen technischen Geräten im Haushalt durch intuitive und natürliche Gesten zu ermöglichen. Essentiell hierbei ist, dass die Erkennung verzögerungsfrei und unter den verschiedensten Umgebungsbedingungen zuverlässig funktioniert. Technisch bedeutet dies eine 3D Erfassung von Personen sowie eine Analyse verschiedenster Bewegungsmuster in weniger als 100 ms Reaktionszeit.

Im Rahmen des Teilvorhabens wurden verschiedenste 3D-Kamerasysteme erprobt und aus unterschiedlichen Gründen wieder verworfen. Die technische Entwicklung im Verlaufe des Projektes ermöglichte dann den Einsatz eines kommerziellen Systems (Kinect for Windows v2 von Microsoft), welches sehr kostengünstig erhältlich ist und in seiner 2. Generation inzwischen auch so leistungsfähig wurde, dass eine Echtzeitverarbeitung möglich wurde. Im Teilvorhaben wurde hierfür ein spezieller Erkennungsalgorithmus mit hoher Parametrisierbarkeit entwickelt und erprobt. Die Abstimmung und Optimierung der Kommunikation mit der Kinect for Windows v2, sowie die Schnittstelle zur Haussteuerung, die im Teilprojekt „Assistenzmodul“ realisiert wurde, konnten erfolgreich umgesetzt werden. Die Systemakzeptanz wurde in der Begleitforschung im realen Umfeld mit hochbetagten Probanden gezeigt.

Abstract

In the last few years with the increasing technological possibilities, but also demographic conditions with an increase in the number of elderly people, it is a logical goal to give the many older people a certain degree of autonomy and self-determination back through technical means.

In the BUNDSCHUH project, various supporting measures should be developed in order to make it easier for this group of people to deal with the large number of technical devices. The subproject “Gesture recognition” had the aim to enable the control of various technical devices in the household by means of intuitive natural gestures. The essential thing is that the detection is reliable under various conditions. Technically, that means 3D capturing of people and an analysis of the most diverse patterns of motion in less than 100 ms of response time.

Within the framework of the subproject “Gesture recognition” various 3D camera systems have been tested and rejected for various reasons. The rapid development of the 3D-camera market during the project-time, allowed the use of a commercial system (Kinect for Windows v2 from Microsoft), which is very cost-effective and has become so powerful in its second generation, that real-time processing became possible. In the subproject, a special recognition algorithm with high parameterizability was developed and tested. The coordination and optimization of the communication with the Kinect for Windows v2 as well as the interface to the home control system, which was implemented in the subproject “assistance module”, were successfully implemented. The system acceptance was shown in the accompanying research in the real environment with highly accustomed subjects.

Inhaltsverzeichnis

Kurzzusammenfassung ii
Abstract iii
1 Inhaltsverzeichnis iv
1. Darstellung des Projekts 1
1.1 Aufgabenstellung 1
1.2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde 2
1.3 Planung und Ablauf des Vorhabens 3
1.4 Kompetenzen von velixX 4
1.5 Projektpartner 4
1.6 Wissenschaftlicher und technischer Stand 5
1.7 Zusammenarbeit mit anderen Stellen 6
2 Eingehende Darstellung der Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele 7
2.1 Einleitung 7
2.1.1 Problemstellung, Zielsetzung und Methoden des Projektes 7
2.2 Erzielte Ergebnisse 8
2.3 Arbeitspakete 9
2.3.1 AP 1: Konzeptionsphase 9
2.3.2 AP 2: Entwicklung und Evaluierung der Gestenerkennung 18
2.3.3 AP 3: Evaluierungsphase „Wohnumfeld“ 91
2.3.4 AP 4: Modul-Dokumentationen 91
2.4 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises 92
2.5 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit 92
2.6 Voraussichtlicher Nutzen und Verwendbarkeit 92
2.7 Fortschritt auf dem Vorhabensgebiet bei anderen Stellen 92
2.8 Erfolgte und geplante Veröffentlichungen und Vorträge 93
3 Anhang 94
A Konstruktionszeichnung des internen Demonstrators 94
4 Literatur 95
5 Abkürzungsverzeichnis v
6 Abbildungsverzeichnis vi

1 Darstellung des Projekts

In Anbetracht des technischen Fortschritts und des demografischen Wandels wurde im Rahmen des Verbundprojekts „Bedienungskonzepte und Schnittstellen im realen Wohnumfeld hochbetagter Nutzer“ (BUNDSCHUH) eine intelligente Wohnumgebung für hochbetagte oder demenzkranke Menschen geschaffen. Sie beinhaltete die Entwicklung eines neuartigen Orientierungs- und Lokalisierungssystems, welches in Form eines Schuhs mit Vibrationsmechanismus realisiert wird, sowie der Entwicklung einer intuitiven Steuerung unter Nutzung der natürlichen Kommunikations-Formen wie Sprache und Gestik für ausgewählte Haustechnik und Unterhaltungselektronik. Die Bedarfs-, Anforderungs- und Akzeptanzanalyse wurden durch sozialwissenschaftliche und ethische Aspekte während der Konzeptions-, Entwicklungs- und Evaluationsphase durch gezielte Nutzerbefragungen und Testszenarien begleitet. Mögliche Technologie-Akzeptanzfaktoren sowie der Datenschutz wurden hierdurch berücksichtigt.

Einfach zu erlernende Steuerung der Haustechnik und ein Lokalisierungssystem zusammen mit vibrierenden, in Schuhen eingebauten Orientierungshilfen ermöglichen neue Unterstützungsformen, die mehr Selbstbestimmung und Sicherheit gewährleisten können. Diese Systeme sollten vorrangig in Pflegeeinrichtungen eingesetzt werden. Hierdurch sollte den Bewohnerinnen und Bewohner von Pflegeeinrichtungen ihre Eigenständigkeit trotz Einschränkungen wahren werden. Dem Pflegepersonal sollte zeitgleich Abhilfe im Berufsalltag geschaffen werden.

1.1 Aufgabenstellung

Im Rahmen des Verbundprojektes übernahm die Fa. velixX GmbH aus Mannheim die Aufgabe der Umsetzung des Teilsystems „Gestenerkennung“ im Wohnumfeld. Einerseits sollen hierzu die Hard- und Softwarekomponenten spezifiziert, ausgewählt und installiert; anderseits ein spezieller Algorithmus entwickelt werden, welcher eine zuverlässige Erkennung von bestimmten Gesten in Echtzeit ermöglicht und als Befehlssequenzen an das Assistenzsystem übergibt. Zusätzlich ist ein Set an geeigneten Gesten zu erarbeiten und zu implementieren. Die Gestenerkennung soll in das Gesamtsystem eingebunden und unter realen Bedingungen untersucht werden.

Festvorgegebene Anforderungen an die Hard- und Softwarekomponenten:

- Kamerabasiert
- Robust
- Zuverlässig
- Echtzeitfähig
- Vorverarbeitung hardwarenah

Anforderung an die Gesten:

- Natürlich
- Intuitiv

1.2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Inhalt wurde durch velixX entfernt.

1.3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Der Projektplan für BUNDSCHUH ist in Abbildung 1 dargestellt. Die Laufzeit betrug 3 Jahre. Die Aufgabenbereiche bzw. Arbeitspakete (AP) von velixX sind mit der Farbe Gelb hervorgehoben. Blau unterlegte Felder geben den planmäßigen Arbeitsaufwand in Personenmonaten an. Grüne Linien geben die Meilensteine vor.

Nummer	Arbeitspaket	Personenmonate (Wissenschaftler) über Projektlaufzeit																																				Summe
		1. Projektjahr												2. Projektjahr												3. Projektjahr												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	
AP 1	**Konzeptionsphase**																																					
AP 1.1	**Anforderungsanalyse**																																					
AP 1.1.1	Umfeldsteuerung Wohnbereich	0,35	0,35	0,2	0,2	0,2	0,2																															1,5
AP 1.1.2	Intelligenter Schuh																																					0
AP 1.2	**Technische Konzeption**																																					
AP 1.2.1	Umfeldsteuerung Wohnbereich			0,8	0,8	0,8	0,8	0,8																														4
AP 1.2.2	Intelligenter Schuh																																					0
AP 1.2.3	Wissensbasiertes Assistenzmodul																																					0
AP 1.3	**Akzeptanzuntersuchung**																																					
AP 1.3.1	Videoerfassung																																					0
AP 1.3.2	Lokalisierung										M1																											0
AP 2	**Entwicklungsphase**																																					
AP 2.1	**Intelligenter Schuh**																																					
AP 2.1.1	Komponentenauswahl und Testmodulaufbau																																					0
AP 2.1.2	Integration in verschiedene Schuhmodelle																						M2															0
AP 2.1.3	Funktionstests und Alltagstauglichkeit																																					0
AP 2.2	**Gestenerkennung**																																					
AP 2.2.1	Komponentenauswahl und Einflussparameter							1,5	1,5	1,5	1,5																											6
AP 2.2.2	Gestenerkennungsmodule (Hardware)											1,5	1,5	1,5	1,5																							6
AP 2.2.3	Gestenerkennungsmodule (Software)															1,5	1,5	1,5	1,5																			6
AP 2.2.4	Optimierung Gestenerkennungsmodul																			1,5	1,5	1,5	1,5					M3										6
AP 2.2.5	Zusammenführung der Module und Test																							1,5	1,5	1,5	1,5											6
AP 2.3	**Wissensbasiertes Assistenzmodul**																																					
AP 2.3.1	Komponentenauswahl zur Lokalisierung																																					0
AP 2.3.2	Anpassung an Indoor-Anforderungen																																					0
AP 2.3.3	Komponentenauswahl zur Spracherkennung																																					0
AP 2.3.4	Anpassung der Spracherkennungsalgorithmen																																					0
AP 2.3.5	Intelligente Entscheidungsmodule																																					0
AP 2.3.6	Funktionstest intelligente Entscheidungsmodule																																					0
AP 2.4	**Integration in das Gesamtsystem**																																					
AP 2.4.1	Integration in reale Wohnumgebungen																																					0
AP 2.4.2	Anbindung an vorhandene Geräte																																					0
AP 2.4.3	Zusammenführung Wohnumfeld, Lokalisierung																							0,2	0,2	0,5	0,5	1,8	1,8									5
AP 2.4.4	Test der Funktionalität																													1	0,4	0,4	0,6	0,6	M4			3
AP 3	**Evaluierungsphase**																																					
AP 3.1	**Aufbau Demonstratoren**																																					
AP 3.1.1	Demonstrator „Wohnumfeld"																0,5	0,5	0,5																			1,5
AP 3.1.2	Demonstrator „Intelligenter Schuh"																																					0
AP 3.2	**Tests und Szenarienläufe**																																					
AP 3.2.1	Systemmodul „Wohnumfeld"																			0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5													3
AP 3.2.2	Systemmodul „Intelligenter Schuh"																																					0
AP 3.2.3	Wissensbasiertes Assistenzmodul																														0,8	0,8	0,6	0,6	0,2			3
AP 3.3	**Begleitforschung zur Folgeabschätzung**																																					
AP 3.3.1	Einsatz des Systemmoduls „Wohnumfeld"																																					0
AP 3.3.2	Einsatz des Systemmoduls „intelligenter Schuh"																																					0
AP 3.3.3	Einsatz des „wissensbasierten Assistenzmoduls"																																					0
AP 4	**Transferemaßnahmen und Abschlussbericht**																																		1	1	1	3
																																					M5	

Abbildung 1 Projektplan für BUNDSCHUH. Arbeitspakete der velixX sind mit der Farbe Gelb hervorgehoben. Blau unterlegte Felder stellen den Arbeitsaufwand in Personenmonaten dar. Grüne Linien geben die Meilensteine vor.

Die Leitung des kritischen technischen Parts des Projekts in Arbeitspaket 2.2 erfolgt durch velixX.

Der Ablauf des Gesamtprojekts verlief überwiegend nach Plan. Die Zeiträume der geplanten Meilenstandtreffen wurden eingehalten. Die Entwicklungsphase wurde abweichend zur Darstellung in Abbildung 1 gestaltet. AP 2.2.1 dauerte länger als geplant und war Anfang des 2. Projektjahres abgeschlossen. Die Entwicklung der Gestenerkennungsmodulen (Hard- und Software) sowie ihre Zusammenführung und Optimierung wurden parallel und nicht wie in Projektplan stufenweise bearbeitet. Weshalb hier die Verzögerung aufgeholt werden konnte. Nach der Zusammenführung der Wohnumgebung waren noch Restarbeiten, Anpassungen und kleinere Änderungen der Gestenerkennung erforderlich, weshalb hier im letzten Quartal des 3. Projektjahres auf externe Software Unterstützung (Fa. CADCON Personalges. mbH aus Mannheim) zurückgegriffen wurde.

1.4 Kompetenzen von velixX

Das Team der velixX GmbH verfügt über viel Erfahrung in der Bearbeitung komplexer technischer Fragestellungen und Entwicklungsaufgaben, speziell im Umfeld von Mensch-Maschine Interaktionen. Für solch ein Entwicklungsprojekt erhielt die Firma velixX GmbH als ein Beispiel 2013 den RedDot Design Award im Bereich Medizintechnik.

Das Unternehmen mit seinem umfassenden Expertennetzwerk, ist spezialisiert auf die Strukturierung komplexer Systeme in entsprechend überschaubare klar definierte Teilsysteme, die dann gemeinsam mit Kooperationspartnern bearbeitet werden. Im Umfeld Bildverarbeitung und -erkennung werden umfangreiche Kompetenzen aus dem Umfeld In-Vitro Diagnostik mit Kamera-Auswertesystemen und den zugehörigen Algorithmus-Entwicklungen eingebracht.

Die velixX GmbH ist in zwei Spitzenclustern (microTEC Südwest und Bio RN) vernetzt, wodurch jederzeit die Möglichkeit besteht, sehr anspruchsvolle Fragestellungen mit den entsprechenden Experten zu diskutieren und sich zu neuesten technischen und technologischen Entwicklungen und Lösungsansätzen auszutauschen und diese wiederum ins Projekt einzubringen.

Diese Kombination an verfügbaren Kompetenzen sowie die weitreichenden Erfahrungen im Management komplexer internationaler Systemprojekte integrieren sich optimal in das Projekt BUNDSCHUH. Die Erfahrungen von velixX werden einerseits aus 20 Jahren Projektleitung innerhalb der Roche Diagnostics GmbH als auch aus inzwischen mehreren realisierten internationalen Projekten unter der Leitung der velixX GmbH eingebracht. Bei diesen Projekten standen inhaltlich sowohl komplexe Algorithmus-Entwicklungen, als auch spezielle Design- und User-Interface Entwicklungen im Mittelpunkt.

Die richtigen Experten zum richtigen Zeitpunkt optimal ins Projekt einzubinden und zu führen, ist eine der herausragenden Fähigkeiten von velixX.

Für eine über das Projekt hinausgehende Produktbereitstellung und –vermarktung ist der Partnerverbund von velixX die ideale Voraussetzung.

1.5 Projektpartner

- Technische Universität Ilmenau, Fakultät für Informatik und Automatisierung Institut für Automatisierungs- und Systemtechnik Fachgebiet Systemanalyse, *Verbundkoordinator und Konsortialführer*
- Technische Universität Ilmenau, Fakultät für Maschinenbau FG Biomechatronik
- Orthopädische Schuhtechnik eG Themar, Themar
- Arbeiterwohlfahrt (AWO) Alten-, Jugend- und Sozialhilfe gGmbH, Erfurt
- Aproxima Gesellschaft für Markt- und Sozialforschung Weimar mbH, Weimar

1.6 Wissenschaftlicher und technischer Stand

Getrieben durch eine Reihe neuartiger Technologien und damit verknüpfter Anwendungslösungen wie Smartphones, Tablets, Nintendo® WiiTM-Controller und vor allem Microsoft Kinect sind neuartige Bedienkonzepte nicht nur denkbar geworden, sondern tatsächlich zur Umsetzung gelangt. Dadurch wurde vor allem die Computer- und IT-Welt für bislang wenig erreichbare Nutzergruppen wie Senioren zugänglicher gemacht und eine höhere Nutzungsbereitschaft erzielt. Auch Komponenten und Systemlösungen wie Miniaturkameras und -mikrofone, Sensoren und Aktoren zum Einbau in vorhandene technische Infrastrukturen zu vertretbaren und massenmarkt-geeigneten Preisen haben ganz neue Möglichkeiten für Anwendungen und Dienstleistungen geschaffen. Das Ambient Assisted Living (AAL) für die älteren Generationen sei dabei ähnlich wie die Haus- und Gebäudeautomation (GA) nur exemplarisch genannt.

Die neuartigen Touchscreen-Oberflächen, wie sie mittlerweile von jedem Smartphone und auch den Tablets bekannt sind, haben durch ihre Verknüpfung aus der kombinierten Anzeige-Bedieneinheit mit weitgehend intuitiven Bedienkonzepten die Nutzungsbarrieren und damit Schwellenängste deutlich herabgesetzt. Gleichzeitig ist (auch durch den Wegfall zusätzlich notwendiger Komponenten für die Bedienung) ein Minicomputersystem wie die Smartphones oder Tablets zu einem echten „Überall-Alltags-Gerät“ geworden. Früher aufwendig umgesetzte und mit Zusatzhardware zu bedienende Funktionen (Bsp.: Spiele mit Tastatur und Maus, Joystick, Gamecontrollern usw.) sind heute durch natürliche, bekannte bzw. einfach zu erlernende Bewegungen der Finger/ Hände oder des ganzen Körpers abgelöst worden. Ergänzt wird diese einfache Steuerbarkeit über Multitouch-Displays durch die preiswerte Verfügbarkeit großer, hochauflösender Displays und zusätzliche weitere intuitive Controller-Systeme. So spielen heute bereits kleine Kinder genau wie Hochbetagte allein oder in Gruppen auf einem Tablet, daheim vor dem Fernseher und sogar im Seniorenheim mit einer WiiTM-Konsole oder Xbox mit Kinect-Steuerung.

Gestenbasierte Bedienkonzepte und Lösungen zur Steuerung von elektronischen Geräten im Wohnbereich:

Grundlage für die meisten Anwendungen bildet direkt oder in abgewandelter Form die Microsoft Kinect. Neben der unmittelbaren Ansteuerung für die eigene Xbox ist die seit 2011 über 24 Mio. mal verkaufte Kinect auch in Windows-Systeme einbindbar. Dafür existiert seit 2012 eine Kinect-SDK, welche von Microsoft für Windows 7 unterstützt und weiter entwickelt wird. Die nichtkommerzielle Nutzung ist dabei kosten- und lizenzfrei. Darauf aufbauend wurden verschiedene Open-Source-Projekte (siehe z.B. OpenNI.org) ins Leben gerufen, die im Internet gepflegt und verbreitet werden. Diese Projekte stellen zum Teil umfangreiche Bibliotheken, Tools und Anwendungen bereit.

Durch diesen großen Markterfolg und die weite Verbreitung getrieben haben sich auch große Hersteller von Unterhaltungselektronik der Kinect-Technologie angenommen. So bietet Samsung seit Ende 2012 seinen Smart TV mit integrierter Gestensteuerung an. Dabei kann durch wenige vorgegebene Gesten z.B. das Programm umgeschaltet werden, laut/leise gestellt oder im Internet navigiert werden. Ein Anlernen neuer Gesten nach persönlichen Wünschen ist allerdings nicht möglich. Außerdem bietet der Fernseher neben den klassischen Funktionalitäten auch „Fitness-Apps“, die der Nutzer vor dem Gerät ausführen und durch die integrierte Gestenerkennung überwachen lassen kann. Nachteilig wirken sich der enge Kamerawinkel, die notwendige

Mindesthelligkeit zur Erkennung und die umständliche Einrichtung des Geräts aus. Zur Steuerung der Gerätefunktionen bietet der Hersteller außerdem eine konventionelle Fernbedienung mit zusätzlicher Touchscreen-Oberfläche (ähnlich einem Smartphone) und eine Spracherkennung an. Die Nutzermeinungen zur Smart-TV-Steuerung differieren dabei von „toll“ bis „geht mit einer Fernbedienung einfacher“. Die Fa. LG setzt bei ihrem Smart TV auf eine Fernbedienung mit Infrarot (LG Magic Motion AN-MR 200), die ähnlich wie ein Nintendo® WiiTM-Controller Gesten mittels Gyroskop und Beschleunigungssensoren erkennt. Dadurch sind ebenfalls „frei fliegende“ Cursorbewegungen realisierbar.

Die gestenbasierte Steuerung über einen Kinect-Controller hat auch in anderen Anwendungsbereichen Einzug gehalten. So gibt es mittlerweile eine Vielzahl von Ansätzen und auch fertigen Lösungen zur Therapieunterstützung und Begleitung von diversen Reha-Maßnahmen, z.B. für Schlaganfall-, MS-Patienten oder andere chronisch Erkrankte wie auch als Präventionstraining zu Hause. Der Vorteil liegt in der vertrauten Umgebung, freien Zeiteinteilung und beliebigen Wiederholraten mit Verlaufskontrolle sowie Korrekturhinweisen über die Bewegungsausführung. Exemplarisch seien die Projekte MYREHAB (Fraunhofer FOKUS) und der Zettwerk ZIMTrainer (Zettwerk Software Engineering GmbH) aus Deutschland wie auch Virtualrehab (ESP) und SeeME (Polen) aufgeführt. Weiterführende Literatur und Ergebnisse des Einsatzes dieser Technologien finden sich in den Arbeiten von (Anderson et al. 2010), (Decker 2009) und (John et al. 2009).

1.7 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Inhalt wurde durch velixX entfernt.

2 Eingehende Darstellung der Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele

2.1 Einleitung

Das betrachtete Gesamtsystem besteht im Wesentlichen aus den Teilsystemen Assistenzsystem, der Gestenerkennung sowie der Spracherkennung. Das Assistenzsystem ist das zentrale Element und ist für die Regelung des Informationsflusses zwischen Nutzer und Endgerät zuständig. Der Nutzer hat die Möglichkeit die elektronischen Endgeräte entweder per Sprachebefehle oder durch bestimmte definierte Bewegungsabfolge statischer oder dynamischer Natur (Steuergesten) oder in Kombination aus Sprache und Gestik zu bedienen.

Die Teilsysteme Gesten- und Sprachsystem funktionieren autark, der Output dieser wird durch das Assistenzsystem intelligent verknüpft und kombiniert, so dass Steuerbefehle sowohl rein aus Sprache oder Gestik als auch aus der Kombination der Sprache und Gestik erkannt werden können. Im Folgenden wird ausschließlich die Entwicklung des Teilsystems Gestenerkennung, gemäß Inhalten der Arbeitspakete (AP) aus Abbildung 1 in Kapitel 1.3, beschrieben sowie auf die Schnittstellen zum Assistenzsystem eingegangen.

2.1.1 Problemstellung, Zielsetzung und Methoden des Projektes

Die zentrale Herausforderung des Projekts war die Gewährleistung der Robustheit, Zuverlässigkeit und der Echtzeitfähigkeit der Gestenerkennung zu einem angemessenen Preis und Entwicklungsaufwand. Das System sollte so aufgestellt werden, dass es schnell und einfach auf die Ansprüche und Bedürfnisse des Nutzers angepasst werden kann ohne dabei personenbezogene Daten in jeglicher Art und Weise zu speichern. Darüber hinaus sollte ein Gestenkatalog einwickelt werden, welcher auf der einen Seite sehr intuitiv, natürlich sowie einfach in der Anwendung und auf der anderen Seite jedoch aus verschieden Positionen und Winkel des Nutzers zur Kamera im Raum sowie bei verschiedenen Lichtverhältnissen von der Erfassung und Datenverarbeitung her sicher darstellbar ist.

Das Ziel bestand darin, ein echtzeitfähiges Gestenerkennungssystem zu entwickeln, welches in einem räumlichen Umfeld die natürlichen Bewegungsabläufe des Nutzers mittels einer Kamera fortlaufend beobachtet und daraus mit Hilfe von Bildverarbeitungsalgorithmen statische und/ oder dynamische Steuergesten in Form von bestimmten Bewegungsmuster erkennt und zuverlässig zugeordnet und nahezu von der Person oder der Umgebung unabhängig ist. Um die Akzeptanz zu erhöhen, wurde zum Ziel gesetzt, das System individuell anpassbar zu gestalten und auf die Nutzung von Personenbezogenen Daten zugerichteten.

Die Umsetzung der Entwicklungsprozesse erfolgte nach dem Prinzip des V-Modells, die Orientierung war stark Ziel- und Kostenoptimiert. Systemanforderungen wurden durch begleitende Tests verifiziert. Akzeptanzuntersuchungen wurden durch Projektpartner vorgenommen.

2.2 Erzielte Ergebnisse

Die oben genannten Ziele konnte im vollen Umfang erfolgreich umgesetzt werden. Im Rahmen des Teilvorhabens wurde ein System entwickelt, welches aus einer variablen Hardware und einer zweiteiligen teilredundanten hardwareunabhängiger Software, bestehenden aus einem Erkennungsalgorithmus und einer Graphischen Benutzeroberfläche (engl. Graphical User Interface (GUI)). Die Software ist frei konfigurierbar. Die Graphische Benutzeroberfläche dient als Benutzerschnittstelle zur Unterstützung der Einrichtung wie Implementierung und Konfiguration von Gesten, zusätzlich können hier bestimmte Funktionen den Gesten zugeordnet werden. Über Parameter und Toleranzen kann individuell auf die Bedürfnisse des Nutzers bedarfsgerecht angepasst werden. Ebenfalls wurde eine einfache Möglichkeit entwickelt und in die Graphische Benutzeroberfläche intergiert, Objektpositionen zu generieren und die Objekte (zu steuernde Geräte) zu definieren. Die Graphische Benutzeroberfläche ist einfach und übersichtlich gestaltet, Programmierkenntnisse sind nicht erforderlich. Durch diese Methode und Entkopplung von Einrichtung und Erkennungsalgorithmus können schnell und einfach Änderungen und Anpassungen vorgenommen werden ohne in den Quellcode einzugreifen und diesen zu verändern. Schnittstelle zum Assistenzsystem wurde in Form von JSON Protokoll realisiert. JSON Protokolle stellen eine bewähre Methode dar und gelten heutzutage als Standard.

Es wurde ein Set an einfachen, klaren und natürliche Steuergesten (Anzahl 17, sowohl statisch als auch dynamisch) ausgearbeitet und in Form eines Gestenkatalogs in die Software implementiert. Die Auswahl und Anzahl der Steuergesten kann nach Belieben aus dem implementierten Gestenkatalog durch den Nutzer zusammengestellt werden. Über die Anforderungen hinaus wurde zusätzlich eine Erkennung der Zeigerichtung entwickelt und ebenfalls implementiert. Die Zeigegeste stellt eine Sondergeste dar, ebenfalls wurden weitere Sondergesten für Fixieren von Objekten und Initialisierungen von Nutzer implementiert. Die Gesten stellen keine körperliche Anstrengung dar und sind für den Großteil der Befragten intuitiv oder nach einer kurzen Einlernphase einfach und sicher anzuwenden. Ein interner Demonstrator wurde konstruiert und aufgebaut, mit einer LED- und Gerätesteuerung versehen. Sowohl Hard- und Softwaremodule wurden in Betrieb genommen und ausgiebig unter verschiedenen Bedingungen (Lichtsituationen, Störquellen) und Anwendungsszenarien (verschiedene Positionen, Entfernungen, Stehen, Sitzen, Kleidung, mehrere Personen) mit 5 Probanden unterschiedlicher Altersgruppe getestet.

Insgesamt liegt eine Erkennungsrate von über 80% vor. Großteil der Gesten weisen eine Erkennungsrate um die 90% auf. Die Erkennungsrate der Zeigerichtung bewegt sich ebenfalls in dieser Größenordnung. Eine zuverlässige Erkennung der Steuer- und Sondergesten wird bis zu einer Verdrehung der Person zur Kamera von ± 60° gewährleistet. Es liegt eine Softwareperformance von 15-20 ms und eine Systemperformance von etwa 60 ms vor. Somit ist das System absolut Echtzeitfähig. Des Weiteren weist das Gestenerkennungssystem von velixX durch die Verwendung von Time of Flight-Sensor (Infrarot (IR)) eine hohe Robustheit aus und ist unter definierten Randbedingungen unabhängig von Nutzerdaten, Lichtverhältnissen (Sonne, Tageslicht, Dämmerung, Lichtquelle, Nacht) und Kleidungsvarianten (Muster, weit, eng, verhüllt). Verschiedene menschliche Gesten werden zuverlässig sowohl unter unterschiedlichen Lichtverhältnissen als auch unter unterschiedlichsten Positionen erkannt und zugeordnet, im Raum befindliche Gegenstände oder bewegte Objekte (z.B. Ventilator) zeigen keinen Einfluss. Das System gewährleistet absolute Anonymität, es werden keinerlei Personenbezogene Daten gespeichert, noch werden Livebilddaten zur Erkennung oder Auswertung erforderlich. Die Gestenerkennungssoftware läuft stabil.

Es wurde ein Konzept zur Kameraanordnung im Raum entwickelt, hierbei wurde die Unabhängigkeit und Ungezwungenheit des Nutzers in den Vordergrund gestellt. Die Anordnung und Anzahl der Kameras richtet sich nach den Hauptanwesenheitsorten sowie den Routineabläufen im Raum aus. So ist der Nutzer unabhängig von der Position zur Kamera, ob Sitzen oder Stehen, ob bei Sonnenschein, oder Regen.

Das Gestenerkennungssystem von velixX wurde erfolgreich im Gesamtsystem integriert. Das komplexe Zusammenspiel wurde getestet, Leistungsfähigkeit und Grenzen wurden ermittelt, Optimierungspotenziale wurden erkannt und umgesetzt.

2.3 Arbeitspakete

2.3.1 AP 1: Konzeptionsphase

In der Konzeptionsphase wurden Anforderungen an das Gestenerkennungssystem festgelegt, in einfachen Testaufbauten ermittelt oder überprüft, sowie rechnerisch ermittelt. Weiterhin wurden mögliche Nutzerszenarien mit den Projektpartnern diskutiert und erarbeitet. Fragenstellung für die Akzeptanzuntersuchung aus technischer Sicht wurden erarbeitet, mit TU Ilmenau abgestimmt und an AWO und aproxima für die Nutzerbefragung übergeben. Die gewonnenen Erkenntnisse sowie Schlussfolgerungen wurden in den Anforderungskatalog aufgenommen. Lasten- und Pflichtenheften wurden erstellt.

Gleichermaßen wurden von Beginn an zusätzlich zu den Anforderungen an das Gestenerkennungssystem die Anforderungen an die Steuergesten ausgearbeitet. Hierzu wurden ebenfalls sowohl interne als auch externe Befragungen sowie Versuche zur Ausführung und Interpretation durchgeführt. Ein umfangreicher Gestenkatalog mit allgemeingültigen Kommunikationsgesten seitens TU Ilmenau wurde erstellt und von velixX nach technischen Aspekten bezüglich Komplexität der Umsetzbarkeit (Arbeitsaufwand) und Gewährleistung der Zuverlässigkeit und Robustheit beurteilt. Ein vorläufiges Set an Steuergesten wurde beschrieben. Der Gestenkatalog wurde mit den Projektpartnern diskutiert und kontinuierlich überarbeitet. Da die Entwicklung der Gesten einer starken Dynamik unterlag, werden die Entwicklungsarbeiten zum Gestenkatalog im Rahmen der Konzeptphase nicht beschrieben. Die Entwicklung der Gesten wurden von Seiten der TU Ilmenau gestartet und im Laufe des Projektes von velixX komplett übernommen. Die Abstimmung mit TU Ilmenau fand statt.

Weiterhin wurde eine Liste an möglichen Endgeräten in Zusammenarbeit mit TU Ilmenau festgelegt und erstellt. Gespräche zum Infrastrukturkonzept wurden geführt, interne und externe Schnittstellen wurden diskutiert.

Kommerziell verfügbare sowie wissenschaftliche Lösungen zur technischen Konzeption und Umsetzung der Gestenerkennung wurden recherchiert und die Einsatzfähigkeit beurteilt. Das Wissen im Bereich der Bildverarbeitung wurde vertieft. Aufbauend hierauf wurden technische Konzepte zu möglichen System-Set-Ups erarbeitet, bewertet und eine Vorauswahl getroffen. Persönlicher Kontakt zu mehreren Hardwareanbietern insbesondere Kamera- und FPGA-Experten wurde geknüpft und die Eignung des Einsatzes sowie die Ausbaumöglichkeiten diskutiert. Parallel wurden mögliche kommerzielle Bildverarbeitungsprogramme recherchiert und bewertet. Ebenfalls wurde hier zu

einigen Anbietern Kontakt aufgenommen, kostenlose Vollversionen wurden zum Test bereitstellten, kurze Einführungen in Form von Schulungen oder Einweisungen wurden wahrgenommen sowie Vorversuche wurden durchgeführt.

Die wesentlichen Kerninhalte werden im Nachfolgenden dargestellt.

2.3.1.1 Anforderungsanalyse und technische Konzeption zur Entwicklung der Gestenerkennung

Das Teilsystem Gestenerkennung gliedert sich in Hard- und Softwarekomponente. Die internen Schnittstellen stellen die Verbindung von Hard- und Software dar. Die externen Schnittstellen hierzu bilden die Verbindung zum Assistenzsystem, Nutzer (via Gestik) sowie dem Umfeld.

Anforderungen an die Hard- und Softwarekomponenten sowie die Schnittstellen:

- Kamerabasiert
- Informationsgewinnung und -verarbeitung in Echtzeit, keine wahrnehmbare Verzögerung zwischen Ausführung und Umsetzung der Aktionen (die Echtzeit ist in der Literatur nicht definiert, diese wurde von velixX im Rahmen dieses Projektes auf eine Bildrate von 30fps[1], d.h. Softwareperformance <33 ms[2] und eine Systemperformance von < 100 ms (Gestik, Verarbeitung, Analyse, Übergabe der Befehlsdaten an das Assistenzsystem) festgelegt)
- Bildqualität
    - Auflösung min. 640 x 480 px[3]
    - Kontrast
    - Rauschverhalten
    - Lichtempfindlichkeit
    - Optimaler Blickwinkel (75°)[4]
- Zuverlässige Gesten- bzw. Mustererkennung (hohe Erkennungsrate, breites Toleranzfeld, unempfindlich gegenüber geringfügigen Abweichungen bei unpräziser Ausführung von Gesten), Geschwindigkeit)
- Robust (Lichtverhältnisse (Nacht, Tag, Dämmerung, direkte Sonne), unabhängig von Personenstatur/-größe, Bewegungsgeschwindigkeit, Bewegungsradius)
- Großer Erkennungsradius (Frei im Wohnumfeld ausführbar, Ungebunden an Position im Raum)

---

[1] Ab 24fps werden in der Filmindustrie fließende, rüttelfreie Bewegungen dargestellt.

[2] $1000\,ms/30 = \overline{33{,}33}\,ms$

[3] Die Vortests haben gezeigt, dass eine Auflösung von min. 640 x 480 px für eine Erkennung der Finger bei einer maximalen Entfernung von 3 m erforderlich ist.

[4] Um möglichst einen großen Bereich im Raum erfassen zu können, sollte der Sichtbereich der Kamera möglich weit sein. Der Sichtwinkel des menschlichen Auges liegt bei 40° – 50°. Höhere Werte in der Optik werden als Weitwinkel bezeichnet. Bildwinkel über 80° werden durch Superweitwinkelobjektive abgebildet. Ab diesem Bereich können bereits geringe Verzerrungen der Abbildung auftreten. Für eine mögliche Konstellation aus zwei Sensoren mit einem Abstand von max. 2 m zueinander ist zur Erfassung des Raumes ein Sichtbereich von etwa 75° optimal.

- Vorverarbeitung hardwarenah (Datenmenge reduzieren, überflüssige Informationen/ Bilddaten ausblenden/ filtern)
- Datenverarbeitung anonymisiert/ Bildaufnahme erfolgt aus Datenschutzgründen nicht, Schutz der Personenbezogenen Daten muss gewährleistet werden
- Robuste Systemprogrammierung: Flexibilität und schnelle Anpassung durch Bedienungspersonal, Benutzerfreundlich
- Programmierung in kommerzieller Sprache (C, C++, C#)
- Störungsarmes Operating System (OS)
- Zuverlässigkeit und Stabilität des Gesamtsystems
- Informationstechnische Systemzuverlässigkeit (offline Betrieb)
- Optimaler Arbeitsbereich (2 m - 4 m[5]), Nutzer kann in ausreichendem Abstand interagieren
- Resistent bei Temperaturschwankungen (Sonnenhitze, Klimaanlage, offenes Fenster im Winter, Temperaturbereich +10°C bis +35°C)
- Systemerweiterung sicherstellen
- Nutzung von Standardprotokollen zur Weitergabe von Informationen an das Assistenzsystem (definierte Inhalte und Formate)
- Hochleistungsschnittstelle für Datenübertragung

Optionale Anforderungen an die Hard- und Softwarekomponenten:

- Software ist anpassbar auf die Bedürfnisse und Vorlieben des Nutzers
- Lernendes System
- Teilredundante Auslegung (Sicherung der Systemzuverlässigkeit)
- Energieversorgung/ minimale Verkabelungsinfrastruktur
- Kommunikation zwischen mehreren Kameras
- Feedback-Funktion, liefern Signal (optisch, akustisch) wenn Geste erkannt wurde
- Diskrete Hardware, Nutzer soll sich unbeobachtet fühlen evtl. Möglichkeit zum manuellen Verschließen/ verdecken des Objektivs
- Erkennung bei teilweiser Verdeckung (Wahrscheinlichkeitsrechnung)
- Resistent gegen Vibrationen, konstanten Bewegungen (Ventilator), Staub, Dampf, Rauch, Feuchtigkeit)
- Flexible Anschlussarten

Anforderungen an die Gesten aus technischer Sicht:

- Überschaubare Anzahl an Gesten
- Sowohl dynamische als auch statische Gesten
- Fokus auf die grobe Hand/ bzw. auf den Arm, max. Erkennung offene oder geschlossene Hand, einzelne Finger werden nicht erkannt)
- Fokus auf Einhandgesten, Bewegungsbereich Oberkörper, ermöglicht Erkennung auch im Sitzen)
- Einfache und klare Bewegungsabläufe, Steuergesten sollen sich von gewöhnlichen Gesten unterscheiden

[5] Typisches Standardzimmer im Pflegeheimen beträgt ca. 4 x 6 x 2,3 m^3 (B x L x H)

- Großflächige Bewegungsradien/ -räume
- Eindeutige, zielgerichtete Gesten, Klare Anfangs- und Endpositionen pro Geste sowie Bewegungsradien, die einem zuvor definierten Muster entsprechen
- Statische Gesten mit kurzer Verweildauer in den Anfangs- und Endpositionen
- Kurze Interaktionsdauer bei dynamischen Gesten
- Reduzierte Bewegungsgeschwindigkeit
- Natürliche und einfache Bewegungsmuster, geringer Lernaufwand und geringe körperliche Belastung, unter Berücksichtigung von evtl. kognitiven Einschränkungen)
    - Als Nutzer ist im Rahmen des Projekts folgender Personenkreis definiert:
        - Bewohner
            - Betagte Menschen (laut Projektdefinition über 80 Jahre alt)
            - Menschen mit Handicap
            - Lähmung/ Armhebeschwäche
            - Demenz
            - fehlende Körperteile
        - Pflegepersonal
        - Angehörige
        - Besucher
- Breiter Sichtbarkeitsbereich aus verschiedenen Winkeln im Raum zur Kamera, mit geringem Spielraum für Verdeckungsmöglichkeiten von Gliedmaßen.

Optionale Anforderungen an die Gesten:

- Erkennung von Zeigegeste (Richtungsvektor)
- Erkennen von Notsituationen/ Unterscheidung von unnatürlichen Gesten wie z.B. Anfall, Sturz oder Verletzung, schneller Übergang von Stehen bzw. Sitzen zu Liegen
- Erkennen von Gefahrensituationen; Alarmauslösen wie z.B. Abnormale Körperhaltungen

2.3.1.2 Technische Konzepte zur Entwicklung der Gestenerkennung

Einfach ausgedrückt handelt es sich bei der Gestenerkennung um die automatisierte Erkennung von menschlichen Gesten mittels eines Computers. In der Informatik beschäftigt sich mit den Algorithmen und einer Vielzahl an mathematischen Methoden zur Erkennung von bestimmten Musterabläufen (Gesten) und der Verwendung von Gesten zur Mensch-Computer-Interaktion. Generell wird bei der Gestenerkennung zwischen geräte- und kameragestützte Erkennung unterschieden. Bei der gerätebasierter Erkennung erfolgt die Informationsgewinnung über Sensorik, welche sich direkt am Körper des Nutzers befindet. In diesem Vorhaben geht es um die kamerabasierte Erkennung, wodurch der Nutzer durch externe Sensorik beobachtet wird. Im Rahmen der Konzeptphase wurden unterschiedliche technische Konzepte betrachtet. Im Folgenden werden diese Konzepte angerissen sowie auf die dazu geforderte Vorauswahl an möglichen Systemkomponenten, gegliedert nach Hardware und Software eingegangen. Eine Wertung der Konzepte bzw. der Komponenten erfolgt in Kap. 2.3.2.1.

Hardware:

Bei der kamerabasierte Gestenerkennung werden externe Sensoren in Form von Kameras genutzt, um Bilder des Nutzers zu erstellen. Zur Erkennung der Pose werden Techniken der 2D- und 3D-Bildanalyse angewendet. Hierbei werden sowohl Systeme mit einer Kamera als auch mit mehreren Kameras (Stereoskopie) verwendet. Moderne Systeme arbeiten in diesem Bereich oftmals mit 3D-Daten, diese werden entweder über Kameras mit Time-of-Flight oder sogenannte Structured Light erfasst. Es gibt eine Vielzahl an unterschiedlichen Kameravarianten auf dem Markt, wie z.B. Smart-/ USB- Kameras, Industriekameras, Stereokameras u.v.m. jedoch nur wenige sind für den Einsatz einer Gestenerkennung in Echtzeit geeignet.

Für die Verwendung von „einfachen“ Kameras muss z.B. ein externer PC sowie weitere Komponente angeschafft werden. Hierfür ist viel Platz (evtl. ein eigener kleiner Raum) erforderlich, der in einem Pflegeheim nicht immer gegeben ist. Ein mögliches System-Set-Up ist in Abbildung 2 schematisch dargestellt.

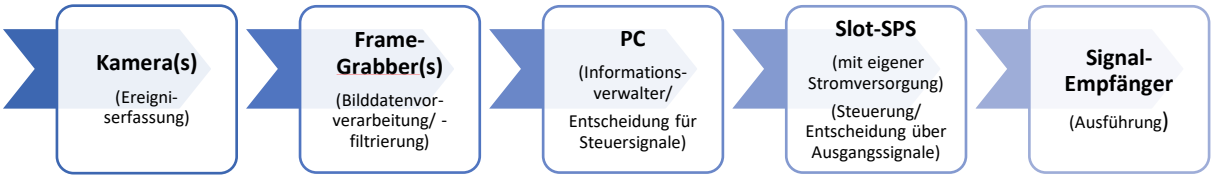


Abbildung 2 Mögliches Set-Up zur Gestenerkennung unter Verwendung von „einfachen“ Kameras.

Für ein echtzeitfähiges System-Set-Up ohne PC können die Prozesse der Bilddatenvorverarbeitung/ -filtrierung sowie der Bildverarbeitungsalgorithmen über sogenannte FPGAs z.B. basierend auf sogenannten System-on-a-Chip (SoC) umgesetzt werden. FPGA-Systeme sind sehr performant und sind heutzutage zahlreich im Bereich der industriellen Bildverarbeitung „Machine Vision“ vertreten. Beide Konstellationen sind kostspielig und erfordern eine hohe Systemkomptabilität sowie umfassende Fachkenntnisse und Programmiererfahrung. Eine Machbarkeitsstudie zur Bewegungserkennung auf einem FPGA-basierten SoC wurde in Form einer Bachelorarbeit bei velixX durchgeführt. Optische Flussberechnungsmethoden in ausgewählten Konfigurationen nach der Lucas-Kanade Methode in OpenCL und der Inbetriebnahme der Hardware sowie Tests und Evaluation wurden durchgeführt. Die Ergebnisse hierzu werden in Kapitel 2.3.2.1 beschrieben.

Eine weitere Möglichkeit ist das Nutzen von sogen. „intelligenter“ Kamera. Eine intelligente Kamera funktioniert als eigenständiger programmierbarer Embedded-PC, meist mit Linux-Betriebssystem und ist in der Lage mit hoher Geschwindigkeit komplexe Bildverarbeitungsaufgaben durchzuführen. Auch hier gibt es unterschiedliche Bauformen. Eine für diese Anwendung besonders vorteilhafte Bauweise stellt eine sogenannte „Multisensorkamera“ dar. Diese verfügt über 1 bis max. 6[6] pixelsynchrone Sensoren. Die Sensoren können durch Folienkabel (Flexkabel) nach Belieben positioniert und ausgetauscht werden, wodurch die evtl. benötigte Anzahl an Sensoren für eine komplexe

[6] Seit 2016 max. 6 Sensoren, davor max. 4, siehe online unter www.vrmagic.com

Zimmeranordnungen sowie deren Kommunikation reduziert bzw. vereinfacht werden kann. Für ein 3D-Tracking werden 2 Sensoren benötigt. Das intelligente und leistungsstarke Multisensorkamerasystem mit zwei frei positionierbaren Sensoren und einer Evaluationsplatine (Embedded-Evaluation-Interface-Board) von der Fa. VRmagic Imaging Holding AG aus Mannheim wurde ausgewählt und zur Entwicklung angeschafft. Diese verfügt über einen hochintegrierten Dual-Core-Chip mit paralleler Prozessorarchitektur. Der ARM-Prozessor ist für das Betriebssystem zuständig, während der DSP vollständig für Bildverarbeitungsaufgaben zur Verfügung steht. Weiterhin gibt es eine entwicklerfreundliche Variante mit einer großen Anzahl an diversen Möglichkeiten für Schnittstellen. Die Multisensorkamera ist kompatibel mit herkömmlichen Bildverarbeitungssoftwares. Des Weiteren weist diese eine sehr kompakte Bauweise sowie bis zu 1,16 m lange Flexkabel auf. Beispielhaft ist angeschaffte Variante der Multisensorkamera mit 4 Sensoren von VRmagic in Abbildung 3 dargestellt. [7]

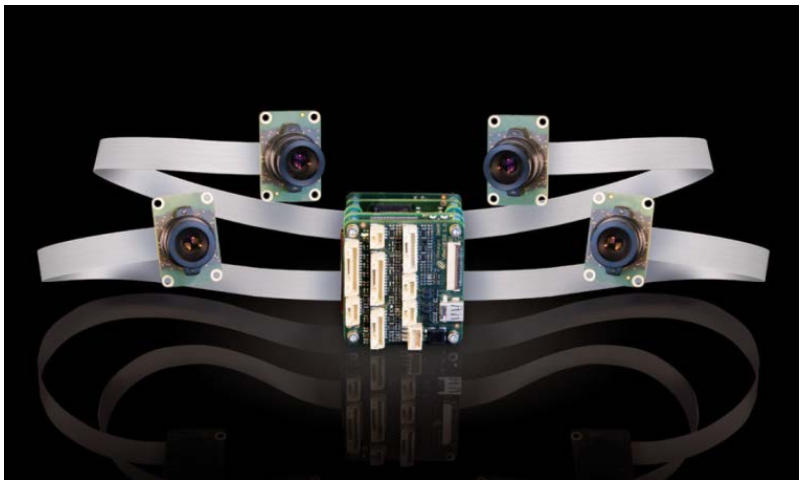


Abbildung 3 Multisensorkamera mit 4 pixelsynchronen Sensoren von VRmagic (Foto: VRmagic Imaging Holding AG, Mannheim).

Eine Alternative stellen neuartige Bewegungssensoren aus der Game-Szene dar, wie z.B. der Vorreiter Kinect von Microsoft.[8] Wie in Kap. 1.6 erwähnt, ist Kinect eine Hardware zur Steuerung der Videospielkonsole Xbox. Durch Bewegungen und Sprache der Spieler wird die Software bedient. Seit 2011 ist die Variante Kinect für Windows erhältlich, dieser stellt eine Kombination von Tiefensensor, 3D-Mikrofon, Farbkamera und Software mit einer eigenen Gesten- und Spracherkennung dar. Darüber hinaus weist der Sensor Kinect for Windows eine eigene SDK (Entwicklungsumgebung) auf und verfügt bereits über implementierte Vorverarbeitungsfunktionen der Rekonstruierung eines Skeletts aus der menschlichen Gestalt (bis zu sechs Personen). Das Skelett auch Skeleton genannt wird durch Gelenkpunkte (Joints) gegliedert, die Anzahl dieser Joint variiert je nach Generation des Sensors. Die Kinect for Windows v2, das Nachfolgemodel von Kinect for Windows v1, ist seit Mitte

[7] https://www.vrmagic.com/de/imaging/oem-loesungen/kamerabauformen/multisensor-kameras/

8 Im späteren Verlauf des Projekts wurden einige Konkurrenzprodukte zu Kinect auf dem freien Markt verfügbar. Eine Alternative bietet z.B. die Xtion von Asus. Im Rahmen des Vorhabens wurde eine Xtion im späteren Zeitpunkt der Entwicklung angeschafft und getestet.

2014 auf dem freien Markt erhältlich. In der nachfolgenden Abbildung 4 sind die wesentlichen Unterschiede der beiden Sensoren Kinect for Window v1 und v2 dargestellt. Beide Varianten wurden im Rahmen des Vorhabens angeschafft und getestet. [9] [10]

Eigenschaften	*Kinect for Windows v1*	*Kinect for Windows v2*
Farbkamera Stream	640 x 480 @ 30 fps	1920 x 1080 @ 30 fps
Tiefenschärfe Stream	320 x 240 @ 30 fps	512 x 424 @ 30 fps
IR Stream	nein	512 x 424 @ 30 fps
Sensor	Structured Light (PrimeSense Light Coding)	Time of Flight (ToF)
Max. Distanztiefe	ca. 4,0 m	ca 4,5 m
Min. Distanztiefe	ca. 0,8 m	0,5 m
Horizontales Sichtfeld	57°	70°
Vertikales Sichtfeld	43°	60°
Hochleistungsmotor	ja	nein
Skeleton Tracking	2	6
Skeleton Joints	20 Joints	25 Joints
Betriebssystem	Win 7, Win 8	Win 8
USB-Standard	2.0	3.0
Preis	ca. 250 Euro	ca. 150 - 200 Euro
Audio Stream	4 mic array 16 kHz	4 mic array 48 kHz
Allg. Infos		Infarot-Tracking: kann in größeren Räumen, bei schlechter Beleuchtung eingesetzt werden
		erleichterte Gesichts- und Handerkennung

Abbildung 4 Gegenüberstellung der Leistungskenndaten von Kinect for Windows der ersten (v1) und zweiten Generation (v2).

Die Wahl der Hardware richtet sich stark nach der Wahl der Software sowie der Herangehendweise und der Anwendung von Methoden bei der technischen Bildanalyse.

[9] https://www.microsoft.com/en-us/kinectforwindows/purchase/default.aspx#tab=1

[10] https://www.microsoft.com/en-us/kinectforwindows/meetkinect/features.aspx

Software und Methoden der Bildanalyse:

Die Analyse der Bilddaten aus der Hardware wird über die Software durchgeführt. Grundsätzlich kann die Analyse im 2D- und 3D-Raum anhand von Bild- und Videoinformationen erfolgen. Für eine Erkennung im Raum werden Tiefeninformationen also 3D-Bildaten benötigt. Hierfür kommen verschiedene Methoden zum Einsatz, beispielhaft sind die 3D-Bildverarbeitung, das flächen- oder kantenbasierende Matching und die Videoverarbeitung (z. B. Berechnung des optischen Flusses) zu nennen. Liefert die Hardware 2D-Bilder[11], so werden in einer Vorverarbeitung zunächst 3D-Bild, durch Matching zweier synchroner 2D-Billder, generiert. Bei der kamerabasierten Gestenerkennung werden in der Praxis verschiedene Ansätze angewendet. Zwei Ansätze der engeren Wahl werden im Folgenden beschrieben.

Ein Ansatz stellt die Erstellung einer Datenbank mit relevanten Gesten dar. Pro Geste werden Meridians (Leitbahnen) basierend aus einer Vielzahl von Videoanalysen ermittelt. Die Erkennung erfolgt über einen Abgleich der erfassten Gesten mit der erstellten Datenbank bis eine Übereinstimmung vorliegt. Diese Methode erfordert viel Rechenleistung und stellt daher für eine Echtzeit-Anwendung ein Risiko dar. Eine Alternative bietet die Skeletterkennung, das bedeutet aus den 3D-Bilddaten werden Körper, Hand bis hin zu einzelne Finger erkannt und durch ein vereinfachtes Skelettmodell den vordefinierten Gesten zugeordnet. Dieser Lösungsansatz bietet eine wesentlich größere Gestenvielfalt und Präzision, ist jedoch technisch deutlich anspruchsvoller.

Zur professionellen Bearbeitung und Verarbeitung von Bilddaten in den Bereichen „Image Processing“ und „Machine Vision“ gibt es bereits spezielle, kommerziell erhältliche Softwares. Sie beinhalten eine umfangreiche proprietäre Programmbibliothek mit Algorithmen für die Bildverarbeitung und maschinelles Sehen. Die Bibliotheken stellen verschiedene Operatoren zur Verfügung, bieten Schnittstellen zu vielen Kameras und Framegrabbern und sind für den Betrieb auf Multicore-Systemen und für GPGPU ausgelegt. Einige davon stellen sogar eine herstellereigene Umgebung für die Entwicklung zur Verfügung. Oft existiert zudem eine Erweiterungsmöglichkeit für Microsoft Visual Studio. In diesem Umfeld wurden Recherchen durchgeführt und in Frage kommende Softwares miteinander verglichen. Die Softwares Halcon[12] von MVTec Software GmbH aus München und Matlab[13] von MathWorks Corporation aus den USA wurden genauer betrachtet. Sowohl Halcon als auch Matlab werden überwiegend in industriellen und medizinischen Anwendungen eingesetzt. Die Gegenüberstellung[14] der relevanten Kenndaten ist in Abbildung 5 dargestellt.

[11] Eine bestimmte Konstellation zweier „einfachen“ Kameras ist erforderlich (meist 0,2 m Abstand und etwa 30° Winkel), um die jeweiligen 2D-Bildpaare, welche synchron, zum selben Zeitpunkt aufgezeichnet wurden, mit einander zu kombinieren und hieraus 3D-Tiefendaten zu generieren.

[12] http://www.halcon.com/

[13] https://de.mathworks.com/

[14] Stand 2014

Bezeichnung:		***Halcon***	***Matlab***
Kosten (gem. Angebot)		5.600,00 €	14.250,00 €
Support			
VRmagic		ja	nein
Systemadministrator		ja	ja
Help-Funktion		ja	ja
nützliche Beispiele		ja	ja
Dokumentation	englisch	ja	ja
	deutsch	ja	nein
Schulungsangebot		ja	ja
Softwareeigenschaften			
Werkzeuge			
Datenbanken für Embedded Kameras		ja	ja
Einzug Live-Bilder		ja	ja
Grafische Werkzeuge		ja	ja
Entwicklungsumgebung		ja	z.T.
ARM-Libs		ja	nein
DSP-Libs		k.A.	ja
Vorausges. Programmierkenntnisse		nein	von Vorteil
Signalverarbeitung		nein	ja
Betriebssystem	Windows	ja	ja
	Linux	ja	ja
Programmiersprachen	C	ja	ja
	C++	ja	ja
	C#	ja	ja

Abbildung 5 Gegenüberstellung der Bildverarbeitungssoftwares Halcon vs. Matlab.

Aufgrund des Preises, der Attraktivität sowie der vorhandenen Schnittstellen (Treiber) zu der Multisensorkamera von VRmagic wurde die Software Halcon Version 11 ausgewählt. Die Lizenz wurde gekauft. Der Umgang mit Halcon wurde erarbeitet.

Die Gestenerkennung und neuartige Bedienungskonzepte finden vermehrt in den Bereichen der Medientechnik und Medienkunst Einsatz. Auch hier existieren spezielle Programme, sowohl kommerzieller als auch nicht kommerzieller Natur, mit der Möglichkeit Gesten aufzuzeichnen, zu trainieren und mit Endgeräten zu kommunizieren. Eine interessante Möglichkeit stellt hierbei die Software „Kinetic Space Pro“ dar. Alternativen wurden ebenfalls betrachtet und getestet, jedoch für dieses Vorhaben als ungeeignet eingestuft.

Zu guter Letzt gibt es selbstverständlich die Variante der eigenen Programmierung von Algorithmen zur Erkennung von Gesten. Hierzu stehen verschiedene Entwicklungsumgebungen, Programmiersprachen und informationstechnische Methoden um Bilddatenanalyse durchzuführen zur Verfügung. Hierzu mehr in Kap. 2.3.1.1.

2.3.2 AP 2: Entwicklung und Evaluierung der Gestenerkennung

Der Schwerpunkt dieses APs lag in der technischen Entwicklung eines robusten und zuverlässigen sowie performanten Gestenerkennungssystems. Essentielle Abstimmungen in technischer Hinsicht erfolgten im Wesentlichen mit der TU Ilmenau, aber auch mit der AWO. Neben der Entwicklung der Gestenerkennung wurde ebenso ein großer Fokus auf die Erarbeitung und die technische Optimierung des Gestenkatalogs gelegt, welcher wiederrum stellt eine wesentliche Rolle für die Güte, Qualität sowie Komplexität der Gestenerkennung als auch für die Akzeptanz des Systems dar. Diese beiden Entwicklungen gingen also Hand in Hand und wurden von velixX getragen und kontinuierlich aufeinander abgestimmt und optimiert.

Zu Beginn des AP 2 wurden verschiedene Konstellationen an in Frage kommenden vorausgewählten Hard-und Softwarekomponenten aus AP 1 intensiv in Machbarkeitsstudien untersucht. Hierbei kam es zu einer Zeitverzögerung, da leider festgestellt werden musste, dass die auf dem Markt verfügbaren Lösungen den Anforderungen nicht in vollen Umfang genügten. Entweder war die Systemperformance zu schwach, Systemstabilität nicht gegeben oder die voraussichtlich anfallenden Kosten für die Entwicklung wären im Rahmen des Projektes nicht tragbar. Infolgedessen wurde eine Entscheidung getroffen und eine andere Strategie eingeschlagen. Eine eigene Software- und Algorithmenentwicklung wurde durchzuführen. Hierbei wurde ein modularer Systemansatz mit einer Abkopplung von Hard- und Software gewählt, wobei der Fokus der Entwicklung bewusst auf die Software bzw. den Erkennungsalgorithmus gelegt wurde. Die Hardware ist hierbei unter Erfüllung bestimmter Voraussetzungen variabel und kann z.B. beim technischen Fortschritt flexibel ausgetauscht werden. Das Ziel hierbei bestand darin, in einer weiteren Entwicklungsstufe die Gestenerkennung auf Basis von Embedded-Software umzusetzen, welche plattform- und hardwareunabhängig ist und wenig Energie benötigt. Als Hardware wurde im Rahmen des Projektes die Kinect for Windows v2 verwendet, diese weist eine hohe Leistungsfähigkeit auf und arbeitet im IR-Bereich, was den sicheren Einsatz des Systems bei diversen Lichtverhältnissen ermöglicht. Die Gestenerkennung erfolgt ausschließlich auf der Verarbeitung der Skelettondaten, gewonnen aus den Tiefendaten des Sensors Kinect for Windows v2. Die Schnittstelle zum Assistenzsystem und die dazu gehörigen Anforderungen wurden mit der TU Ilmenau abgestimmt und von velixX festgelegt. Die Entwicklung der Gestenerkennung war erfolgreich. Gestenerkennung ist innerhalb der Software frei konfigurierbar und verfügt über eine Grafische Benutzeroberfläche zur Einrichtungsunterstützung. Einzelne Gesten und Gerätepositionen können hierüber implementiert und konfiguriert werden. Über Parameter kann auf die individuellen Bedürfnisse des Nutzers eingegangen werden. Das System ist zudem nutzerunabhängig. Es werden keinerlei personenbezogene Daten gespeichert, die Anonymisierung der Daten wird sichergestellt. Die Identifikation von befehlsberechtigten Person erfolgt durch die Erkennung von speziellen Sondergesten.

Zeitgleich wurden unabhängig von den Systemkomponenten physikalische und räumliche Einflussparameter für die Gestenerkennung in Voruntersuchungen ermittelt, berechnet und festgehalten. Hierzu wurden Testaufbauten unteranderem unter Erwerb, Installation und Inbetriebnahme einer speziellen kommerziellen Software realisiert sowie Versuchspläne erstellt. Aufwendige Versuche mit mehreren Personen wurden durchgeführt, festgehalten und analysiert. Rückschlüsse zum Systemaufbau sowie Gestenausführungen wurden getroffen und in die Entwicklung aufgenommen. Parallel wurde bei der AWO eine Akzeptanzuntersuchung zu den Gesten zur Ermittlung der intuitiven Bedingung, der Ausführung, der körperlichen Anstrengung, der Gestenakzeptanz sowie der technischen Randbedingungen durchgeführt, dokumentiert und

ausgewertet. Hierbei wurde durch velixX ein Programm zum Aufzeichnen und Auswerten von Bilddaten geschrieben und bereitgestellt. Aufzeichnungen wurden untersucht. Ergebnisse der Akzeptanzuntersuchung wurden durch velixX bewertet, mit AWO und TU Ilmenau besprochen und eine Auswahl in den Gestenkatalog aufgenommen und untersucht. Ein reduzierter Gestenkatalog wurde in Abstimmung mit Projektpartner final erarbeitet und beschrieben. Um der natürlichen und intuitiven Bedingung nachzukommen, wurde beschlossen die Gesten zu vereinheitlichen, wobei die Gesten den Grundfunktionen im Alltag zugeordnet wurden. Alternative Gesten wurden festgelegt um die Individualität zu gewährleisten. Die in der Zwischenzeit bekanntgewordene und durch TU Ilmenau festgelegte Liste an den zu bedienenden Endgeräten wurde bei der Wahl und Entscheidung der Art und Weise der Steuergesten berücksichtigt. Zusätzlich zur der Erkennung der Steuergesten hat velixX beschlossen, die Erkennung der Zeigegeste (Sondergeste) technisch umzusetzen. Da diese Art der Kommunikation besonders intuitiv und allgemeingültig ist und somit den Erfolg der Unternehmung durch eine wahrscheinlich höhere Akzeptanz sicherstellt. Durch die Zeigegeste können die gemeinten Objekte/ Geräte nicht nur ausgewählt (aktiviert) sondern ebenfalls lokalisiert und definiert werden.

Nachdem die technischen Systemkomponenten feststanden und ein Konzept zur Umsetzung wurde erstellt wurde ein Datenschutzgutachten für Datenschutz und IT-Sicherheit für Deutschland bei einer externen Stelle durchgeführt. Hierfür hat velixX den Kontakt hergestellt, Angebote eingeholt, Unterlagen in Zusammenarbeit mit TU Ilmenau vorbereitet sowie während des Gutachtens Auskünfte der DeuDat Datenschutz für Deutschland GmbH erteilt.

In der frühen Phase der Entwicklung der Gestenerkennung wurde ein interner Demonstrator aufgebaut und in Betrieb genommen. Dieser ist mobil und höhenverstellbar (bis zu 2,3 m). Als besonderes Merkmal wurden hier LEDs eingebaut, welche ansteuerbar sind. Hierzu wurde ein Programm geschrieben und später mit der Gestenerkennungssoftware verkoppelt. Die LEDs dienen als optische Rückmeldung bei der Erkennung von Zeigegesten. Darüber hinaus wurde am internen Demonstrator eine Möglichkeit geschaffen verschiedene Objekte (Geräte) einbinden und diese flexibel positionieren und fixieren zu können.

Die Zusammenführung der Module wurde erfolgreich durchgeführt. Der Gestenkatalog bestehend aus Steuer- und Sondergesten wurde in die Software implementiert. Die Software wurde auf den internen Demonstrator geladen und kontinuierlich aktualisiert. Testpläne und Randbedingungen wurden erarbeitet, definiert, formuliert, durchgeführt und ausgewertet, hierdurch konnten Schwachstellen rasch erkannt und behoben werden. Das Gestensystem wurde laufend optimiert, Updates sowie Dokumentationen wurden der TU Ilmenau regenmäßig zur Verfügung gestellt. Support zur Nutzung und Installation wurde geleistet. Rückmeldungen wie z.B. Änderungswünsche oder zusätzliche benötigte Features seitens TU Ilmenau wurden selbstverständlich aufgenommen, abgestimmt und bei Relevanz und Bedarf angepasst.

Im Folgenden wird auf die oben beschrieben Inhalte der Entwicklungsphase detailliert eingegangen.

2.3.2.1 Komponentenauswahl und Voruntersuchungen der Einflussparameter

Komponentenauswahl:

Zur Verifizierung der Anforderungen wurde die Vorauswahl an Hard- und Softwarekomponenten auf ihre Eignung hinsichtlich Leistungseckdaten wie Framerate, Latenz, Datenqualität, Auflösung und Tiefengenauigkeit unter definierten Umgebungsbedingungen in Machbarkeitstests überprüft.

Folgende fünf Konstellationen an Hard- und Software wurden untersucht:

1. Intelligente Embedded-Multisensorkamera von VRmagic mit 2 Sensoren, virtuelle Maschine (VMware Workstation 10 für Linux und Windows, ESD) und Halcon 11
2. Set-Up aus 2 Webcams und einem FPGA (SoCKit Evaluation Board[15] von Arrow Electronics Corporation, freundlicherweise zur Verfügung gestellt und supportet durch Solectix GmbH aus Nürnberg), Halcon 11 und Open Source Programmierschnittstelle OpenCL
3. Microsoft Kinect for Windows v1, SDK von Microsoft
4. Microsoft Kinect for Windows v2, Programm „Kinetik Space pro“
5. Microsoft Kinect for Windows v2, Kombination aus SDK von Microsoft und einer eigenen Entwicklungsumgebung unter Windows, Microsoft Visual Studio Express für Windows Desktop, C# unter .Net Framework 4.5. Folgende Methoden zur Gestenerkennung wurden getestet:
    2) Basis Methode Wave Detection
    3) Basis Methode Markow-Kette

Hierzu wurden jeweils einfache Musteranlagen aufgebaut (Beispielanlage mit der Multisensorkamera von VRmagic und 2 Webcams ist in Abbildung 6 gezeigt) und Vorarbeiten durchgeführt.

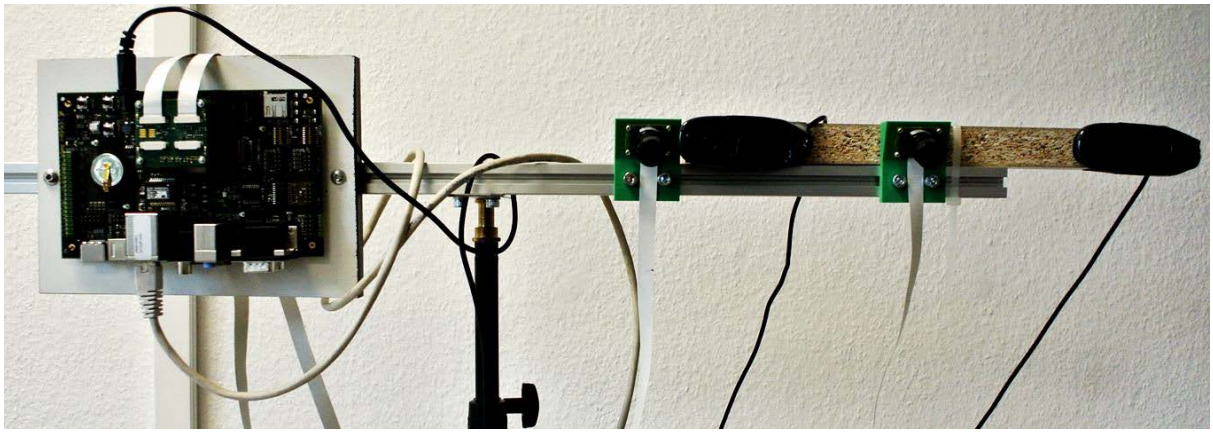


Abbildung 6 Testaufbau der Multisensorkamera von VRmagic bestehend aus einer Evaluationsplatine und zwei, über Flexkabel angebundene Sensoren, sowie zwei Webcams, welche an einer Aluminiumschiene befestigt sind. Die Evaluationsplatine ist zur Stabilität auf einer Holzplatte fixiert. Die zwei Sensoren sind auf speziell angefertigten Kunststoffstützen in einem Neigungswinkel von 20° in einem definierten Abstand und einer bestimmten Höhe angebracht. Diese Konstellation deckt einen vernünftigen Abbildungsbereich mit 3 m – 5 m Arbeitsabstand ab. Die Webcams haben denselben Abstand zueinander und dienen zum Überprüfen der Leistungsdaten der Testergebnisse. Alle Teile sind horizontal auf der Aluminiumstange beweglich.

[15] Terasic Technologies, „SoCKit User Manual,“ Terasic Technologies, 2013

In Fall von *Konstellation 1 und 2* waren die Vorarbeiten sowie die Einbindung in die Bildverarbeitungssoftware mit hohem Aufwand in Form von Zeit und Arbeit verbunden. Hierzu wurden mehrere Schritte von Installationen, Kalibrierungen unter vorheriger Erstellung von Skripten sowie der Anfertigung einer speziellen Kalibrierplatte durchgeführt. Für die Anwendung der *Konstellation 1* bedurfte es zusätzlich eine Einbindung in eine virtuelle Umgebung. Anschließend wurden die Gestenerkennungsmodule in Betrieb genommen, erste Programmierungen von Skripten zur Generierung von Rohdaten zur Berechnung von Tiefeninformationen für die Gestenerkennung wurden geschrieben und ausgeführt.

Das Ergebnis der *Konstellation 1* zeigte nur mögliche Ergebnisse unter einer Zusammenschaltung zweier Sensoren als 3D System. Umfangreiche und zum Teil sehr aufwendige Tests zeigten jedoch, dass diese Variante prinzipiell zwar möglich ist. Durch die aufwendigen Berechnungen in der Datenvorverarbeitung ist aber die Responsezeit von 6 fps zu träge und eine Realtime-Erkennung ist hiermit nicht möglich.

Die Spezifikation der *Konstellation 2* zeigte ein hervorragendes erstes Ergebnis hinsichtlich der Echtzeit-Anforderung mit 12,5 ms bei etwa 80 fps (weit unterhalb der Anforderung von 30 ms) bei der Ermittlung des optischen Flusses mit dem Lucas-Kanade Methode in 2D-Raum zum Einsatz der Gestenerkennung. Unter dem Begriff Optischer Fluss ist ein Muster der sichtbaren Bewegung von Objekten, Flächen oder Kanten in einer visuellen Szene, die durch die relative Bewegung zwischen dem Betrachter und der Szene entsteht, zu verstehen. Das Konzept des optischen Flusses wurde erstmals vom amerikanischen Psychologen James J. Gibson während des zweiten Weltkriegs eingeführt. Sein Konzept beschreibt den Einfluss der optischen Flussanalyse auf das Bewegungsverhalten von Tieren in ihrer natürlichen Umgebung. Heutzutage wird der Begriff allgemein als eine Vektorfelddarstellung auf den Bildkoordinaten verstanden. Abbildung 7 zeigt eine graphische Darstellung des optischen Flusses in Form von Bewegungsvektoren, die das Ergebnis des „scene-flow“ Programms sind, welches in HALCON HDevelop erstellt wurde.

Abbildung 7 Darstellung des optischen Flusses mit Bewegungsvektoren im Rahmen der Machbarkeitsstudie. Ein Ergebnis des „scene-flow“ Programms, welches mit HALCON HDevelop erstellt wurde. Hierzu werden laufend Bilder von einer Kamera eingezogen und der Reihe nach mit einander verglichen. Tritt eine Veränderung zwischen Bild1 (t) und Bild2 (t+1) auf, d.h. bewegt sich ein Bildpunkt, so werden anhand dieser Information die benachbarten Pixel untersucht, hieraus wird die Bewegungsrichtung des Punktes ermittelt. Daraus resultieren Linien, welche die Bewegungsrichtung und –menge beschreiben. Bewegungsvektoren lassen sich in der Abbildung durch grüne Markierungen darstellen. Die übrigen Bildpunkte, die unverändert geblieben sind, haben keine oder kleine Bewegungsmengen. Kleine Bewegungsmenge ist zu vernachlässigen und entsteht beispielsweise durch äußere Faktoren wie das Belichtungsverhältnis oder das Flimmern von Glühbirnen, die nicht von Menschenaugen wahrnehmbar sind.

Die Machbarkeitsstudie hat deutlich gezeigt, dass der hiermit verbundene enorme Programmier- und Zeitaufwand und die daraus resultierenden Entwicklungskosten im Rahmen des Projekts nicht tragbar wären, weshalb weitere Entwicklung beendet wurden. Die Verwendung eines FPGA ist jedoch in der nächsten Ausbaustufe denkbar.[16] [17][18][19][20]

[16] Eine evtl. Ergänzung können Neuronale Netze darstellen. Diese Methode ist „lernfähig“, benötigt jedoch eine sehr hohe Performance von der eingesetzten Hardware.

[17] Optic Flow, Optic Flow: About, online verfügbar unter http://opticflow.bu.edu/, zuletzt überprüft am 19.05.2015

[18][18] Horn, B. K. P., Schunck, B., Determining Optical Flow, Massachusetts Institute of Technology, Massachusetts, 1980

[19] Lucas, B., Kanade, T., An Iterative Image Registration Technique with an Application to Stereo Vision, Carnegie-Mellon University, Pittsburgh, Pennsylvania, 1981

[20] Bouguet, J., Pyramidal Implementation of the Lucas Kanade Feature Tracker Description of the Algorithm, Intel Corporation Microprocessor Research Labs

Bei der *Konstellation 3* wurde die Kinect for Windows v1 in der Entwicklungsumgebung SDK mit der microsofteigenen Gestenerkennung getestet. Sowohl der Sensor Kinect for Windows v1 als auch die Gestenerkennung von Microsoft waren ungeeignet für dieses Vorhaben. Die Einlernphase gestaltete sich äußerst aufwendig, eine Anpassung der Datenbankanbindung an andere Personen war schwierig und unflexibel. Die Gesten werden relativ gut erkannt jedoch beträgt die Responsezeit etwa 100 ms (K.O.-Kriterium).

Die *Konstellation 4* bestand aus der Kombination Kinect for Windows v2 von Microsoft sowie dem kostengünstigen Gestenerkennungsprogramm Kinetik Space Pro. Zu diesem Zweck wurde eine Lizenz für die Software Kinetic Space Pro zum Antrainieren und Erkennen von Gesten erworben. Kinetic Space Pro ist ein Programm, welches das Aufzeichnen, Anlernen und Trainieren individueller Gesten und deren Erkennung ermöglicht. Notwendig hierfür ist eine Tiefenkamera, welche die Skelettstruktur eines Menschen aus dem Tiefenbild extrahiert. Über dieses Skelett können dann im Programm nicht nur einzelne Gesten, sondern auch komplizierte, zeitlich begrenzte Bewegungsabläufe erkannt werden. Dieses Programm wird von Medienkünstler und Tänzer verwendet. [21][22] Der Machbarkeitstest hat gezeigt, dass die Hardware Kinect for Windows v2 zwar leistungsfähig ist und sich prinzipiell für den Einsatz zur Entwicklung der Gestenerkennung eignet, jedoch ebenfalls einige Schwachstellen bezüglich Zuverlässigkeit aufweist. Kinetic Space Pro hatte Potential, jedoch wäre eine geringfügige Erweiterung und Anpassung des Systems auch in Hinsicht auf die Ausgabeprotokolle notwendig. Der Kontakt wurde aufgenommen. Aufgrund der fehlenden Bereitschaft zur Kooperation wurde diese Variante verworfen. Kinetic Space Pro wurde jedoch für Vorversuche zur Ermittlung der Einflussfaktoren und Randbedingungen zur Entwicklung des Gestenkatalogs eingesetzt. Kinect for Windows v2 wurde als Hardwarekomponente gewählt.

Für die *Konstellation 5* wurden eigene Software- und Algorithmenentwicklung zur Gestenerkennung unter Anwendung von hauptsächlich zwei Methoden betrieben. Hierzu wurden zunächst die Skeletton-Daten der Kinect for Windows v2 erfasst und in die Software eingebunden, daraus wurden Raumkoordinaten ermittelt und anschließend zentral ausrichtet. Die Bewegungen konnten hierbei in Echtzeit (30fps) erkannt und bei verschiedenen Beleuchtungs- und Kontrastverhältnissen zugeordnet werden. Die Methode „Wave Detection“ wurde angewendet. Durch die ausgeführten Handbewegungen können über die Laufzeit der Bewegung die entsprechenden (x, y, z)-Verläufe der Hand ermittelt und über eine polynome Erkennung einer Funktion zugeordnet werden. Aufgrund der ermittelten Funktionsparameter ist eine Zuordnung der Geste möglich. Aufgrund starker Schwankungen der aufgezeichneten Werte (x, y, z) durch Kinect for Windows v2 war eine Glättung der Kurven notwendig, diese Glättung verringerte die Responsezeit (120 ms), wobei auch die Akkuranz der erkannten Geste stark abnahm. Die Ermittlung der Polynomen-Funktion benötigte zudem zusätzlich eine Verarbeitungsdauer bis zu 500 ms (K.O.-Kriterium). Dieser Ansatz wurde verworfen. Sehr gute Ergebnisse wurden mit der Entwicklung der eigenen Gestenerkennungssoftware nach dem Prinzip der „Markow-Kette“, auch Zustandskette genannt, erreicht. Dieser Ansatz zeigte ein gutes Potential und wurde in der weiteren Entwicklung der

[21] Wölfel, M., KINETIC SPACE, 2012. Online verfügbar unter https://www.hs-pforzheim.de/De-de/Hochschule/Konturen/Documents/2012/Aus_Forschung_und_Lehre/KineticSpace-3D-Gestenerkennung.pdf, [letzter Zugriff am 22 12 2015]

[22] http://www.hs-furtwangen.de/willkommen/aktuelles/aktuelles-einzelansicht/2256-die-interaktion-zwischen-mensch-und-maschine-prof-dr-matthias-woelfel-begeistert-in-seiner-antrittsvorlesung-an-der-fakultaet-digitale-medien.html, [letzter Zugriff am 12 01 2016]

Gestenerkennung verfolgt und vorangetrieben. Die Methode sowie das Zusammenspiel der Erkennungsmodule, deren Funktionsweise wird im Kapitel 2.3.1.2 genauer eingegangen.

Abbildung 8 und Abbildung 9 fassen die Kenndaten sowie die Ergebnisse der Machbarkeitstests zur Komponentenauswahl, gelidert nach Hard- bzw. Software zusammen.

Multisensorkamera	**Eigene Gestenerkennungs-programmierung und FPGA-Entwicklung**	**Microsoft Kinect v1**	**Microsoft Kinect v2**
• Max. 4 Kameras • Entwicklungsboard mit Schnittstellen • Parallele Bildverarbeitung • Programmierbar • Hardware teuer	• Robust • Hohe Echtzeitfähigkeit • Parallele Bildverarbeitung • Programmierbar • Hardware günstig	• Kombination aus Tiefensensor, 3D-Mikrofon, Farbkamera und Software • Datenvorverarbeitung Skeletton verfügbar • Zuverlässig bei versch. Lichtverhältnissen • Klein, kompakt und leicht • Kostengünstig (Preis ca. 150 €)	
• Bildverarbeitung Halcon	• Bildverarbeitung Halcon • C++	• SDK vorhanden • C++/C#	
➢ **Unzureichende Performance (6fps)** ➢ **Nicht praktikabel**	➢ Gute Performance ➢ **Hoher Entwicklungs-aufwand (6-stellig €)**	➢ **Unzureichende Performance**	➢ **Unzuverlässige Datenübertragung** ➢ Reduktion Datensatz

Abbildung 8 Zusammenfassung der Ergebnisse der Machbarkeitstests für Hardware (Foto links nach rechts: Multisensor-kamera von VRmagic, SoCKit Evaluation Board von Arrow Corporatio, Kinect for Windows v1 und v2 von Microsoft).

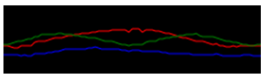
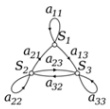
Kinect Gestenerkennung	**Wave Detection** 	**Kinetic Space Pro**	**Zustandskette (Markow-Kette)** 
• Gesten einlernen und erkennen • Einlernphase aufwendig • Datenbank ist personen-abhängig	• x,y,z-Zeitverläufe der Handbewegung werden über polynome Erkennung einer Funktion zugeordnet • Gestenerkennung über Funktionsparameter • Starke Schwankungen → Glättung notwendig	• Gesten aufnehmen, trainieren und erkennen • Personenunabhängig • Geschwindigkeits-unabhängig • Orientierungs-unabhängig • Steuerung über OSC-Protokolle	• Definition von Zuständen (Hand, Schulter, Kopf) • Übergangsbeschreibung zwischen den Zuständen durch Parameter (Zeit, Strecke) • Gestenindentifikation durch Liste von Zustandsübergängen
➢ **Unzureichende Performance (>100ms)**	➢ **Unzureichende Performance (Funktionszuordnung ca. 500ms und Glättung >120ms)**	➢ **Gesten implementiert** ➢ **Vortests** ➢ **Auf Zusammenarbeit angewiesen**	➢ **Gesten implementiert** ➢ **Performance (<100ms)** ➢ **Tests durchgeführt (>80% Erkennung)** ➢ **Optimierung läuft**

Abbildung 9 Zusammenfassung der Ergebnisse der Machbarkeitstests für Software (Foto (3. von links): Kinetic Space Pro von Mathias Wölfel).

Während der Machbarkeitstests stießen wir auf folgende Herausforderungen der Hardwarekomponenten Multisensorkamera und Kinect vor Windows v2 betreffend, welche zum Zeitverzug führten:

Multisensorkamera:

- Als unerwartete Schwierigkeit stellte sich die Implementierung der Multisensorkamera in die mitgelieferte Entwicklungsumgebung der Virtuellen Maschine heraus. Hierbei wurden, trotz Angabe von „erfolgreichem Installieren“, nicht alle Pakete/ Bibliotheken übernommen, was den Zugriff auf die Kamerasensoren verhinderte. Die Identifikation dieses Fehlers hat erhebliche Zeit gekostet.
- Halcon arbeitet in der virtuellen Maschine unter Linux nicht mit der Multisensorkamera zusammen, hier ist kein Treiber verfügbar.
- Trotz ausgewiesener Kompatibilität der Multisensorkamera zu Halcon unter Windows konnte die Multisensorkamera in die Entwicklungsumgebung von Halcon (HDevelop) zunächst nicht eingebunden werden, da bei der verwendeten Halconversion der Treiber „VrmUsbCam“ fehlte. Diese Information wurde erst durch mehrmaliges Anfragen bei Halcon und VRmagic in Erfahrung gebracht, nachträglich konnte der Treiber manuell gedownloadet und installieren werden.
- Bei der Ausführung desselben Skripts unter Windows und auf der Embedded-Kamera gab es abweichende Fehlermeldungen, dies verkomplizierte die Tests erheblich.
- Das gleichzeitige Abspeichern von Bilddaten (Bilddateien, Videodateien) der beiden Sensoren war weder über Halcon noch über die VRmagic-eigene Software möglich, die Funktionalität hierfür war nicht verfügbar.
- Aufgrund des vorigen Punktes wurde die Kalibrierung der Multisensorkamera erschwert. Ein Programm in der Halcon Entwicklungsumgebung musste extra geschrieben werden, um Bilder aufnehmen und schreiben zu können. Zudem wies das in Halcon vorhandene Musterskript zur Kalibrierung von binokularen Systemen fehlende bzw. falsche Operatoren auf, welches eine fehlerhafte Postscript-Datei der Kalibrierplatte generierte.

Kinect for Windows v2:

- Im Laufe der frühen Tests mit der Kinect for Windows v2 unter Einsatz von Kinetic Space Pro wurde eine unzuverlässige Datenübertragung der Kinect for Windows v2 festgestellt. Bei einem hohen Datendurchsatz auf unterschiedlichen Kanälen, sich rasch veränderten äußeren Zuständen oder einer Betriebsdauer über 2-3 Stunden hat sich die Sensorsoftware aufgehängt und konnte erst durch Neustart des Computers gestartet werden. Die AWO klagte ebenfalls über dieses Problem und hatte enorme Schwierigkeiten bei dem Aufzeichnen der Tests. Der Grund hierfür war die Inkompatibilität der USB 3.0 Schnittstelle. 5 von Microsoft vorgeschlagenen PCI-Karten wurden bestellt, installiert und getestet, das Ergebnis war negativ. Daraufhin wurde der Datenstrom auf das Nötigste reduziert und die Stabilität sichergestellt. Als Zwischenlösung zum Weiterführen der Tests wurde eine Asus Xtion angeschafft, diese ist von der Performance schwächer und weist einen geringeren Arbeitsbereich auf, war jedoch für die vorläufigen Tests ausreichend.

Voruntersuchungen der Einflussfaktoren zur Gestenerkennung:

Die physikalischen und räumlichen Einflussparameter wurden zum Teil bei den Untersuchungen zur Komponentenauswahl ermittelt, berechnet und festgehalten. Als Ergänzung wurden zusätzliche, ebenfalls interne Voruntersuchungen speziell in Bezug auf die Gesten durchgeführt. Hier galt die Ermittlung der Einflussfaktoren betreffend der Ausführung und der körperlichen Anstrengung sowie der technischen Randbedingungen. Zu diesem Zweck wurde die Software Kinetic Space Pro[23] zum Antrainieren und Erkennen von individuellen Gesten herangezogen. Es wurden sowohl einzelne Gesten, als auch komplexere, zeitlich begrenzte Bewegungsabläufe aufgezeichnet. Die Vordefinition einer Geste erfolgte über eine Aufnahme. Das bedeutet, dass der Nutzer die Geste ausführte und diese über den Sensor von dem Programm aufgenommen und gespeichert wurde. Anschließend wurden über verschiedene Parameter Restriktionen gestenspezifisch eingestellt. Bei einer erneuten Ausführung der Geste (Training) wurde diese vom Programm erkannt und Eigenschaften, wie Geschwindigkeit und Genauigkeit der Ausführung mittels eines Diagramms dargestellt.

Tests mit 6 Testpersonen (Alter: 20-68 J.) wurden durchgeführt. Insgesamt wurden 9 Gesten (vgl. Abbildung 10) aus dem vorläufigen Gestenkatalog bei unterschiedlichen Distanzen (1m, 2m, 3m) und Verdrehung (16 verschiedenen Winkeln: 0°, 30°, 45°, 60°, 90°, 120°, 135°, 150°, 180°, 210°, 225°, 240°, 270°, 300°,315°, 330°) zum Sensor (Kinect for Windows v2, später Asus Xtion) überprüft. Um Fehler bei der Erkennung der Gesten durch Verzerrungseffekte bedingt durch einen Neigungswinkel in der vertikalen Ebene durch den Sensor zu vermeiden, wurde der Sensor bei sämtlichen Tests in einer Arbeitshöhe von 1,53 m platziert. Somit war der Sensor frontal auf Höhe des Schulterbereichs der Testpersonen gerichtet. Zum Versuchsablauf, zunächst wurde jede Geste anhand der Programmsimulation mit den Testpersonen geübt und danach zehnmal ausgeführt. Die Häufigkeit der Erkennung einer Geste von dem Programm wurde erfasst.

Eine Gegenüberstellung der Erkennungsrate pro Gesten bei Distanz 1 m, 2 m und 3 m ist in Abbildung 10 gezeigt.

Geste\Entfernung	***1m***	***2m***	***3m***
Stopp/ Halt	76,6%	97,0%	95,0%
Achtung	75,0%	98,0%	90,0%
Kapitulation	98,3%	100,0%	100,0%
Winken	73,3%	78,0%	75,0%
Vermindern	78,3%	98,0%	100,0%
Verstärken	80,0%	92,0%	93,3%
Weiter	63,3%	87,0%	73,3%
Zurück	58,3%	68,0%	85,0%
Kehle durchsägen	85,0%	97,0%	76,6%
Durchschnitt	**75%**	**90%**	**87%**

Abbildung 10 Erkennungsrate der Gesten in unterschiedlichen Distanzen frontal zur Kamera.

[23] Programm Kinetic Space Pro von Prof. Matthias Wölfel, Dozent für Interaktive Medien in der Fakultät Digitale Medien an der Hochschule Furtwangen (HFU). Geschrieben ist die Software in der Programmiersprache Processing, die auf Java basiert.

Anhand der Tabelle ist ersichtlich, dass die Erkennungsrate der Gesten in einer Entfernung von 2 m mit durchschnittlich 90% am Höchsten ist. Bei dem Abstand von 1 m schneidet die Erkennung schwach ab. Dies lässt sich mit den technischen Eigenschaften des Sensors erklären. Der Kinect Sensor kann Objekte erst ab einer Entfernung von 0,5 m erkennen. Einige der Gesten, wie z.B. „Stopp/ Halt“, werden in Z-Richtung ausgeführt und reichen dadurch fast aus dem Sichtbereich des Sensors hinaus und können daher nicht mehr zuverlässig erkannt werden. Insgesamt scheint jedoch kein Trend ersichtlich zu sein, die Erkennungsrate bei 2 m bzw. 3 m schwankt. Weniger die Entfernung, sondern viel mehr die Qualität der Ausführung der Geste scheint hier im Vordergrund zu stehen.

Um die Erkennungsrate besser beurteilen zu können, werden die Winkel in zwei Kategorien unterteilt. Die erste Kategorie ist die „Kamera zugewandt“ (Blau), in der die Winkel von 0° bis 90° und von 300° bis 0° ausgewertet werden. Die Winkel von 120° bis 270° werden hingegen als „Kamera abgewandt“ (Rot) bezeichnet. Abbildung 11 stellt den Testaufbau grafisch dar.

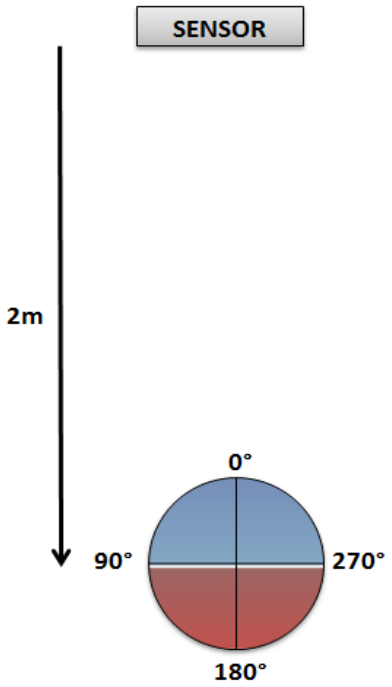


Abbildung 11 Testaufbau zur Erkennungsrate der Gesten bei 2 m Abstand.

Abbildung 12 zeigt die Erkennungsrate pro Geste in der Ansicht „Kamera zugewandt“ dar. Anschließend, in Abbildung 13 wird die Erkennungsrate in der „Kamera abgewandt“ Ansicht gezeigt.

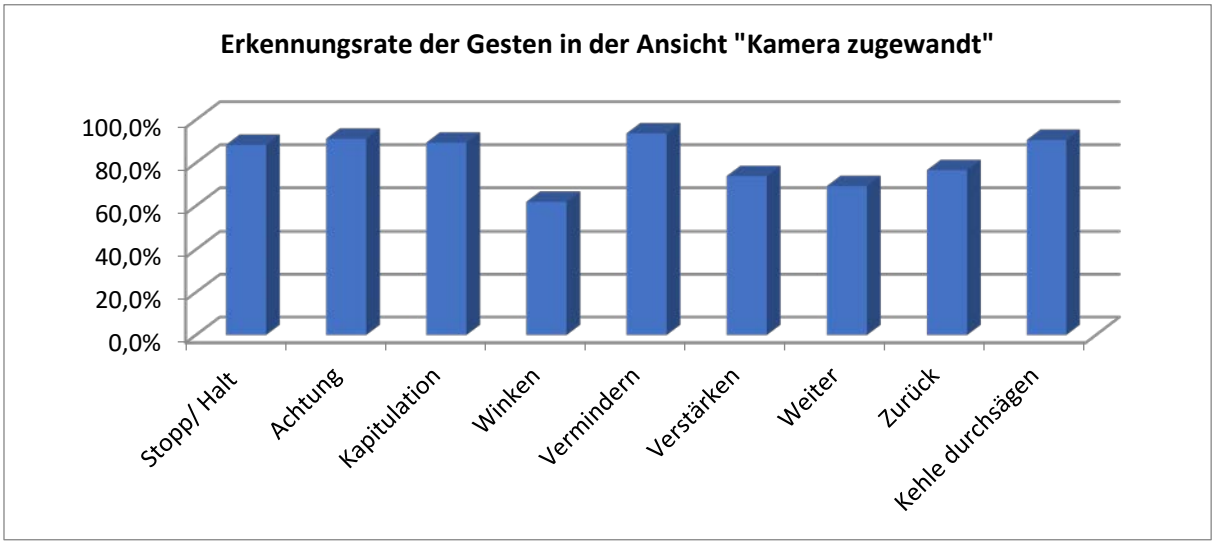


Abbildung 12 Erkennungsrate der Gesten in der Ansicht „Kamera zugewandt".

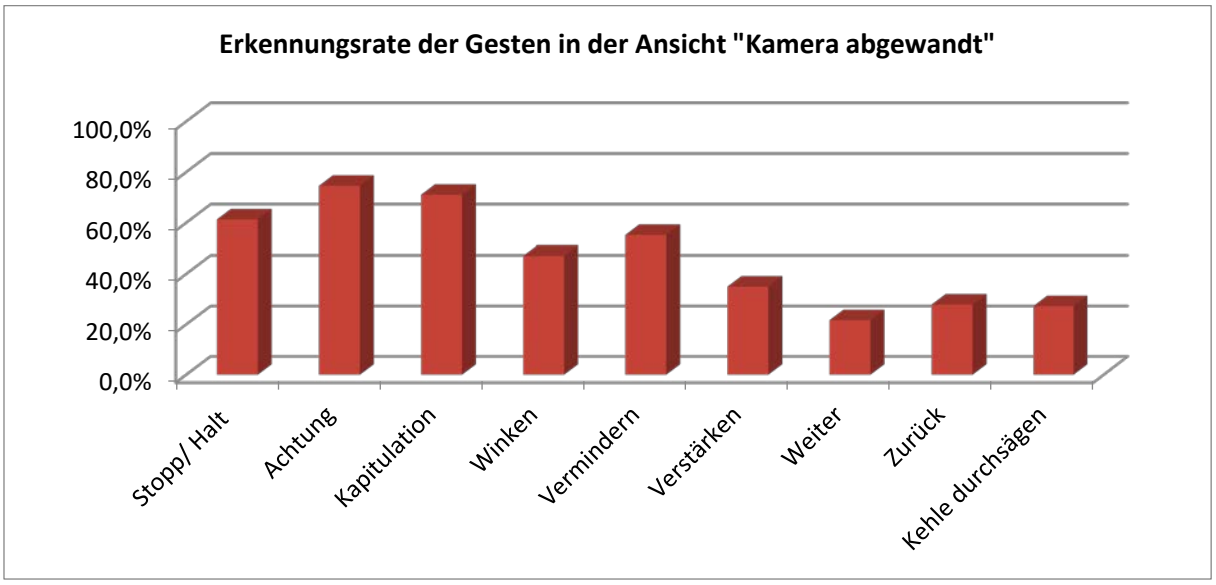


Abbildung 13 Erkennungsrate der Gesten in der Ansicht „Kamera abgewandt".

Anhand der Werte wird festgestellt, dass die Gesten in der Ansicht „Kamera zugewandt" eine durchschnittliche Erkennungsrate von 82% aufweisen, während diese bei der Ansicht „Kamera abgewandt" lediglich bei 47% liegt.

Dies ist auf verschiedene Ursachen zurückzuführen. Ein Grund ist die Technik des Kinect for Windows v2 Sensors. Der Sensor bekommt die Bewegungsinformation über die reflektierten Strahlen des Gitternetzes. Kommt es zu einer sogenannten Abschattung, so wird ein Teil des Raumes nicht ausgestrahlt, da dieser von der Testperson verdeckt wird. Sämtliche Bewegungen, welche in diesem abgeschatteten Raum durchgeführt werden, können vom Sensor entsprechend nicht erkannt werden, da keine Strahlen reflektiert werden. Eine weitere Ursache ist die Position der Testperson. Steht diese abgewandt zum Sensor, so werden einige Gesten, bei denen die Bewegung vor dem

Körper stattfindet, vom Körper der Testperson verdeckt, sodass die Bewegungen nicht erkannt werden können.

Deutlich wird dies am Beispiel der Geste „Kehle durchsägen“. Die Geste wird auf Höhe von Hals und Schultern durchgeführt, sodass hier beide Ursachen zutreffen können. Dies ist auch anhand der Werte ersichtlich. Sobald ein Winkel zum Sensor erreicht wird, der zwischen 120° und 270° liegt, weist die Erkennungsrate einen Durchschnittswert von 27% auf, während dieser in den restlichen Winkeln bei 91% liegt. Ein Beispiel anhand der Geste „Kehle durchsägen“ hierfür ist in Abbildung 14 dargestellt.

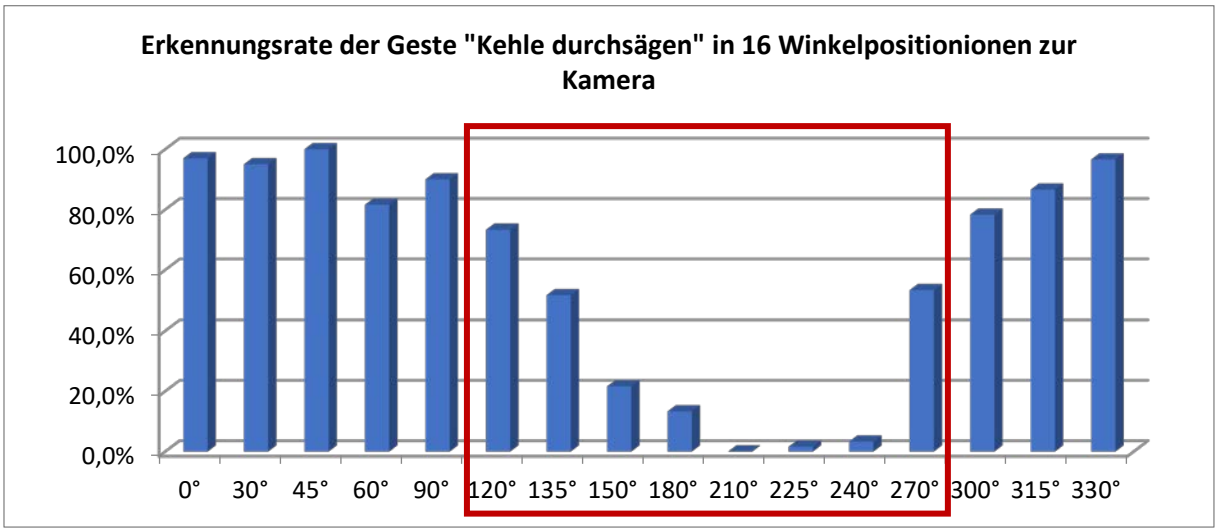


Abbildung 14 Erkennungsrate der Geste "Kehle durchsägen" bei 2m Arbeitsabstand und unterschiedlichen Verdrehungswinkel. Die Geste wird auf Höhe von Hals und Schultern durchgeführt, sodass hier beide Ursachen zutreffen können. Dies ist auch anhand der Werte ersichtlich. Sobald ein Winkel zum Sensor erreicht wird, der zwischen 120° und 270° liegt, hat die Erkennungsrate einen Durchschnittswert von 27%, während dieser in den restlichen Winkeln bei 91% liegt.

Des Weiteren haben die Tests gezeigt, dass bei dem Fokus auf den rechten Arm die Erkennungsrate zwischen 180° und 270° besondere Schwächen aufweist, da es hier zur Abschattungen und zur teilweisen bis kompletten Verdeckung der Körperteile kommt.

Eine weitere Beobachtung war bei 180°, also wenn sich die Testperson mit dem Rücken zur Kamera befindet. Hierbei wird, da auf keine Gesichtserkennung zurückgegriffen werden darf und lediglich mit Skelettdaten gearbeitet wird, automatisch die Frontalansicht der Person vom System angenommen. Z.B. wird der Arm, welcher sich aus Kamerasicht rechts befindet, als rechter Arm erkannt. Sobald sich die Testperson mit dem Rücken zur Kamera dreht, so wird der linke Arm als rechter Arm angesehen. Es gibt also keine Unterscheidung der Vorder- und Rückansicht.

Die Verwechslungswahrscheinlichkeit der jeweiligen Gesten wurde ebenfalls ermittelt und eine Matrix erstellt. Legende sowie Matrix sind in Abbildung 15 dargestellt.

	Erkannte Gesten:								
Ausgeführte Gesten:	Achtung	Achtung alternativ	Stopp/Halt	Wischen vor	Wischen zurück	Verstärken	Vermindern	Kehle durchsägen	Winken
Achtung		1	2	1	1	3	5	1	1
Achtung alternativ	1		2	1	1	1	1	1	1
Stopp/Halt	2	1		1	1	5	5	3	1
Wischen vor	1	1	1		1	1	1	4	1
Wischen zurück	1	1	2	1		1	1	5	1
Verstärken	1	1	3	1	1		5	2	1
Vermindern	1	1	4	1	1	5		2	1
Kehle durchsägen	2	1	1	1	1	3	3		1
Winken	1	1	1	1	1	2	3	5	

0-10% Wahrscheinlichkeit der Verwechslung
10-30% Wahrscheinlichkeit der Verwechslung
30-60% Wahrscheinlichkeit der Verwechslung
60-90% Wahrscheinlichkeit der Verwechslung
90-100% Wahrscheinlichkeit der Verwechslung

Abbildung 15 Matrix und Legende zur Eindeutigkeit der Gesten. Aus der Matrix lässt sich ablesen, dass „Verstärken", „Vermindern" und „Kehle durchsägen" oft erkannt wird, obwohl die Geste nicht ausgeführt wurde. Erklären lässt sich dies am Beispiel der Geste „Verstärken". Steht die Testperson in ihrer Ausgangsposition, so hängen die Arme zu beiden Seiten am Körper herab. Möchte die Testperson jetzt eine Geste durchführen, muss sie die jeweilige Startposition einnehmen und dafür den rechten Arm heben. Dies entspricht der Geste „Verstärken", die dadurch erkannt wird. Bei der Geste „Vermindern" ist es genau andersherum. Sie wird immer dann erkannt, wenn von der Endposition einer anderen Geste zurück in die Ausgangsposition gegangen wird.

Befragungen der Testpersonen zeigten, dass die untersuchten Gesten, grundsätzlich gut ausführbar sind, sie erfolgen intuitiv oder sind leicht und schnell zu erlernen und erfüllen damit die Anforderungen. Gesten bei denen die Hand über die Schulter-/ beziehungsweise die Kopfhöhe gehalten werden muss, wie zum Beispiel „Achtung" sind kritisch zu betrachten. Der Großteil der betagten Menschen haben Einschränkungen in ihrer Beweglichkeit und können diese Geste nicht mehr korrekt ausführen. Daher muss hierfür die Toleranz der Gestenerkennung vergrößert werden.

Weiterhin wurde die optimale Arbeitshöhe des Kinect Sensors für eine zuverlässige Erkennung von Gesten ermittelt. Mit Arbeitshöhe ist die Höhe gemeint, in der der Sensor vom Boden aus gemessen montiert wird. Diese ist optimal, wenn der größtmögliche Bereich des Raumes und des Nutzers im Sichtfeld des Sensors liegt. Da sämtliche Gesten mit den Armen ausgeführt werden, ist der Bereich von Boden bis Hüfthöhe für das Erkennen der Gesten irrelevant. Dieser Bereich muss demnach für den Sichtbereich nicht berücksichtigt werden. In Abbildung 16 ist dieser Bereich Rot markiert. Die Größe eines Menschen beträgt im Durchschnitt 1,71 m. Daraus resultiert eine durchschnittliche Beinlänge von ungefähr 0,86 m. Das vertikale Sichtfeld des Kinect Sensors beträgt 60°. Um ein größeres Sichtfeld zu schaffen wird die Kamera um 28° (Maximum) geneigt. Daraus ergibt sich ein vertikales Sichtfeld nach unten mit einem Winkel von 58°. Mit der Formel $G = \tan(\alpha) * A$ wird nun die optimale Arbeitshöhe berechnet. *G* entspricht hier der Entfernung, die bei mindestens 0,8 m (Mindesterkennungsabstand + Armlänge) liegen muss. Daher wird hier der Wert 0,81 m genutzt. α ist der Winkel zwischen Wand und Beginn des Sichtfeldes des Sensors. Er ergibt sich aus der Rechnung $90° - 58° = 32°$. *A* bezeichnet hier die Arbeitshöhe des Sensors. Die Formel wird nach *A* umgestellt und die Werte eingesetzt: $A = \frac{81cm}{\tan(32)} = 129cm$. Hierzu wird die Beinlänge von 0,86 m hinzuaddiert.

Als optimale Höhe folgen daraus 2150 mm. Abbildung 16 stellt die Zusammenhänge der Berechnung der optimalen Arbeitshöhe skizziert dar.

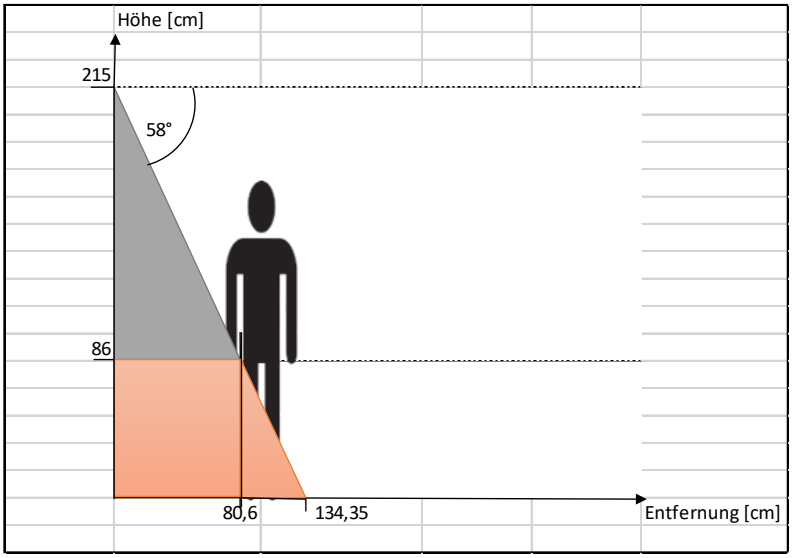


Abbildung 16 Darstellung der optimalen Arbeitshöhe.

Um die räumlichen Grenzen des Systems festlegen zu können wurden die Literaturangaben in praktischen Tests überprüft. Der Arbeitsbereich wurde ermittelt und festgelegt. Hierzu wurde der Sensor auf die Höhe 2,15 m in einem Neigungswinkel von 28° angebracht. Laut Hersteller beträgt der max. Arbeitsabstand für die Skelettongenerierung 4,5 m bei einem Neigungswinkel 0°. Die Testbedingungen waren wie folgt:

- 2 Testpersonen
- Standardbürobeleuchtung
- Frontalansicht zum Sensor (0°)
- Ablauf: Abstand (Person zum Demonstrator) wurde kontinuierlich vergrößert (0,5 m, 1 m, 2 m, 3 m, 4 m, 4,5 m, 5 m), bis die Erkennung des Skelettons durch die Kinect for Windows v2 nicht mehr möglich war.

Die Literaturangaben wurden bestätigt. Ein Minderstabstand von 0,8 m für die Erkennung einer ausgestreckten Hand nach vorne ist erforderlich. Die Skelettonerkennung funktioniert bis zu einem Abstand von 4,5 m zuverlässig, darüber hinaus nicht.

Sowohl die Testdurchführungen als auch die Auswertungen wurden dokumentiert. Die Erkenntnisse dieser Voruntersuchungen wurden bei der Erstellung des finalen Gestenkatalogs berücksichtigt. Der finale Gestenkatalog wurde erstellt und von den Projektpartnern abgesegnet.

2.3.2.2 Technologie-Entscheidung, Gestenkatalog und Funktionsprinzip der Gestenerkennung

Gestenerkennungsmodule:

Als Hardware wird die for Windows Kinect v2 von Microsoft gewählt. Die Auswahlkriterien liegen vor allen in der hohen Leistungsfähigkeit sowie der Bereitstellung von Skelettondaten aus der Vorverarbeitung der SDK. Weiterer Vorteil stellt der IR-basierte Tiefensensor dar, dies ermöglicht einen Verzicht von Live-Bilder wodurch der Schutz der Personenbezogen Daten gewährleistet werden kann. Des Weiteren stellt es die Zuverlässigkeit und Robustheit der Erkennung bei verschiedenen vor allem schwierigen Lichtverhältnissen dar. Die Tatsache, dass zudem eine Farbkamera vorhanden ist und die Möglichkeit eines Zugriffes auf Live-Bilder besteht, macht den Sensor für die Entwicklungsarbeiten attraktiv. Ebenfalls verfügt der Sonsor über einen 3D-Mikrofon, wodurch die Erfassung von Sprache und Gestik durch die Verwendung eines Devices abgebildet werden kann. Die Bauweise des Sensors ist klein, kompakt und leicht. Darüber hinaus weist der Sensor kein Kamera-typisches Aussehen auf, wodurch die Auffassung oder das Gefühl des Beobachtetwerdens reduziert und die Akzeptanz gesteigert wird. Der Stückpreis liegt zwischen 150 € und 200 €. Dies ermöglicht die Ausstattung der Wohnräume mit mehreren Devices ohne den Preis erheblich zu steigern. Wodurch das System für einen Otto Normalverbraucher zugänglich wird. Abbildung 17 stellt die Kinect für Windows v2 dar.

Abbildung 17 Kinect for Windows v2 von Microsoft (Foto: Microsoft).

Die Software zur Gestenerkennung wurde von velixX entwickelt. Die Software gliedert sich in 2 Teilbereiche. Zum einen dem Quellcode mit dem Erkennungsalgorithmus und zum anderen einer grafischen Benutzeroberfläche (im Folgenden User Interface genannt). Die Gestenerkennung ist innerhalb der Software frei konfigurierbar.

- Die Entwicklung der Software erfolgte unter Windows.
- Die eingesetzte Entwicklungsumgebung stellt die Microsoft Visual Studio Community 2013 dar.
- Es wird die Programmiersprache C#, unter dem .Net Framework Version 4.5 angewendet. Somit ist die Software ab Windows 8.1 einsatzfähig.
- Für das User Interface wird das Windows Presentation Fondation (WPF) verwendet. WPF ist ein Grafik-Framework und Teil des Net Frameworks.
- Zur Ansteuerung und Kommunikation mit dem Kinect-Sensor wird die Microsoft SDK for Kinect Version v2 verwendet.

- Für die Kommunikation mit dem externen Smart Home Control Server wird eine TCP/IP Verbindung basierend auf die Windows Sockets eingesetzt.
- Der Austausch der Daten findet mit einem auf JSON basierten Protokoll statt.
- Für die Gestenerkennung wird eine Bibliothek SEP verwendet. Diese Bibliothek beinhaltet folgende DLL-Dateien:
    - SEP.Core.Client.dll
    - SEP.Core.Controls.dll
    - SEP.Interpreter.dll
    - SEP.XamlDesigner.dll
- Für die Ansteuerung des CP210x Relais Boards wird die CP10xRuntime-Bibliothek verwendet:
    - CP210xRuntime.dll

Gestenkatalog:

Im Sinne der Simplifizierung sowohl für den Nutzer als auch zur Entlastung des Systems wurde durch velixX unter Hinzuziehen der Erfahrungen der Projektpartner sowie der zuvor beschriebenen Voruntersuchungen ein Gestenkatalog ausgearbeitet und nach den technischen Gesichtspunkten beschrieben und optimiert. Ein gemeinsamer Workshop, welcher von der TU Ilmenau ausgerichtet wurde, wurde durchgeführt und Idee für die Gesten generiert sowie konkrete Lösungsvorschläge und Entscheidungen für das weitere Vorgehen beschlossen. Abbildung 18 zeigt das Ergebnis eines Workshops zum Thema Steuerung von Hauselektronik mit den Projektpartnern.

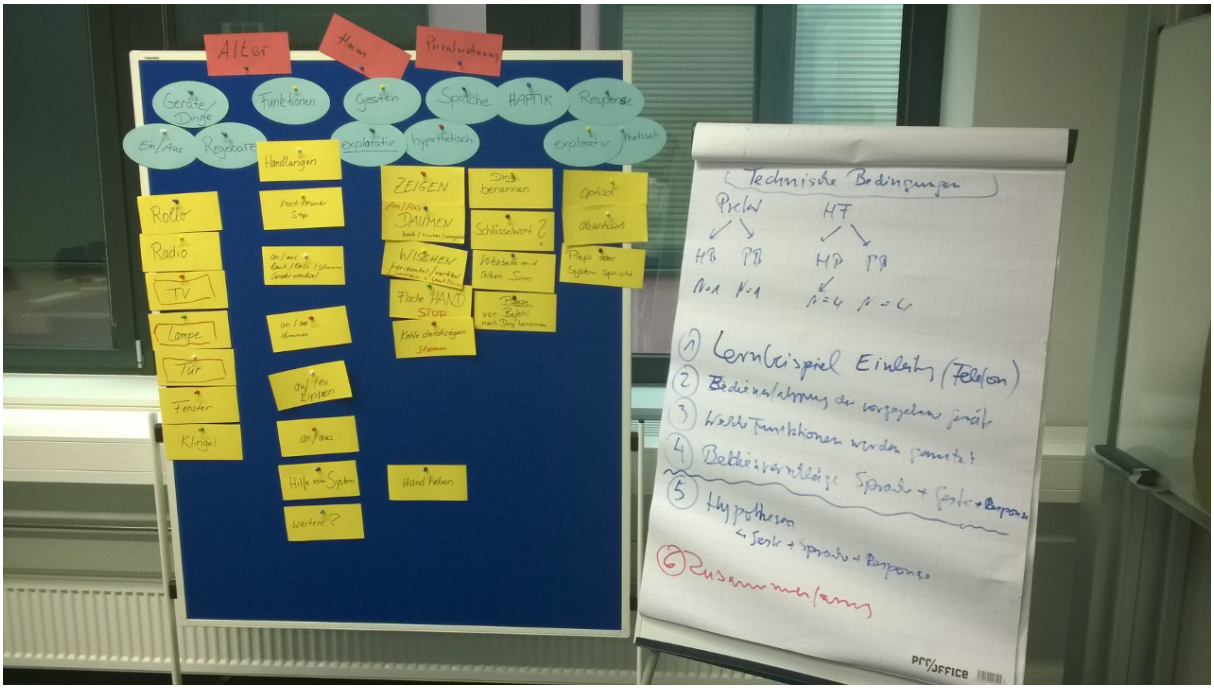


Abbildung 18 Brainstorming zum Thema Gesten zur Bedingung der Haustechnik aus einem gemeinsamen Workshop mit den Projektpartner.

Ein Beschluss umfasste die Notwendigkeit einer zusätzlichen gestenorientierten Nutzerbefragung, welcher dann durch AWO umgesetzt wurden. Unterstützung und Zusammenarbeit aller Partner wurde geleistet. Auch velixX hatte einen Anteil an Unterstützung geboten, die Versuchsbedingungen und Fragen wurden ausgearbeitet sowie die technischen Hilfsmittel bereitgestellt. Ein Programm zum Aufzeichnen der Bild-, Ton- und Skelettondaten und Analysieren der Bewegungen wurde geschrieben und zur Verfügung gestellt. Anwendung wurde supportet.

Ergebnisse der Akzeptanzuntersuchung wurden bewertet und eine Auswahl in den Gestenkatalog aufgenommen und versuchstechnisch überprüft. Ebenfalls wurden Ergebnisse aus den Nutzerbefragungen sowie zusätzlicher, durch und bei AWO durchgeführten, Untersuchungen zu den Gesten, hinzugezogen. Der finale Gestenkatalog beinhaltet 17Steuergesten[24]. Diese Gesten sind sowohl statischer als auch dynamischer Natur, und beinhalten einfache Grundbewegungen. Es ist keine Grundstellung, feste Ausgangs- oder Endpose erforderlich. Der Fokus liegt auf der rechten Hand/ dem rechten Arm, es gibt aber auch Gesten mit zwei Händen/ Armen. Zur Vereinheitlichung und Vereinfachung werden die jeweiligen Gesten den Grundfunktionen im Alltag zugeordnet, weshalb der Gestenset stark reduziert werden konnte und der Nutzer durch eine Hand voll Steuergesten (welche für jedes Objekt/Gerät gleichermaßen gültig sind) entlastet wird, in dem lediglich einer geringe Anzahl an Gesten verinnerlichen muss. Zu diesen Funktionen zählen: An, Aus, Verstärken, Vermindern, Weiter, Zurück, Auswählen, Stopp, Stumm, Info. Alternative oder zusätzliche Gesten wurden festgelegt, so dass die Auswahl an Gesten individuell auf die Bedürfnisse und Gewohnheiten des Nutzers anpassen werden können. Im Zusammenhang zu den Funktionen steht selbstverständlich die Liste der ausgewählten Endgeräte, dazu zählen Folgende:

- Licht (Deckenleuchte/ Tischlampen, mit/ ohne Dimmfunktion)
- Fernseher/ Radio
- Elektrische Fenster/ Türen/ Rollos
- Heizung

Der Nutzer kann sich somit ein „eigenes und individuelles“ Set an Steuergesten aus dem Gestenkatalog zusammenstellen.

Abbildung 19 stellt die 17 Steuergesten sowie deren Beschreibung dar.

[24] Anmerkung: Die Zeigegeste ebenso die Geste für das Blockieren von Objekten stellen Sondergesten dar. Sondergesten sind nicht Teil des Gestenkatalogs und werden gesondert betrachtet. Die Initialisierungsgeste ist ebenfalls eine Sondergeste, hierfür wurde jedoch eine Steuergeste aus dem Gestenkatalog verwendet.

	GESTURE_TAG (Gesture Key)				Geste	Beschreibung
	GESTURE_NAME	MOVING_INFO	PART_OF_THE_BODY			
			Part	LR		
1	Waving	OPENING	HAND	RIGHT	Winken	Die geöffnete rechte Hand wird abwechselnd rechts, links, rechts der rechten Schulter geschwenkt. Die Hand bewegt sich auf Höhe der Schulter, der Ellenbogen ist angewinkelt auf Brusthöhe.
2	Becking		HAND	RIGHT	Heranwinken	Die geöffnete rechte Hand wird mit dem Handrücken nach vorne von der Hüfte aufwärts zur rechten Schulter geführt. Die Geste endet links der Schulter.
3	Pushing		HAND	RIGHT	Greifen- Stoßen	Die geschlossene rechte Hand wird auf Brusthöhe, unterhalb der rechten Schulter vom Körper nach vorne gestreckt.
4	Pulling		HAND	RIGHT	Greifen -Ziehen	Die geschlossene ausgestreckte rechte Hand wird auf Brusthöhe zum Körper unterhalb der rechten Schulter gezogen
5	Swipe	UP	HAND	RIGHT	Vertikales Wischen hoch-tief/ Vermindern	Die geöffnete rechte Hand wird auf Schulterhöhe in einem Abstand von etwa 20 - 30cm vom Körper entfernt von oben nach unten (vertikal hoch-tief (1) → vermindern)/ von unten nach oben (vertikal tief-hoch (2) → verstärken)/ von links nach rechts (horizontal links-rechts (3) → zurück)/ von rechts nach links (horizontal rechts-links (4) → weiter) geführt. (1) Start: rechte Hand auf Höhe Kopf über der rechten Schulter. Ende: Hand auf Höhe rechtes Becken. (2) Start: rechte Hand auf Höhe des rechten Beckens. Ende: rechte Hand auf Höhe Kopf/ oberhalb rechte Schulter. (3) Start: rechte Hand unterhalb der linken Schulter und auf Höhe Körpermittelpunkt. Ende: rechte Hand rechts der rechten Schulter auf Höhe Körpermittelpunkt. (4) Start: rechte Hand rechts der rechten Schulter und auf Höhe Körpermittelpunkt. Ende: rechte Hand unterhalb linken Schulter auf Höhe Körpermittelpunkt.
6	Swipe	DOWN	HAND	RIGHT	Vertikales Wischen tief-hoch/ Verstärken	
7	Swipe	LEFT	HAND	RIGHT	Horizontales Wischen links-rechts/ zurück	
8	Swipe	RIGHT	HAND	RIGHT	Horizontales Wischen rechts-links/ weiter	
9	Circle	LEFT	HAND	RIGHT	Kreisen gegen Uhrzeigersinn/ weiter	Die geöffnete rechte Hand zeigt mit der Handfläche nach vorne. Der Arm ist angewinkelt und die Hand ist in einem Abstand von ca. 15cm vor der rechten Schulter entfernt. Die Hand führt vor dem Körper eine Kreisbewegung aus und endet wieder vor der rechten Schulter. (gegen Uhrzeigersinn →weiter / im Uhrzeigersinn →zurück)
10	Circle	RIGHT	HAND	RIGHT	Kreisen in Uhrzeigersinn/ zurück	
11	Attention	OPENING	HAND	RIGHT	Achtung	Die geöffnete rechte Hand wird nach oben oberhalb des Kopfes entlang der rechten Schulter geführt, die Handfläche zeigt flach nach vorne.
12	Capitulation	OPENING	HANDS		Kapitulation	Beide Arme sind angewinkelt, die Oberarme befinden sich seitlich des Körpers auf Schulterhöhe und die geöffneten Hände sind auf Kopfhöhe oberhalb der Schulter. Die Geste wird erkannt sobald die Arme unterhalb der Schultern sind.
13	Stop		HAND	RIGHT	Stopp/Halt	Die geschlossene rechte Hand wird auf Brusthöhe, unterhalb der rechten Schulter vom Körper nach vorne gestreckt und innerhalb dieser Bewegung wird die Hand geöffnet.
14	ThroatCutting		HAND	RIGHT	Kehle durchsägen	Die geöffnete rechte Hand wird abwechselnd links, rechts, links der Kehle geschwenkt. Die Hand wird abwechselnd von der linken zur rechten Schulter geführt.
15	Pushing	DOWN	HAND	RIGHT	Deckel zu	Die geöffnete rechte Hand wird ausgehend von der rechten Schulter nach vorne auf Höhe Körpermitte geführt. .
16	Warping		HAND	RIGHT	Verwerfen	Die geöffnete rechte Hand mit dem Handrücken nach vorne wird ab Brusthöhe, nah am Körper in einer Kreisbewegung über und hinter die Schulter bewegt.
17	Attention	OPENING	HAND	LEFT	LinkeHandHoch	Die geöffnete linke Hand wird nach oben oberhalb des Kopfes entlang der linken Schulter geführt, die Handfläche zeigt flach nach vorne.

Abbildung 19 Gestenkatalog für BUNDSCHUH mit 17 Steuergesten.

Funktionsprinzip der Gestenerkennung und ihre Schnittstellen:

Die Funktionsweise der velixX-Gestenerkennung ist in Abbildung 20 vereinfacht dargestellt und anschließend beschrieben.

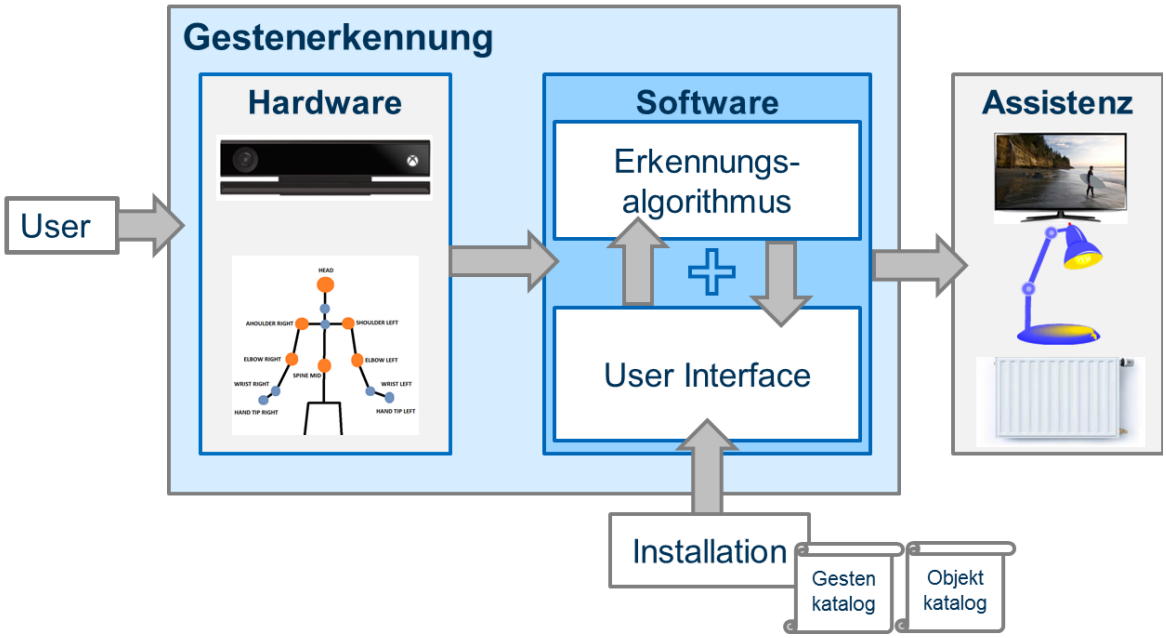


Abbildung 20 Vereinfachte Darstellung der Funktionsweise der velixX-Gestenerkennung.

Die Gestenerkennung besteht aus den zuvor beschriebenen Hard- und Softwarekomponenten. Die Software gliedert sind in die Bestandteile *Erkennungsalgorithmus* und *User Interfase*. Über das *User Interface* können sowohl Gesten und Objekte einstellt und konfiguriert als auch individuelle Anpassungen vorgenommen werden. Befindet sich eine Person vor der Kamera, wird diese vom Sensor erfasst. In der Vorverarbeitung werden die Skelettondaten permanent ermittelt und an die Software gesendet. Der *Erkennungsalgorithmus* macht einen Abgleich von den zuvor eingestellten und gespeicherten Daten oder Zuständen über das *User Interface* mit den aktuellen Daten oder Zuständen aus der Hardware. Findet eine Übereinstimmung statt, wird ein Protokoll an das Assistenzsystem gesendet. Das Assistenzsystem führt weitere Aktionen durch, welche zur Bedienung der Endgeräte führen.

Das nachfolgende Kontextdiagramm (Abbildung 21) zeigt das Hauptanwendungsszenario auf und grenzt das System von anderen Kommunikationspartnern (Nachbarsystemen und Benutzerrollen) ab und legt damit die externen Schnittstellen fest. Das hier dargestellte System wurde im Rahmen des Projekts in Form eines internen Demonstrators realisiert und von velixX für Test- und Optimierungszwecke eingesetzt.

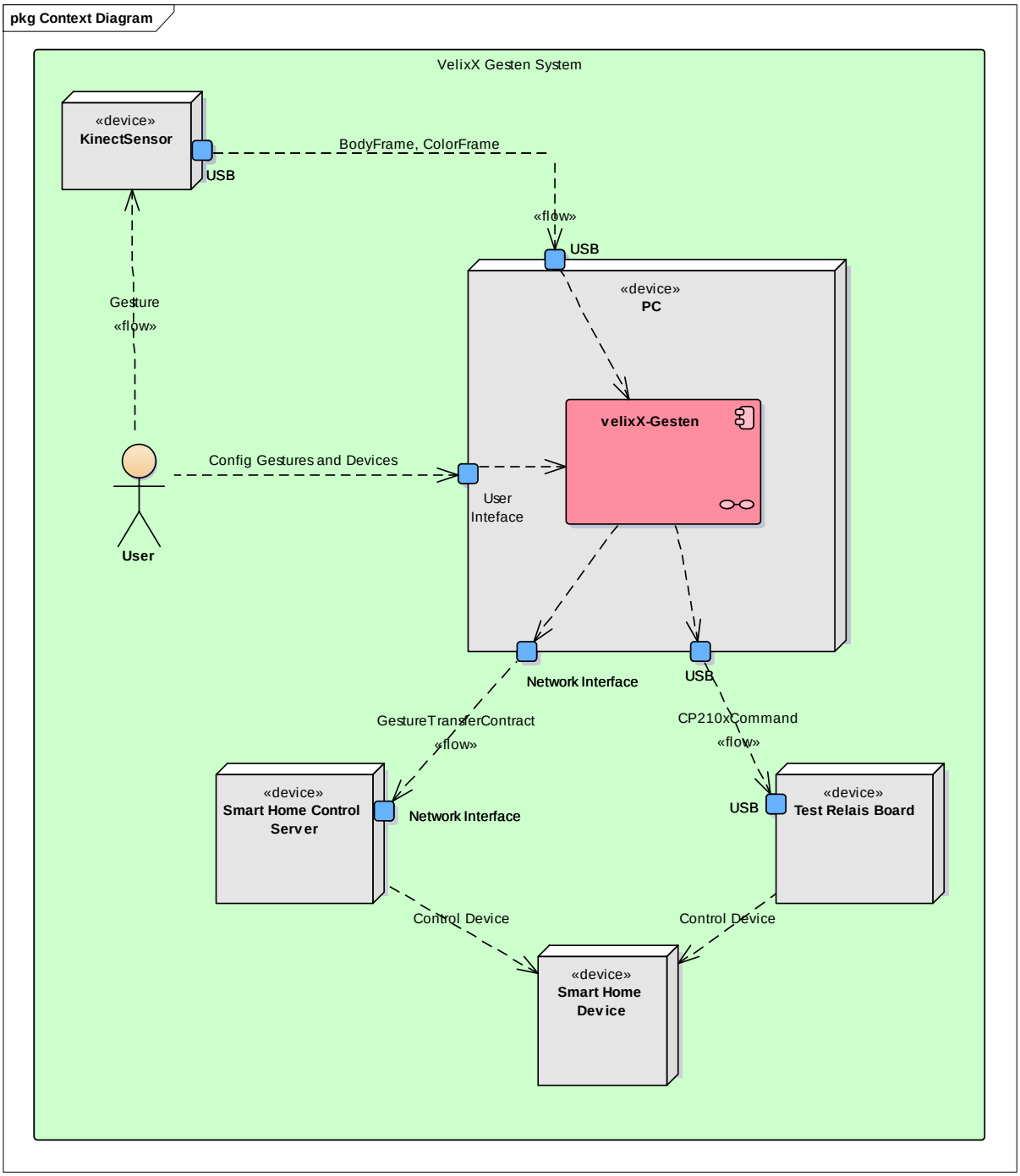


Abbildung 21 Kontextdiagramm der velixX-Gestenerkennung.

Das Hauptanwendungsszenario ist folgendermaßen definiert:

- Die Hardware Kinect for Windows v2 wird in dem zu überwachenden Raum an einer Stelle installiert, von der aus der Hauptanwesenheitsort des Nutzers abgedeckt wird. Falls es durch die raumgeometrischen Bedingungen erforderlich ist, können mehrere Sensoren installiert werden (Strategie zur Kameraanordnung siehe Kapitel 2.3.2.5).

- Über das *User Interface* werden die zuvor definierten Gesten aus dem Gestenkatalog implementiert und konfiguriert. Ggf. werden den Gesten spezielle Aktionen zugeordnet, welche bei der Detektion der Gesten ausgeführt werden sollen. Des Weiteren werden Objekte definiert, Objektpositionen werden implementiert und gesetzt.
- Die Bewegungen des Nutzers werden laufend mit einer Framerate von 30 Frames pro Sekunde erfasst, sofern diese sich im Sichtbereich der Kamera befinden, und an den PC über das *USB Interface* übertragen. Im Rahmen der Entwicklungsphase werden zwei Arten von Frames übertragen:
    - *BodyFrame*:
      Die *BodyFrame*-Datenstruktur beinhaltet grundsätzlich eine Liste von 25 Körpergelenkpunkte (Joints) mit den entsprechenden Koordinaten (siehe Abbildung 22 links). Im Zuge der Optimierung wurde die Anzahl an Körpergelenkpunkten auf 12 reduziert (vgl. Abbildung 22 rechts). Auf diese Weise konnte die Rechenzeit reduziert, gleichzeitig die Responsezeit verkürzt sowie die Erkennung von Gesten nahezu unabhängig von Pose, Sitzen oder Stehen gewährleistet.

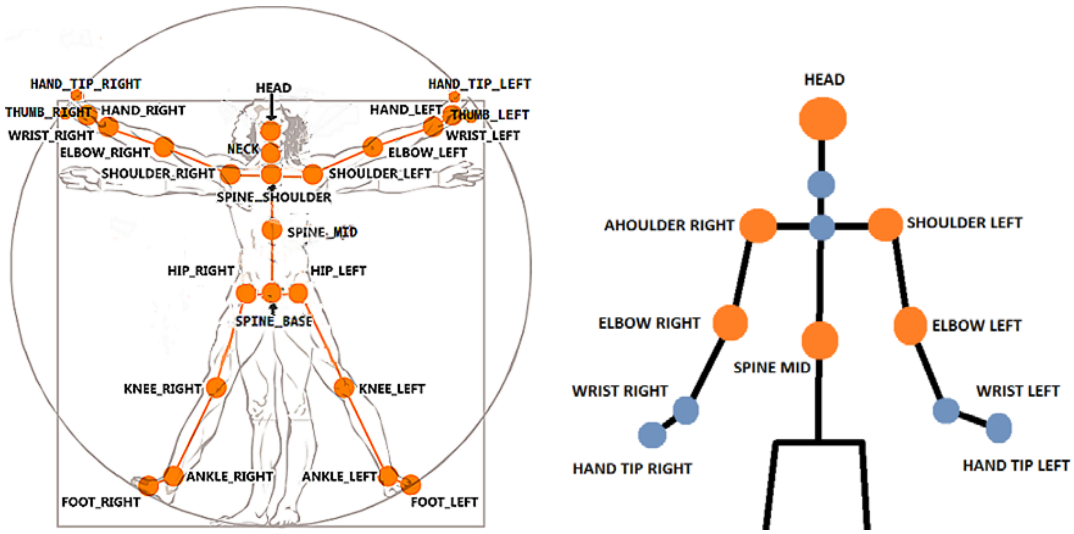


Abbildung 22 Darstellung der 25[25] bzw. der 12 Körpergelenkpunkte (Joints) des Skelettons durch Kinect v2.

    - *ColorFrame:*
      Die Daten aus dem *ColorFrame* werden für die Ausgabe des Livebildes genutzt.
- Die Anwendung *„velixX-Gesten“* läuft auf einem Windows-PC. Die Anwendung registriert sich beim *KinectSensor* (Kinect for Windows v2) als Consumer der Daten und verarbeitet sämtliche von dem Sensor übertragenen Daten in Echtzeit. Wird dabei eine Geste erkannt, wird die zuvor konfigurierte Aktion ausgeführt.
- Die eigentliche Steuerung der Geräte wird von einem Smart Home Control Server des Assistenzsystems übernommen. Der Anwendung *„velixX-Gesten“* fungiert als Client und sendet bei jeder erkannten Geste ein JSON-Telegramm an den *Control Server*. Der Server wertet die empfangenen Daten aus und entscheidet anhand dessen, welche Aktion logischerweise ausgeführt werden soll.

[25] https://msdn.microsoft.com/en-us/library/microsoft.kinect.jointtype.aspx

- Zu Testzwecken wird an den PC ein CP210x-Relais Board angeschlossen (Teilbestand des Demonstrators). Das CP210x-Relais Board wird über einen USB Port gesteuert und schaltet so die an das CP210x-Relais Board angeschlossenen Geräte/ Objekte entweder an oder aus.

Die statische Zerlegung des Systems *„velixX-Gesten“* in Bausteine (Komponenten, Klassen, Interfaces) sowie deren Beziehungen. Es enthält die Whitebox-Beschreibung des Gesamtsystems, zusammen mit den Blackbox-Beschreibungen der darin enthaltenen Bausteine. Das *„velixX-Gesten“* Softwaresystem ist in folgende Software-Bausteine aufgeteilt (Abbildung 23) und in Abbildung 24 grafisch veranschaulicht.

Bezeichnung	***Verantwortung***
MainApp/ Window	Übernimmt die Steuerfunktion der übrigen Komponenten: ▪ Initialisiert *KinectSensor*. ▪ Verantwortlich für die Schnittstelle zwischen *GestureDetector*- und der *UserInterface*-Komponente. ▪ Startet den Thread zur Abarbeitung der detektierten Gesten.
UserInterface	▪ Implementation und Konfiguration der Gesten aus dem Gestenkatalog. ▪ Implementation und Konfiguration der Objekte (zu steuernde Geräte). ▪ Darstellung von o Live-Bild mit Option zum Ausblenden. o Gestenidentifikation. o Historie-Verlauf der erkannten Gesten mit Ausgabe gemäß Schnittstellenprotokoll.
KinectSensor	Bereitstellung der Skelettondaten aus der SDK.
GestureDetector	Gestenerkennung aus den vorliegenden Sensordaten.
DetectedGestureQueue Worker	Ein Background-Thread. Verantwortlich für das Verarbeiten von detektieren Gesten: ▪ Kommunikation mit den Control Server über eine TCP/IP Verbindung und Steuerung direkt an den PC angeschlossenen Geräte.
JSONCommandTransfer	Definiert das Austauschformat mit dem Control Server basierend auf JSON.
CP210xInterface	Definiert die Schnittstelle zu dem CP20x Relais Board. Dient zur Steuerung der an einem CP210x Relais Board angeschlossenen Geräte ohne den Control Server.

Abbildung 23 Beschreibung der Bausteine der velixX-Gestenerkennung.

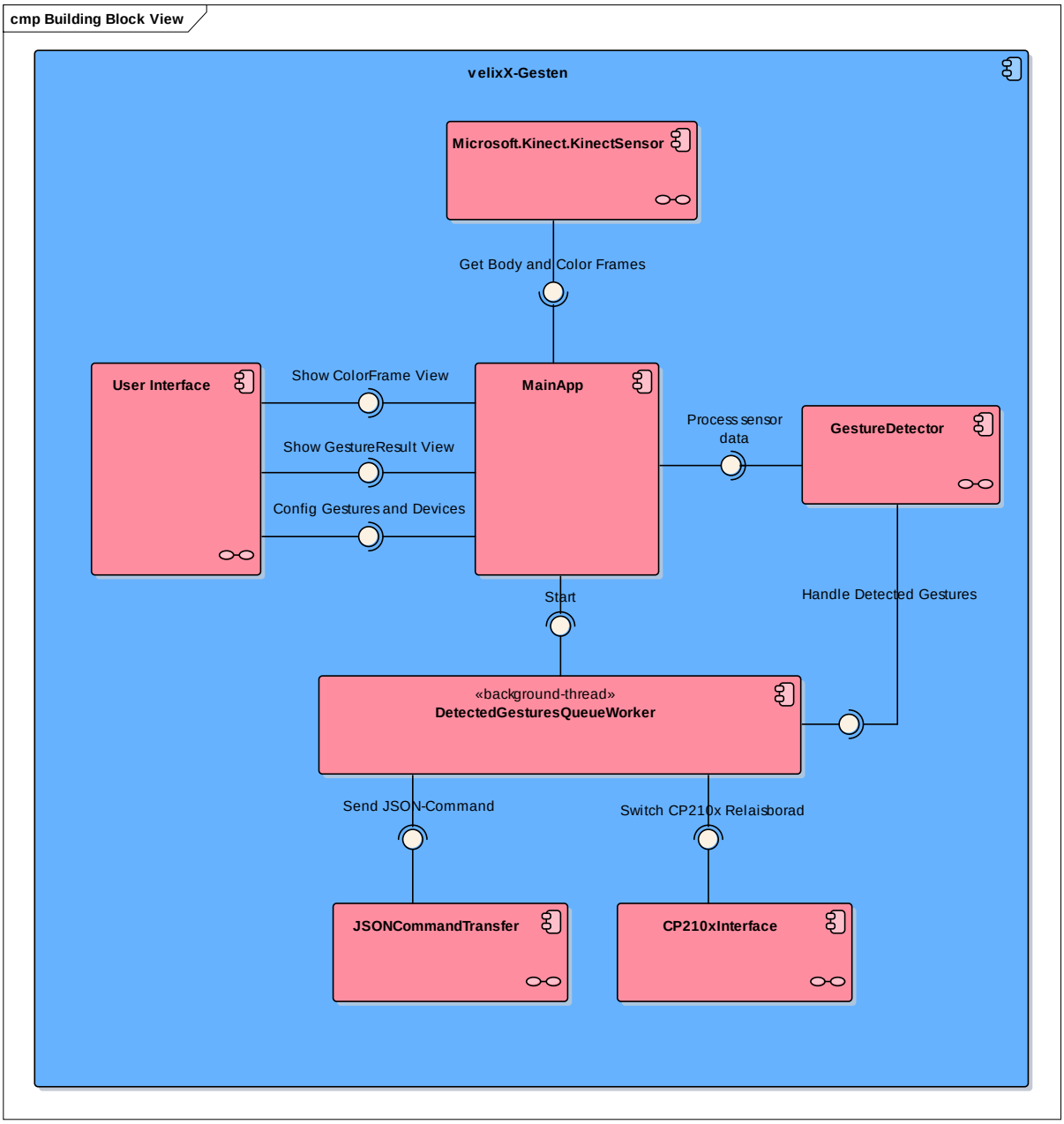


Abbildung 24 Grafische Darstellung der Software-Baustein-Ansicht der velixX-Gestenerkennung.

Im Folgenden wird auf die Funktionen der einzelnen Bausteine eingegangen.

a. *MainApp:*

Die Komponente *MainApp* übernimmt die Steuerfunktion der übrigen Komponenten. Zu deren Aufgaben gehört:

- Initialisieren des *KinectSensors* (Kinect for Windows v2)
- Starten des Threads zur Abarbeitung der detektierten Gesten.
- Weiterleiten der erfassten Sensor Daten an die *GestureDetector*-Komponente.
- Datenaustausch zwischen der *GestureDetector*- und *UserInterface*-Komponente.

b. User Interface:

Die Komponente *User Interface* stellt Funktionen zur Verfügung, die es ermöglichen, die Gesten und die zu steuernden Geräte zu implementieren und konfigurieren. Diese Funktionalität wird von der Klasse *GestureEditWindow* gekapselt. Das Fenster *GestureEditWindow* wird gestartet, wenn der „Gesten"-Button in dem *MainWindow*-Fenster gedrückt wird.

Ferner bieten die Klassen *GestureResultView* und *KinectBodyView* die Möglichkeit das von dem *KinectSensor* gelieferte Live-Bild und die Ergebnisse der Gesten-Detektion darzustellen.

Das Fenster *JointPositions* wird gestartet, wenn der „Distanzen"-Button in dem *MainWindow*-Fenster gedrückt wird. Die *JointPosition*-Klasse stellt die Distanzen der definierten Körpergelenke (Joints) zu den Gelenken der rechten und/ oder der linken Hand tabellarisch dar. Einschränkung auf offene/ geschlossene Hand.

Der Datenaustauch zwischen den *UserInterface*- Klassen und der Applikationslogik findet über die System.Windows.FrameworkElement Eigenschaft DataContext statt.

Abbildung 25 stellt das *MainWindow* des *User Interfaces* der velixX-Gestenerkennung dar.

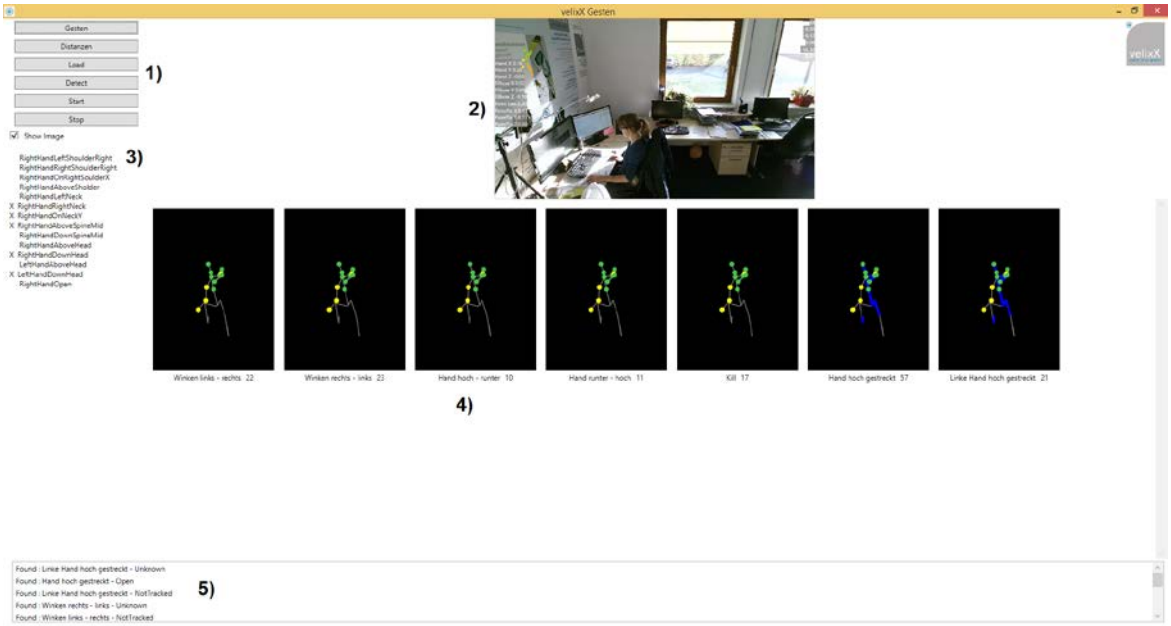


Abbildung 25 Darstellung des MainWindows des User Interfaces der velixX-Gestenerkennung. 1. Menü (bestehend aus den Unterverzeichnissen Gesten, Distanzen, Load, Detect, Start und Stop), 2. Kamerabild mit Option zum Ausblenden, 3. Gespeicherte und erkannte Joint Positions (x), 4. Aktive Gesten (Erkennungszähler), 5.Verlauf der erkannten Gesten mit Ausgabe gemäß Schnittstellenprotokoll.

Das *MainWindow* stellt die Hauptansicht dar und enthält gemäß Abbildung 25 folgende Elemente:

1) Menü, mit Unterverzeichnissen
   - Gesten (Bearbeiten von Gesten, Objekten)
   - Distanzen (Ausgabe der geforderten/ benötigten *JointPositions* an, Abbildung 26)

Abbildung 26 Ansicht des Fensters JointPositions im User Interface der velixX-Gestenerkennung.

- Load (Hinzufügen weiterer Dateien zur Analysezwecke, Abbildung 27)

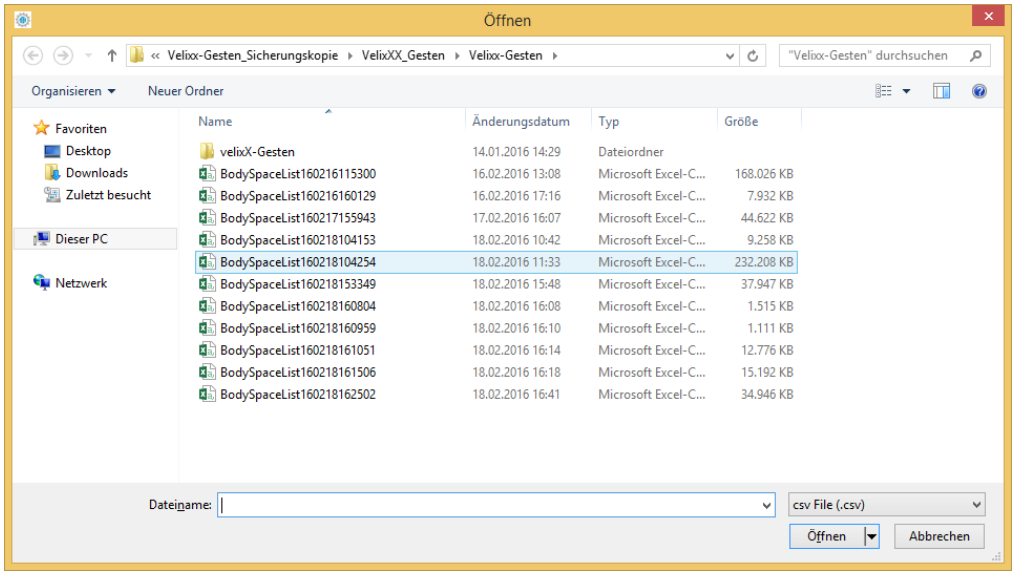


Abbildung 27 Ansicht des Unterverzeichnisses Load im User Interface der velixX-Gerstenerkennung.

- Detect (wurde zu Beginn der Algorithmenentwicklung hinzugefügt, anschließend nicht mehr benötigt)
- Start (Beginn einer Aufzeichnung)
- Stop (Ende einer Aufzeichung)

2) Ausgabe des aktuelle Kamerabildes (Live-Ansicht)
3) Ausgabe der aktuellen JointPositions. JointPositions werden definiert und beschrieben, sie entsprechen den Positionen der einzelnen Körpergelenkpunkten relativ zu anderen Gelenken, je nach Geste und wie diese intern definiert wurden. Aufgelistet werden alle gespeicherten *JointPositions*. Sobald eine dieser Konstellationen zutrifft, wird sie mit einem vorangestellten X gekennzeichnet, siehe den Auszug in Abbildung 28).

X RightHandRightNeck
X RightHandOnNeckY
X RightHandAboveSpineMid
RightHandDownSpineMid
RightHandAboveHead
X RightHandDownHead
LeftHandAboveHead
X LeftHandDownHead
RightHandOpen

Abbildung 28 Auszug der Darstellung zu b) 3. (Ausgabe der aktuellen JointPositions) aus dem User Interface der velixX-Gestenerkennung. Kennzeichnung mit X stellt eine Übereinstimmung der aktuellen Pose mit der gespeicherten Joint-Konstellation dar.

4) Ausgabe der aktivierten gespeicherten Gesten (mit Erkennungszähler). Es können beliebig viele Gesten angelegt und gespeichert werden, durch die Auswahl bzw. das Aktivieren oder Deaktivieren von Gesten im Unterverzeichnis, werden nur diejenigen im *MainWindow* angezeigt, welche aktuell betrachtet werden sollen. Bei einer größeren Anzahl von aktiven/ ausgewählten Gesten (> 10) wird das System geringfügig verlangsamt (aufgrund ansteigender Rechenleistung). Sobald eine Person von dem Sensor detektiert wird, wird die aktuelle Pose/ Körperhaltung der Person in Form von Skeletton in den Fenstern dargestellt, der Hintergrund wird ausgeblendet (schwarz). Die grünen Punkte bilden die Körpergelenkpunkte des Skelettons. Mit Hilfe von Farbcodierung werden die Identifikationen von erreichten und erkannten Anfangspositionen (Blau) sowie Endpositionen und somit die Gestendetektion (Rot) visuell sichtbar gemacht. Jedes Fenster steht für eine der gespeicherten Gesten und ist mit deren Namen sowie der Anzahl der Erkennungen gekennzeichnet. Eine Veranschaulichung zur Farbcodierung ist in Abbildung 29 am Beispiel der Gesten „Winken links – rechts“ und „Winken rechts - links“(Richtungsangabe) dargestellt. Die Bewegungen der Beispielgesten sind gegensätzlich, d.h. die Start Position für „Winken links – rechts“ stellt gleichzeitig die Ende Position für „Winken rechts – links“ dar und die Start Position für „Winken rechts – links“ bildet die Ende Position für „Winken links – rechts“. Im Beispiel erfolgt die Bewegungsrichtung ausgehend von links.

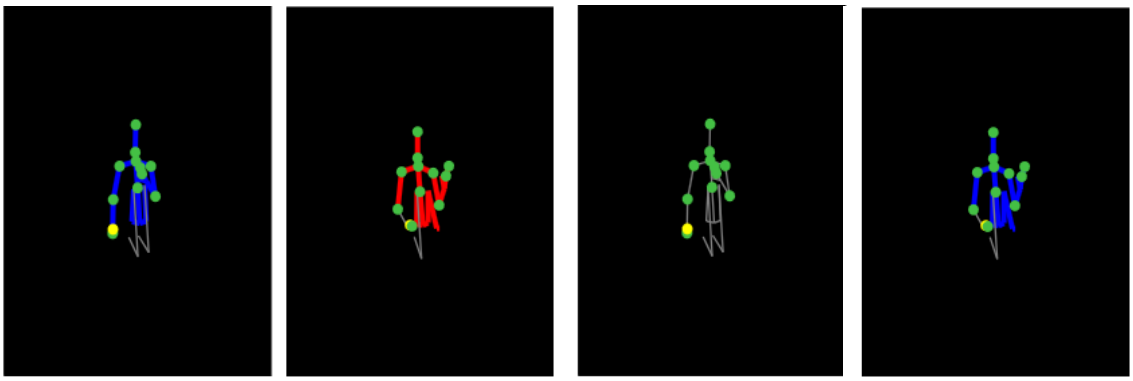


Abbildung 29 Visuelle Darstellung einer Gestenidentifikation am Beispiel der Gesten „Winken links - rechts“ und „Winken recht - links“ im User Interface der velixX-Gestenerkennung. Blau bedeutet Start Position und Rot die End Position.

5) Verlauf der erkannten Gesten mit Ausgabe gemäß Schnittstellenprotokoll.

Die nachfolgende Abbildung 30 zeigt die Whitebox-Sicht der Komponente *UserInterface*.

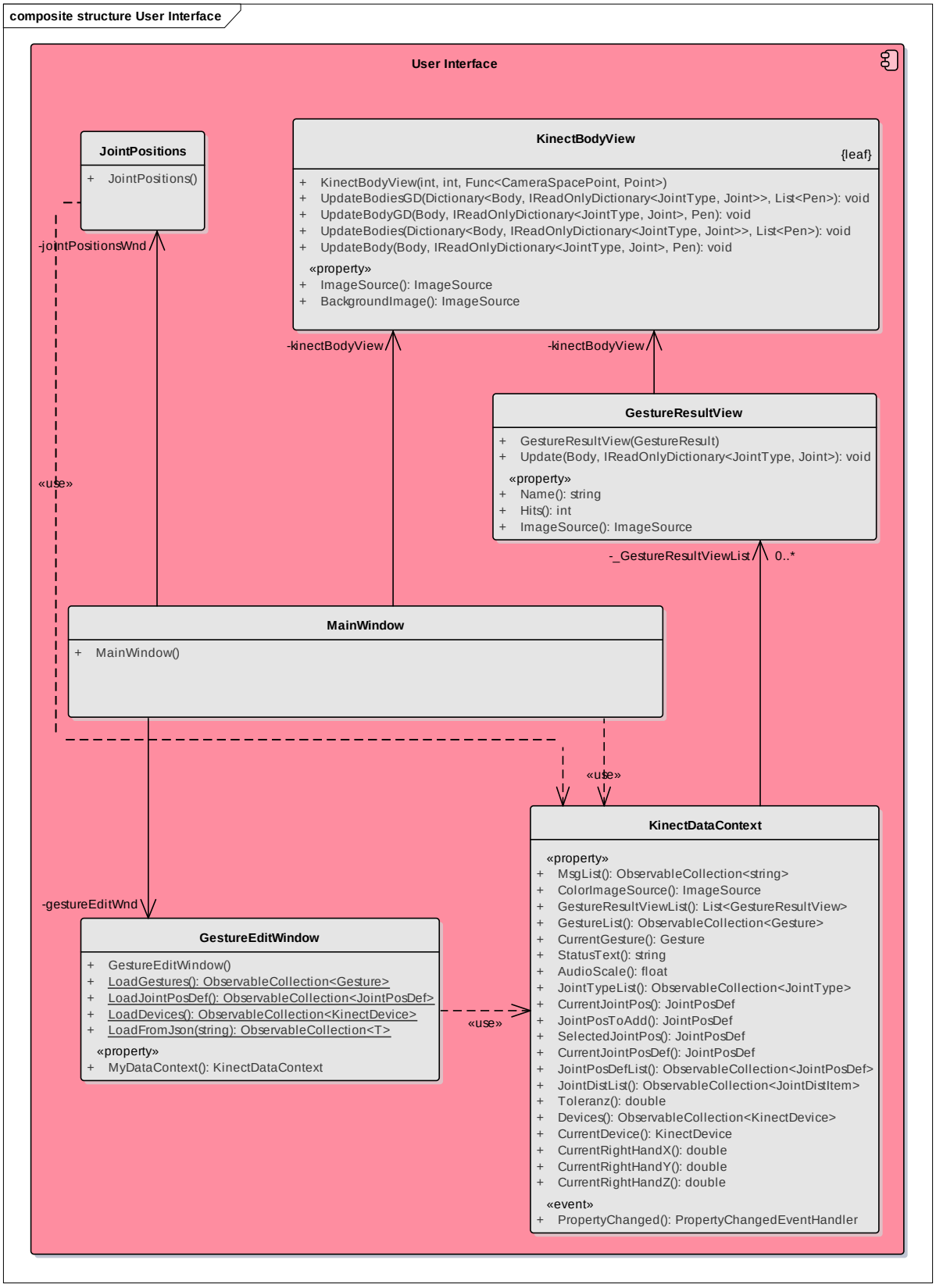


Abbildung 30 Whitebox-Ansicht des User Interface der velixX-Gestenerkennung.

c. *KinectSensor:*

Die Komponente *KinectSensor* ist Teil der Microsoft Kinect SDK und wird für die Bereitstellung der mit der Kinect-Kamera erfassten Daten an die Applikationslogik verwendet. Die Komponente *MainApp* registriert sich beim *KinectSensor* für die *BodyFrameArrived*- und *ColorFrameArrived*-Ereignisse. Wenn eines der Ereignisse auftritt, ruft der *KinectSensor* die zuvor registrierte Methode auf und übergibt die *BodyFrame*- bzw. *ColorFrame*-Daten als Parameter an die *MainApp*. Der Kinect-Sensor liefert Frames mit einer Frame-Rate von 30 Bildern pro Sekunde. Die Applikation hat für jedes Bild maximal 33 ms Verarbeitungszeit, bevor das nächste Frame eintrifft.

Die Daten aus dem *BodyFrame* werden zur Gestenerkennung verwendet. Die mit dem *ColorFrame* gelieferten Daten werden als Input für Live-Bild-Ausgabe konsumiert.

Die nachfolgende Abbildung 31 zeigt die Whitebox-Sicht der Komponente *KinectSensor*.

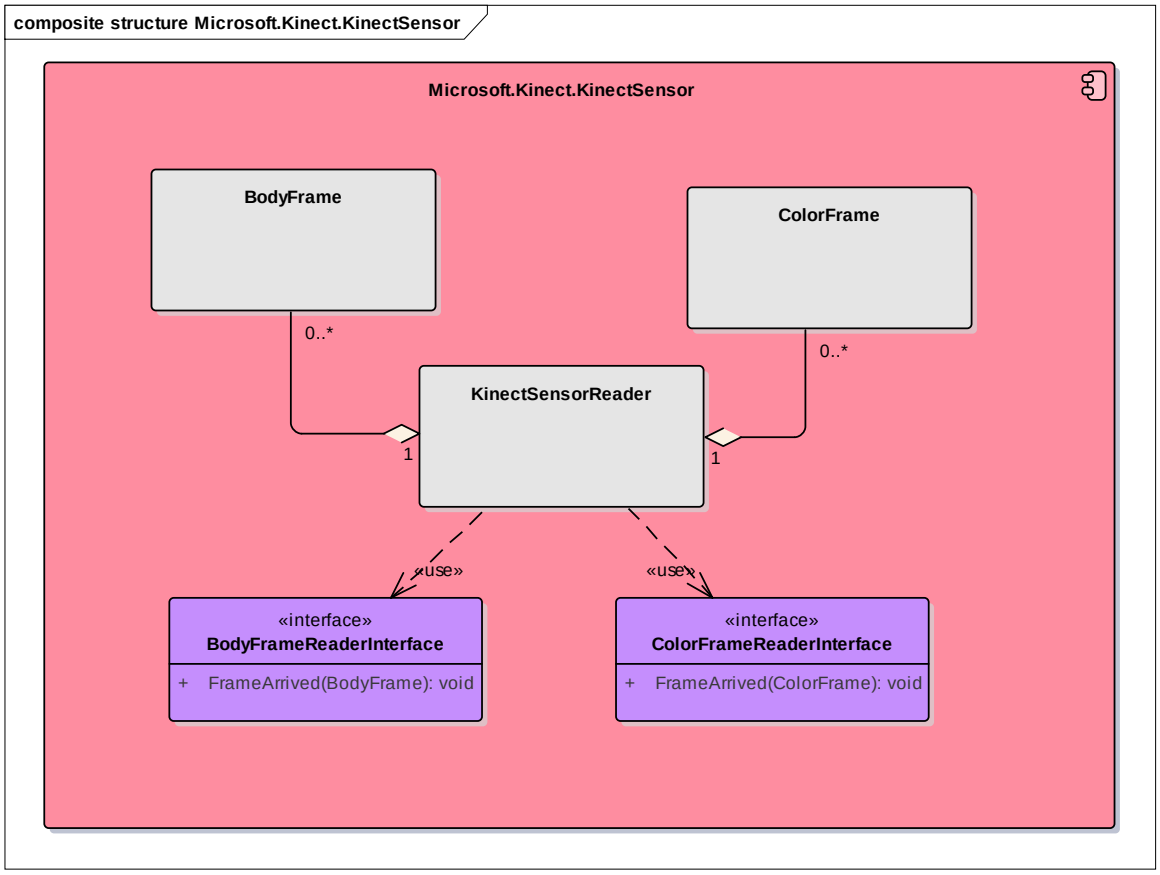


Abbildung 31 Whitebox-Ansicht für KinectSensor der velixX-Gestenerkennung.

d. GestureDetector:

Die Komponente *GestureDetector* ist die wichtigste Komponente der *velixX-Gesten*-Anwendung. Die *GestureDetector*-Komponente umfasst den Algorithmus der Gestenerkennung aus den erfassten Sensordaten.

Das Grundprinzip des Erkennungsalgorithmus basiert auf der sogenannten Markow-Kette[26] nach Andrei Andrejewitsch Markow, auch Zustandskette genannt. Vereinfachtes Beispiel zur Veranschaulichung des Prinzips zur Gestenerkennung ist in Abbildung 32 dargestellt und anschließend beschrieben.

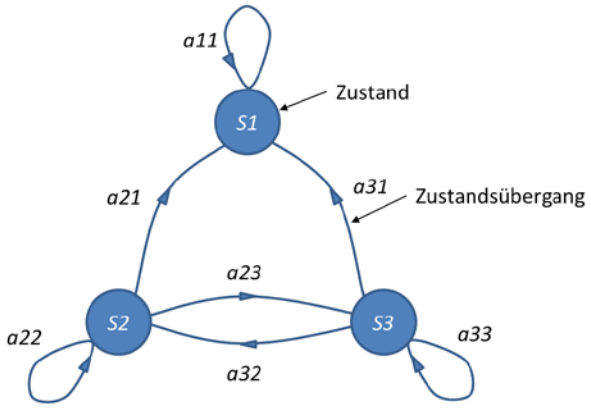


Abbildung 32 Prinzip der Methode der Markow-Kette mit drei Zuständen und unvollständigen möglichen Zustands-übergängen

Es werden Zustände (*S*) definiert und der Übergang von einem in einen anderen Zustand durch Parameter (*a*) beschrieben. In dem konkreten Fall der Gestenerkennung werden bestimmte Zustände, wie z.B. der Position der Hand relativ zum Kopf oder Schulter (gestenabhängig), definiert und die Übergänge durch Parameter wie Zeit und/oder Strecke sowie Restriktionen wie z.B. Toleranzfelder oder Zeitüberschreitung beschrieben. Durch eine Liste von Zustandsübergangen lässt sich eine Geste identifizieren. Im Rahmen des Projekts wurde die rechte Hand als zentrales Element bestimmt und darauf ausgelegt und optimiert. Die Methode lässt sich jedoch einfach auf jeden beliebigen Joint anwenden und auf den Nutzer anpassen.

Die Abbildung 33 zeigt die Whitebox-Sicht der Komponente *GestureDetector*.

[26] Juan, L., Markow-Ketten, Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg, online verfügbar unter https://www.mathi.uni-heidelberg.de/~thaeter/stochastik08/Markow-Ketten.pdf, Ausarbeitung zum Vortrag im Blockseminar Stochastik (Wintersemester 2008/09, Leitung PD Dr. Gudrun Thäter

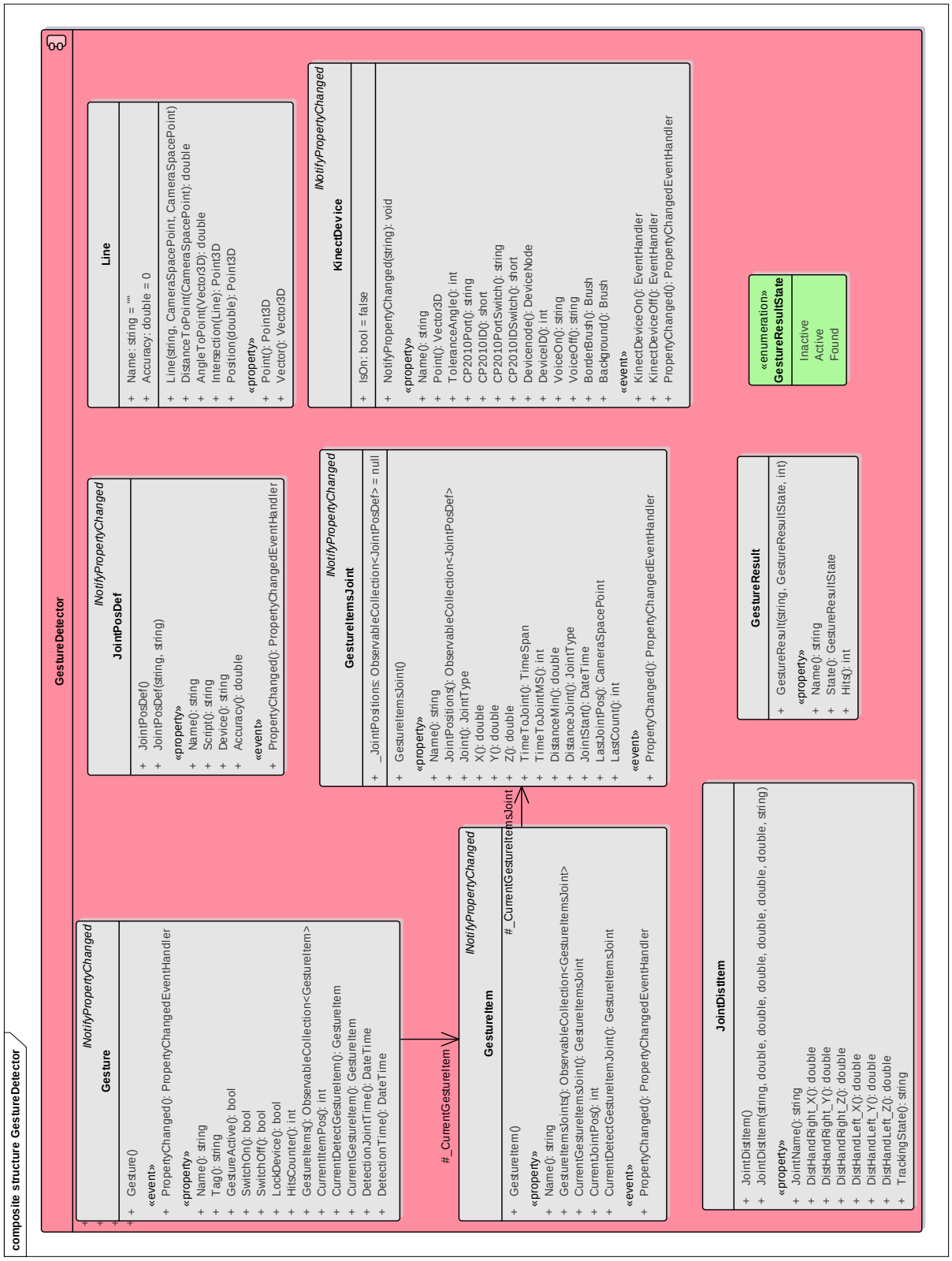


Abbildung 33 Whitebox-Ansicht GestureDetector der velixX-Gestenerkennung.

e. *Gesten-Definition (allgemein):*
Eine Geste ist definiert als eine Liste von Gesten-Items. Ein Gesten-Item wird seinerseits durch eine Liste der Joint-Positionen *JointPositions* beschrieben. Es gibt eine konfigurierbare Liste von Definitionen, welche festlegt, wann eine bestimmte Joint-Position erreicht wurde. Jede Joint-Position-Definition ist durch eine Formel bzw. Script beschrieben.

Zum Beispiel ist die Definition von der Joint-Position *„RightHandLeftNeck“* durch das folgende Skript beschrieben:

RightHandLeftNeck = HandRight.X < Neck.X

In Klartext bedeutet dies: Die Position *„RightHandLeftNeck“ ist gegeben*, wenn die rechte Hand sich links vom Nacken befindet, das bedeutet mathematisch, wenn die X-Koordinate des Joints rechten Hand kleiner als die X-Koordinate des Joints Nacken ist.

Eine Geste bildet somit eine Sequenz von Joint-Positionen, die der Nutzer vor der Kamera auszuführen hat, bevor die Geste als detektiert gilt. Hinzu kommen zwei weitere Faktoren: Zeit und Distanz. Diese zwei Größen sind pro Geste konfigurierbar und legen fest, mit welcher Geschwindigkeit der Positionen-Wechsel stattfinden soll, um eine Abfolge von Bewegungen zu einer Geste konkret zuordnen zu können.

Zu Demonstrations- und Testzwecke kann jeder Geste eine der folgenden Aktionen zugeordnet werden:

- Gerät anschalten
- Gerät ausschalten
- Gerät fixieren. Das Gerät ist für eine bestimmte Zeitspanne für die Gestensteuerung aktiviert.

Zusätzlich kann jede Geste individuell aktiviert bzw. deaktiviert werden. Eine deaktivierte Geste wird bei Gestenerkennung nicht mehr berücksichtigt.

f. *Sonder-Gesten:*
   a. *PointDevice (PTDEV, auch Zeigegeste genannt):*
   Um ein Gerät auszuwählen, zeigt der Benutzer mit der geschlossenen rechten Hand auf das Gerät/ Objekt seiner Wahl. Um zu ermitteln, auf welches Gerät gerade gezeigt wird, werden zwei Vektoren gebildet und ihr Schnitt-Winkel berechnet. Ein Vektor verläuft durch das Gelenk der rechten Hand, der andere Vektor geht durch den tatsächlichen Punkt, an dem sich das Gerät befindet. Dieser Punkt wird bei der Konfiguration ermittelt und gespeichert. Die zwei Vektoren haben einen Schnittpunkt an dem Kopf des Nutzers (Head Joint). Zu jedem Gerät kann ein Toleranzwinkel konfiguriert werden. Ist der Wert des berechneten Winkels kleiner als der Toleranzwinkel, gilt das Gerät als ausgewählt. „Befinden“ sich mehrere Geräte im gültigen Bereich, wird das mit dem kleinsten Winkel genommen. Eine Voraussetzung hierzu ist, dass ein Objekt zuvor definiert und die Objektposition gesetzt wurde.
   b. *LockDevice:*
   Zum Fixieren/ Blockieren eines, über die Sonder-Geste PointDevice gewählten, Objekts wird die geschlossene Hand im Anschluss der oben beschriebenen Aktion geöffnet und wieder geschlossen. Das Objekt ist für eine definierte Zeitspanne für die Gestensteuerung aktiv und während der Sperre können keine weiteren Objekte ausgewählt werden. Die Zeitspanne ist ein individualisierbarer Parameter (im Rahmen der Tests: 5sec). Eine Voraussetzung hierzu ist, dass ein Objekt zuvor definiert und die Objektposition gesetzt wurde.

c. *HoldBody:*
Die Kinect-Kamera kann bis zu 6 Personen erfassen. Die *velixX-Gesten* Anwendung ist so ausgelegt, das Befehle lediglich von einem Nutzer entgegengenommen werde. Die *HoldBody*-Geste dient dazu, dass sich eine Person bei dem Kinect-Sensor „anmelden“ kann. Alle weiteren Personen werden solange ignoriert, bis die angemeldete Person sich erneut mit der gleichen Geste abmeldet. Befindet sich lediglich eine Person vor der Kamera, dann gilt sie sofort als angemeldet. Verlässt die angemeldete Person den Sichtbereich der Kamera, wird sie sofort abgemeldet.

Die *HoldBody*-Geste wird mit Hilfe des Steuertags aktiviert. Wird eine der Gesten der „HoldBody“-Tag zugeordnet, wird der Benutzer nach dem Ausführen dieser Geste aktiviert bzw. deaktiviert. Hierfür wird eine Geste aus dem Set an Steuergesten aus dem Gestenkatalog verwendet, und wird im Folgenden aus Initialisierungsgeste bezeichnet.

g. *Gesten- und Objektkonfiguration:*
Im das Unterverzeichnis *Gesten* des *User Interface* können Gesten unter *Gestures* implementiert und konfiguriert werden (Abbildung 34, Abbildung 35). Zuvor müssen jedoch die Beziehungen der benötigten Körpergelenkpunkte unter *JointPositions* definiert werden (Abbildung 36). Die Gesten und *JointPosition* Definition erfolgt wie eingangs beschrieben. Des Weiteren können unter *Devices* die zu bedienende Geräte/ Objekte definiert werden (Abbildung 37).

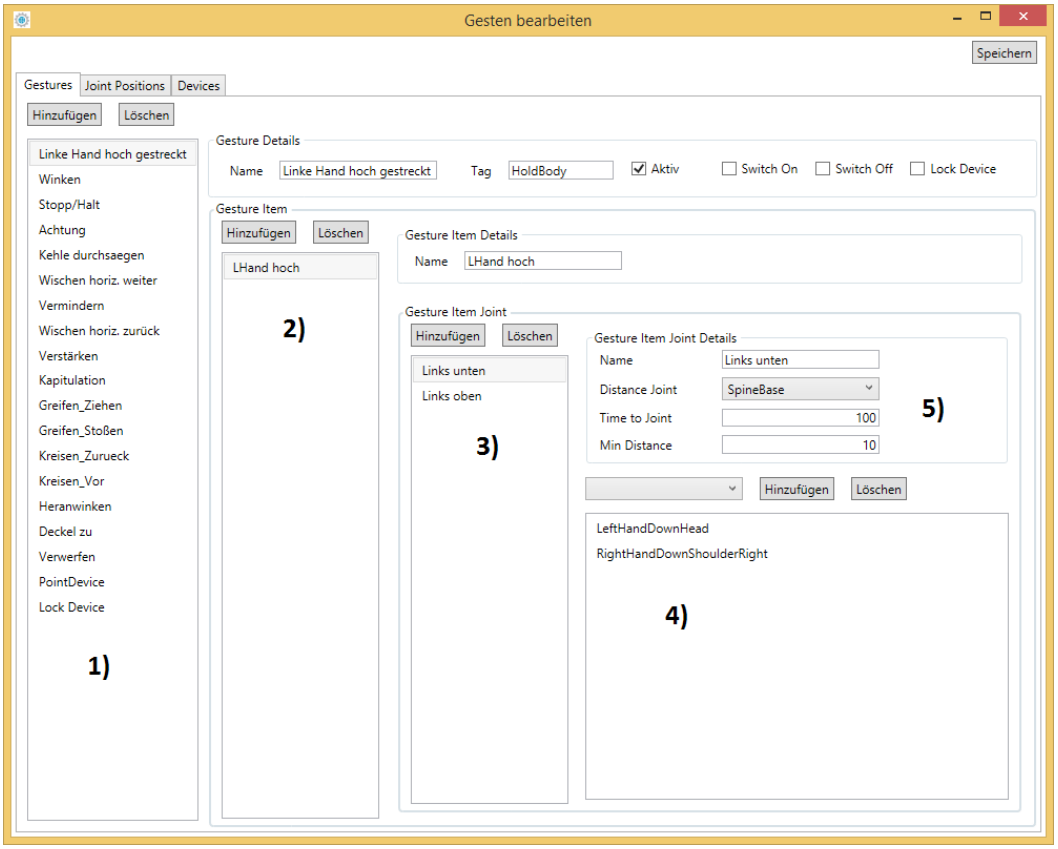


Abbildung 34 Gesten bearbeiten im User Interface der velixX-Gestenerkennung. 1) sämtliche gespeicherten Gesten, 2) Grundbeschreibung der Geste, 3) Start- und Endposition einer Geste (und gegebenenfalls weitere Hilfspunkte), 4) Joint Positions, welche die genaueren Positionen der Bewegung/ Geste beschreiben, 5) Daten der Geste (Name, Punkt von dem die Entfernung gemessen wird, Höchstdauer der Geste, Mindestdistanz, die bewegt werden muss).

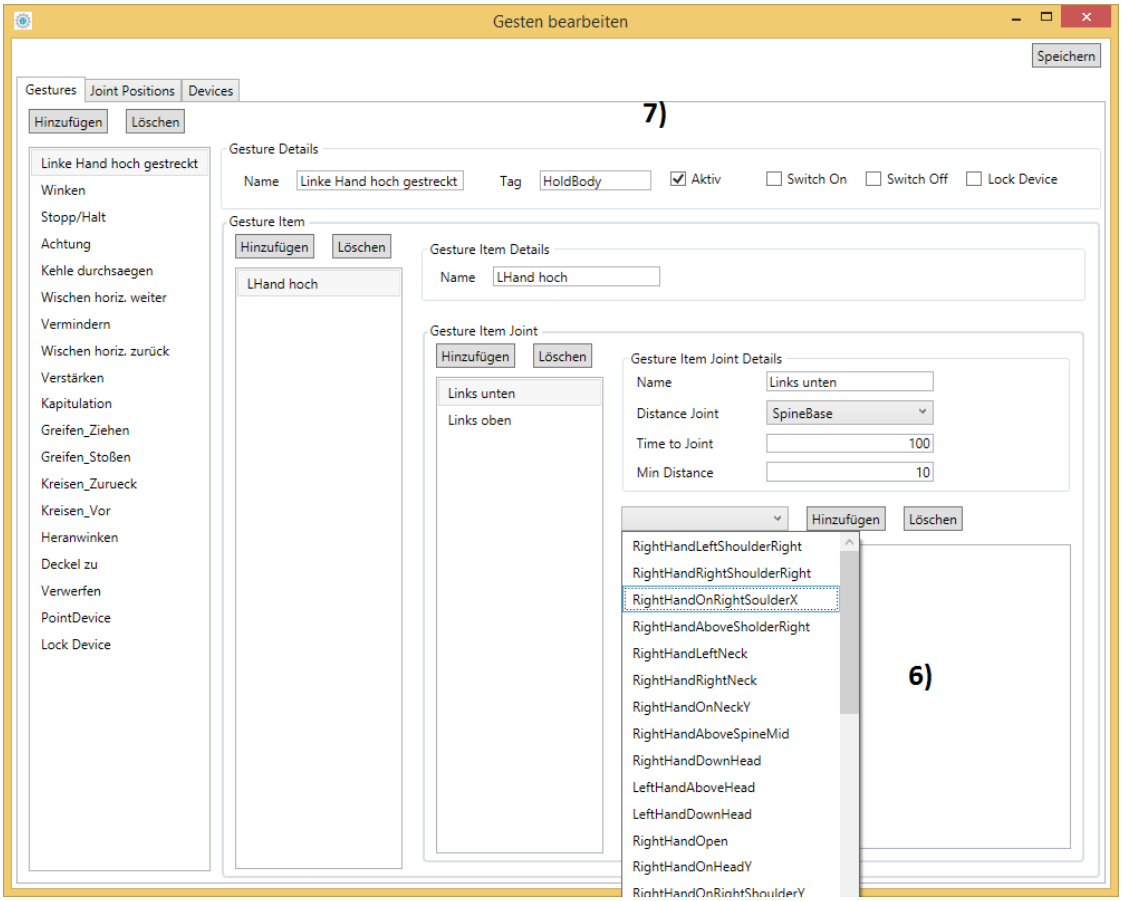


Abbildung 35 Gesten bearbeiten im User Interface der velixX-Gestenerkennung. 6) Auswählen der zuvor definierten Joint Positions der Bewegung, 7) weitere Beschreibung der Geste, sprich der Name, Tag (engl. Def. oder Aufgabe), Zustandsbeschreibung (aktiv, Lock Device, etc.).

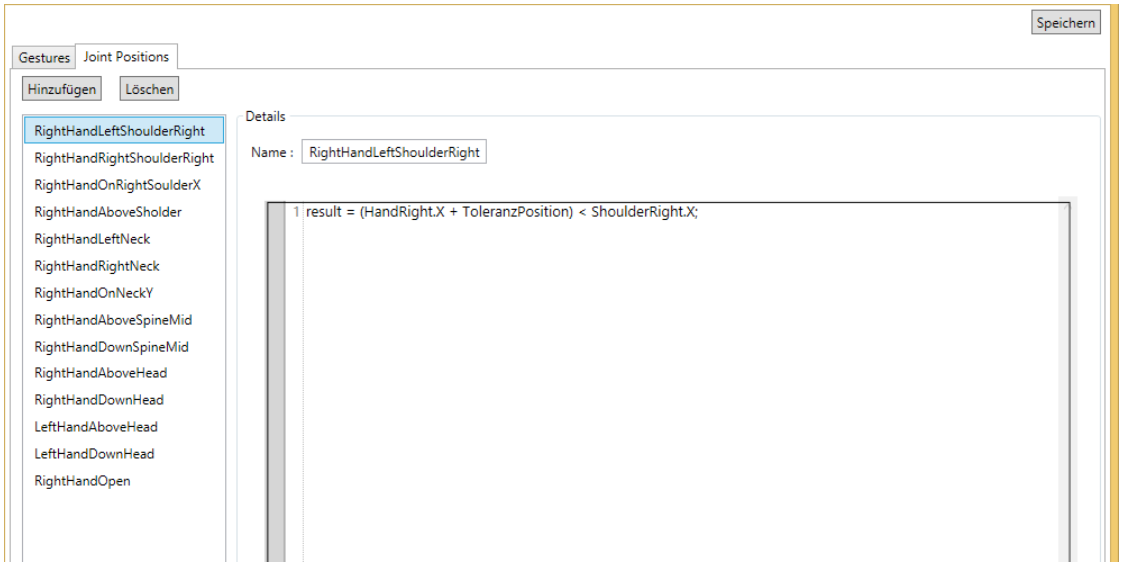


Abbildung 36 Einstellen der JointPositions im User Interface der velixX-Gestenerkennung.

Es wurde eine Methode entwickelt, um die Koordinaten der Geräte/ Objekte einfach erfassen und definieren zu können. Hierzu fundiert die rechte Hand als Sensor. Die Voraussetzung ist, dass die rechte Hand im Sichtbereich der Kamera ist. Durch das Auflegen oder in die Nähebringen (falls Gerät außerhalb des Sichtbereichs) der rechten Hand auf das bzw. zu dem Objektes werden die Koordinaten der rechten Hand als die Koordinaten des Objektes übernommen, durch Anpassungen in x,y,z-Richtung können diese korrigiert und abschließend gespeichert werden. Die Anpassung oder Verschiebung erlaubt eine Geräteposition auch außerhalb des Sichtbereichs des Sensors.

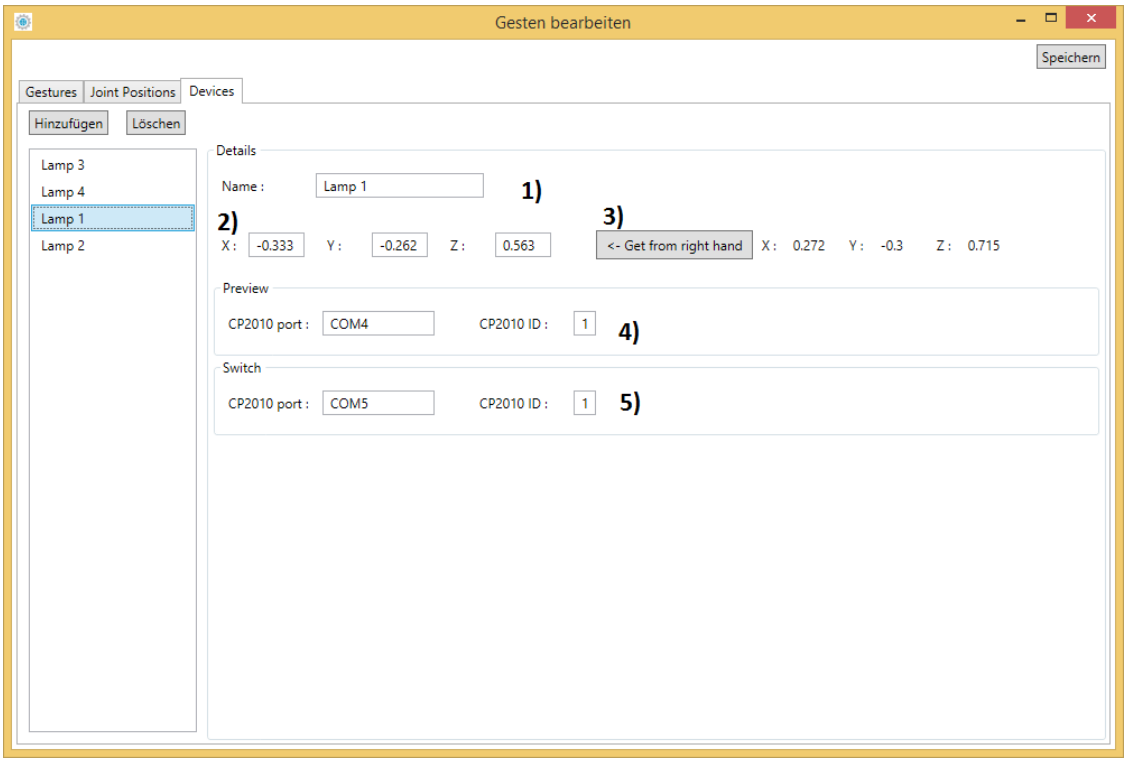


Abbildung 37 Objekte definieren im User Interface der velixX-Gestenerkennung. 1) Bezeichnung, 2) Positionsbestimmung des Objektes in Meter, 3) Abstand und Verhältnis des Objektes zur rechten Hand, 4) Schnittstellen des Objektes mit LED, 5) Schnittstelle des Objektes mit Schalter.

Normierung der Koordinaten:

Die Koordinaten-Normierung dient dazu, den Gestenerkennungsalgorithmus zu vereinfachen und damit die Erkennungsrate zu steigern, indem die Input-Daten von äußeren Einfluss-Faktoren „bereinigt“ werden. Diese Faktoren sind z.B. der Neigungswinkel des Kinect-Sensors und der Verdrehwinkel, unter dem der Nutzer vor dem Sensor steht.

- Um dem Neigungswinkel des Sensors zu kompensieren, werden alle Punkte um die X-Achse um diesen Winkel rotiert.
- Anschließend wird der Winkel zwischen der Geraden, die durch die Punkte (rechte Schulter, linke Schulter) verläuft, und der X-Achse berechnet.
- Im nächsten Schritt werden alle Punkte um die Y-Achse um zuvor berechneten Winkel rotiert.

- Zum Schluss werden alle Punkte des erfassten Körpers an den Ursprung des Koordinatensystems transformiert, sodass die Wirbelsäule genau an der Y-Achse aufliegt.
- Die Normierung erfolgt bis zu einem Verdrehungswinkel des Nutzers von ± 60° zur Kamera.

Die normierten Daten werden an den Gestenerkennungsalgorithmus übergeben.

5. *DetectedGestureQueueWorker:*
   Die Komponente *DetectedGestureQueueWorker* (Abbildung 38) ist ein Background-Thread. Die Komponente ist für das Verarbeiten von detektieren Gesten verantwortlich. Dies umfasst folgende Aufgaben:

   - Bereitstellen einer Aufarbeitungsliste für die zuvor detektierten Gesten.
   - Erstellen der JSON-Telegramme anhand der vorliegenden Daten für den detektierten Gestenbefehl.
   - Senden dieser Telegramme an den *Control Server* über eine TCP/IP Verbindung und
   - Steuerung der direkt an den PC angeschlossenen Geräte über das CP210xInterface.

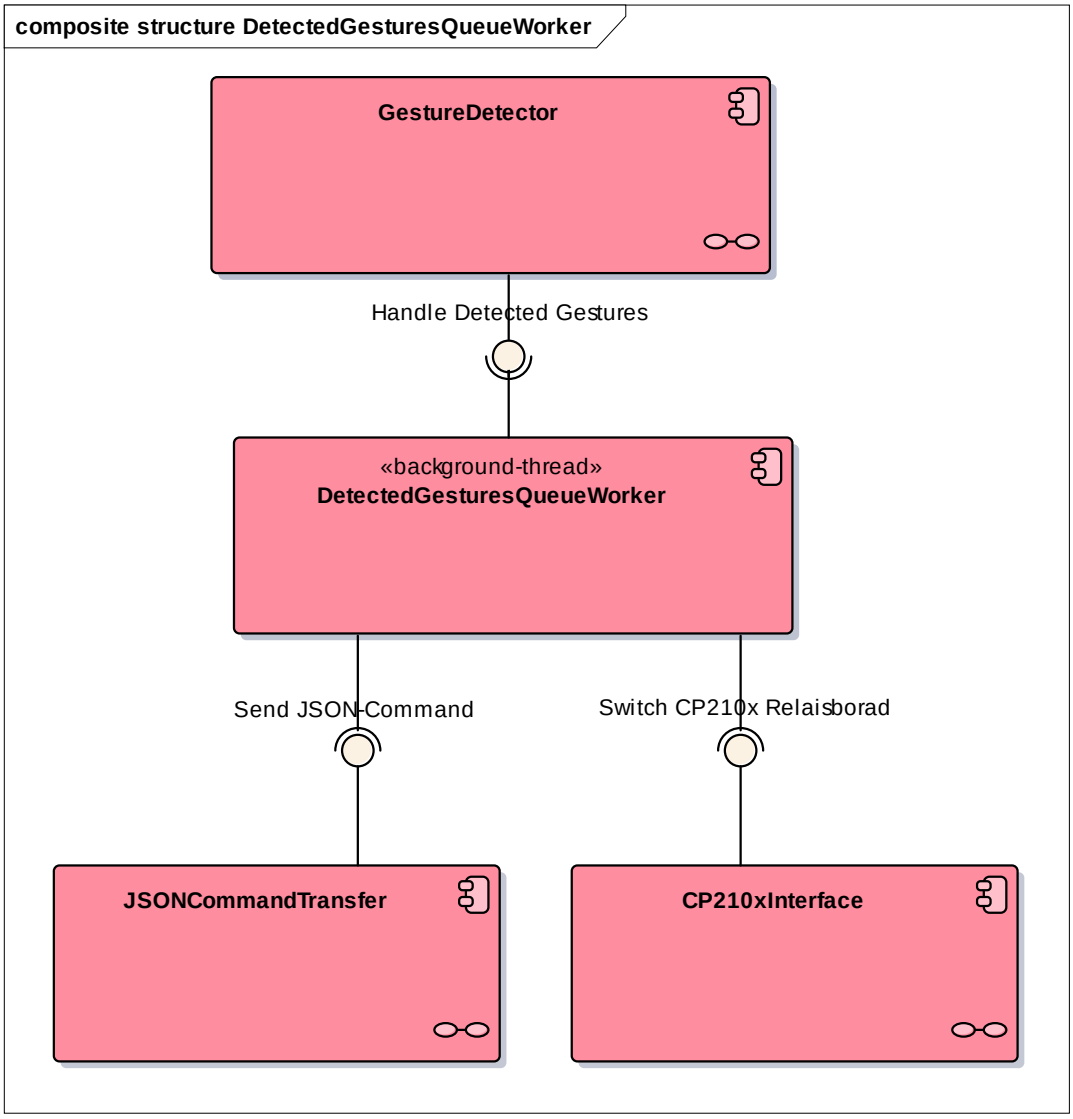


Abbildung 38 Komponentendiagramm DetectedGestureQueueWorker der velixX-Gestenerkennung.

6. *JSONCommandTransfer:*
   Die Komponente *JSONCommandTransfer* definiert das Austauschformat mit dem Smart Home Control Server basierend auf JSON. Als Schnittstelle zum Assistenzsystem wurde das Austauschformat in Form von JSON-Protokolls (JavaScript Object Notation) festgelegt. JSON ist ein Datenaustauschformat, das auf der einen Seite für den Anwender verständlich zu lesen und zu schreiben ist und auf der anderen Seite für die Maschine eine einfache Analyse und Generierung von Datenstrukturen ermöglicht. JSON besteht aus einem programmiersprachen-unabhängigen Textformat mit Konventionen, welche aus den C-basierten Programmiersprachen bekannt sind. Das JSON-Telegramm besteht aus Kommunikations- und Befehlsobjektdaten.

   Im Rahmen des Vorhabens beinhaltet das zu sendendes JSON-Telegramm wie in Abbildung 39 dargestellt die folgende Struktur. Abbildung 39 enthält ebenfalls eine Beispielbelegung.

JSON-Element	***Beschreibung***
Kommunikationsdaten:	
{"CRC":"22C57EFE",	CRC32 als HEX String
"MESSAGE_INFO":"USER_COMMAND",	Inhalt der Nachricht (Befehl, Antwort auf eine Rückfrage,…)
"STRINGLENGTH":854,	Anzahl der Zeichen im Befehlsobjekt inklusive der einschließenden Klammern
"TOKEN":"3370da94-8171-44ef-96a5-ad4e46da8746"}	Zur Laufzeit erhaltene Identifikationszeichen-folge
Befehlsobjekte:	
{"COMMAND_OBJECTS":	
"SENSOR_QUANTITY":1}	Anzahl der Sensoren
"USED_SENSOR":1,	Array der zur Informationsgewinnung genutzten Sensoren
"MODULE_TAG":"GESTURE_RECOGNITION",	Art des Moduls (Gestenerkennungsquelle, Spracherkennungsquelle…)
"PROVIDER“:	Objekt zur Auswahl spezifischer Moduldaten (Konfidenzschwellwerte,…)
{"NAME":"velixX",	Identifikation der Hardwaredaten
"TYPE":"KINECT",	Identifikation der Hardwaredaten
"VERSION":"1.0"},	Identifikation der Hardwaredaten (z.B. Bautyp Kinect v2)
"SN":"1234",	Identifikation der Hardwaredaten (Abweichungen zu gleichartigen Geräten aus Kalibrierung,…)
"TIMESTAMP":"\/Date(1486379650862+0100)\/",	Zeitstempel: Identifikation des natürlichen Befehls und zeitlicher Ablauf/ Abgleich mit Spracherkennung

{"GESTURE":[	Array verschiedener Gestenmöglichkeiten
ID":"PTDEV", ODER "ID":"Lamp 2",	Gesten- oder Objektidentifikationswert (String)
"CONFIDENCE":0.35352266666666671,	Bewegungstrajektorien Übereinstimmung
"CONFIDENCE_MEAN":0,	Durchschnittliche Konfidenz bzgl. des Nutzers und der gegebenen Geste
"CONFIDENCE_VAR":0,	Streuung der Konfidenz bzgl. des Nutzers und der gegebenen Geste
"POINTING_ORIGIN":{"X":0,"Y":0,"Z":0},	Startpunkt des Zeigevektors (Ellenbogen, Schulter) in mm
"POINTING_DIRECTION":{"X":0,"Y":0,"Z":0},	Einheitsvektor, welcher die Zeigerichtung bestimmt
"POINTING_PRECISSION":0,	Bereichsparameter, wie groß ist Streubereich (Dabei spielen mehrere Effekte eine Rolle: Zittern, Schwanken, Beeinträchtigung Armstellung, Neigung des Handgelenks, Genauigkeit des Sensors)
"POINTING_MEAN_PRECISION":0,	Durchschnittliche Zeigegenauigkeit bzgl. des Nutzers und der gegebenen Geste
"POINTING_VAR_PRECISION":0,	Streuung der Zeigegenauigkeit bzgl. des Nutzers und der gegebenen Geste
"DURATION":53.028400000000005,"	Dauer der Geste: Gesten können unter Umständen eine Wertangabe in der Ausführungszeit enthalten (Halten einer Pose)
"SPEED":69.379527813110869}],	Referenzierte Geschwindigkeit des Nutzers (zur angelernten Durchschnittlichen Bewegungsgeschwindigkeit des Nutzers – allgemein und bezogen auf die spezielle Geste)
"MARKEDNESS":0,	Ausprägung der Geste: Wurde die Geste Bspw. großräumig ausgeführt
{"BODY_REFERENCED_MARKEDNESS":0,	Ausprägung der Geste bezogen auf ein bestimmtes Körperteil: z.B.: Wie weit werden die Hände voneinander entfernt
"OBJECT":[	Array der ermittelten Objekte/Geräten

"POSITION":{"X":0.099,"Y":0.029,"Z":1.02}}],	Position repräsentiert das ausgewählte Objekt
{"CONFIDENCE":8.607,	Vertrauenswert des Objekts
"USER":{"DIRECTION":{"X":0,"Y":0,"Z":0},	Informationen bzgl. Des Nutzers
"ID":1,	ID des Nutzers
"POSITION":{"X":0,"Y":0,"Z":0},	x y z [mm] Mittelpunkt zwischen Schultern
"ROOM":"LIVING_ROOM",	Aufenthalt der Person: Soll die Gestensteuerung in Nachbarräumen ermöglicht werden. Bsp. Objekt im Flur aus Wohnzimmer heraus bedienen.
"MOVING_DIRECTION":{"X":0,"Y":0,"Z":0},	Einheitsvektor – Laufrichtung der Person
"VIEWING_DIRECTION":{"X":0,"Y":0,"Z":0}}},	Einheitsvektor – Blickrichtung der Person
"MEAN_PRECISION":0,	durchschn. Präzision bzgl. aller Gesten

Abbildung 39 JSONCammandTranfer-Komponente der velixX-Gestenerkennung und Schnittstelle zum Assistenzsystem.

Die *JSONCommandTransfer*-Komponente bildet das oben beschriebene JSON-Protokoll in mehreren Klassen ab. Für das Erstellen eines JSON-Telegramms werden die Klassen-Objekte mit Hilfe vom DataContractJsonSerializer serialisiert. Die System.Runtime. Serialization.Json.-DataContractJsonSerializer-Klasse ist in dem .Net Framework v4.0 enthalten.

Die nachfolgende Abbildung 40 zeigt die Whitebox-Sicht der Komponente *JSONCommandTransfer*.

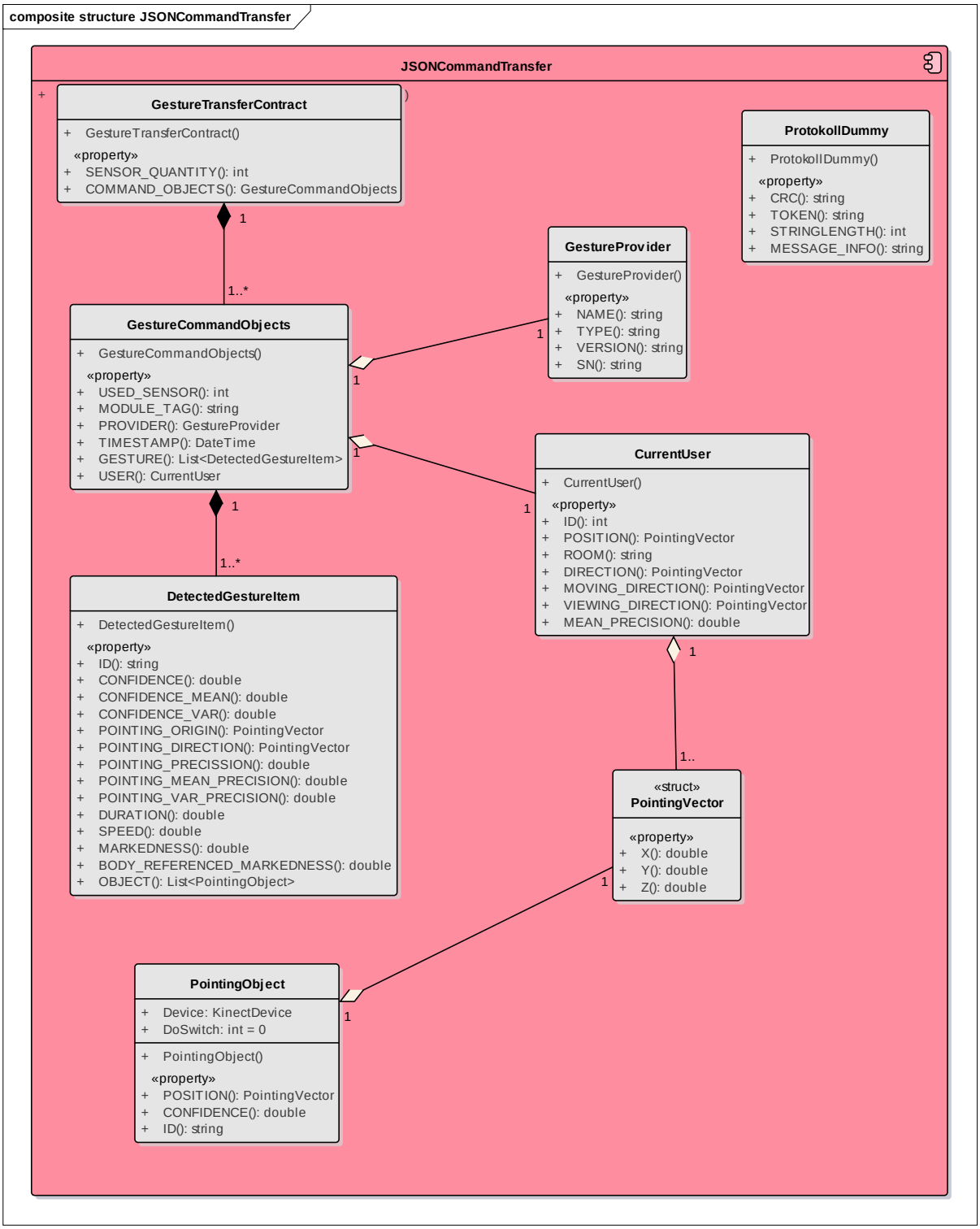


Abbildung 40 Whitebox-Sicht JSONCommandTransfer der velixX-Gestenerkennung.

7. *CP210xInterface:*
   Die Komponente *CP210xInterface* definiert die Schnittstelle zu dem CP20x Relais Board und dient zur Steuerung der an einem CP210x Relais Board angeschlossenen Geräte ohne den Smart Home Control Server.

   Die Klasse CP210xRuntimeWrapper implementiert durch Marshalling eine native Schnittstelle zu der CP210xRuntime.dll. Zwei Funktionen aus der CP210xRuntime-Dll werden verwendet:

   - *ReadLatch* – Lesen des Status von einem Relais.
   - *WriteLatch* – Status-Wechsel von einem Relais.

   Die nachfolgende Abbildung 41 zeigt die Whitebox-Sicht der Komponente *CP210xInterface*.

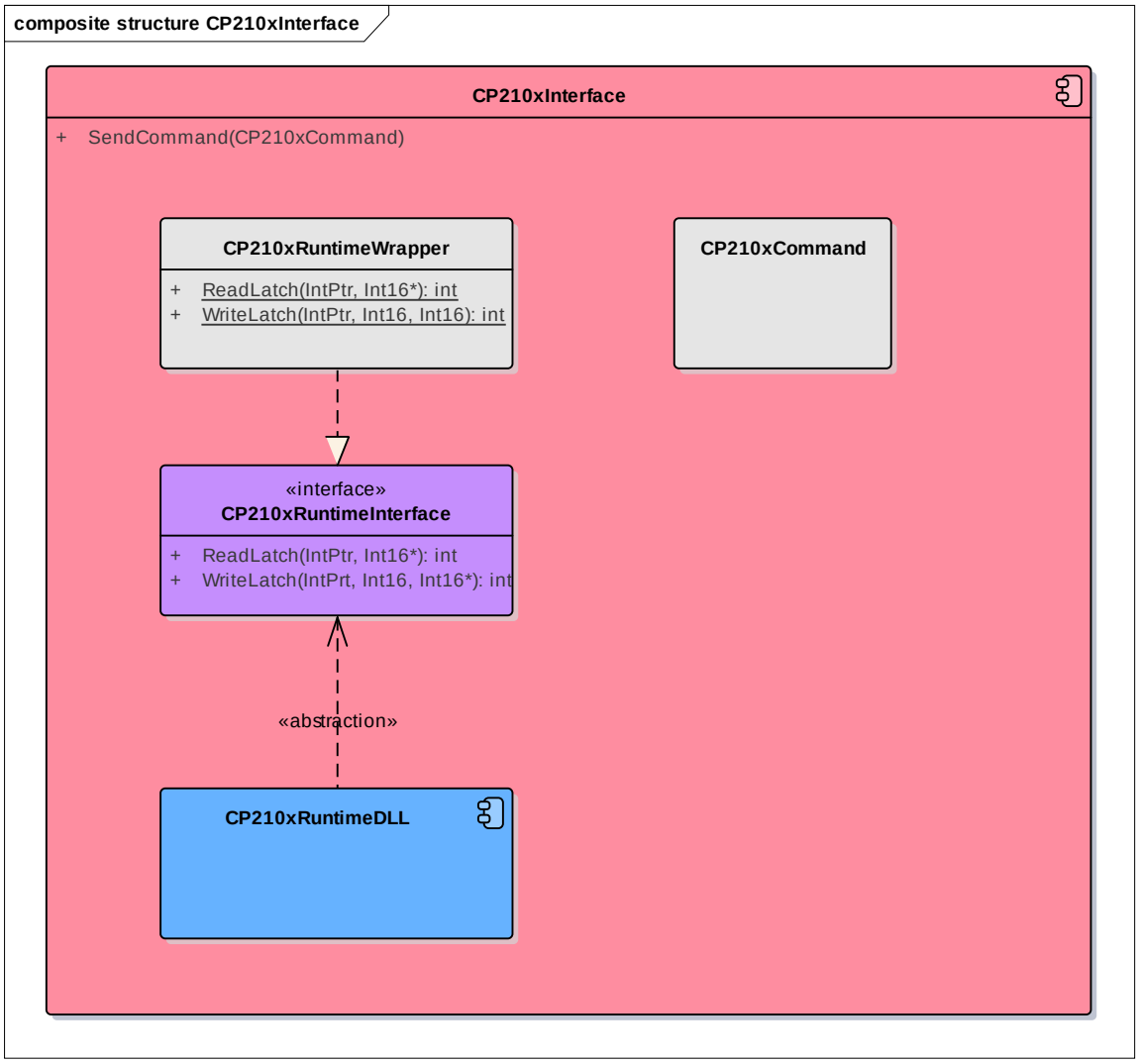


Abbildung 41 Whitebox-Ansicht CP210xInterface der velixX-Gestenerkennung.

Funktionsabläufe der velixX-Gestenerkennung:

Im Folgenden werden die konkrete Abläufe und Beziehungen zwischen Bausteinen in Form von Szenarien aufgezeigt. Der Ablauf der Gestenerkennung ist in der Abbildung 42 als ein Sequenzdiagramm dargelegt und anschließend beschrieben.

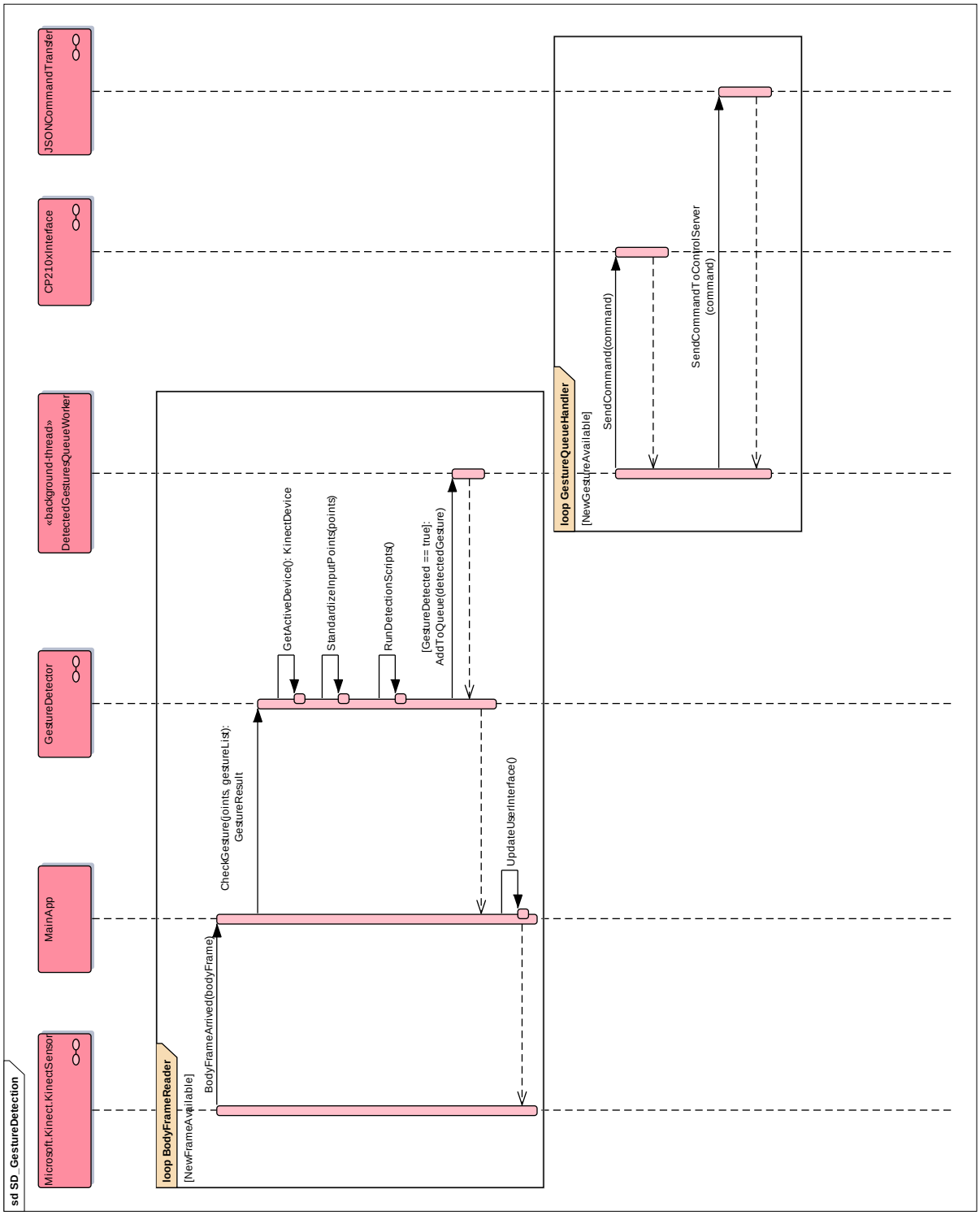


Abbildung 42 Darstellung der Funktionsabläufe in Form eines Sequenzdiagramms der velixX-Gestenerkennung.

Die velixX-Gestenerkennung läuft in folgenden Schritten ab:

- Der Kinect-Sensor ruft die zuvor registrierte Methode *Reader_BodyFrameArrived* der *MainApp* mit den *BodyFrame*-Daten als Parameter ab.
- *MainApp:*
  - Ermittlung aus den Daten die Anzahl der erfassten Personen vor dem Sensor.
  - Prüfung des *HoldBody*-Status. Es wird lediglich die Position der angemeldeten Person (Nutzer) wird im weiteren Verlauf berücksichtigt, alle anderen Personen werden bewusst ignoriert bzw. übersprungen.
- Anschließend ruft die *MainApp* die Funktion *CheckGesture* der *GestureDetector*-Klasse mit sämtlichen für die Gestenerkennung relevanten Daten auf:
  - Aktuelle Position des Nutzers
  - Liste der zu detektierenden Gesten
  - Liste der *JointPositions*-Definitionen
  - Geräte-Liste und
  - Neigungswinkel des Kinect-Sensors
- *GestureDetector:*
  - Prüft, ob der Nutzer auf ein Gerät zeigt.
  - Normierung der eingehenden Koordinaten des Sensors (siehe Beschreibung im Abschnitt *GestureDetector*)
  - Ermittlung, welche der vordefinierten Joint-Positionen erreicht wurde. Hierzu werden entsprechenden Skripte in den SEP.Interpreter geladen und ausgeführt. SEP.Interpreter liefert als Ergebnis, welche der Joint-Positionen getroffen wurde.
  - Anschließend prüft der *GestureDetector*, ob die gefundenen Joint-Positionen einer Geste zugeordnet werden können.
  - Wurden sämtliche vordefinierten Joint-Positionen einer Geste innerhalb der konfigurierten Zeit durchlaufen, gilt die Geste als erkannt.
- Nach der Detektion einer Geste erstellt der *GestureDetector* ein Objekt der Klasse *DetectedGestureItem* und übergibt es zusammen mit den in der Klasse B*odyFrameDiagnosticData* definierten Daten an die *MainApp*.
- *MainApp* gibt das *DetectedGestureItem* an den *DetectedGestureQueueWorker* weiter, indem sie das *DetectedGestureItem* ans Ende der Abarbeitungsliste von *DetectedGestureQueueWorker* einfügt und das *DetectedGestureQueueWorker*-Event absetzt.
- *MainApp* aktualisiert das *User Interfaces*.
- Durch das Absetzen des Events *DetectedGestureQueueWorker* wird der *DetectedGestureQueueWorker* aktiviert.
- *DetectedGestureQueueWorker:*
  - Holt das nächste Element aus der Abarbeitungsliste ab,
  - Sendet über das *CP210xInterface* das Kommando zum An- bzw. Ausschalten des Objekts/ Geräts an das Relais Board,
  - Verpackt das *DetectedGestureItem* in ein JSON-Telegramm,
  - Baut die Verbindung zum Control Server auf und
  - Sendet das Telegramm an den Control Server.
- Anschließend wartet der *DetectedGestureQueueWorker* auf das nächste Element in Abarbeitungsliste.
- Das empfange *BodyFrame* wurde komplett verarbeitet.

2.3.2.3 Zusammenführung der Module und Test der Funktionalität

Aufbau eines internen Demonstrators und Zusammenführung der Gestenerkennungsmodule:

Ein interner Demonstrator wurde entwickelt, konstruiert, aufgebaut und in Betrieb genommen. Die Konstruktionszeichnung ist dem Anhang zu entnehmen. Der interne Demonstrator dient dem Zweck der Systemevaluation sowie durch gezielte Versuchsbedingungen und -anordnungen der Aufdeckung der Systemgrenzen der entwickelten velixX-Gestenerkennung. Hierdurch sollte zum einen die optimale Platzierung der Kamera im Raum und zum anderen die Zuverlässigkeit, Robustheit sowie die Güte der Gestenerkennung, vor allem das Testen der Zeigegeste unter konstanten und vordefinierten Bedingungen ermittelt werden. Die Höhe des internen Demonstrators ist von 1,2 m bis zu 2,3 m einfach einstellbar. Durch den Einsatz von Rollen ist er mobil und kann im Raum frei bewegt werden.

In der oberen Hälfte befindet sich eine Lochblende, welche eine flexible und einfache Möglichkeit zum Einbinden sowie Positionieren und Fixieren von verschiedenen Objekten/ Geräten bietet. Abbildung 43 stellt den internen Demonstrator sowie einige Details dar.

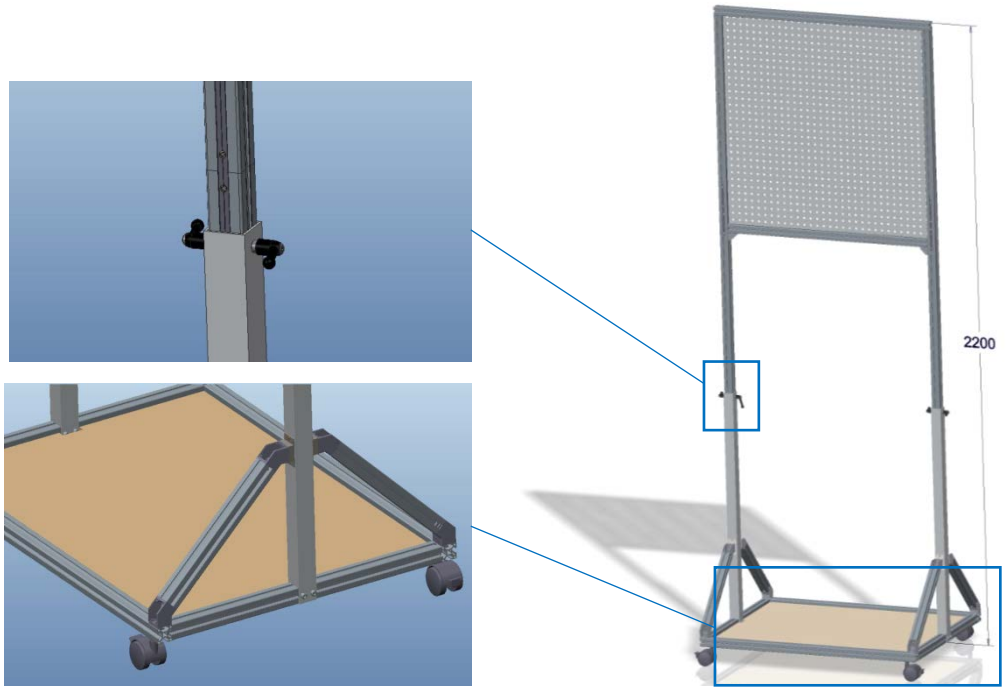


Abbildung 43 Interner Demonstrator und Detaildarstellung.

Der Sensor Kinect for Windows v2 und ein leistungsstarker Rechner wurden auf den internen Demonstrator montiert. Als besonderes Merkmal wurden 4 LEDs, deren Ansteuerungsmodule sowie verschiedene Objekte (3 Lampen und 1 Ventilator) auf den internen Demonstrator angebracht, befestigt und verkabelt. Eine Steuerbox wurde gebaut und integriert. Hierzu wurde ein Programm für die Ansteuerung der LEDs geschrieben, mit der Gestenerkennungs-software gekoppelt und erfolgreich in Betrieb genommen. Die LEDs dienen als optische Rückmeldung (Response)bei der Erkennung der Zeigegesten sowie das Blockieren der Objekte. Gestenerkennungsmodule wurden

installiert und in Betrieb genommen. Der gesamte Gestenkatalog sowie die Sondergeste Zeigen (inkl. Objektauswahl, Fixieren, Schalten) wurden in die Software implementiert. Die Abbildung 44 zeigt den internen betriebsbereiten Demonstrator in der Front- und Rückansicht.

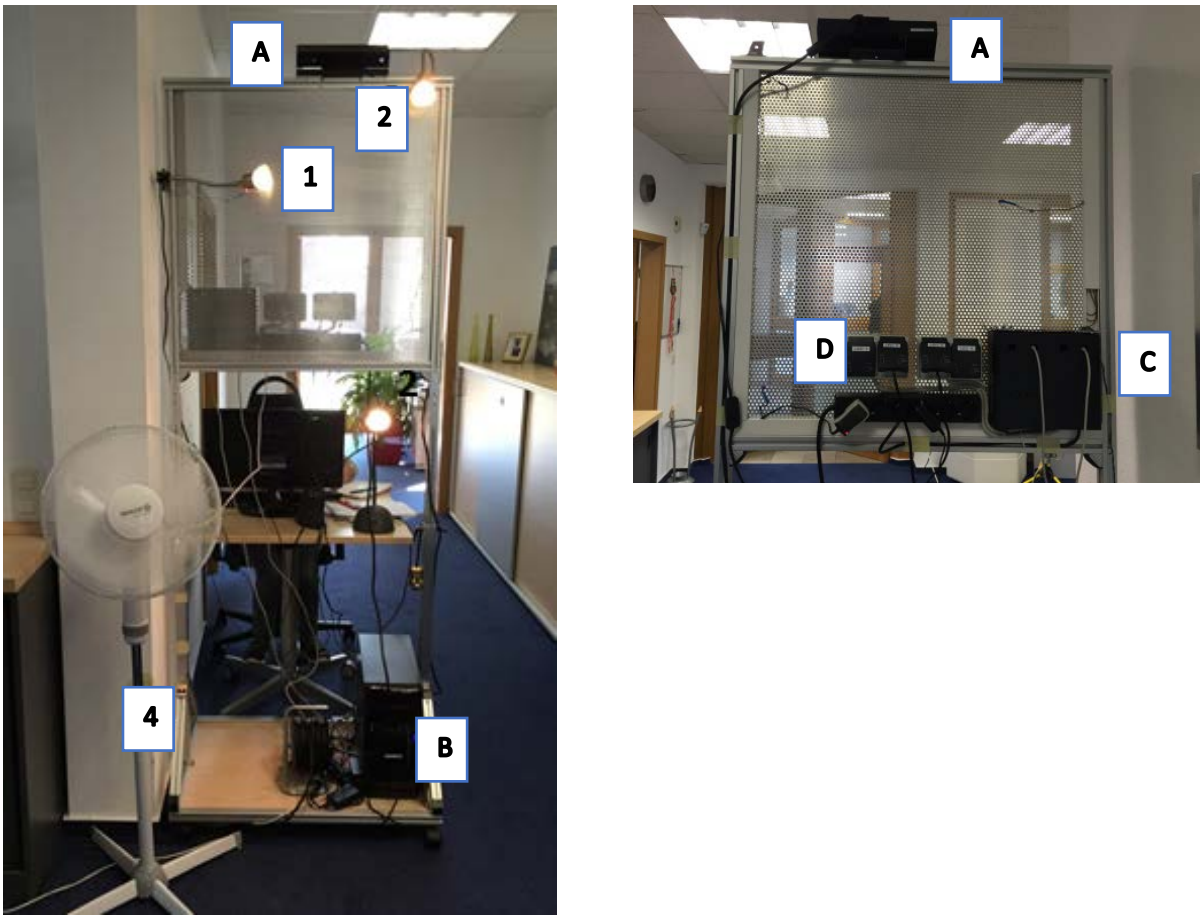


Abbildung 44 Interner Demonstrator mit A. Sensor Kinect for Windows v2, B. Leistungsstarker Rechner; C. Steuerbox, D. Steckdosen zum Anschließen von Objekten an die LEDs; links: Frontansicht, mit folgenden Objekten: 1. Lampe, 2. Tischlampe, 3. Lampe, 4. Ventilator; rechts: Rückansicht mit LED-Steuerbox und Steckdosen. Die LEDs und Objekte sind frei positionierbar und einfach austauschbar.

Verifikationstests und Szenarien unter definierten Bedingungen des Systems Gestenerkennung:

Gegenstand der Untersuchung sind die Steuergesten aus dem Gestenkatalog (vgl. Abbildung 19) sowie die Sondergesten. Die velixX-Gestenerkennung soll durch folgende Szenarien und Einflussfaktoren bezüglich der Erkennungsrate überprüft werden. Optimierungspotential soll erkannt und ermittelt sowie Schwächen beseitigt werden.

a) Test zur Ermittlung der Erkennungsrate von vordefinierten Gesten aus dem Gestenkatalog

(1) Erkennung der 16 Gesten[27] frontal zur Kamera

- verschiedene Distanzen 1 m, 2 m, 3 m, 4 m

[27] Ohne die Initialisierungsgeste „LinkeHandHoch“

(2) Erkennung der 16 Gesten bei Verdrehung (Distanz 2m): 0°, 45°, 60°, 315°, 300°

b) Test zur Ermittlung der Erkennungsrate von Zeigegeste in Kombination mit Schalten von Objekten

(1) Objektauswählen: Zeigen; Fixieren: Hand auf/zu; An: Winken; Aus: Kehle durchsägen

(2) Erkennung bei verschiedenen Distanzen

c) Sondertests zur Ermittlung der Robustheit und Zuverlässigkeit

(1) Kleidung (uni/ gestreift (waagrecht/senkrecht)/ kariert/ dunkel/ hell / weit/ eng)

(2) Licht (Sonnenlicht aus verschiedenen Richtungen/ Tageslicht/ Künstliches Licht (IR-Licht)/ Dämmerung)

(3) Pose (Sitzen/ Stehen)

(4) Initialisierungsgeste

d) **Systemperformance-Test**

<u>Festlegung der Versuchsgrundbedingungen:</u>

- Höhe des Sensors: 2,15 m (aus Vorversuchen)
- Neigungswinkel des Sensors: 28° (aus Vorversuchen)
- Horizontaler Sichtwinkel der Kamera: 70°
- Standard-Arbeitsabstand: 2 m
- Anzahl der Wiederholungen pro Test: 10

Definition der Winkel gemäß Abbildung 45. Der Position des Nutzers befindet sich im Mittelpunkt des Kreises. Farbe Blau stellt hierbei die Winkel der Ansicht Kamera zugewandt und Farbe Rot, die Winkel der Ansicht Kamera abgewandt; aus der Sicht des Sensor auf den Nutzer.

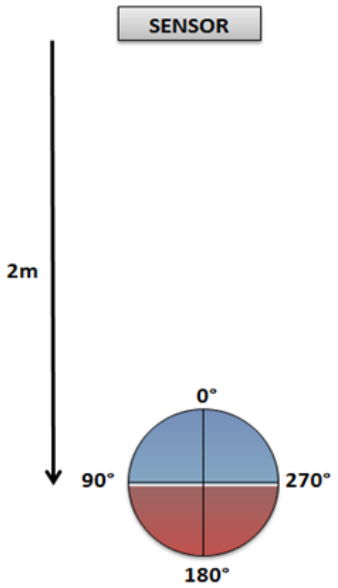


Abbildung 45 Versuchsanordnung und Winkeldefinition für die Verifikationstests.

Wenn nicht gesondert ausgewiesen, gelten im Folgenden diese Versuchsgrundbedingungen. Im Weiteren wird auf die durchgeführten In-House-Tests mit dem internen Demonstrator, die Testszenarien sowie auf die resultierenden Ergebnisse eingegangen.

Abbildung 46 zeigt den Standard-Testaufbau mit dem Demonstrator und einer am Boden befindenden Platte mit Darstellung der Winkel gemäß Abbildung 45 in einer 2 m Entfernung zum Demonstrator.

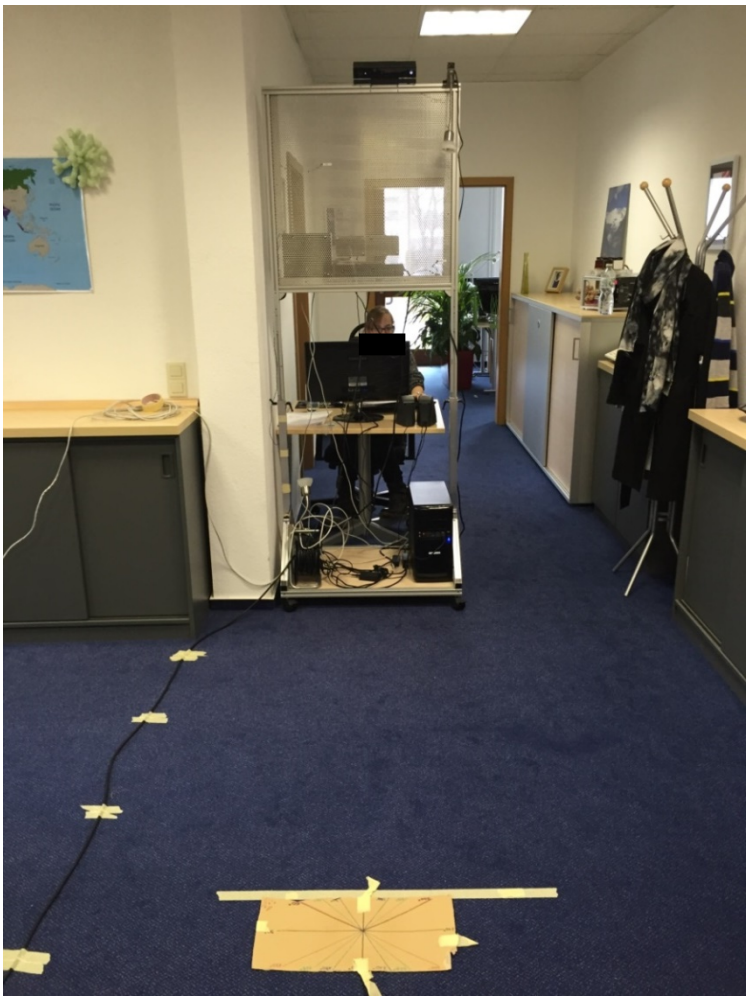


Abbildung 46 Testaufbau bestehend aus dem Demonstrator sowie einer in 2 m Entfernung angebrachten Platte mit Markierungen für die Verdrehwinkel. Dabei stellt sich die Testperson in die Mittel der Platte, der Körper zeigt in die entsprechende Richtung des Winkels, die Füße bilden die Mittellinie.

a) Test zur Ermittlung der Erkennungsrate von vordefinierten Gesten aus dem Gestenkatalog

Die Erkennungsrate der Steuergesten aus dem Gestenkatalog sollte ermittelt werden. Gleichzeitig sollte die technische Beschreibung der einzelnen Gesten überprüft und optimiert werden um eine möglichst hohe Erkennungsrate zu generieren. Hierfür wurde ein Mindestsollwert für die Erkennungsrate festgelegt.

Testbedingungen:

- 5 Testpersonen (Alter 21-56 Jahren)
- Standardbürobeleuchtung
- Mindestsoll-Erkennungsrate: >70%
- Bemerkung: Ausführung der Gesten in ihrer Grundform ohne Objekt- und Kamerabezug

Erkennung der 16 Gesten frontal zur Kamera:

Abbildung 47 stellt die Erkennungsrate pro Steuergeste sowie insgesamt in der Position frontal (0°) zur Kamera in 2 m Entfernung dar.

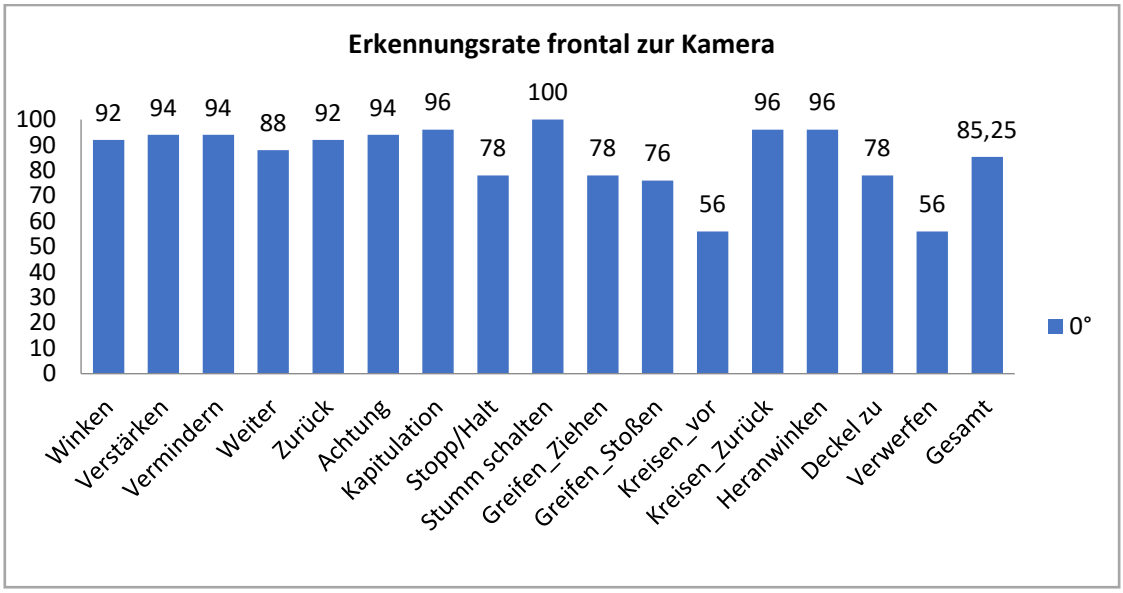


Abbildung 47 Erkennungsrate der Steuergesten frontal und in einem Abstand von 2 m zur Kamera.

Tests in verschiedene Distanzen 1 m, 2 m, 3 m, 4 m zeigen keine nennenswerten Abweichungen gegenüber den Erkennungsraten bei 2 m Entfernung in Abbildung 47.

Erkennung der 16 Gesten bei Verdrehung (Distanz 2m): 0°, 45°, 60°, 315°, 300°:

Abbildung 48 stellt die Erkennungsrate pro Steuergeste bei der Position frontal sowie Verdreht, in den Winkel 45°, 60°, 300° und 315° zur Kamera dar.

Die Winkel 60° und 300° stellen die Systemgrenzen der velixX-Gestenerkennung dar. Die zuvor beschriebe rechnerische Normierung des Nutzers, sprich das Ausrichten des Skelettons zur Kamera greift bis einschließlich ±60° (also 60°, 300°). Winkel darüber hinaus unterliegen nicht der Normierung, eine Erkennung erfolgt willkürlich. Eine zuverlässige Gestenerkennung mittels Erkennungsalgorithmus kann außerhalb der Systemgrenzen nicht gewährleistet werden.

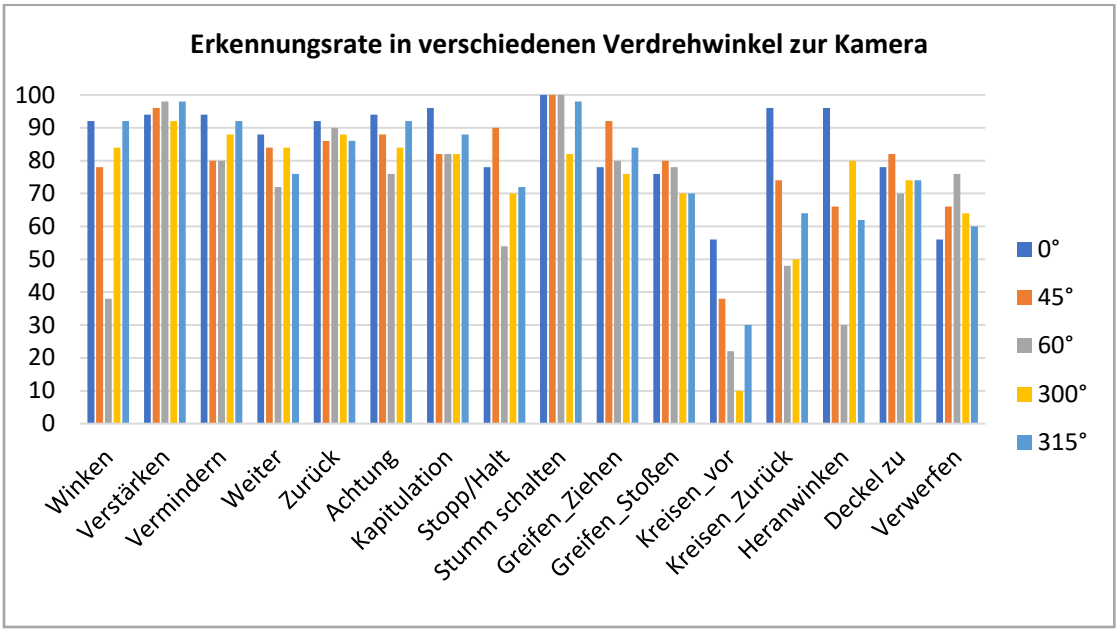


Abbildung 48 Erkennungsrate der Steuergesten in den Winkeln 0°, 45°, 60°, 300° und 315° in einem Abstand von 2 m zur Kamera.

Abbildung 49 stellt eine Gegenüberstellung der Gesamterkennungsrate der Steuergesten pro Winkel 0°, 45°, 60°, 300° und 315° zur Kamera dar.

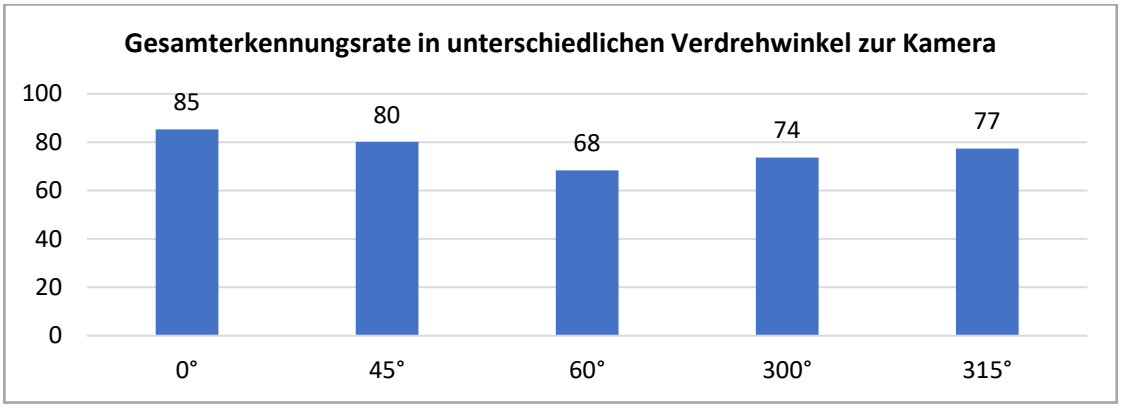


Abbildung 49 Übersicht der Gesamterkennungsrate der Steuergesten in den Winkeln 0°, 45°, 60°, 300° und 315° in einem Abstand von 2 m zur Kamera.

<u>Ergebnis/ Interpretation:</u>

- Es liegt eine gute Gesamterkennungsrate vor. Bei der Frontalansicht ist die Erkennungsrate erwartungsgemäß am höchsten, diese beträgt etwa 85% (über 16 Steuergesten und 5 Personen gemittelt).
- Die Response-Zeit beträgt ca. 60 ms. Das System ist echtzeitfähig und erfüllt somit die Anforderungen.
- Die meisten Gesten bewegen sich im Bereich 90% Erkennungsrate.

- Die Gesten „Kreisen vor“ und „Verwerfen“ zeigen hingegen unzureichende Erkennungsrate, unterhalb der zum zielgesetzten Erkennungsrate von >70%. Eine höhere Erkennungsrate trotz anpassen der Parameter konnte nicht erzielt werden. In Abstimmung mit den Projektpartnern wurde beschlossen, diese Gesten sowie die Geste „Kreisen zurück“ aus dem Gestenkatalog zu entfernen.
- In der Verdrehung liegt die Gesamterkennungsrate liegt bei ca. 77%.
- Es ist ein Trend zu beobachten. Die höchste Erkennungsrate liegt bei der Frontalansicht zum Sensor vor, bei der zunehmend Verdrehung nimmt die Erkennungsrate aufgrund von Abschattungseffekten und teilweiser bis kompletter Verdeckung der Extremitäten ab. Bei der Verwendung der rechten Hand (was hauptsächlich der Fall ist) ist die Erkennungsrate bei einer Verdrehung von 60° besonders kritisch. Bei der linken Hand stellt 300° eine Herausforderung dar. Abbildung 50 veranschaulicht dieses am Beispiel der Geste „Winken“.

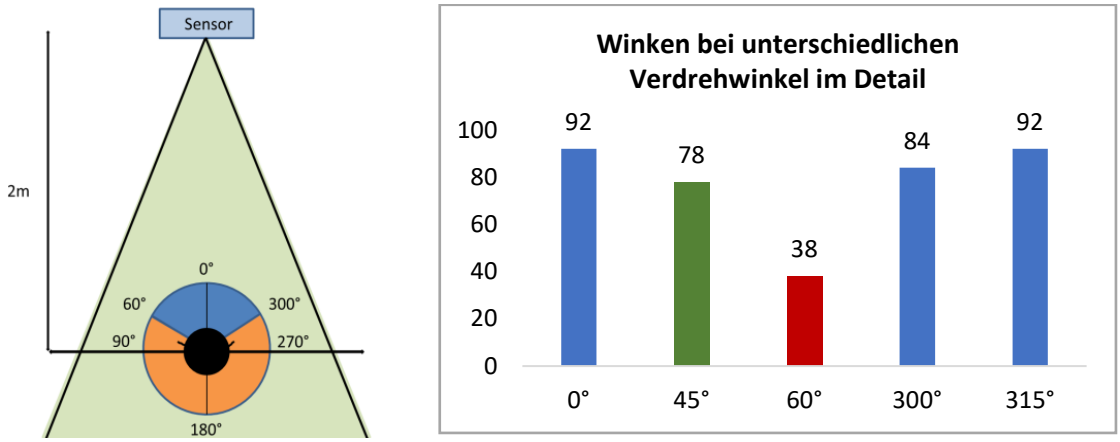


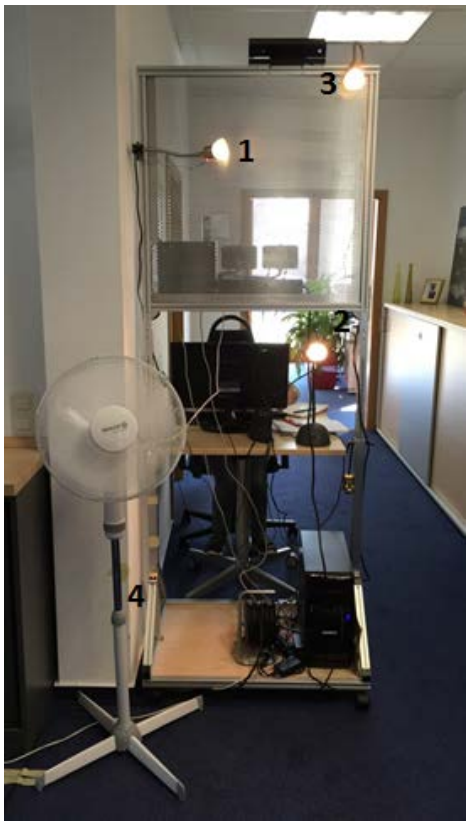
Abbildung 50 Darstellung der Erkennungsrate in den verschiedenen Verdrehwinkel zur Kamera am Beispiel der Geste „Winken“ in 2 m Entfernung.

b) Test zur Ermittlung der Erkennungsrate von Zeigegeste in Kombination mit Fixieren/ Blockieren und Schalten von Objekten

<u>Testbedingungen:</u>

- Siehe a)
- Bemerkung : Ausführung der Gesten mit Objektbezug
- Festlegung der Steuergesten:
  - *Auswählen eines Objektes:* Richten der geschlossenen rechten Hand in Richtung des jeweiligen Objektes.
  - *Fixieren/ Blockieren eines Objektes* (im Test Sperrdauer 5sec, einstellbarer Parameter): über die Funktion „LockDevice“ durch kurzzeitiges Öffnen und Schließen der rechten Hand.
  - *Aktion: Schalten eines Objektes*
    - *An: „Winken“*
    - *Aus: „Kehle durchsängen“*
- Zusatz: Es werden verschiedene Distanzen (1 m – 4 m) sowie die äußeren Randzonen im Sichtbereich bei 2 m (30° rechts bzw. links des Sensors, siehe grüner Bereich in Abbildung 50) untersucht (Systemgrenzen).

Abbildung 51 zeigt den internen Demonstrator mit den vier Objekten (1-4) sowie deren Koordinaten bezogen auf die Kamera. Die Positionen der Objekte wurden bewusst gewählt und decken die kritischen Systemstellen ab (außerhalb des Sichtbereiches, sehr weit unten, direkt auf Höhe der Kamera).



Objektpositionierung:

Objekt 1 *befindet sich schräg links unter dem Sensor.*

Objekt 2 *befindet sich ungefähr auf Schulterhöhe des Benutzers.*

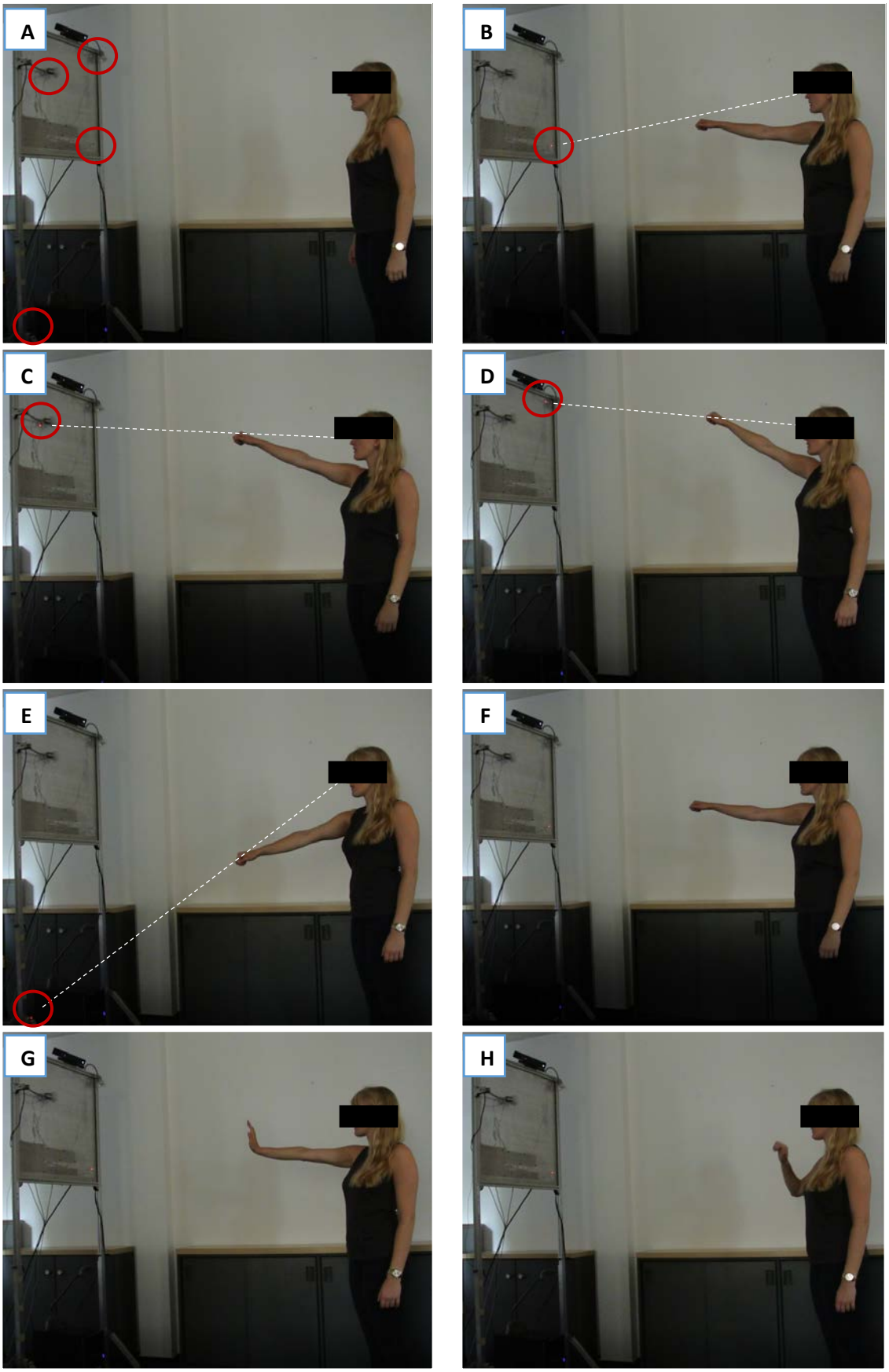
Objekt 3 *befindet sich auf Höhe des Sensors.*

Objekt 4 *ist tief am Demonstrator platziert.*

	Koordinaten X; Y; Z
Objekt 1	-0,333; -0,262; 0,563
Objekt 2	0,293; -0,594; 0,606
Objekt 3	0,051; -0,32; 0,759
Objekt 4	-0,302; -0,635; 1,228

Abbildung 51 Positionen der Testobjekte für den Test der Zeigegeste.

Eine schrittweise Veranschaulichung der Geste „Zeigen“ durch Auswählen, Fixieren, An- und Ausschalten eines Objektes ist in Abbildung 52 dargestellt. Hierbei befindet sich die Testperson in 2 m Entfernung frontal zur Kamera bzw. zum Demonstrator. Zunächst werden die Objekte durch Richten der geschlossenen rechten Hand nach Belieben ausgewählt. Hierbei ist besonders hervorzuheben dass bei der Entwicklung der Erkennung der Zeigerichtung das natürliche Verhalten des Menschen im Vordergrund stand, das bedeutet die Peilung von Auge zu Hand übernommen und im Algorithmus in Form Schnitt zweier Vektoren und die Ermittlung des Winkels erfolgreich dargestellt wurde (vgl. 2.3.2.2, Abschnitt *PointDevice*) In Abbildung 52 B-E ist der Blick der Testperson auf das entsprechende Objekt durch die gestrichelte Linie dargestellt.


A
B
C
D
E
F
G
H

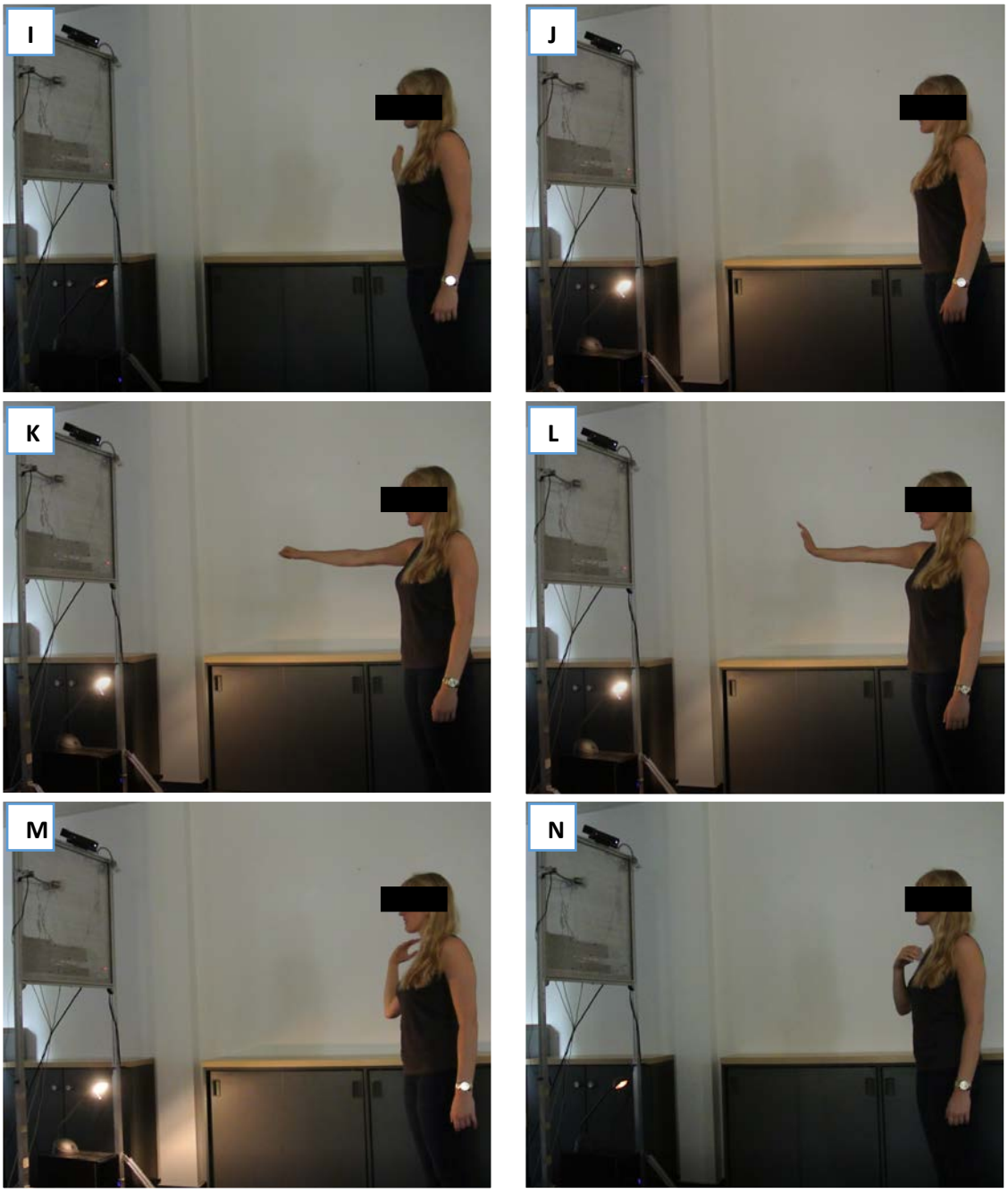


Abbildung 52 Schrittweise Veranschaulichung der Geste „Zeigen“ durch Auswählen, Fixieren, An- und Ausschalten eines Objektes. A: Testperson in 2 m Entfernung frontal zur Kamera; B: Auswählen des Objekts 2; C: Auswählen des Objekts 1; D: Auswählen des Objekts 3; E: Auswählen des Objekts 4; F: Auswählen des Objekts 2; G: Fixieren des Objekts 2 durch Öffnen und Schließen der Hand (hier nicht dargestellt); H: Objekt 2 ist aktiv (Lampe brennt, Sperrdauer läuft) Aktion zum Schalten „An“ durch Geste „Winken“ im Gang (Beginn); I: Aktion Schalten „An“ durch Geste „Winken“ im Gang (Ende), Geste wird erkannt, System reagiert, Objekt 2 wird geschaltet; J: Objekt 2 ist an; Sperrung noch aktiv; K: Erneutes Auswählen des Objekts 2; L: Erneutes Aktivieren des Objekts 2 durch Öffnen und Schließen der Hand (hier nicht dargestellt); M: Objekt 2 ist aktiv (Lampe brennt, Sperrdauer läuft) Aktion zum Schalten „Aus“ durch Geste „Kehle durchsägen“ im Gang (Beginn); N: Aktion Schalten „Aus“ durch Geste „Kehle durchsägen“ im Gang (Ende), Geste wird erkannt, System reagiert, Objekt 2 wird ausgeschaltet.

(1) PointDevice: Zeigen; Fixieren: Hand auf/zu; An: Winken; Aus: Kehle durchsägen (2 m):

Testbedingungen:
(1) 5 Testpersonen (Alter 21-56 Jahren)

Abbildung 53 stellt die Erkennungsrate der Versuchsreihe Auswählen und Fixieren von Objekten 1-4 in einer Entfernung von 2 m der Testpersonen zum Demonstrator.

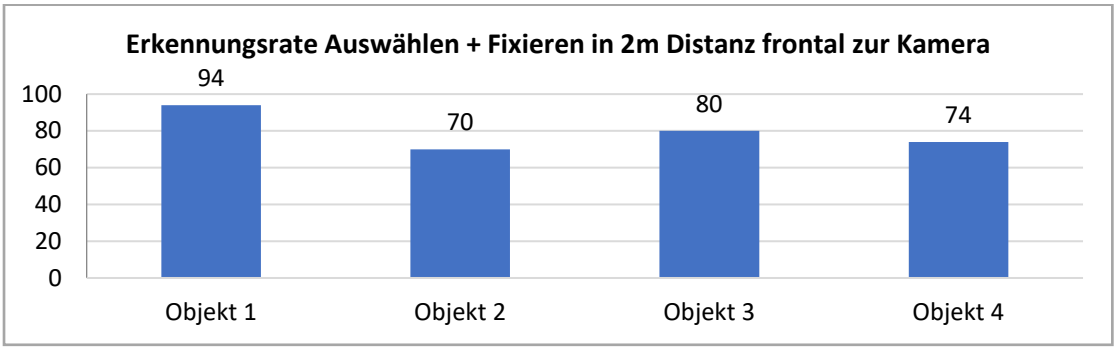


Abbildung 53 Erkennungsrate von Auswählen in Kombination von Fixieren in 2 m Entfernung.

Abbildung 54 stellt die Erkennungsrate der Versuchsreihe Aktion durchführen mit An- bzw. Ausschalten von Objekten 1-4, welche durch die Verwendung der Geste „Winken“ für An und „Kehle durchsägen“ für Aus repräsentiert wird, in einer Entfernung der Testpersonen von 2 m zum Demonstrator.

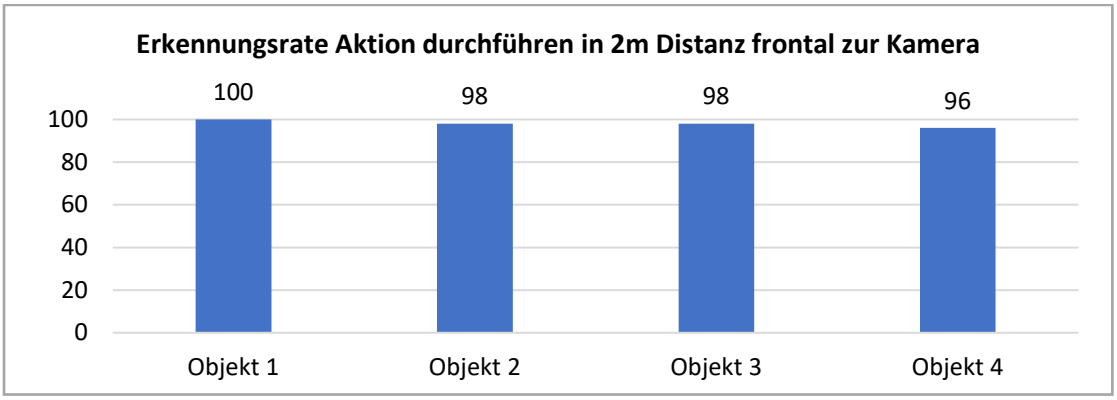


Abbildung 54 Erkennungsrate von Aktion durchführen durch „Winken“ für An und „Kehle durchsägen“ für Aus in 2 m Entfernung.

(2) Erkennung von Objektauswählen (Zeigen und Fixieren) bei verschiedenen Distanzen:

Testbedingungen:
(2) 3 Testpersonen (Alter 21-31 Jahren)
(3) Distanzen Frontalansicht: 1 m, 2 m, 3 m, 4 m
(4) Randbereiche des Sichtbereichs bei 2 m Entfernung zur Kamera (siehe Abbildung 55, Rot) werden als 30° links (2 m) bzw. 30° rechts (2 m) bezeichnet

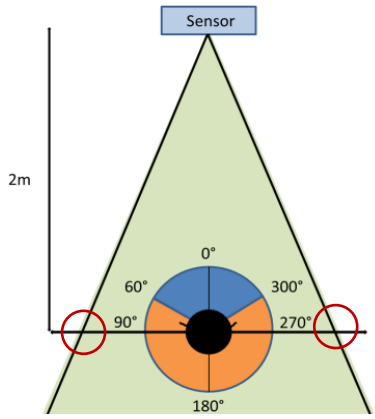


Abbildung 55 Skizze Position der Testperson beim Testen der Erkennung im Randsichtbereich bei 2 m Entfernung.

Abbildung 56 stellt die Erkennungsrate pro Objekt der Versuchsreihe Auswählen und Fixieren von Objekten 1-4 in den Entfernungen 1 m, 2 m, 3 m, 4 m, 30° links (2 m), 30° rechts (2 m) sowie Gesamt der Testpersonen zum Demonstrator in der Frontalansicht (0°).

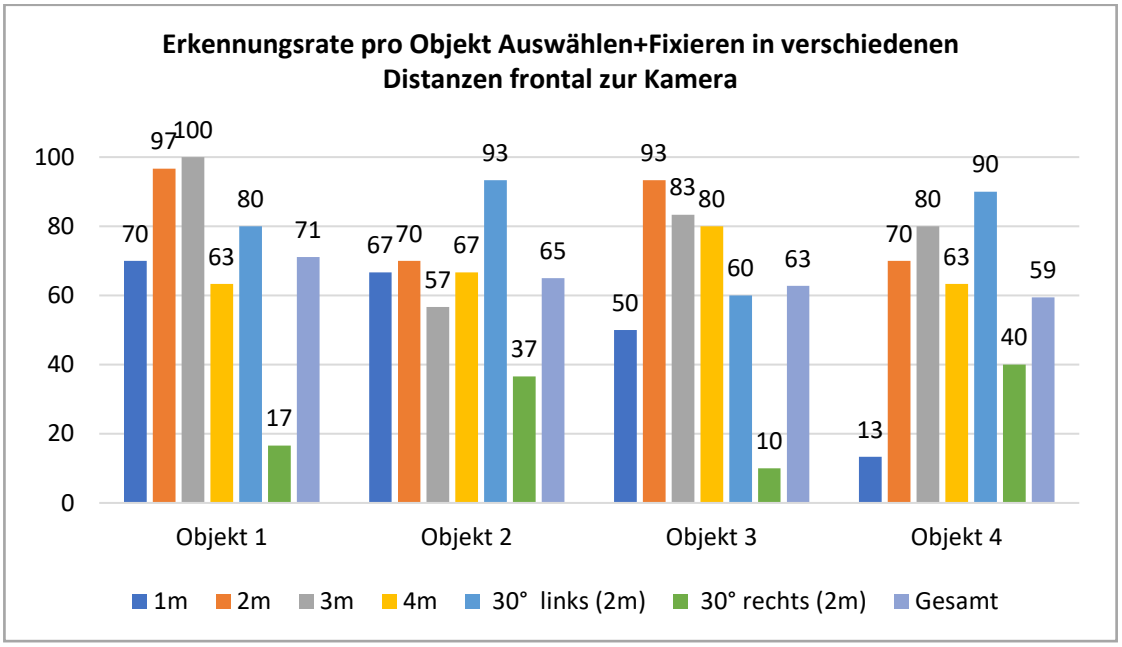


Abbildung 56 Erkennungsrate von Auswählen in Kombination von Fixieren in 1 m, 2 m, 3 m, 4 m, 30° links (2 m) und 30° rechts (2 m) Entfernung.

Abbildung 57 stellt eine Übersicht der Erkennungsrate der Versuchsreihe Auswählen und Fixieren von Objekten aus verschiedenen Positionen in der Frontalansicht dar.

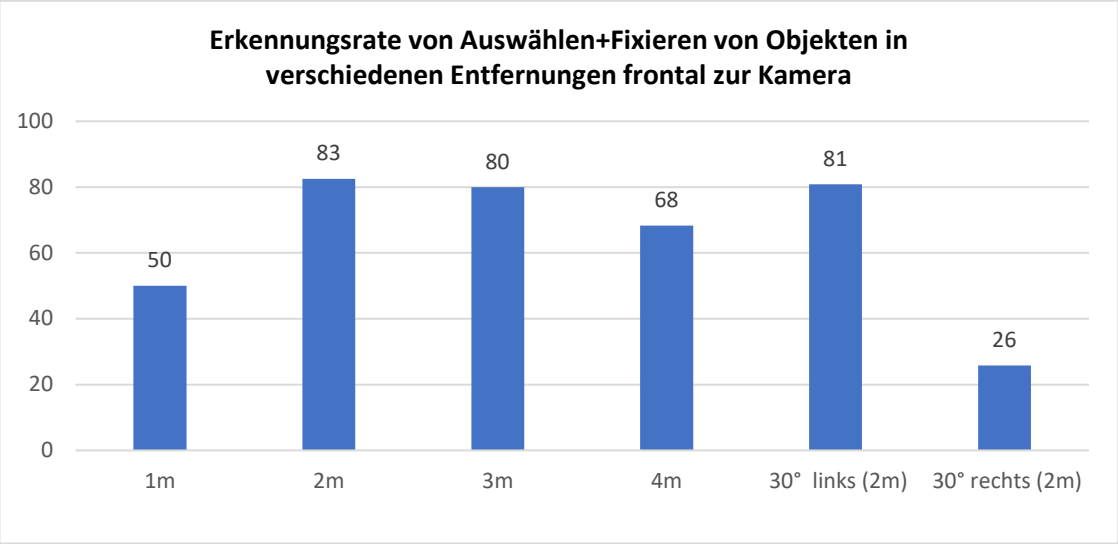


Abbildung 57 Übersicht der Erkennungsrate der Versuchsreihe Auswählen und Fixieren von Objekten aus verschiedenen Positionen in der Frontalansicht.

Anmerkung: Auf eine aufwendige Untersuchung zur Erkennungsrate bei einer Verdrehung des Nutzers zur Kamera wurde bewusst verzichtet, da die Erkennung des Zeigens auf Vektorberechnung bezüglich der Kopf- und Handgelenken basiert, spielt die Verdrehung des Nutzers keine Rolle.

<u>Ergebnis/ Interpretation:</u>

- Erwartungsgemäß liefert die „einfachste“ Position des Objekts 1 die höchste Erkennungsrate mit rund 71%.
- Die Extrembeispiele der Positioniervarianten der Objekte 2-4 liefern eine solide Erkennungsrate von ca. 60%.
- Die optimale Distanz zum Auswählen von Objekten liegt bei 2-3 m Distanz zur Kamera.
- Innerhalb des Sichtbereiches 30° links bei der Distanz 2 m verhält sich die Erkennungsrate vergleichbar zur Erkennung bei 2-3 m. Die verminderte Erkennungsrate in 30° rechts (2 m) ist auf die Tatsache zurück zu führen, das die Randbereiche die äußersten Punkte des Sichtbereiches der Kamera darstellen, und somit die rechte Hand/ der rechte Arm von der Kamera teilweise nicht verfasst werden konnte.
- Die Distanz von 1 m (mit ausgestreckter Hand nach vorne) liegt aufgrund des Neigungswinkels des Sensors und seiner Vorgabe des Arbeitsbereiches (ab 0,8 m) außerhalb des Sichtbereichs des Sensors und ist daher nicht aussagekräftig.
- Im Großen und Ganzen wird die gemeinte Richtung zuverlässig erkannt. Ein Optimierungspotential stellt jedoch das Fixieren der Objekte dar. Da der Bereich der Objektkoordinaten stark beschränkt ist, falls Objekte nahe bei einander stehen, ist die Empfindlichkeit beim leichten Schwanken der Hand entsprechend hoch. Hier soll ein Toleranzfeld im User Interface hinzugefügt werden. Ein weiteres Optimierungspotential stellt die Erkennung der offenen Hand dar. Da über die Flächenveränderung betrachtet wird, muss die Handfläche deutlich in Richtung der Kamera zeigen, eine offene Hand in Richtung Boden wird unzuverlässig erkannt.

c) Sondertests zur Ermittlung der Robustheit und Zuverlässigkeit

Testbedingungen:

- Bemerkung: Ausführung von ausgewählten Gesten in ihrer Grundform ohne Objekt- und Kamerabezug, Frontal zur Kamera (0°)

(1) Kleidung (uni/ gestreift (waagrecht/senkrecht)/ kariert/ dunkel/ hell / weit/ eng)

Testbedingungen:

- 1 Testpersonen (Alter 21 Jahre)
- 3 verschiedene Gesten: „Winken“, „Vermindern“, „Kehle durchsägen“

Abbildung 58 stellt die getesteten Farb- und Mustervariationen dar.

Abbildung 58 Farb- und Mustervariationen im Test der velixX-Gestenerkennung.

Abbildung 59 zeigt die getesteten Kleidungsvariationen mit zunehmendem Grad der Verschleierung.

Abbildung 59 Grad der Verschleierung im Test der velixX-Gestenerkennung.

Abbildung 60 stellt eine Gegenüberstellung der Anzahl der Erkennung der 3 Steuergesten mit verschiedenen Bekleidungsvarianten frontal zur Kamera dar.

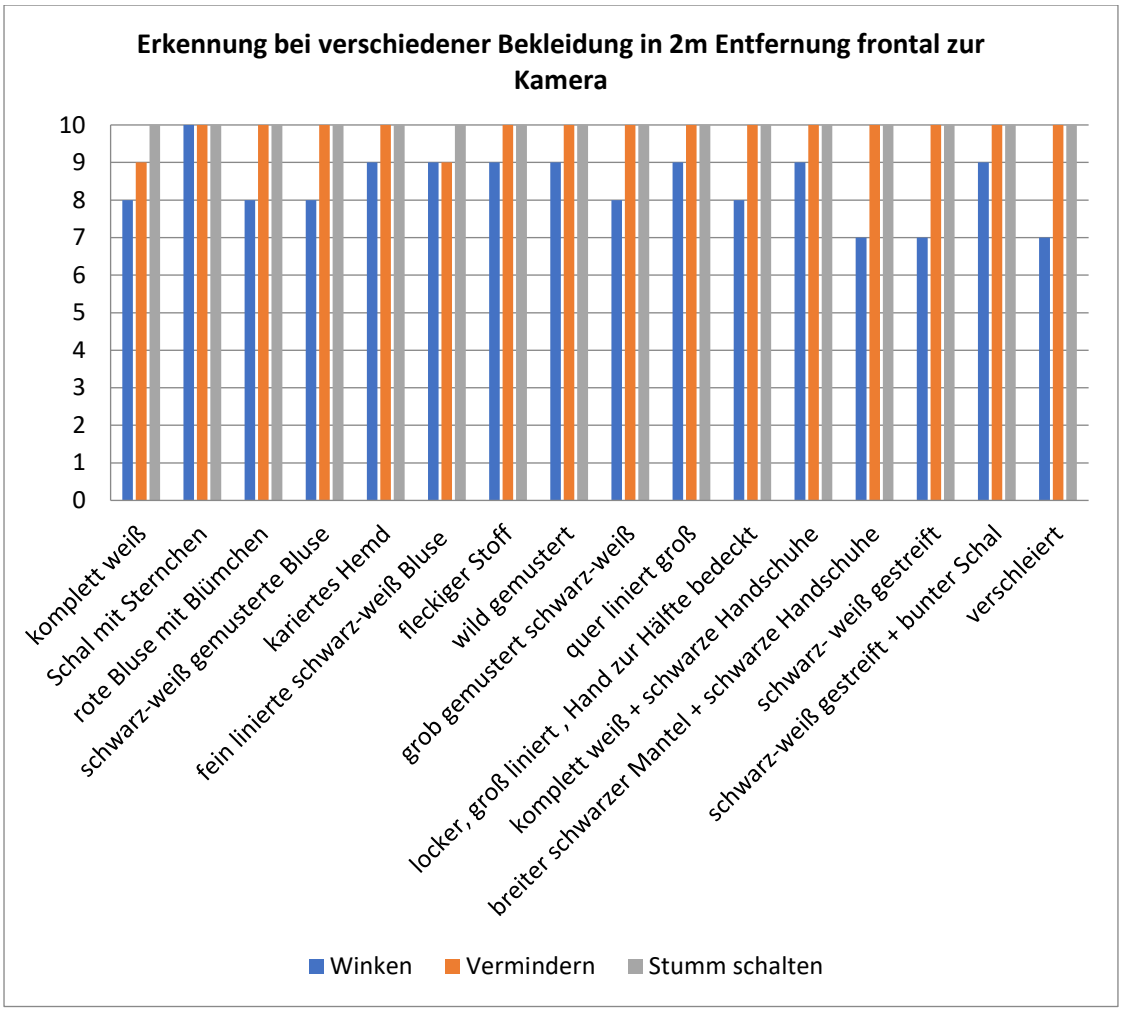


Abbildung 60 Anzahl der Erkennung bei verschiedener Bekleidungsvarianten im Test der velixX-Gestenerkennung.

<u>Ergebnis:</u>

- Die Gesamterkennungsrate liegt bei etwa 94%
- Die Bemusterung der Bekleidung sowie die Verhüllung der Person zeigen keinen Einfluss auf die Erkennungsrate der Gesten.

(2) <u>Licht (Sonnenlicht aus verschiedenen Richtungen/ Tageslicht/ Künstliches Licht (IR-Licht)/ Dämmerung)</u>

<u>Testbedingungen</u>

- 3 Testpersonen (21 - 56 Jahren)
- Verdrehwinkel zur Kamera: 0°, 45°, 315°
- Gesten: „Winken“, „Vermindern“, „Stumm schalten“, optional: „Deckel zu“, „Stopp/ Halt“

Folgende Lichtverhältnisse im Test (vgl. Abbildung 61):

a) Sonnenschein - Gegenlicht: Person wird von hinten beleuchtet
b) Sonnenschein: Person wird von vorne beleuchtet
c) Dämmerung
d) künstliches Licht (Wärmestrahler) - Seitenlicht: Person wird von rechts bestrahlt (rechte Hand befindet sich im Schattenbereich)
e) künstliches Licht (Wärmestrahler) - Gegenlicht: Person wird von hinten bestrahlt
f) Künstliches Licht (mehrere Kinects)
g) Nacht – völlige Dunkelheit

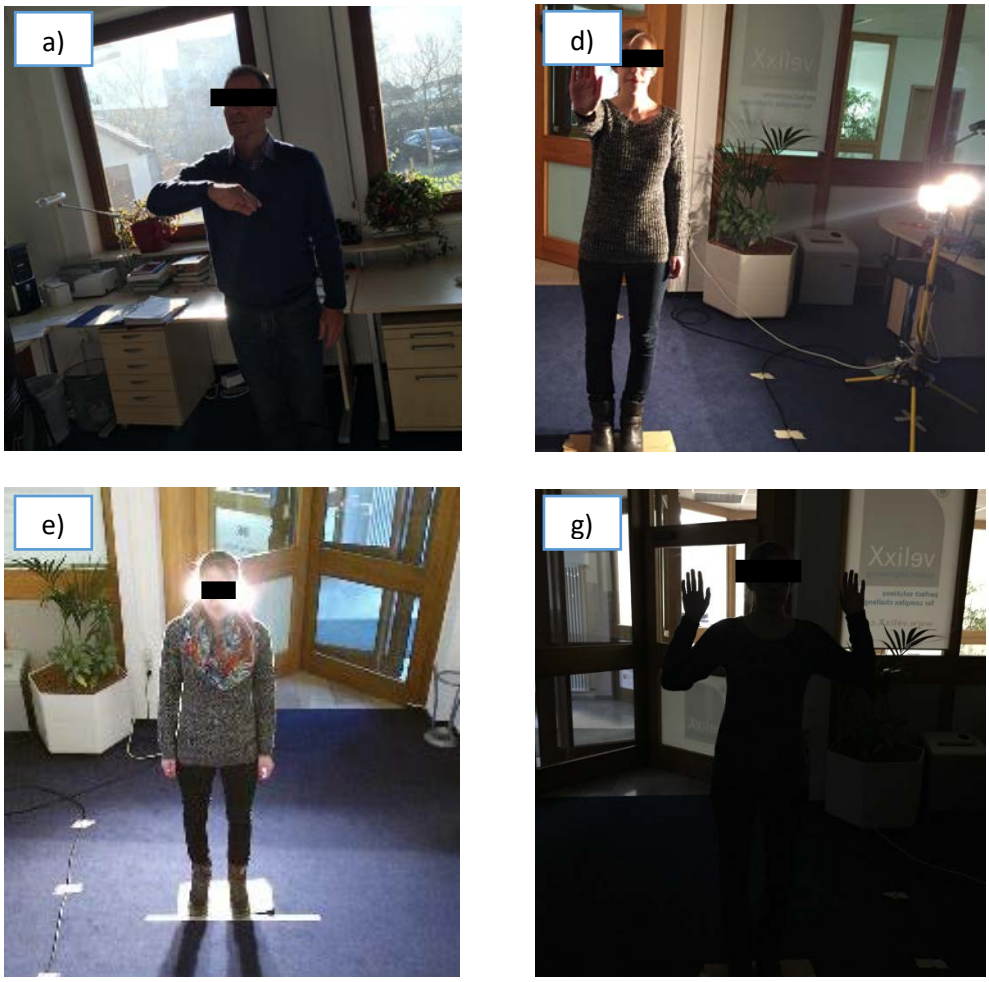


Abbildung 61 Veranschaulichung der Sondertests mit a) Gegenlicht durch natürliches Licht – Sonnenschein, d) Seitliches künstliches Licht durch die Verwendung eines Wärmestrahlers - Seitenlicht: Person wird von rechts bestrahlt (rechte Hand befindet sich im Schattenbereich), e) Künstliches Gegenlicht durch die Verwendung eines Wärmestrahlers - Gegenlicht: Person wird von hinten bestrahlt, g) völlige Dunkelheit.

Zu 2 a) Sonnenschein - Gegenlicht: Person wird von hinten beleuchtet in Abbildung 62 gezeigt.

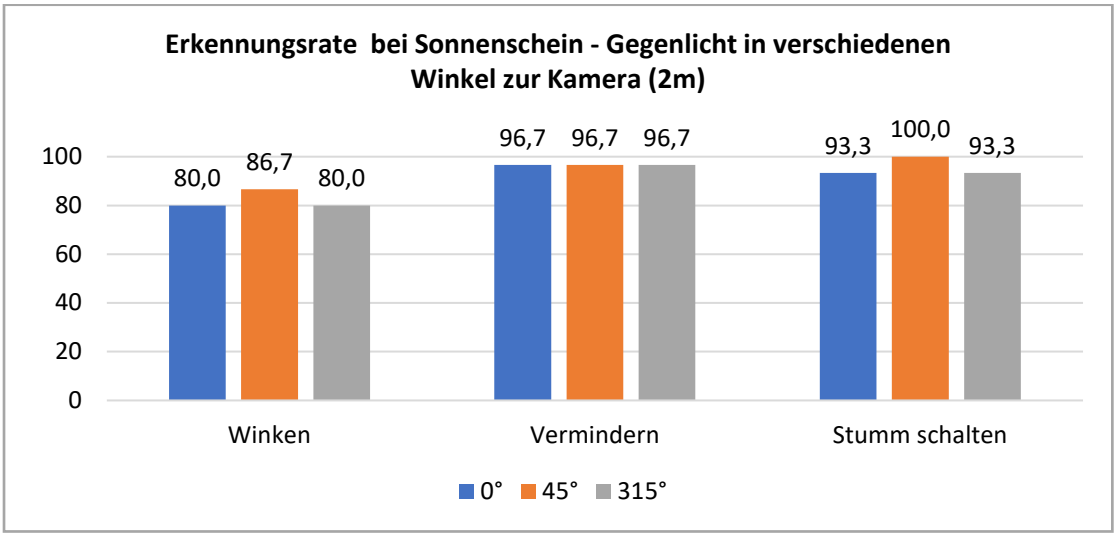


Abbildung 62 Erkennungsrate bei Sonnenschein - Gegenlicht: Person wird von hinten beleuchtet. Getestet bei 3 verschiedenen Winkelpositionen in 2 m Entfernung zur Kamera.

Zu 2 b) Sonnenschein: Person wird von vorne beleuchtet in Abbildung 63 dargestellt.

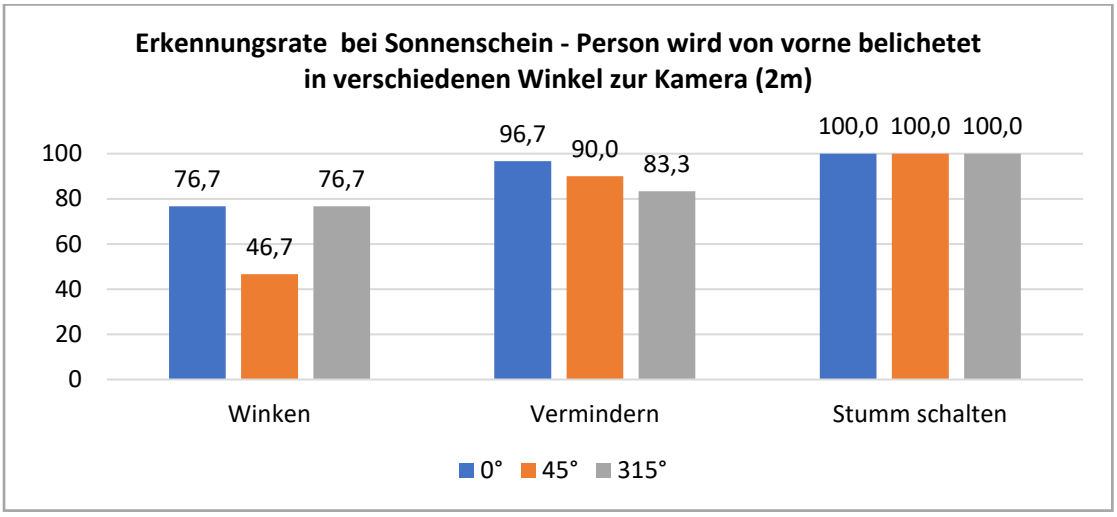


Abbildung 63 Erkennungsrate bei Sonnenschein - Person wird von vorne beleuchtet. Getestet bei 3 verschiedenen Winkelpositionen in 2 m Entfernung zur Kamera.

Zu 2 c) Dämmerung in Abbildung 64 gezeigt.

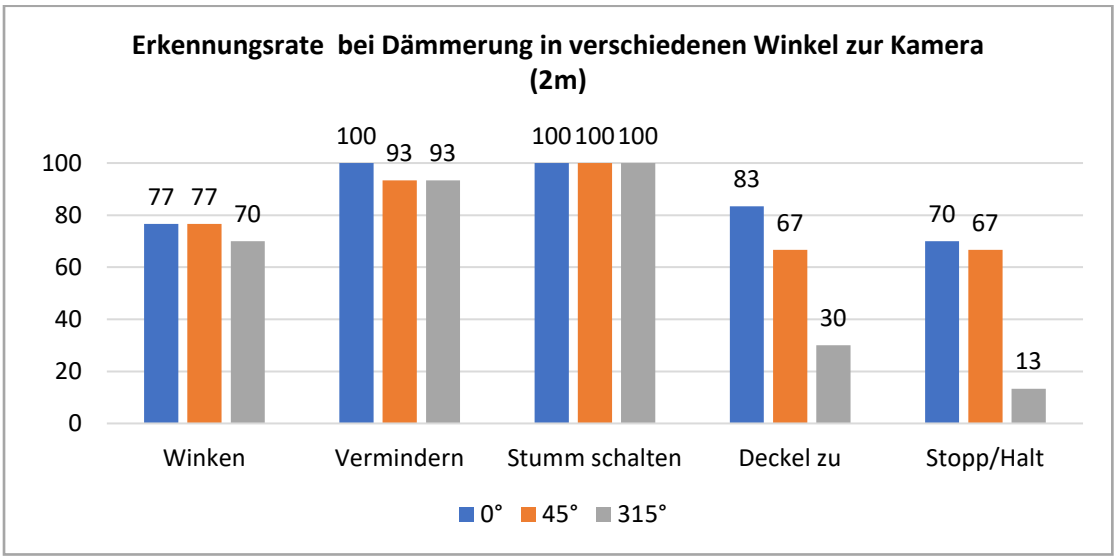


Abbildung 64 Erkennungsrate bei Dämmerung. Getestet bei 3 verschiedenen Winkelpositionen in 2 m Entfernung zur Kamera.

Zu 2 d) künstliches Licht in Form eines Wärmestrahlers - Seitenlicht: Person wird von rechts bestrahlt, die rechte Hand befindet sich im Schattenbereich. Ergebnis siehe Abbildung 65.

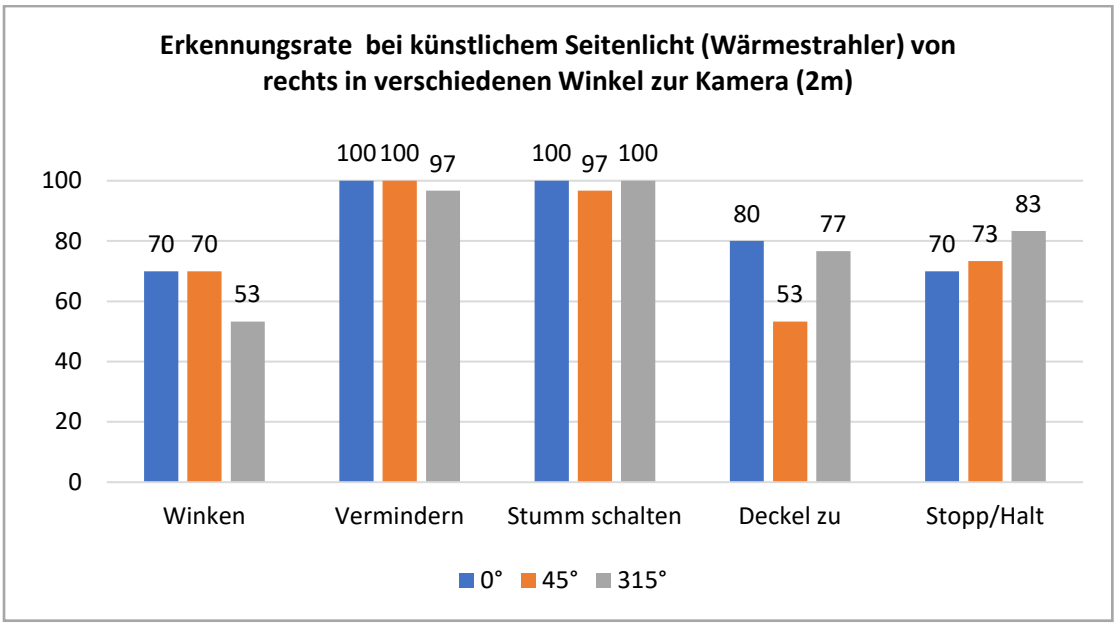


Abbildung 65 Erkennungsrate beim künstliches Licht erzeugt durch Wärmestrahler - Person wird von rechts bestrahlt, die rechte Hand befindet sich im Schattenbereich. Getestet bei 3 verschiedenen Winkelpositionen in 2 m Entfernung zur Kamera.

Zu 2 e) künstliches Licht in Form eines Wärmestrahlers - Gegenlicht: Person wird von hinten bestrahlt (Abbildung 66).

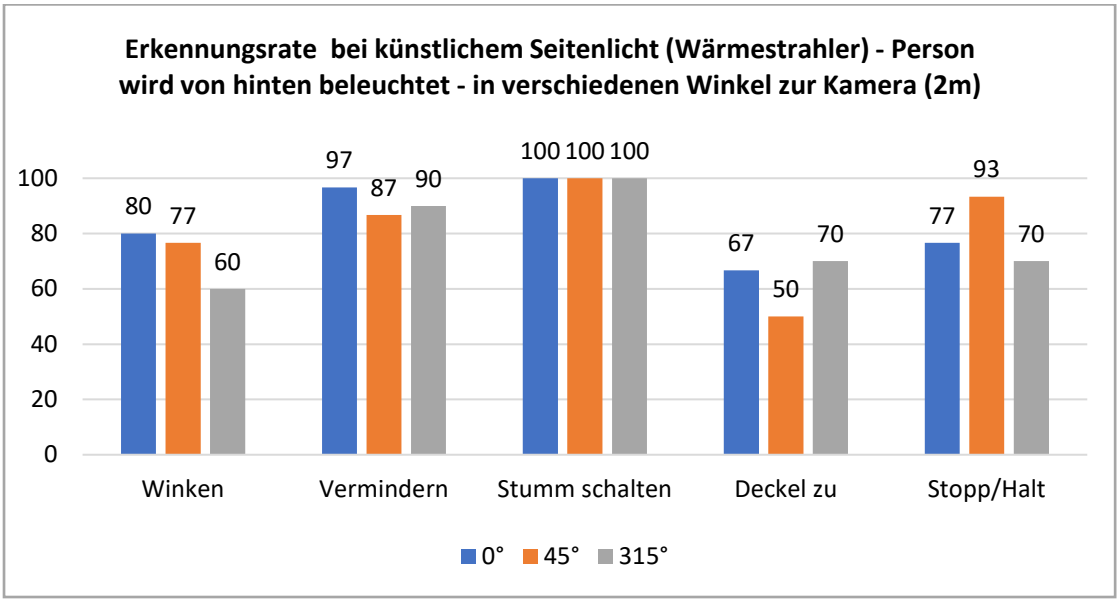


Abbildung 66 Erkennungsrate beim künstliches Licht erzeugt durch Wärmestrahler - Person wird von hinten bestrahlt. Getestet bei 3 verschiedenen Winkelpositionen in 2 m Entfernung zur Kamera.

Zu 2 f) künstliches Licht unter Verwendung von zwei Sensoren Kinect for Windows v2 in 2 Positionsvarianten in einem Raum. Abbildung 67 zeigt die getesteten Szenarien.

Variante 1: 2 Kinects, die gegenüber im Raum angebracht mit 5 m Abstand
Variante 2: 2 Kinects, die im 45° Winkel zueinander angebracht

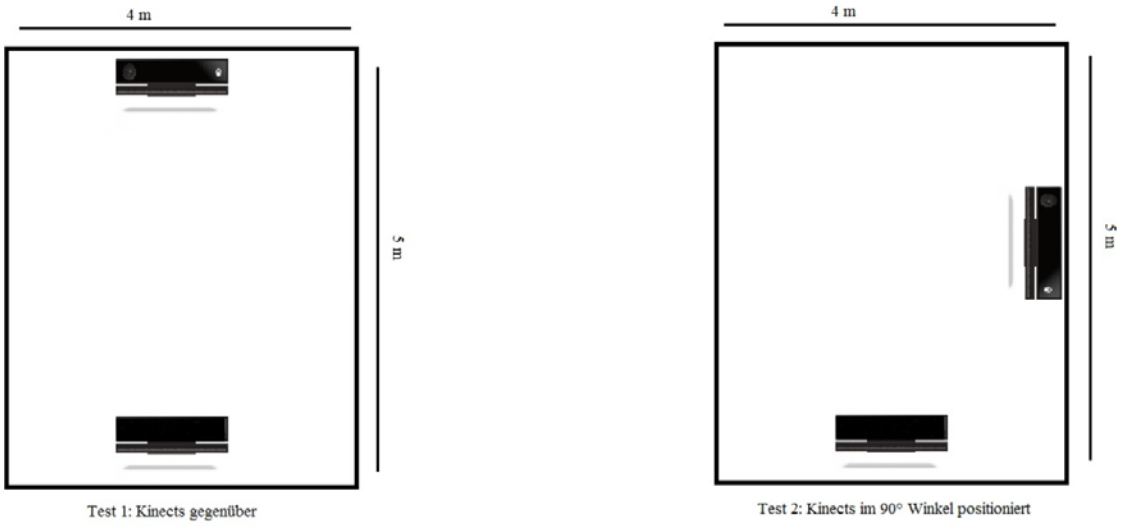


Abbildung 67 Skizze der Testszenarien unter Verwendung von 2 Kinect for Windows v2 Sensoren.

Zu 2 g) Nacht – völlige Dunkelheit. Ergebnis in Abbildung 68 dargstellt.

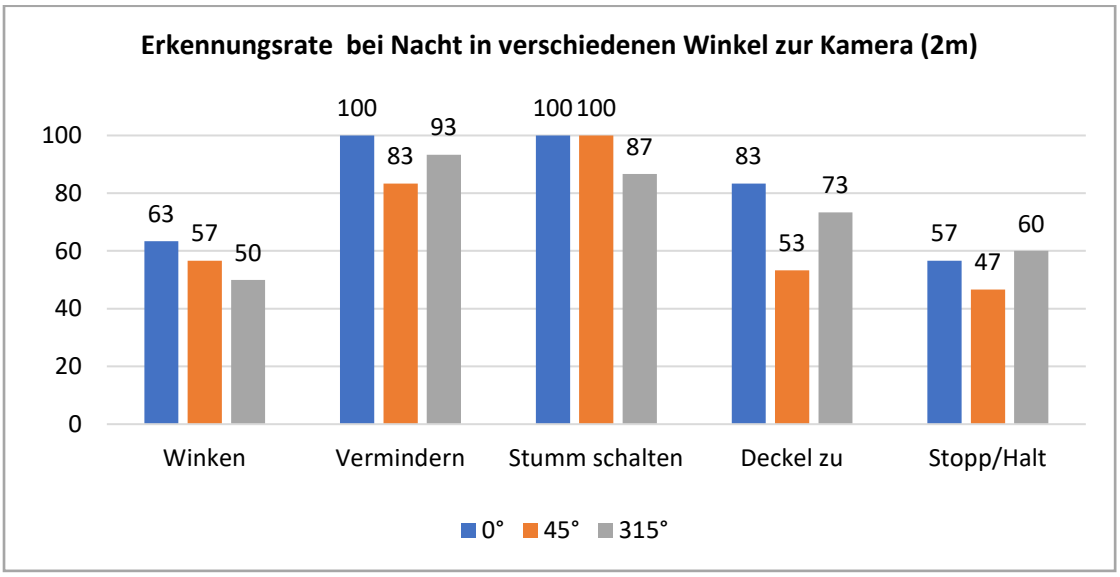


Abbildung 68 Erkennungsrate bei Nacht. Getestet bei 3 verschiedenen Winkelpositionen in 2 m Entfernung zur Kamera.

<u>Ergebnis/ Interpretation die verschieden Lichtverhältnisse:</u>

- Insgesamt weist die velixX-Gestenerkennung eine hohe Robustheit bezüglich verschiedener und schwieriger Lichtverhältnisse auf. Die Gesamterkennungsrate liegt bei etwa 83% (Vergleichswert 85% Erkennungsrate unter konstanten Lichtverhältnissen (über 16 Steuergesten gesehen). Höchste Erkennungsrate mit ca.91% bei 2 a).
- Die Aufstellung mehrerer Kinect Sensoren in einen Raum zeigt keine Wechselwirkung und keine Beeinträchtigung der Erkennungsrate.
- Die Robustheit des Systems wurde bestätigt.

(3) <u>Pose (Sitzen/ Stehen)</u>

Die Erkennungsrate im Sitzen soll ermittelt und mit der Erkennungsrate im Stehen vergleichen werden. Mögliche Einflussfaktor sollen beobachtete und festgehalten werden. Abbildung 69 veranschaulicht den Versuchsablauf im Sitzen. Die Erkennungsrate im Sitzen ist in Abbildung 70 dargestellt. In Abbildung 71 wird eine Gegenüberstellung der Erkennungsrate beim Sitzen und Stehen gezeigt.

Abbildung 69 Testperson im Sitzen und Durchführung der Geste „Winken“.

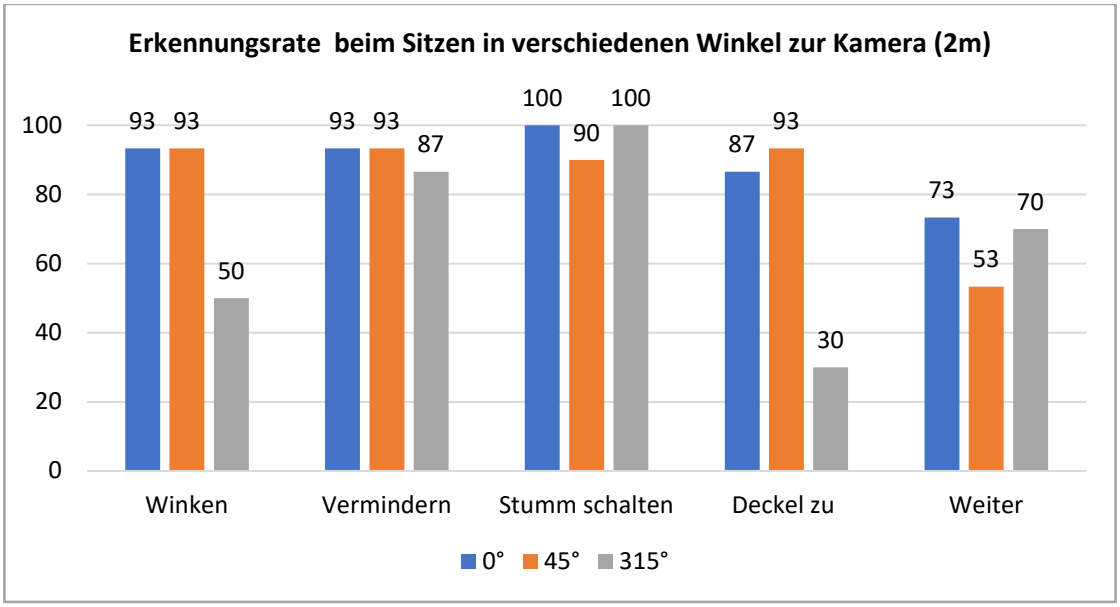


Abbildung 70 Erkennungsrate beim Sitzen. Getestet bei 3 verschiedenen Winkelpositionen in 2 m Entfernung zur Kamera.

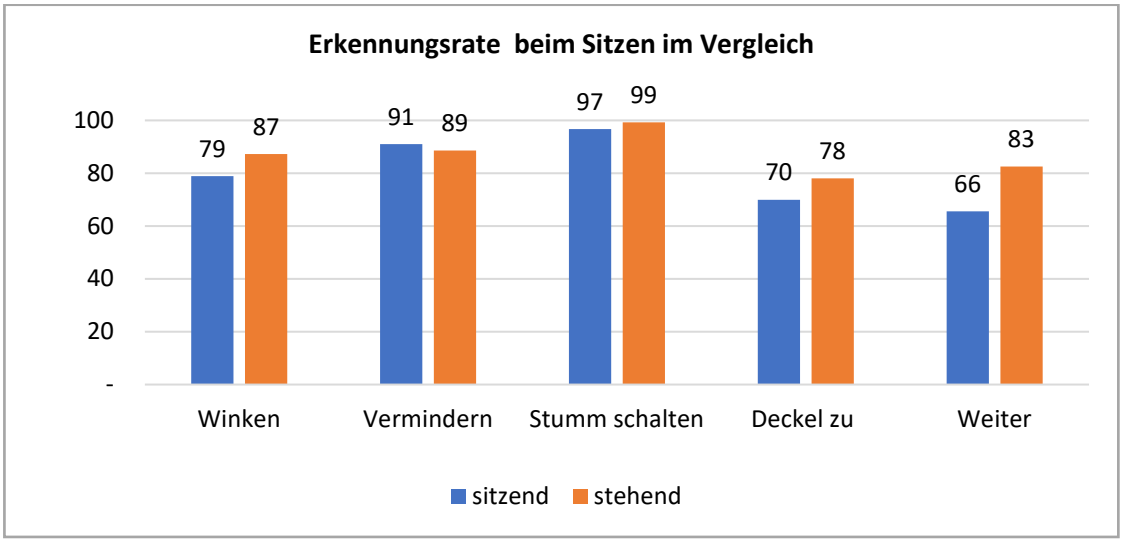


Abbildung 71 Gegenüberstellung der Erkennungsraten beim Sitzen und Stehen.

Ergebnis/ Interpretation für die Versuchsreihe Erkennung im Sitzen:

- Die Gesamterkennungsrate in der Position „Sitzen“ liegt bei ca. 80%.
- Die Gesamterkennungsrate in der Position „Stehen“ liegt bei ca.87%.
- Beobachtung: Im Falle einer kleinen schmalen Person und einer massiven Rückenlehne werden die Ecken der Lehne als Schulterpunkte genommen.

(4) Initialisierungsgeste

Testbedingungen:

- 5 Testpersonen (21 - 56 Jahren)
- Unterschiedliche Personengestalt (klein/ groß, schmal/ breit)
- Verdrehwinkel zur Kamera: 0°, 45°, 60 , 315°
- Gesten: „LinkeHandHoch“, „Kapitulation“

Folgende Testszenarien wurden untersucht (vgl. Abbildung 60):

a) Mehrere Personen befinden sich im Sichtbereich - ohne Verwendung von Initialisierungsgeste (Funktion deaktiviert)
   - 2 Personen nebeneinander statisch vor der Kamera
   - 3 Personen nebeneinander statisch vor der Kamera
   - 2 Personen hintereinander statisch vor der Kamera
     - Mittel/ mittel
     - Klein/ groß
     - Groß/ klein
   - 2 Personen hintereinander vor der Kamera, erste Person übt dynamische Bewegungen vor der ausführenden Person aus
   - 2 Personen hintereinander vor der Kamera, zweite Person übt dynamische Bewegungen hinter der ausführenden Person aus

b) Mehrere Personen befinden sich im Sichtbereich - mit Verwendung von Initialisierungsgeste (Funktion aktiviert)
   - 2 Personen nebeneinander statisch vor der Kamera mit Initialisierungsgeste
   - 3 Personen nebeneinander statisch vor der Kamera mit Initialisierungsgeste – Befehlsberechtigter stets in der Mittel
     - Mittel/ mittel/ klein
     - Mittel/ groß / klein
     - Klein/ mittel/ groß
   - 2 Personen hintereinander statisch vor der Kamera, erste Person ist Befehlsberechtigt
     - Mittel/ mittel
     - Klein/ groß
     - Groß/ klein
   - 2 Personen hintereinander statisch vor der Kamera, zweite Person ist Befehlsberechtigt
     - Mittel/ mittel
     - Klein/ groß
     - Groß/ klein
   - 2 Personen hintereinander vor der Kamera, erste Person bewegt sich mit im Sichtbereich vor der ausführenden Person hin und her (Laufgeschwindigkeit)
   - 2 Personen hintereinander vor der Kamera, zweite Person bewegt sich schnell im Sichtbereich hinter der ausführenden Person hin und her (Laufgeschwindigkeit)

c) Eignung der ausgewählten Gesten in verschiedenen Verdrehwinkel zur Kamera und einer Gegenüberstellung

Zu 5 a) Mehrere Personen vor der Kamera ohne Verwendung von Initialisierungsgeste

<u>Ergebnis/ Interpretation:</u>

- Willkürliche Auswahl (zufallsgesteuert) der getrackten Person bei gleicher Körpergröße. Bei der Positionierung hintereinander wird stets die erste Person erfasst.
- Trotz Normierung wird bei dem Versuch mit mehreren Personen mit unterschiedlichen Körpergrößen überwiegend die größte Person getrackt. Auch beim Verlassen des und wieder Einkehren im Sichtbereich(s) (einstellbarer Parameter) bleibt die zuvor verfolgte Person aktiv. Getrackte Person bleibt bestehen, auch wenn Personen nebenan Bewegungen ausführen, aber nicht, wenn die Personen umherlaufen. In diesem Falle wird die dominantere Person fixiert. Ebenfalls bei der Positionierung hintereinander wird die größere Person erfasst und getrackt.
- Person bleibt fixiert auch wenn andere Personen gestikulieren oder sich in der Umgebung befinden.
- Komm rasche Bewegung ins Spiel, wird die getrackte Person verdeckt oder verlässt die getrackte Person für einen längeren Zeitraum den Sichtbereich kommt es teilweise zu Systemausfälligen.[28]

[28] Hardware-Problem

- Versuche haben gezeigt, dass eine Initialisierungsgeste zwingend notwendig ist.

Zu 5 b) Mehrere Personen vor der Kamera mit der Verwendung von Initialisierungsgeste.

Ergebnis/ Interpretation:

- Die Initialisierung funktioniert einwandfrei. Die aktive Person ist solange aktiv bis sich abmeldet. Körpergröße zeigt keinen Einfluss.
- Beim Verlassen des Sichtbereichs für bestimmten Zeitraum, wird die Person automatisch abgemeldet.
- Befinden sich jedoch 2 Personen direkt hintereinander, fällt die Differenzierung der Gestalten bzw. die sichere Zuordnung der Joints dem System (Hardware-Problem, IR-Sensor) schwer (vergleiche Test Sitzen, Sitzlehne).

Zu 5 c) Eignung der ausgewählten Gesten in verschiedenen Verdrehwinkel zur Kamera (Abbildung 72) und Gegenüberstellung (Abbildung 73).

Nach sorgfältiger Überlegung wurden die Gesten „Kapitulation“ und „LinkeHandHoch“ als mögliche Initialisierungsgesten ausgewählt. Der Grund für die Auswahl liegt vor allem in der Differenzierung zu anderen Steuergesten sowie zu den alltagsüblichen Gestikulationsgesten oder Bewegungen.

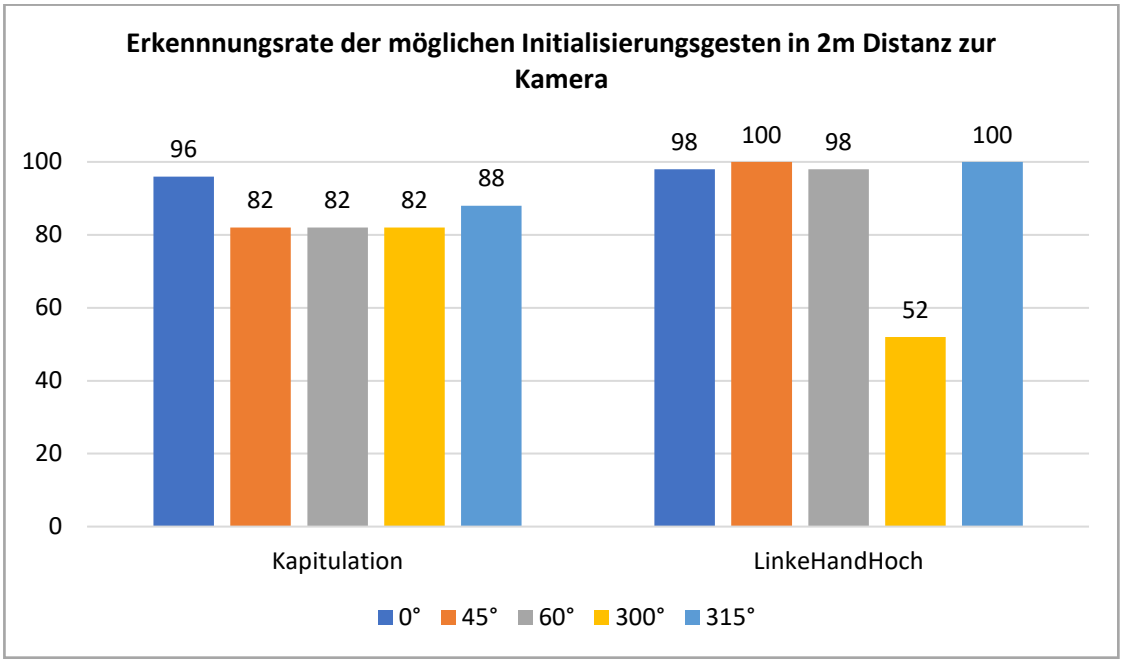


Abbildung 72 Erkennungsrate der möglichen Initialisierungsgesten. Getestet bei 5 verschiedenen Winkelpositionen in 2 m Entfernung zur Kamera.

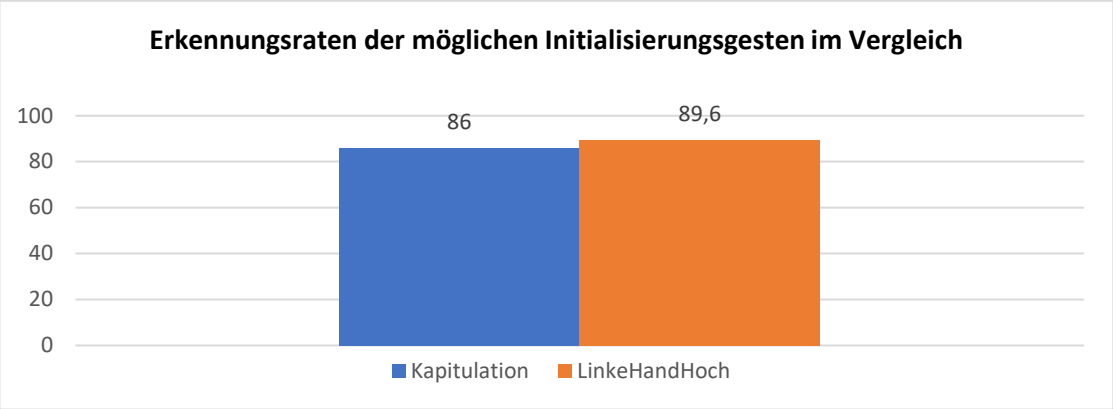


Abbildung 73 Gegenüberstellung der Erkennungsraten der beiden möglichen Gesten zur Initialisierung.

Ergebnis/ Interpretation:

Grundsätzlich eignen sich beide Gesten sehr gut. Die Erkennungsraten sind hoch und die Gesten werden unter verschiedenen Winkelstellungen des Nutzers von dem System gut erkannt.

2.3.2.4 Optimierung der Gestenerkennung

Die velixX-Gestenerkennung wurde innerhalb der Entwicklungs- und Evaluierungsphase sowohl in technischer Hinsicht als auch in Hinsicht der Usability kontinuierlich verbessert. Hierbei wurden vor allem die eigens gewonnenen Erkenntnisse, Messungen, Beobachtungen, Erfahrungen aus der Anwendung der velixX-Gestenerkennung unteranderem im Test aber auch der Einrichtung sowie der Inbetriebnahme ebenso jedoch auch die Rückmeldungen von Seitens der Projektpartner herangezogen, analysiert, bewertet und in Abstimmung bei Bedarf verändert, angepasst oder integriert. Im Folgenden werden die wesentlichen Optimierungen genannt:

- Die Performance des Systems wurde durch Parallelisierung von Verarbeitungsprozessen von ehemals ca. 30 ms auf 12 ms - 15 ms erhöht. Das System ist echtzeitfähig (Anforderung < 33 ms).
- Plausibilitätsprüfung und Ausnahmebehandlung wurden integriert, Koordinaten werden nun auf Ihre Plausibilität hin überprüft und bei Bedarf automatisch korrigiert. Beispiel: Zu Beginn kam es zu Systemausfällen sobald der getrackte Nutzer den Sichtbereich verlassen hatte. Nun ist das System stabil. Der Zustand wird beim Verlassen des Nutzers für eine bestimmte Zeit (einstellbarer Parameter) aktiv gehalten, nach Ablauf der Zeit erfolgt eine automatische Abmeldung.
- Die Normierung und Umrechnung der Koordinaten ermöglicht eine zuverlässige Erkennung einer Verdrehen Position des Nutzers zur Kamera bis einschließlich ±60°.
- Der Winkel des Sensors wird automatisch erfasst und kontinuierlich überprüft. Zu Beginnt wurde der Winkel manuell erfasst und in das System eingegeben. Die Folge ist Risikominimierung und Erhöhung der Systemsicherheit, da der Wert notwendig für die weitere Berechnung sowie Normierung von Skelettondaten und schließlich Ermittlung von Gesten ist.
- Gestenkatalog wurde hinsichtlich der Benutzerfreundlichkeit in der Ausführung und Intuition der Bedienung optimiert. Die Erkennungsrate wurde durch Anpassen der Parameter und der stetigen Optimierung der Joint-Konstellationen gesteigert.
- Einführung einer Initialisierungsgeste. Damit wird sichergestellt, dass lediglich der Befehls-berechtigte (1 Nutzer) das System steuern darf. Eine Logik wurde hinsichtlich der Initialisierung integriert: Die Initialisierungsgeste wird mit der „HoldBody“-Funktion (Steuertag) belegt, diese dient dazu, dass sich eine Person bei dem Kinect-Sensor aktiv „anmelden“ kann. Alle weiteren Personen werden solange ignoriert, bis die angemeldete Person sich erneut mit derselben Geste „abmeldet“. Befindet sich nur einer Person vor der Kamera, dann ist diese sofort angemeldet. Verlässt die angemeldete Person den Sichtbereich der Kamera, wird sie abgemeldet.
- Das „Zeigen“ wurde ebenfalls im Rahmen einer Systemoptimierung entwickelt. Die Frage stand hierbei im Raum, wie kann ein Objekt/ Gerät ohne die Verwendung von Sprache bestimmt werden ohne dabei den Gestenkatalog zu sprengen. Durch den Ansatz, man zeigt auf das gemeinte Objekt und führt dann eine Aktion aus und die Realisierung der Erkennung der Zeigerichtung wurde eine intuitive Bedienung des Systems gewährleistet. Die Herausforderung hierbei bestand nicht nur in der sicheren Zuordnung der Richtung sondern auch der Beibehaltung der natürlichen Handhabung des Menschen (Auge sieht, Hand zeigt). Durch die Verwendung eines Vektors durch den Head- und Handgelenk-Joint konnte die Herausforderung erfolgreich gelöst werden.
- Es wurde eine einfache Möglichkeit entwickelt und implementiert, welche erlaubt, die Positionen der Objekte/ Geräte im Raum zu definieren. Durch die Berührung des Objekts mit der rechten Hand (alternativ Hand in die Nähe des Objektes bringen) werden die Koordinaten der Hand

übernommen und ggf. in (x,y,z)-Richtung relativ zur Kamera verschoben. Mit dieser Methode lassen sich auch Objekte außerhalb des Sichtbereichs der Kamera definieren. Zu jedem Objekt/ Gerät kann zusätzlich ein Toleranzwinkel konfiguriert werden. Hierdurch kann z.B. ein Fernseher einen großen Bereich repräsentieren, während z.B. eine Tischlampe lediglich einen Punkt im Raum einnimmt. Um ein Gerät auszuwählen, zeigt der Nutzer mit der geschlossenen rechten Hand auf das Gerät seiner Wahl. Um zu ermitteln, auf welches Gerät gerade gezeigt wird, werden zwei Vektoren gebildet und ihr Schnitt-Winkel berechnet. Ein Vektor verläuft durch das Gelenk der rechten Hand, der andere Vektor geht durch den tatsächlichen Punkt, in dem sich das Gerät befindet. Dieser Punkt wird bei der Konfiguration ermittelt und gespeichert. Die zwei Vektoren bilden einen Schnittpunkt am Kopf des Benutzers (Head Joint). Ist der Wert des berechneten Winkels kleiner als der Toleranzwinkel, gilt das Objekt/ Gerät als ausgewählt. Befinden sich mehrere Objekte/ Geräte im gültigen Bereich, wird das mit dem kleineren Winkel ausgewählt.

- Die Reduktion der Anzahl an relevanten Körpergelenkpunkten von 25 auf 12 (lediglich der Oberkörper) gewährleistet eine Erkennung der Gesten unabhängig von der Pose (Sitzen oder Stehen) des Nutzers.
- Entlastung und Erhöhung der Stabilität des Systems konnte durch gezielte Reduktion der Datenmenge der Kinect for Windows v2 über die inkompatible USB-3.0 Schnittstelle realisiert werden. Das Problem der unzuverlässigen Datenübertragung der Kinect for Windows v2 durch die Verwendung der empfohlenen PCI-Karten von Microsoft hatten keinen Erfolg. Durch den Ansatz der Reduktion der Datenmenge läuft die Kinect for Windows v2 über mehrere Stunden hinweg stabil.

2.3.2.5 Konzept zur Kameraanordnung

Aufbauend auf die Erfahrungen im Umgang mit der entwickelten veliXX-Gestenerkennung sowie die Erkenntnisse aus den Tests wurden die Grenzen des Systems ermittelt und basierend hierauf ein Konzept zur Kameraanordnung im Wohnraum ausgearbeitet. Im Folgenden sind die Hauptsystemgrenzen nach Soft- und Hardware gegliedert:

Grenzen der Erkennung durch die Softwarekomponente:

- Keine Unterscheidung der Front-/Rückanasicht aufgrund der Wahrung der Anonymität des Nutzers.
- Zulässiger Bereich der Verdrehung des Nutzers zur Kamera innerhalb ± 60°. Zuverlässige Erkennung der Gesten bei
  - ± 30° sehr gute Erkennungsrate
  - ±60° gute Erkennungsrate
- Bei einem Verdrehwinkel des Nutzers über ± 60° zur Kamera treten Abschattungseffekte und teilweise bis komplette Verdeckungen der Gliedmaßen auf. Hier ist eine zuverlässige Erkennung nicht mehr möglich. Normierung erfolgt ebenfalls bis zu dieser Grenze von ± 60°.

Grenzen der Erkennung durch die Hardwarekomponente:

- Neigungswinkel des Sensors: max. 28°
- Höhe: 2,15 m (einstellbar)
- Horizontaler Sichtwinkel der Kamera: 70°
- Arbeitsbereich: 0,8 m bis 4,5 m (bei 2,15 m Höhe, 28° Neigung)
- Optimaler Arbeitsbereich 2 m - 3 m

Die Gewährleistung einer 360°-Erkennung ist theoretisch mit drei Kameras realisierbar. Hierbei ist jedoch davon auszugehen, dass der Nutzer seine Position nicht verlässt und lediglich um die eigene Achse rotiert (vgl. Abbildung 74). Farblich hinterlegte Bereiche stellen die Erfassungsbereiche (Sichtbereiche) der jeweiligen Kameras dar.

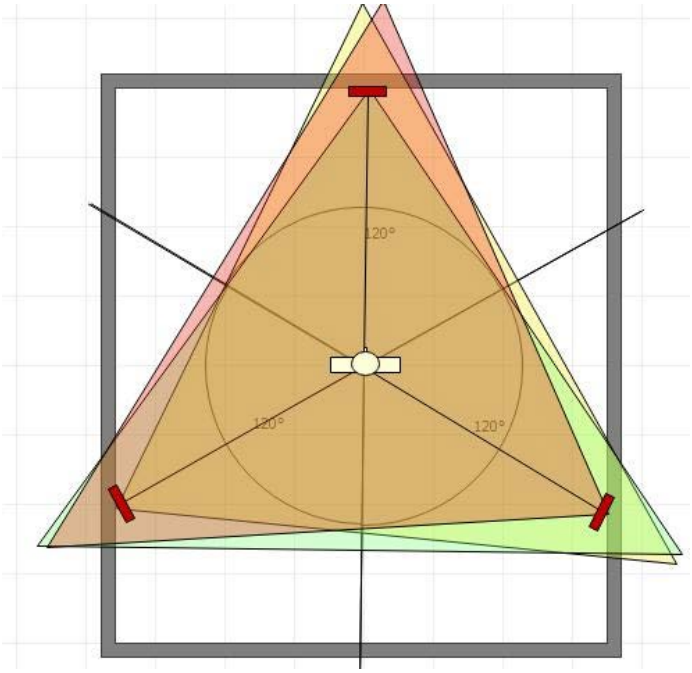


Abbildung 74 Skizze einer 360°-Erkennung mit drei Kameras und Nutzer in der Mitte.

Für eine 360°-Erkennung aus einer beliebigen Position im Wohnraum wird theoretisch eine Vielzahl von Kameras benötigt, was die Angelegenheit auf der einen Seite sehr kostspielig und auf der anderen Seite sehr kompliziert (Mehrfachdeutungen, Plausibilität, Kommunikation, Datenmenge) machen würde.

In der Praxis ist jedoch keine Rundum-Überwachung erforderlich. Die Kameraanordnung und die erforderliche Anzahl an Kameras richten sich nach den folgenden Hauptkriterien:

- Hauptanwesenheitsorte des Nutzers im Wohnraum
- Anwenderszenarien (Wo stehen die Objekte/ Geräte und von wo aus würde man diese bedienen)
- Einrichtungssituation im Wohnraum
- Raumgeometrie

Diese Hauptkriterien für eine Kameraanordnung in der Praxis wurden von velixX anhand von alltagstypischen Szenarien eingehend untersucht, abgeleitet und erprobt. Diese Szenarien umfassten unteranderem das typische Verhalten und die Lebensroutinen der betrachteten Nutzergruppe im Alltag sowie in speziellen Situationen (Bedienung der Wohngerätetechnik beim Aufstehen/zu Bett gehen, beim Eintreten/ Verlassen eines Raumes, sowie die Bedienung der Wohngerätetechnik bei Besuch).

Die Anordnung sowie die benötigte Anzahl der Kameras sind somit für jeden Nutzer individuell zu betrachten. Der wesentliche Vorteil dieser Methode ist, dass der Nutzer frei und uneingeschränkt im Raum agieren kann und von der Position der Kamera unabhängig ist. Die Kameraposition richtet sich voll und ganz nach den Gewohnheiten des Nutzers. Weitere Vorteile stellen die reduzierte Anzahl an benötigten Kameras sowie dem damit verbundenen Mehraufwand an Kosten für die Hardware, Installation und die Kommunikation. Zur Veranschaulichung werden im Anschluss anhand fünf Beispiele mögliche Kameraanordnungen in Wohnräumen bzw. Appartement basieren auf Standard-Zimmergrößen mit einer typischen Einrichtungssituation (Pflegeheim, Betreutes Wohnen) unter Beachtung der Systemgrenzen dargestellt. Bei der Konfiguration wird davon ausgegangen, dass die Steuerung der Objekte/ Geräte durch Zeigen und anschließender Ausführung einer Steuergeste erfolgt. Die Voraussetzung hierfür ist, dass sich die zu steuernden Objekte/ Geräte im natürlichen Sichtbereich des befehlsberechtigten Nutzers befinden. Zum Beispiel ist das Schalten eines Objektes/ Gerätes, welches sich hinter dem Nutzer befindet nicht möglich, es sei denn der Nutzer wendet sich dem Objekt/ Gerät zu. In den Abbildungen symbolisieren rote Rechtecke die Kameras, die Position und Ausrichtung wurde beachtet. Grün hinterlegte Bereiche stellen die Erfassungsbereiche (Sichtbereiche) der jeweiligen Kameras dar. Blaue Bereiche stellen die Hauptanwesenheitsorte dar. Bereiche, welche nicht im Sichtbereich der Kameras liegen, stellen „blinde Bereiche“ dar. Hier können sich zwar Objekte/ Geräte befinden, welche angesteuert werden können. Die Ansteuerung (Erkennung der Geste) kann jedoch lediglich innerhalb der grünen Bereiche (Sichtbereiche der Kameras) erfolgen.

1. Wohnzimmer 3 m x 5 m (Abbildung 75):

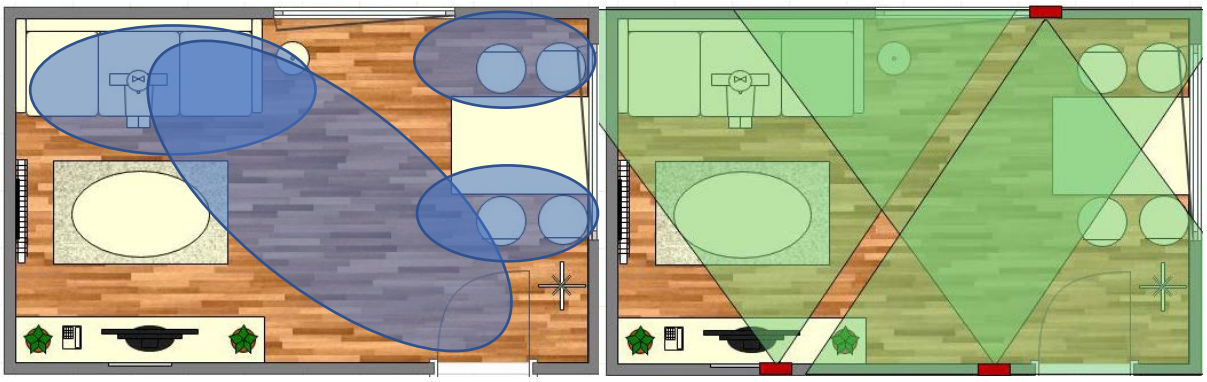


Abbildung 75 Wohnzimmer 3 m x 5 m mit Darstellung der möglichen Kameraanordnung und Positionierung.

2. Wohnzimmer 3 m x 6 m (Abbildung 76):

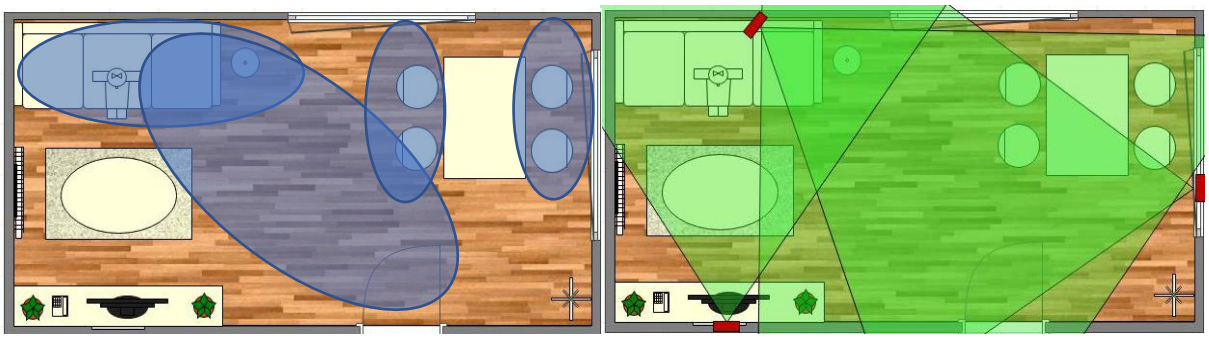


Abbildung 76 Wohnzimmer 3 m x 6 m mit Darstellung der möglichen Kameraanordnung und Positionierung.

3. Wohnzimmer 4 m x 4 m (Abbildung 77):

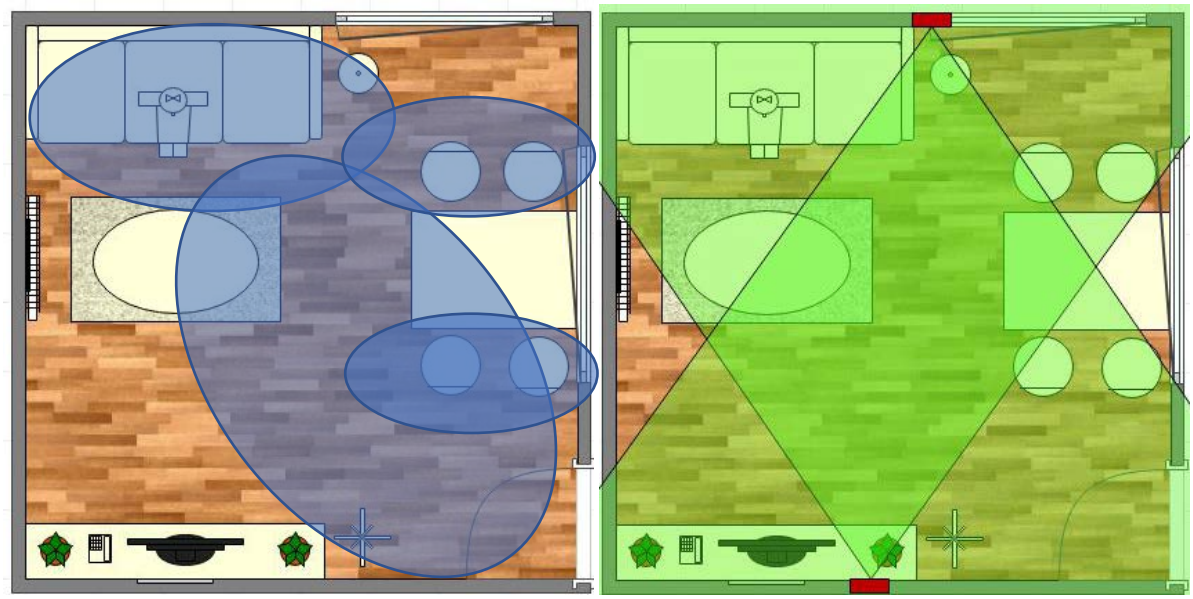


Abbildung 77 Wohnzimmer 4 m x 4 m mit Darstellung der möglichen Kameraanordnung und Positionierung.

4. Wohnzimmer 4 m x 5 m (Abbildung 78, zeigt 3 Varianten an möglichen Kameraanordnungen):

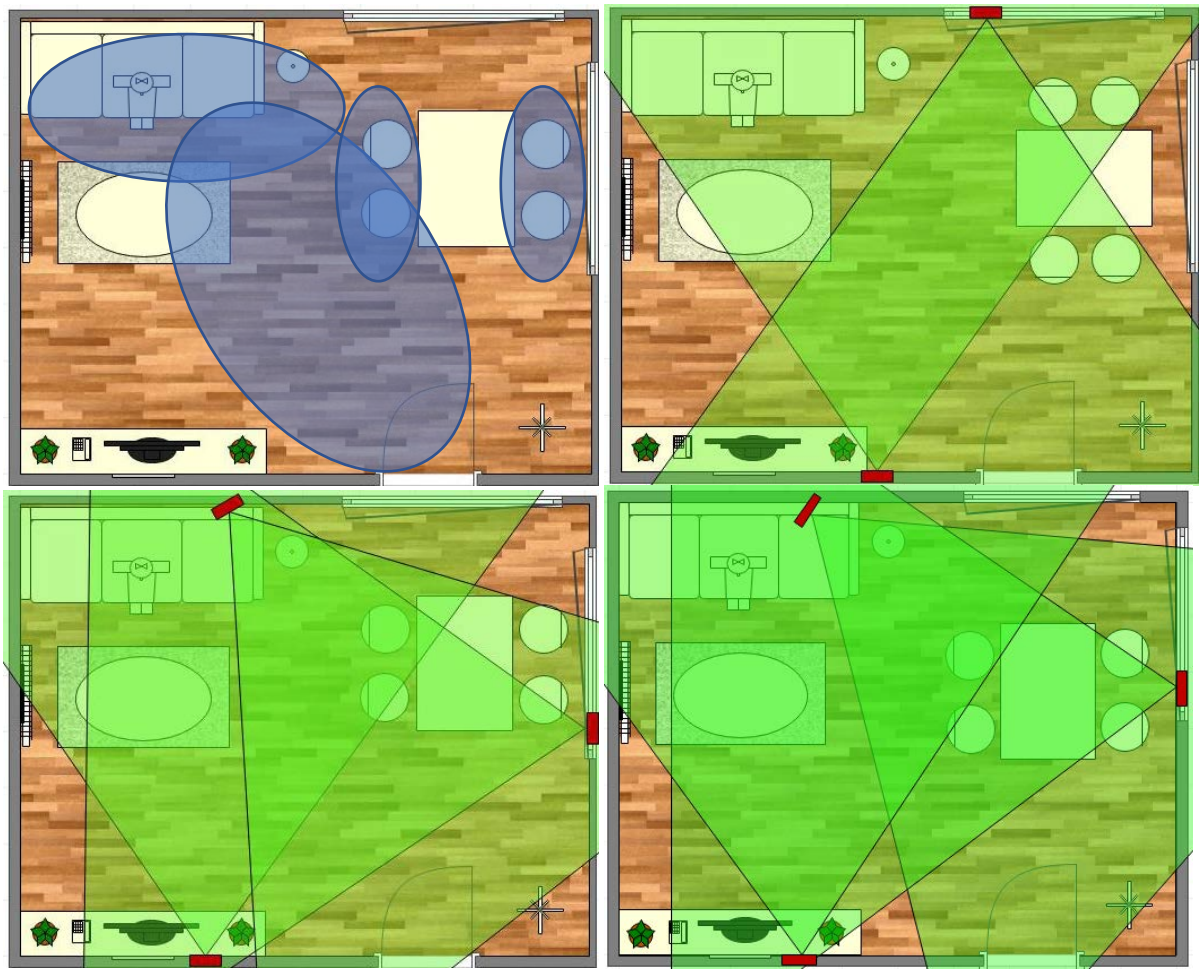


Abbildung 78 Wohnzimmer 4 m x 5 m mit Darstellung der möglichen Kameraanordnung und Positionierung (3 Varianten).

5. Appartement, 2 Zimmer (Abbildung 79):

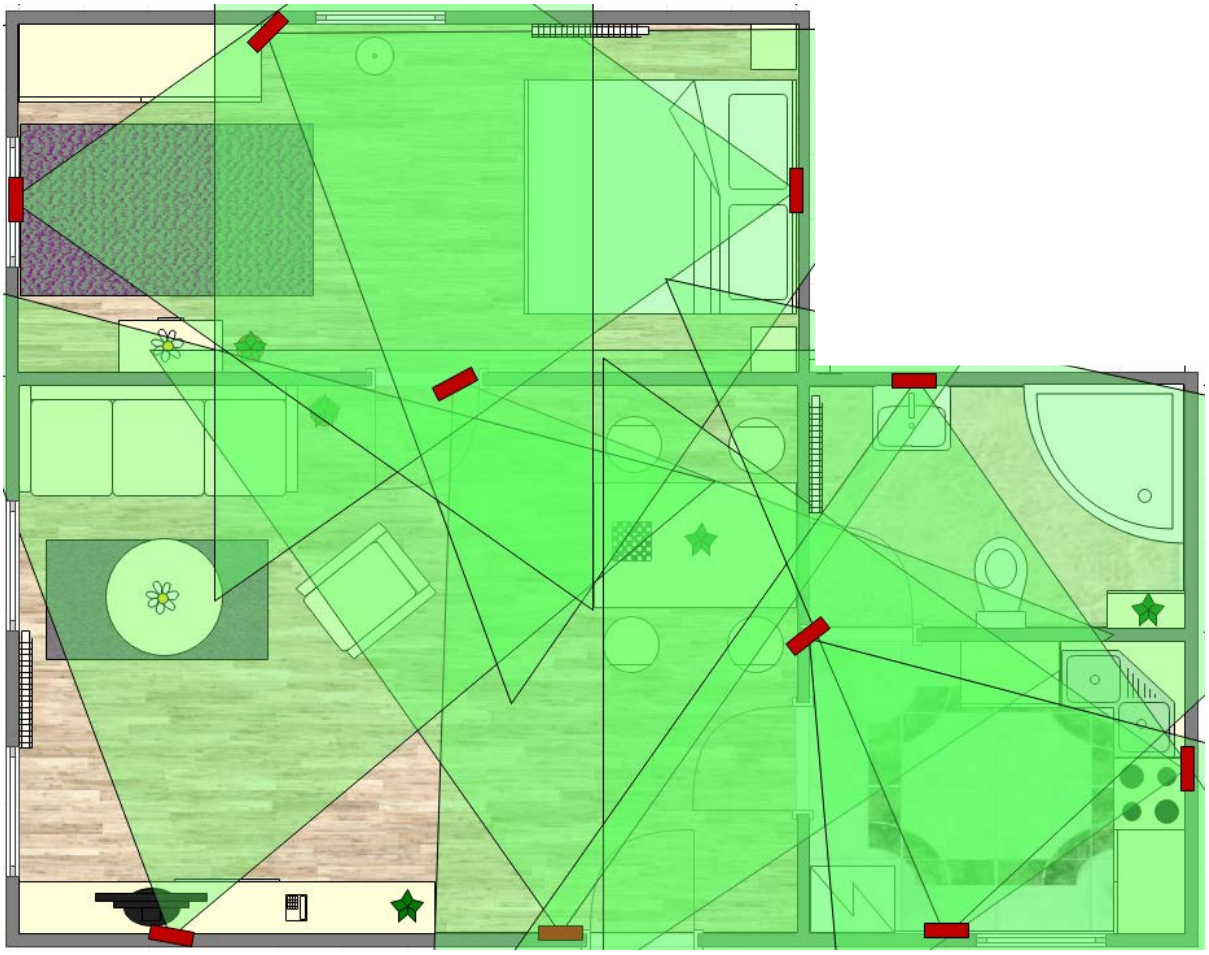


Abbildung 79 2 Zimmer Appartement mit Darstellung der möglichen Kameraanordnung und Positionierung, Gestenerkennung im Bereich der Küche und dem Badezimmer ist optional zu betrachten.

2.3.2.6 Integration in das Gesamtsystem „Wohnumfeld“

Es wurden regelmäßig Software-Updates sowie Gebrauchsanweisungen der TU Ilmenau zur Verfügung gestellt. Inbetriebnahme sowie die Anwendung der velixX-Gestenerkennung wurden durch velixX unterstützt. Abstimmungen betreffend gemeinsamen Schnittstellen wurden durchgeführt. Form des Übergabeprotokolls wurde durch velixX festgelegt, Inhalt wurde gemeinsam definiert. Rückmeldungen wurden erfasst und in die internen Tests sowie Optimierung aufgenommen. Anpassungen wurden laufend vorgenommen.

2.3.3 AP 3: Evaluierungsphase „Wohnumfeld“

velixX hat im AP 3 eine untergeordnete jedoch eine unterstützende und beratende Rolle eingenommen. Sämtliche, das Arbeitspaket betreffende, Arbeiten wurden von Seitens velixX in vollem Umfang zeitgerecht ausgeführt und übergeben. Wie oben beschrieben wurden stets wichtige Entscheidungen des Gesamtvorhabens sowie die Schnittstellen zwischen der Sprach- und Gestenerkennung sowie dem Assistenzsystem mit den betreffenden Partnern gemeinsam erarbeitet, abgestimmt und freigegeben. Regelmäßige Statusmeldungen sowie laufende Updates zu Hard- und Softwarepakete der velixX-Gestenerkennung sowie der dazugehörigen Dokumentation wurden bereitgestellt. Die Inbetriebnahme der Module der velixX-Gestenerkennung sowie die Schnittstellenkommunikation beim Projektpartner wurden unterstützt. Begleitende technische Herausforderungen wurden von velixX untersucht und gelöst. Die Kommunikation mit dem Assistenzsystem wurde funktional angepasst und optimiert. Eine Inbetriebnahme des Gesamtsystems „Wohnumfeld“ von seitens Tu Ilmenau wurde erfolgreich durchgeführt und getestet (siehe Bericht TU Ilmenau). Die Ergebnisse der Evaluierungsphase sind in den Berichten der Partner nachzulesen.

2.3.4 AP 4: Modul-Dokumentationen

Dokumentationen sämtlicher projektbetreffenden Entwicklungen, Testbedingungen, Testszenarien und Ergebnissen ebenso die für den Betrieb notwendige Beschreibungen liegen vor. Während der Projektlaufzeit wurden Informationen der Projektergebnisse für Fachvorträge und Poster erstellt und dem Projektkoordinator und Konsortialführer zur Verfügung gestellt. Gemeinsames Auftreten auf Fachveranstaltungen (siehe Reisekosten in Kap. 2.4) wurde geleistet und Auskunft bei Interesse erteilt. Vorträge im Rahmen der Meilenstein-Projekttreffen wurden teilweise unter Anwesenheit der Öffentlichkeit gehalten.

2.4 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Inhalt wurde durch velixX entfernt.

2.5 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Inhalt wurde durch velixX entfernt.

2.6 Voraussichtlicher Nutzen und Verwendbarkeit

Inhalt wurde durch velixX entfernt.

2.7 Fortschritt auf dem Vorhabensgebiet bei anderen Stellen

Neben den, in Kap. 1.6 beschriebenen Beispielen auf dem Gebiet der kamerabasierten Gestensteuerung sind im Laufe des Vorhabens weitere Fortschritte bekannt geworden. Die Vorstellung Geräte ohne die Verwendung von Hilfsmittel wie z.B. Fernbedienung oder Taster zu steuern erscheint nicht mehr als eine wage Science Fiction Fantasie sondern rückt immer näher und nimmt stetig eine stärkere Rolle in unserem Alltag ein.

Mit intuitiven berührungslosen Bedienkonzepten, ganz nach dem Motto „Neue Technologien sind vor allem dann erfolgreich, wenn sie einfach zu bedienen sind.“[29] beschäftigen sich Forschungseinrichtungen aber auch namhafte Firmen mit BUNDSCHUH-ähnlicher Thematik, die den Alltag bzw. das Leben von Menschen einfacher gestalten können. Zum Beispiel stellte der Smart Home-Anbieter digitalSTROM 2015 auf der Internationalen Funkausstellung (IFA) in Berlin eine praktische Anwendunge durch vereinfachte Bedienkonzepte vor. Neben Sprache setzt digitalSTROM auch auf intuitive Steuerung durch Gestik, Mimik und Bewegungen. Unter Verwendung der Intel 3D-Tiefenkamera RealSense wurden anhand der Erkennung von Mimik eine Kaffeemaschine angesteuert. Seit 2015 setzt der Automobilkonzern BMW AG bei dem Modell BMW 7 die Gestiksteuerung ein. Spezifisch festgelegte Funktionen werden mittels bestimmter Handbewegungen bedient. Zum Beispiel steuern die Gesten „Wischen“ oder „Zeigen“ die Funktionen Ablehnen und Annehmen eines Telefonanrufs, das Fortsetzen und Abbrechen der Navigation sowie die Aufnahme und Beendigung von Sprachaufnahmen. Durch Drehbewegungen des Zeigefingers erfolgt die Lautstärke-Regelung. Über den Control Display erhält der Nutzer eine visuelle Rückmeldung auf die Gestik-Interaktionen. [30] Das Start-Up-Unternehmen eyeSight Technologies bietet seit 2016 das

[29] https://www.digitalstrom.com/Pressemitteilungen/Freies-Sprechen-kurze-Geste-digitalSTROM-zeigt-neues-Level-intuitiver-Bedienung-und-praktischer-Anwendungen-im-Smart-Home.html?d=2015

[30] http://www.bmw.de

kommerziell erhältliches System singlecue gesture control, welches die Erkennung von Fingerbewegung zur Steuerung z.B. des Fernsehers, der Musikanlage oder der Lichter nutzt. Singlecue gesture control ist ein kompaktes Einzelgerät (Größe vergleichbar mit dem Sensor Kinect for Windows v2), welches keine weitere physische Infrastruktur erfordert und laut Anbieter mit über 100.000 Geräten (Geräte mit IR-Fernbedienung sowie ausgewählte WiFi-fähige Geräte) und 1.200 Marken kompatibel ist. Der Preis des Systems beträgt lediglich ca. 200€, gebaucht bereits ab 60€ erhältlich. Die Einrichtung und die Anbindung des Systems erfolgt laut Hersteller per singlecue-App. [31]

2.8 Erfolgte und geplante Veröffentlichungen und Vorträge

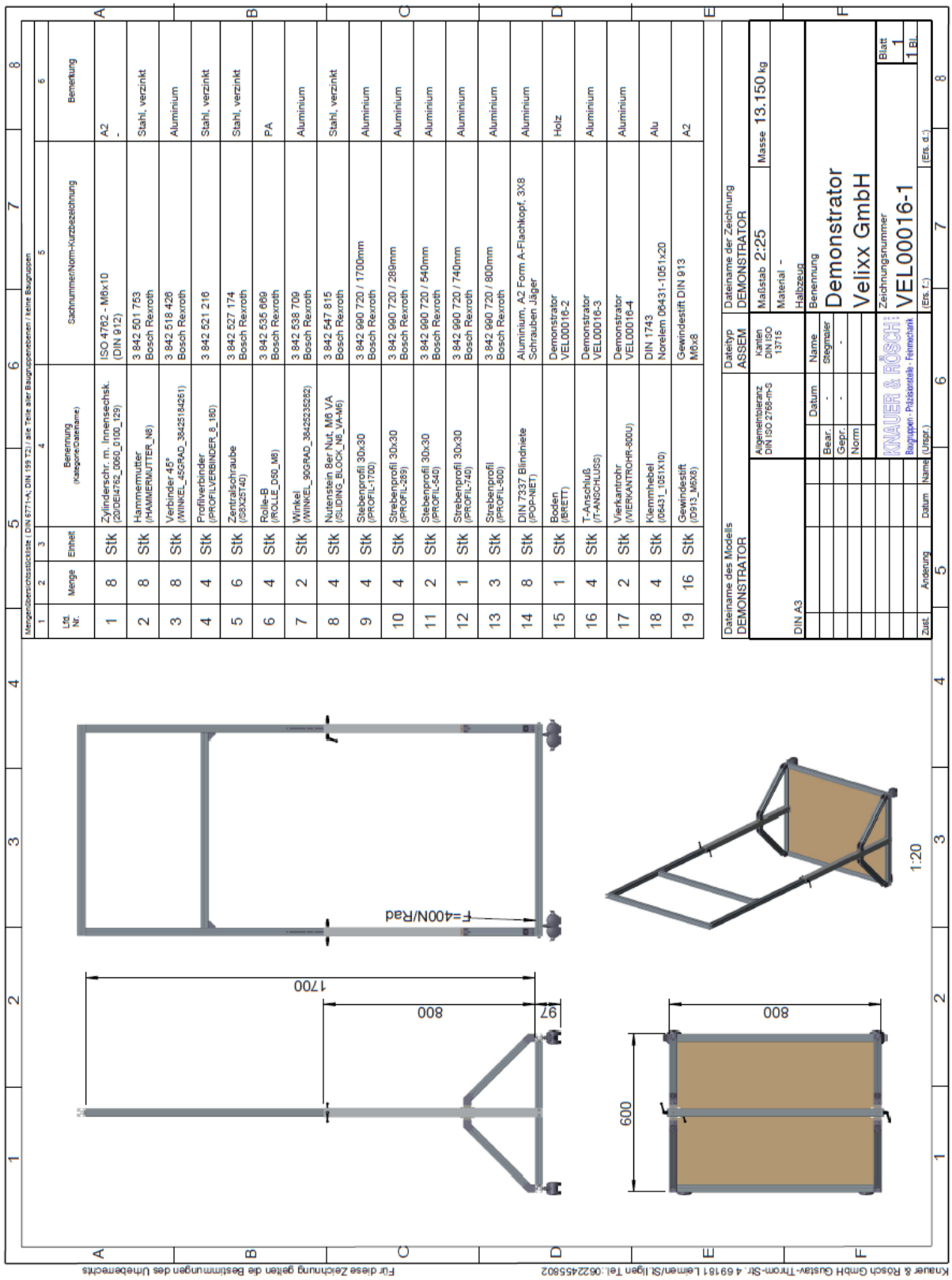
Wesentliche Ergebnisse des BUNDSCHUH-Verbundes sind in den erfolgten Publikationen durch den Konsortialführer TU Ilmenau veröffentlicht sowie auf Konferenzen berichtet oder gezeigt worden. Vorträge im Rahmen der Projekttreffen (Meilenstein, Abschluss) wurden öffentlich unter Anwesenheit von Interessierten gehalten.

Über die Projektzusammenarbeit hinausgehend sind von velixX keine wissenschaftlichen Ergebnisse publiziert worden und sind derzeit nicht geplant. Die erfolgten Berichte zur Bachelorarbeit bzw. der Praktika wurden mit einem Sperrvermerk unter Einhalten der Geheimhaltungsvereinbarung versehen. Die Abschlusspräsentation zur Bachelorarbeit mit dem Titel „Machbarkeitsstudie zur Bewegungserkennung auf einem FPGA-basierten SoC“ fand ebenfalls unter Ausschluss der Öffentlichkeit in Anwesenheit des Prüfungsvorsitzenden der Hochschule Mannheim in den Räumen der Fa. velixX statt.

[31] https://singlecue.com/

3 Anhang

A Konstruktionszeichnung des internen Demonstrators



4 Literatur

Anderson, F., Annett, M., Bischof, W. F., Lean on Wii: Physical rehabilitation with virtual reality and Wii periph-erals, Annual Review of CyberTherapy and Telemedicine, Vol. 8(1), 2010, S. 181-184

BMW AG, online verfügbar unter: http://www.bmw.de, zuletzt überprüft am 17.05.2017

Borenstein, J., The NavBelt - A Computerized Multi-Sensor Travel Aid for Active Guidance of the Blind., Proceedings of the CSUN's Fifth Annual Conference on Technology and Persons with Disabilities, Los Angeles, California, , 1990, S. 107–116, zuletzt geprüft am 05.05.2017

Bouguet, J., Pyramidal Implementation of the Lucas Kanade Feature Tracker Description of the Algorithm, Intel Corporation Microprocessor Research Labs

Boulton, A. J. M., Kubrusly, D. B., Bowker, J. H., Gadia, M. T., Quintero, L., Becker, D. M., Skyler, J. S. , Sosenko, J. M., Impaired vibratory perception and diabetic foot ulceration. In: Diabetic medicine 3 (4), 1986, S. 335–337, zuletzt geprüft am 05.05.2017

Decker, J., Li, H., Losowyj, D., Prakash, V., Wii habilitation: rehabilitation of wrist flexion and extension using a wiimote-based game system, Governor's School of Engineering and Technology Research Journal, 2009

DigitalSTROM, online verfügbar unter: https://www.digitalstrom.com/Pressemitteilungen/Freies-Sprechen-kurze-Geste-digitalSTROM-zeigt-neues-Level-intuitiver-Bedienung-und-praktischer-Anwendungen-im-Smart-Home.html?d=2015, zuletzt überprüft am 17.05.2017

Dixit, V., Haptic Shoe for the Blind. Le Chal is an unobstrusive navigation aid for the visually impaired, MIT Technology Review India Edition, 2011, S. 58–60. Online verfügbar unter http://de.scribd.com/doc/62713533/Le-Chal-Haptic-Shoe-for-the-visually-impaired, zuletzt geprüft am 24.07.2013

Fechner, F., Gerät für Blinde zur Abstandswarnung mittels Ultraschall und Vibrationsmotoren. Angemeldet durch Fechner, Felix am 12.07.2005, Anmeldenr: 102005032386, Veröffentlichungsnr: DE102005032386A1

Funda, C., Entwicklung einer Versuchsumgebung zur Leistungsevaluation bei der Bedienung eines Touchscreens in Kombination mit einem taktilen Feedbackhandschuh, Ilmenau, Techn. Universität, Masterarbeit, 2012 (in Zus. mit CASSIDIAN Manching)

Grunwald, M., Beyer, L. (Hrsg.), Der bewegte Sinn. Grundlagen und Anwendungen zur haptischen Wahrnehmung, Basel: Birkhäuser, 2001

Grunwald, M., Human haptic perception. Basics and applications, Basel, Boston: Birkhäuser, 2008

Gu, C., Griffin, M. J., Vibrotactile perception thresholds at the sole of the foot: Effects of contact force and probe indentation, Medical engineering & physics 34 (4), 2012, S. 447–452

Guy, R. J. C., Clark, C. A., Malcolm, P. N, Watkins, P. J., Evaluation of thermal and vibration sensation in diabetic neuropathy, Diabetologia 28 (3), 1985, S. 131–137

HALCON, HALCON the power of machine vision, MVTec Software GmbH, online verfügbar unter http://www.halcon.com/, zuletzt geprüft am 19.05.2015

Horn, B. K. P., Schunck, B., Determining Optical Flow, Massachusetts Institute of Technology, Massachusetts , 1980

John, M., Häusler, B., Frenzel M., Klose, S., Ernst, T., Bücher, J., Seewald, B., Liebach, J., Wolschke, M., Klinkmüller, B., Rehabilitation im häuslichen Umfeld mit der Wii Fit - Eine empirische Studie, Konferenz: Ambient Assisted Living - AAL - 2. Deutscher AAL-Kongress in Berlin, 2009

Kekoni, J., Hämäläinen, H., Rautio, J., Tukeva, T., Mechanical sensibility of the sole of the foot determined with vibratory stimuli of varying frequency, Experimental brain research 78 (2), 1989, S. 419–424

Lucas, B., Kanade, T., An Iterative Image Registration Technique with an Application to Stereo Vision, Carnegie-Mellon University, Pittsburgh, Pennsylvania, 1981

Lundborg, G., Dahlin, L. B., Hansson, H.-A., Kanje, M., Necking, L.-E., Vibration exposure and peripheral nerve fiber damage, The Journal of hand surgery 15 (2), 1990, S. 346–351

MATLAB, online verfügbar unter https://de.mathworks.com/, zuletzt geprüft am 08.05.2017

Meier, P. M., Berde, C. B., DiCanzio, J., Zurakowski, D., Sethna, N. F., Quantitative assessment of cutaneous thermal and vibration sensation and thermal pain detection thresholds in healthy children and adolescents, Muscle & Nerve 24 (10), 2001, S. 1339–1345

Microsoft Corporation, Kinect for Windows features, Microsoft Corporation, 2015, online verfügbar unter https://www.microsoft.com/en-us/kinectforwindows/meetkinect/features.aspx, zuletzt geprüft am 27.05.2015

Microsoft Corporation, Kinect for Windows: Get Kinect, Microsoft Corporation, online verfügbar unter https://www.microsoft.com/en-us/kinectforwindows/purchase/default.aspx#tab=1, zuletzt geprüft am 20.05.2015

Microsoft Kinect, online verfügbar unter https://msdn.microsoft.com/en-us/library/microsoft.kinect.jointtype.aspx, zuletzt überprüft am 19.05.2016

Microsoft, Kinect for Windows: Set up the hardware, Microsoft Corporation, 2015, online verfügbar unter https://www.microsoft.com/en-us/kinectforwindows/purchase/sensor_setup.aspx zuletzt geprüft am 12.05.2015

Nurse, M. A., Nigg, B. M., Quantifying a relationship between tactile and vibration sensitivity of the human foot with plantar pressure distributions during gait. In: Clinical Biomechanics 14 (9), 1999, S. 667–672

Optic Flow, Optic Flow: About, online verfügbar unter http://opticflow.bu.edu/, zuletzt überprüft am 19.05.2015

Poeck, K., Hacke, W., Neurologie. Mit 85 Tabellen; 12., aktualisierte und erw. Aufl. Berlin [u.a.]: Springer, 2006

Rich, J., Veves, A., Forefoot and rearfoot plantar pressures in diabetic patients: correlation to foot ulceration, Wounds-A Compendium Of Clinical Research And Practice 12 (4), 2000, S. 82–87

Singlecue, online verfügbar unter: https://singlecue.com/, zuletzt überprüft am 17.05.2017

Terasic Technologies, SoCKit User Manual, Terasic Technologies, 2013

Tsukada, K., Yasumura, M., ActiveBelt: Belt-Type Wearable Tactile Display for Directional Navigation, LNCS 3205 - Ubiquitous Computing, 2004, S. 384–399, online verfügbar unter http://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F978-3-540-30119-6_23.pdf, zuletzt geprüft am 24.07.2013

VRmagic Holding AG, Mannheim, Germany, online verfügbar unter https://www.vrmagic.com/de/imaging/oem-loesungen, zuletzt geprüft am 08.05.2017

Yonezawa, T., Nakahara, H., Vib-Connect: A Device Collaboration Interface Using Vibration, 17th IEEE In-ternational Conference on Embedded and Real-Time Computing Systems and Applications, 2011, S. 121-125

5 Abkürzungsverzeichnis

AAL	Ambient Assisted Living
AP	Arbeitspakete
ARM	Advanced RiSC Machines
AWO	Arbeiterwohlfahrt
BMBF	Bundesministeriums für Bildung und Forschung
BUNDSCHUH	Bedingungskonzepte und Schnittstellen im realen Wohnumfeld hochbetagter Nutzer
DSP	digital signal processor,
ESD	electrostatic discharge
FoF	Time of Flight
FPGA	Field Programmable Gate Array
GA	Gebäudeautomation
GPGPU	General Purpose Computation on Graphics Processing Unit
GUI	Graphical User Interface
IR	Infrarot
KMU	Kleine und mittlere Unternehmen
LED	light-emitting diode ,lichtemittierende Diode
OS	Operating System
PC	Personal Computer, Einzelplatzrechner
PCI	Peripheral Component Interconnect
SDK	Software Development Kit
SoC	System-On-a-Chip
SPS	speicherprogrammierbare Steuerung
VDI/ VDE	Verein Deutscher Ingenieure/ Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e. V.
WPF	Windows Presentation Fondation

6 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Projektplan für BUNDSCHUH. Arbeitspakete der velixX sind mit der Farbe Gelb hervorgehoben. Blau unterlegte Felder stellen den Arbeitsaufwand in Personenmonaten dar. Grüne Linien geben die Meilensteine vor. 3
Abbildung 2 Mögliches Set-Up zur Gestenerkennung unter Verwendung von „einfachen“ Kameras. 13
Abbildung 3 Multisensorkamera mit 4 pixelsynchronen Sensoren von VRmagic (Foto: VRmagic Imaging Holding AG, Mannheim). 14
Abbildung 4 Gegenüberstellung der Leistungskenndaten von Kinect for Windows der ersten (v1) und zweiten Generation (v2). 15
Abbildung 5 Gegenüberstellung der Bildverarbeitungssoftwares Halcon vs. Matlab. 17
Abbildung 6 Testaufbau der Multisensorkamera von VRmagic bestehend aus einer Evaluationsplatine und zwei, über Flexkabel angebundene Sensoren, sowie zwei Webcams, welche an einer Aluminiumschiene befestigt sind. Die Evaluationsplatine ist zur Stabilität auf einer Holzplatte fixiert. Die zwei Sensoren sind auf speziell angefertigten Kunststoffstützen in einem Neigungswinkel von 20° in einem definierten Abstand und einer bestimmten Höhe angebracht. Diese Konstellation deckt einen vernünftigen Abbildungsbereich mit 3 m – 5 m Arbeitsabstand ab. Die Webcams haben denselben Abstand zueinander und dienen zum Überprüfen der Leistungsdaten der Testergebnisse. Alle Teile sind horizontal auf der Aluminiumstange beweglich. 20
Abbildung 7 Darstellung des optischen Flusses mit Bewegungsvektoren im Rahmen der Machbarkeitsstudie. Ein Ergebnis des „scene-flow“ Programms, welches mit HALCON HDevelop erstellt wurde. Hierzu werden laufend Bilder von einer Kamera eingezogen und der Reihe nach mit einander verglichen. Tritt eine Veränderung zwischen Bild1 (t) und Bild2 (t+1) auf, d.h. bewegt sich ein Bildpunkt, so werden anhand dieser Information die benachbarten Pixel untersucht, hieraus wird die Bewegungsrichtung des Punktes ermittelt. Daraus resultieren Linien, welche die Bewegungsrichtung und –menge beschreiben. Bewegungsvektoren lassen sich in der Abbildung durch grüne Markierungen darstellen. Die übrigen Bildpunkte, die unverändert geblieben sind, haben keine oder kleine Bewegungsmengen. Kleine Bewegungsmenge ist zu vernachlässigen und entsteht beispielsweise durch äußere Faktoren wie das Belichtungsverhältnis oder das Flimmern von Glühbirnen, die nicht von Menschenaugen wahrnehmbar sind. 22
Abbildung 8 Zusammenfassung der Ergebnisse der Machbarkeitstests für Hardware (Foto links nach rechts: Multisensor-kamera von VRmagic, SoCKit Evaluation Board von Arrow Corporatio, Kinect for Windows v1 und v2 von Microsoft). 24
Abbildung 9 Zusammenfassung der Ergebnisse der Machbarkeitstests für Software (Foto (3. von links): Kinetic Space Pro von Mathias Wölfel). 24
Abbildung 10 Erkennungsrate der Gesten in unterschiedlichen Distanzen frontal zur Kamera. 26
Abbildung 11 Testaufbau zur Erkennungsrate der Gesten bei 2 m Abstand. 27
Abbildung 12 Erkennungsrate der Gesten in der Ansicht „Kamera zugewandt“. 28
Abbildung 13 Erkennungsrate der Gesten in der Ansicht „Kamera abgewandt“. 28
Abbildung 14 Erkennungsrate der Geste "Kehle durchsägen" bei 2m Arbeitsabstand und unterschiedlichen Verdrehungswinkel. Die Geste wird auf Höhe von Hals und Schultern durchgeführt, sodass hier beide Ursachen zutreffen können. Dies ist auch anhand der Werte ersichtlich. Sobald ein Winkel zum Sensor erreicht wird, der zwischen 120° und 270° liegt, hat die Erkennungsrate einen Durchschnittswert von 27%, während dieser in den restlichen Winkeln bei 91% liegt. 29
Abbildung 15 Matrix und Legende zur Eindeutigkeit der Gesten. Aus der Matrix lässt sich ablesen, dass „Verstärken“, „Vermindern“ und „Kehle durchsägen“ oft erkannt wird, obwohl die Geste nicht ausgeführt wurde. Erklären lässt sich dies am Beispiel der Geste „Verstärken“. Steht die Testperson in ihrer Ausgangsposition, so hängen die Arme zu beiden Seiten am Körper herab. Möchte die Testperson jetzt eine Geste durchführen, muss sie die jeweilige Startposition einnehmen und dafür den rechten Arm heben. Dies entspricht der Geste „Verstärken“, die dadurch erkannt wird. Bei der Geste „Vermindern“ ist es genau andersherum. Sie wird immer dann erkannt, wenn von der Endposition einer anderen Geste zurück in die Ausgangsposition gegangen wird. 30

Abbildung 16 Darstellung der optimalen Arbeitshöhe. ... 31
Abbildung 17 Kinect for Windows v2 von Microsoft (Foto: Microsoft). ... 32
Abbildung 18 Brainstorming zum Thema Gesten zur Bedingung der Haustechnik aus einem gemeinsamen Workshop mit den Projektpartner. ... 33
Abbildung 19 Gestenkatalog für BUNDSCHUH mit 17 Steuergesten. ... 35
Abbildung 20 Vereinfachte Darstellung der Funktionsweise der velixX-Gestenerkennung. ... 36
Abbildung 21 Kontextdiagramm der velixX-Gestenerkennung. ... 37
Abbildung 22 Darstellung der 25 bzw. der 12 Körpergelenkpunkte (Joints) des Skelettons durch Kinect v2. ... 38
Abbildung 23 Beschreibung der Bausteine der velixX-Gestenerkennung. ... 39
Abbildung 24 Grafische Darstellung der Software-Baustein-Ansicht der velixX-Gestenerkennung. ... 40
Abbildung 25 Darstellung des MainWindows des User Interfaces der velixX-Gestenerkennung. 1. Menü (bestehend aus den Unterverzeichnissen Gesten, Distanzen, Load, Detect, Start und Stop), 2. Kamerabild mit Option zum Ausblenden, 3. Gespeicherte und erkannte Joint Positions (x), 4. Aktive Gesten (Erkennungszähler), 5.Verlauf der erkannten Gesten mit Ausgabe gemäß Schnittstellenprotokoll. ... 41
Abbildung 26 Ansicht des Fensters JointPositions im User Interface der velixX-Gestenerkennung. ... 42
Abbildung 27 Ansicht des Unterverzeichnisses Load im User Interface der velixX-Gerstenerkennung. ... 42
Abbildung 28 Auszug der Darstellung zu b) 3. (Ausgabe der aktuellen JointPositions) aus dem User Interface der velixX-Gestenerkennung. Kennzeichnung mit X stellt eine Übereinstimmung der aktuellen Pose mit der gespeicherten Joint-Konstellation dar. ... 43
Abbildung 29 Visuelle Darstellung einer Gestenidentifikation am Beispiel der Gesten „Winken links - rechts“ und „Winken recht - links“ im User Interface der velixX-Gestenerkennung. Blau bedeutet Start Position und Rot die End Position. ... 43
Abbildung 30 Whitebox-Ansicht des User Interface der velixX-Gestenerkennung. ... 44
Abbildung 31 Whitebox-Ansicht für KinectSensor der velixX-Gestenerkennung. ... 45
Abbildung 32 Prinzip der Methode der Markow-Kette mit drei Zuständen und unvollständigen möglichen Zustands-übergängen ... 46
Abbildung 33 Whitebox-Ansicht GestureDetector der velixX-Gestenerkennung. ... 47
Abbildung 34 Gesten bearbeiten im User Interface der velixX-Gestenerkennung. 1) sämtliche gespeicherten Gesten, 2) Grundbeschreibung der Geste, 3) Start- und Endposition einer Geste (und gegebenenfalls weitere Hilfspunkte), 4) Joint Positions, welche die genaueren Positionen der Bewegung/ Geste beschreiben, 5) Daten der Geste (Name, Punkt von dem die Entfernung gemessen wird, Höchstdauer der Geste, Mindestdistanz, die bewegt werden muss). ... 49
Abbildung 35 Gesten bearbeiten im User Interface der velixX-Gestenerkennung. 6) Auswählen der zuvor definierten Joint Positions der Bewegung, 7) weitere Beschreibung der Geste, sprich der Name, Tag (engl. Def. oder Aufgabe), Zustandsbeschreibung (aktiv, Lock Device, etc.). ... 50
Abbildung 36 Einstellen der JointPositions im User Interface der velixX-Gestenerkennung. ... 50
Abbildung 37 Objekte definieren im User Interface der velixX-Gestenerkennung. 1) Bezeichnung, 2) Positionsbestimmung des Objektes in Meter, 3) Abstand und Verhältnis des Objektes zur rechten Hand, 4) Schnittstellen des Objektes mit LED, 5) Schnittstelle des Objektes mit Schalter. ... 51
Abbildung 38 Komponentendiagramm DetectedGestureQueueWorker der velixX-Gestenerkennung. ... 52
Abbildung 39 JSONCammandTranfer-Komponente der velixX-Gestenerkennung und Schnittstelle zum Assistenzsystem. ... 55
Abbildung 40 Whitebox-Sicht JSONCommandTransfer der velixX-Gestenerkennung. ... 56
Abbildung 41 Whitebox-Ansicht CP210xInterface der velixX-Gestenerkennung. ... 57
Abbildung 42 Darstellung der Funktionsabläufe in Form eines Sequenzdiagramms der velixX-Gestenerkennung. ... 58
Abbildung 43 Interner Demonstrator und Detaildarstellung. ... 60
Abbildung 44 Interner Demonstrator mit A. Sensor Kinect for Windows v2, B. Leistungsstarker Rechner; C. Steuerbox, D. Steckdosen zum Anschließen von Objekten an die LEDs; links: Frontansicht, mit folgenden Objekten: 1. Lampe, 2. Tischlampe, 3. Lampe, 4. Ventilator; rechts: Rückansicht mit LED-Steuerbox und Steckdosen. Die LEDs und Objekte sind frei positionierbar und einfach austauschbar. ... 61

Abbildung 45 Versuchsanordnung und Winkeldefinition für die Verifikationstests. 62
Abbildung 46 Testaufbau bestehend aus dem Demonstrator sowie einer in 2 m Entfernung angebrachten Platte mit Markierungen für die Verdrehwinkel. Dabei stellt sich die Testperson in die Mittel der Platte, der Körper zeigt in die entsprechende Richtung des Winkels, die Füße bilden die Mittellinie. 63
Abbildung 47 Erkennungsrate der Steuergesten frontal und in einem Abstand von 2 m zur Kamera. 64
Abbildung 48 Erkennungsrate der Steuergesten in den Winkeln 0°, 45°, 60°, 300° und 315° in einem Abstand von 2 m zur Kamera. 65
Abbildung 49 Übersicht der Gesamterkennungsrate der Steuergesten in den Winkeln 0°, 45°, 60°, 300° und 315° in einem Abstand von 2 m zur Kamera. 65
Abbildung 50 Darstellung der Erkennungsrate in den verschiedenen Verdrehwinkel zur Kamera am Beispiel der Geste „Winken“ in 2 m Entfernung. 66
Abbildung 51 Positionen der Testobjekte für den Test der Zeigegeste. 67
Abbildung 52 Schrittweise Veranschaulichung der Geste „Zeigen“ durch Auswählen, Fixieren, An- und Ausschalten eines Objektes. A: Testperson in 2 m Entfernung frontal zur Kamera; B: Auswählen des Objekts 2; C: Auswählen des Objekts 1; D: Auswählen des Objekts 3; E: Auswählen des Objekts 4; F: Auswählen des Objekts 2; G: Fixieren des Objekts 2 durch Öffnen und Schließen der Hand (hier nicht dargestellt); H: Objekt 2 ist aktiv (Lampe brennt, Sperrdauer läuft) Aktion zum Schalten „An“ durch Geste „Winken“ im Gang (Beginn); I: Aktion Schalten „An“ durch Geste „Winken“ im Gang (Ende), Geste wird erkannt, System reagiert, Objekt 2 wird geschaltet; J: Objekt 2 ist an; Sperrung noch aktiv; K: Erneutes Auswählen des Objekts 2; L: Erneutes Aktivieren des Objekts 2 durch Öffnen und Schließen der Hand (hier nicht dargestellt); M: Objekt 2 ist aktiv (Lampe brennt, Sperrdauer läuft) Aktion zum Schalten „Aus“ durch Geste „Kehle durchsägen“ im Gang (Beginn); N: Aktion Schalten „Aus“ durch Geste „Kehle durchsägen“ im Gang (Ende), Geste wird erkannt, System reagiert, Objekt 2 wird ausgeschaltet. 69
Abbildung 53 Erkennungsrate von Auswählen in Kombination von Fixieren in 2 m Entfernung. 70
Abbildung 54 Erkennungsrate von Aktion durchführen durch „Winken“ für An und „Kehle durchsägen“ für Aus in 2 m Entfernung. 70
Abbildung 55 Skizze Position der Testperson beim Testen der Erkennung im Randsichtbereich bei 2 m Entfernung. 71
Abbildung 56 Erkennungsrate von Auswählen in Kombination von Fixieren in 1 m, 2 m, 3 m, 4 m, 30° links (2 m) und 30° rechts (2 m) Entfernung. 71
Abbildung 57 Übersicht der Erkennungsrate der Versuchsreihe Auswählen und Fixieren von Objekten aus verschiedenen Positionen in der Frontalansicht. 72
Abbildung 58 Farb- und Mustervariationen im Test der velixX-Gestenerkennung. 73
Abbildung 59 Grad der Verschleierung im Test der velixX-Gestenerkennung. 73
Abbildung 60 Anzahl der Erkennung bei verschiedener Bekleidungsvarianten im Test der velixX-Gestenerkennung. 74
Abbildung 61 Veranschaulichung der Sondertests mit a) Gegenlicht durch natürliches Licht – Sonnenschein, d) Seitliches künstliches Licht durch die Verwendung eines Wärmestrahlers - Seitenlicht: Person wird von rechts bestrahlt (rechte Hand befindet sich im Schattenbereich), e) Künstliches Gegenlicht durch die Verwendung eines Wärmestrahlers - Gegenlicht: Person wird von hinten bestrahlt, g) völlige Dunkelheit. 75
Abbildung 62 Erkennungsrate bei Sonnenschein - Gegenlicht: Person wird von hinten beleuchtet. Getestet bei 3 verschiedenen Winkelpositionen in 2 m Entfernung zur Kamera. 76
Abbildung 63 Erkennungsrate bei Sonnenschein - Person wird von vorne beleuchtet. Getestet bei 3 verschiedenen Winkelpositionen in 2 m Entfernung zur Kamera. 76
Abbildung 64 Erkennungsrate bei Dämmerung. Getestet bei 3 verschiedenen Winkelpositionen in 2 m Entfernung zur Kamera. 77
Abbildung 65 Erkennungsrate beim künstliches Licht erzeugt durch Wärmestrahler - Person wird von rechts bestrahlt, die rechte Hand befindet sich im Schattenbereich. Getestet bei 3 verschiedenen Winkelpositionen in 2 m Entfernung zur Kamera. 77
Abbildung 66 Erkennungsrate beim künstliches Licht erzeugt durch Wärmestrahler - Person wird von hinten bestrahlt. Getestet bei 3 verschiedenen Winkelpositionen in 2 m Entfernung zur Kamera. 78

Abbildung 67 Skizze der Testszenarien unter Verwendung von 2 Kinect for Windows v2 Sensoren. 78
Abbildung 68 Erkennungsrate bei Nacht. Getestet bei 3 verschiedenen Winkelpositionen in 2 m Entfernung zur Kamera. 79
Abbildung 69 Testperson im Sitzen und Durchführung der Geste „Winken“. 80
Abbildung 70 Erkennungsrate beim Sitzen. Getestet bei 3 verschiedenen Winkelpositionen in 2 m Entfernung zur Kamera. 80
Abbildung 71 Gegenüberstellung der Erkennungsraten beim Sitzen und Stehen. 81
Abbildung 72 Erkennungsrate der möglichen Initialisierungsgesten. Getestet bei 5 verschiedenen Winkelpositionen in 2 m Entfernung zur Kamera. 83
Abbildung 73 Gegenüberstellung der Erkennungsraten der beiden möglichen Gesten zur Initialisierung. 84
Abbildung 74 Skizze einer 360°-Erkennung mit drei Kameras und Nutzer in der Mitte. 87
Abbildung 75 Wohnzimmer 3 m x 5 m mit Darstellung der möglichen Kameraanordnung und Positionierung. . 88
Abbildung 76 Wohnzimmer 3 m x 6 m mit Darstellung der möglichen Kameraanordnung und Positionierung. . 88
Abbildung 77 Wohnzimmer 4 m x 4 m mit Darstellung der möglichen Kameraanordnung und Positionierung. . 89
Abbildung 78 Wohnzimmer 4 m x 5 m mit Darstellung der möglichen Kameraanordnung und Positionierung (3 Varianten). 90
Abbildung 79 2 Zimmer Appartement mit Darstellung der möglichen Kameraanordnung und Positionierung, Gestenerkennung im Bereich der Küche und dem Badezimmer ist optional zu betrachten..... 90

Teil C: Orthopädie Schuhtechnik eG Themar

Schlussbericht zum Verbundprojekt:

„Bedienkonzepte und Schnittstellen im realen Wohnumfeld hochbetagter Nutzer – Bundschuh –

Teilvorhaben: „Bundschuh, Integration einer Vibrationsschnittstelle in den Schuh, vorzugweise in die Schuhsohle“

Förderkennzeichen: 16SV6304

Laufzeit: 01.01.2014 – 31.12.2016

Orthopädie Schuhtechnik eG Themar Römhilder Str. 3 98660 Themar

Inhaltsverzeichnis

1. Teilvorhabenbeschreibung

2. Ziele

3. Verbundpartner

4. Arbeitsplan

5. Umsetzung

5.1 Anforderungen/Spezifikationen „intelligenter Schuh“

5.2 Anforderungen/Spezifikationen „intelligenter Schuh“

5.3 Komponentenauswahl und Testaufbauten / Integration in verschiedene Schuhmodelle

5.4 Funktionstest / Demonstrator

6. 6. Zusammenarbeit Projektpartner

7. Nutzen und Verwendbarkeit

8. Veröffentlichungen

1. Teilvorhabenbeschreibung:

Für die beiden vorrangigen Nutzer im Bereich der stationären Pflege (Pflegekräfte und zu pflegende Heimbewohner) ist es aus unterschiedlichen Gründen wichtig, Informationen über den aktuellen Aufenthaltsort des Bewohners zu erhalten. Zudem ist es insbesondere für sehr alte und dabei mitunter demente Bewohner schwierig, sich in größeren Infrastrukturen sicher zu bewegen. Das wird dadurch noch verstärkt, dass diese Personen häufig erst in hohem Alter bei stark fortgeschrittenen Erkrankungserscheinungen aus einer für sie bis dahin bekannten und damit „sicheren“ Umgebung herausgelöst worden sind. Die Beseitigung dieser Orientierungsschwierigkeiten bzw. Hilfe zur Überwindung wie auch die genaue und aktuelle Aufenthaltslokalisation der Bewohner für die Pflegefachkräfte ist ein Ziel des Verbundprojektes.

Die Orthopädie Schuhtechnik Orthopädie Schuhtechnik eG Themar hat sich seit ihrer Gründung im Jahre 1953 der individuellen Schuhherstellung in Meisterqualität verschrieben. Durch Kombination des klassischen Schuhmacherhandwerks mit modernster Technik ist die Firma in der Lage, die Realisierbarkeit besonderer Anforderungen an Schuhe abzuschätzen und umzusetzen. Durch die Ausrichtung auf den schuhorthopädischen Markt wurden Kompetenzen in Bezug auf Sonderformen, Sondermaterialien und den Einsatz sowohl herkömmlicher als auch spezieller Materialien wie Fertigungstechnologien angehäuft.

Im Rahmen des Verbundprojektes sollte ein Verfahren entwickelt werden, wie elektronische Komponenten in gängige Schuhe eingebracht werden können.
Die Problemstellung war hierbei die Platzierung der Komponente, eine Beschädigung durch äußere Einflüsse sollte weitestgehend vermieden werden, die Reparatur oder der Austausch soll gewährleistet sein.
Weiterhin war zu prüfen, welche Art von Schuhen (Konfektion oder spezielle Anfertigung) sich für dieses Projekt eignen, hierfür waren mehrere Testreihen und Aufbauten notwendig.

2. Ziele:

Für die Orthopädie Schuhtechnik eG Themar steht zunächst im Vordergrund, mir der AWO Thüringen einen Kooperationspartner auf lange Sicht zu gewinnen und damit das neuartige Konzept des intelligenten Schuhs regionübergreifend einführen zu können. Da es sich hier um neuartige technische Ansätze handelt, ist die Anmeldung von Patenten geplant.

3. Verbundpartner:

Technische Universität, Ilmenau – Projektkoordinator –
velixX GmbH, Mannheim
Orthopädie Schuhtechnik eG Themar, Themar
AWO AJS gGmbH, Erfurt
Aproxima – Gesellschaft für Markt- u. Sozialforschung, Weimar

4. Arbeitsplan:

Zur Umsetzung der im Projekt zu erreichenden Ziele werden Arbeitspakete (AP) definiert und die durch die Orthopädie Schuhtechnik eG Themar zu leistenden Pakete dargestellt.

AP 1 Konzeptionsphase

Keine Anteile am AP

AP 1.2 Technische Konzeption
AP 1.2.1 Infrastruktur der Umfeldsteuerung Wohnbereich

Keine Anteile am AP

AP 1.2.2 Intelligenter Schuh

Auf Basis der Anforderungen aus AP 1.1.2 werden die technischen Spezifikationen für den „intelligenten Schuh“ abgeleitet. (3 Personenmonate)

AP 1.2.3 Wissensbasiertes Assistenzmodul

Keine Anteile am AP

AP 1.3 Akzeptanzuntersuchung

Keine Anteile am AP

AP 2 Entwicklungsphase
AP 2.1 Intelligenter Schuh
AP 2.1.1 Komponentenauswahl und Testmodulaufbau

Entsprechend der Spezifikationen aus AP 1.1.2 werden erste Testaufbauten entworfen (5 Personenmonate)

AP 2.1.2 Integration der Komponenten in verschiedene Schuhmodelle

Erste Integration der Komponenten aus AP 2.1.1 in den Schuh, Optimierung des Aufbaus (5 Personenmonate)

AP 2.1.3 Funktionstests und Schaffung der Alltaugstauglichkeit

Erprobung des intelligenten Schuhs über längere Zeiträume mit mehreren Probanten, Optimierung des Aufbaus. (4 Personenmonate)

AP 2.2 Gestenerkennung

Keine Anteile am AP

AP 2.3 Wissensbasiertes Assistenzmodul

Keine Anteile am AP

AP 2.4 Integration der entwickelten Module in das Gesamtsystem

Keine Anteile am AP

AP 3 Evaluierungsphase
AP 3.1 Aufbau Demonstratoren
AP 3.1.1 Demonstrator Wohnumfeld

Keine Anteile am AP

AP 3.1.2 Demonstrator „intelligenter Schuh“

Es werden Demonstratoren geschaffen, die eine ortsunabhängige Vorführung ermöglichen. (3 Personenmonate)

AP 3.2 Tests und Szenarienabläufe

Keine Anteile am AP

AP 3.3 Begleitforschung zur Folgeabschätzung soziale, psychologischer u. wissenschaftlicher Effekte

Keine Anteile am AP

AP 4 Transfermaßnahmen und Abschlussbericht

(1 Personenmonate)

5. Umsetzung:

5.1. Anforderungen/Spezifikationen „intelligenter Schuh“

-Auswahl eines geeigneten Schuhmodells (Sandale, Halbschuh, Knöchelschuh)
-Ermittlung des Platzbedarfs zur Unterbringung elektronischer Bauteile
-Prüfen der Austauschbarkeit elektronischer Bauteile
-Reparaturmöglichkeit bei Abnutzung Schuh
-Gebrauchsfähigkeit Schuh
-Einsatzmöglichkeit des Schuhs (Indoor/Outdoor)
-prüfen des Herstellungsaufwandes
-prüfen der Art der Fertigungsmöglichkeit (Serienfertigung, Einzelanfertigung)
-Auswahl des zu verwendenden Materials für den entsprechenden Einsatz

Hier wurden Fachleute aus den verschiedenen Fachbereichen der Orthopädieschuhtechnik einbezogen, ein Ablaufkonzept wurde erstellt.
Ideen und Probleme wurden in internen Sitzungen der Orthopädie Schuhtechnik eG Themar besprochen, die Ergebnisse wurden in gemeinsamen Sitzungen mit der TU Ilmenau vor Ort erörtert.
In Vorbereitung waren Termine bei Schuhherstellern für Serienfertigung sowohl für den Konfektionsschuhbereich wie auch Arbeitsschuhbereich nötig. Zur Auswahl geeigneter Materialien wurde die Orthopädiefachmesse in Köln besucht.

5.2. Komponentenauswahl und Testaufbauten / Integration in verschiedene Schuhmodelle

Hier war in erster Linie zu prüfen, in welchem Bestandteil des Schuhs Einbaumöglichkeiten vorhanden sind.

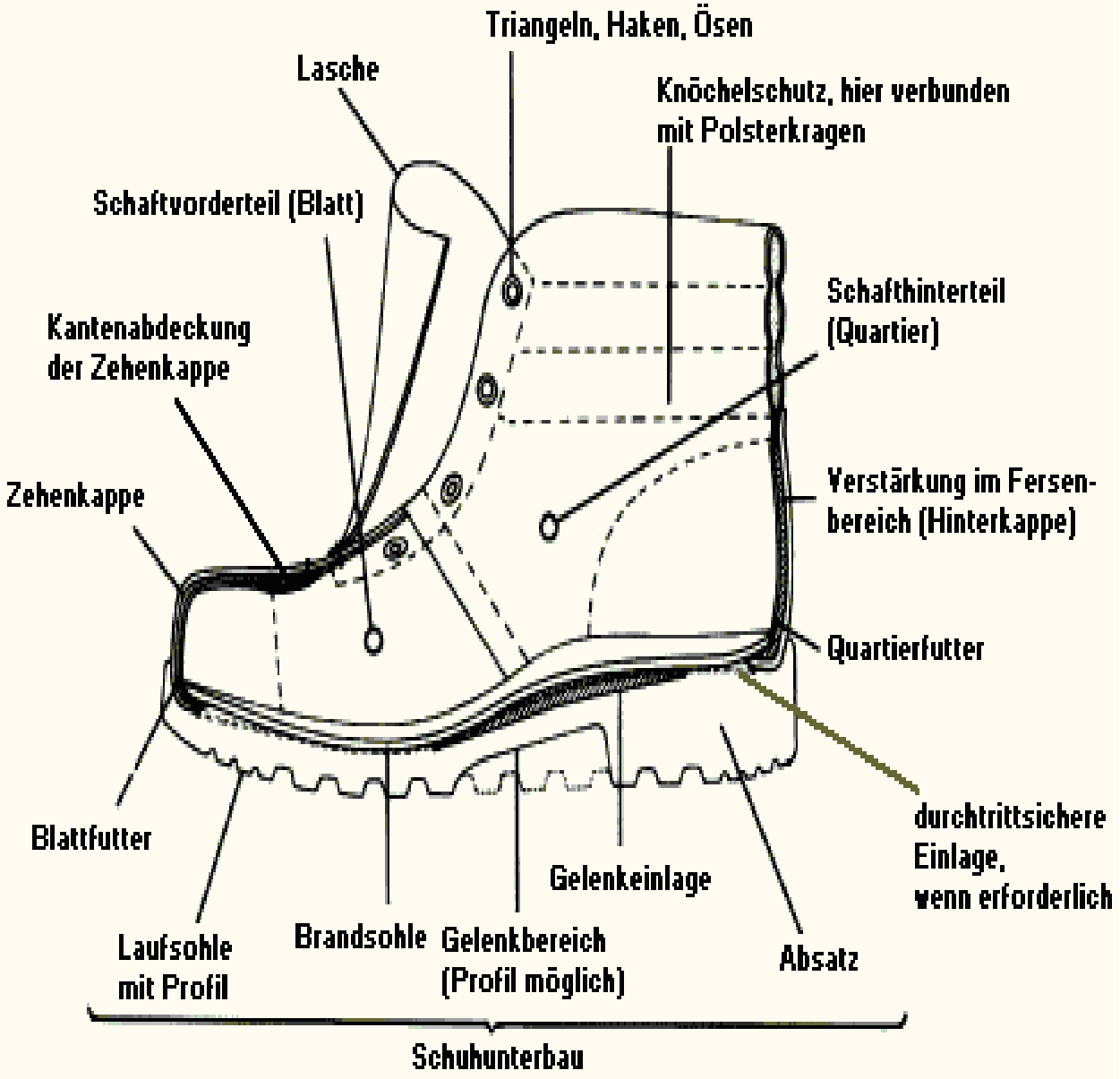
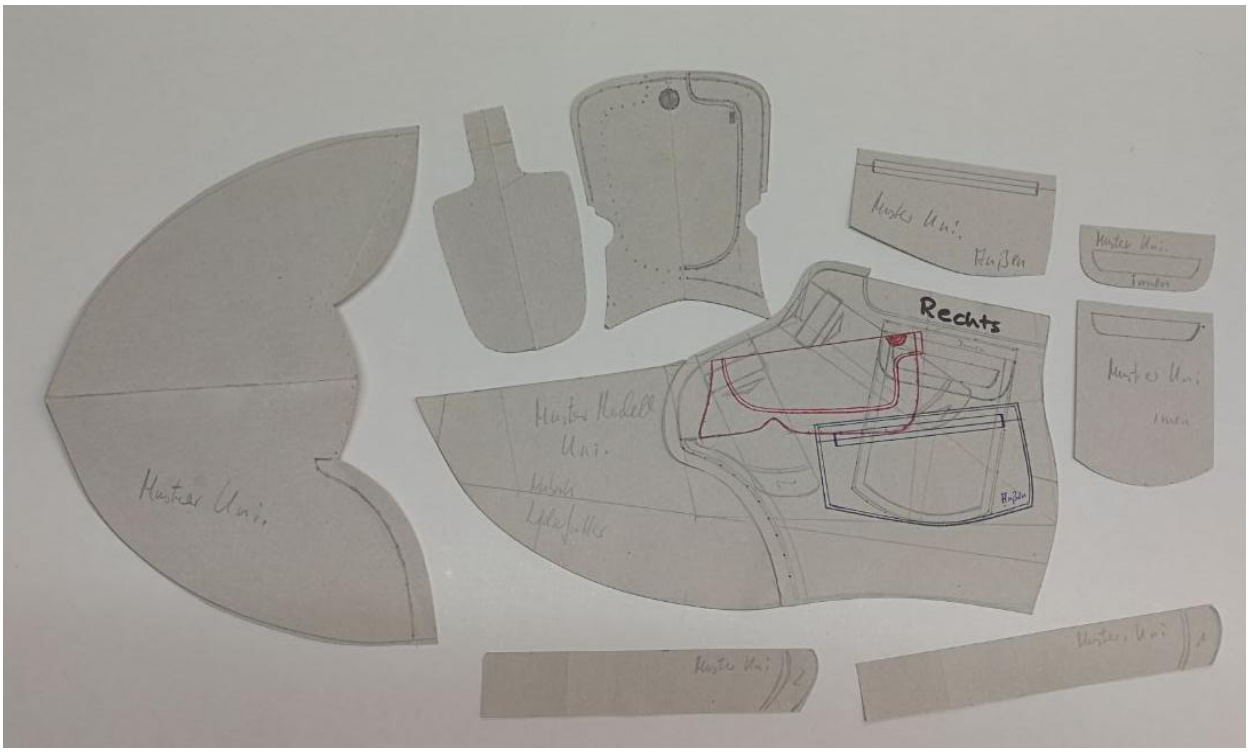


Abb. Aufbau eines Schuhs

Die Wahl fiel auf verschiede Möglichkeiten im Quartier und in der Laufsohle. Im Quartier war dies nur über zusätzliche Taschen zu verwirklichen im Bereich der Laufsohle (besonders Absatzbereich) durch entsprechende Aussparungen.
Als problematisch stellte sich der Einbau im Sohlenbereich dar, da hier die Standfestigkeit gewährt werden musste.



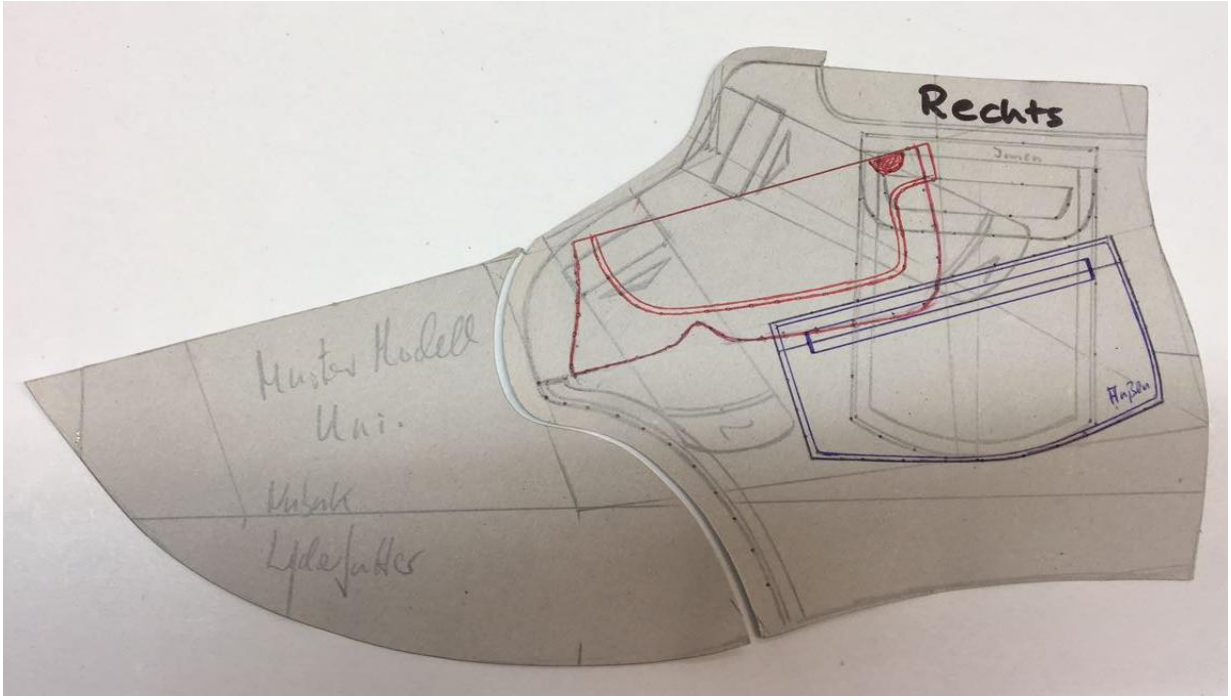
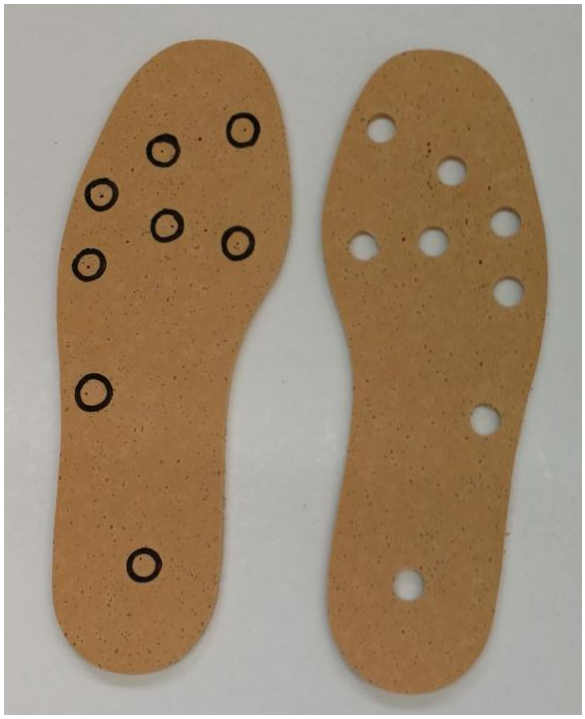


Abb.: Zeichenmodell Schaft mit zusätzlichen Taschen

Muster Uni

Muster Uni

Die Unterbringung der Vibratoren konnte nur mit einer zusätzlichen Einlegesohle ermöglicht werden.
Probleme bei Übertragung der Reize der vorhandenen Vibratoren auf den Fuß wurden besprochen.
Eine genaue Lokalisierung des Reizgebers fiel schwer, die Übertragung erfolgte zum Teil über die gesamte Bettung des Schuhs.
Tests über Anzahl und Lage der Vibratoren waren nötig.



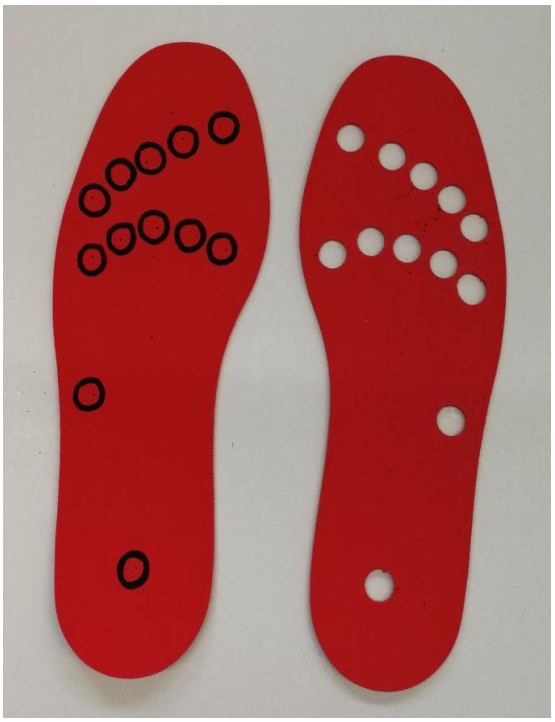
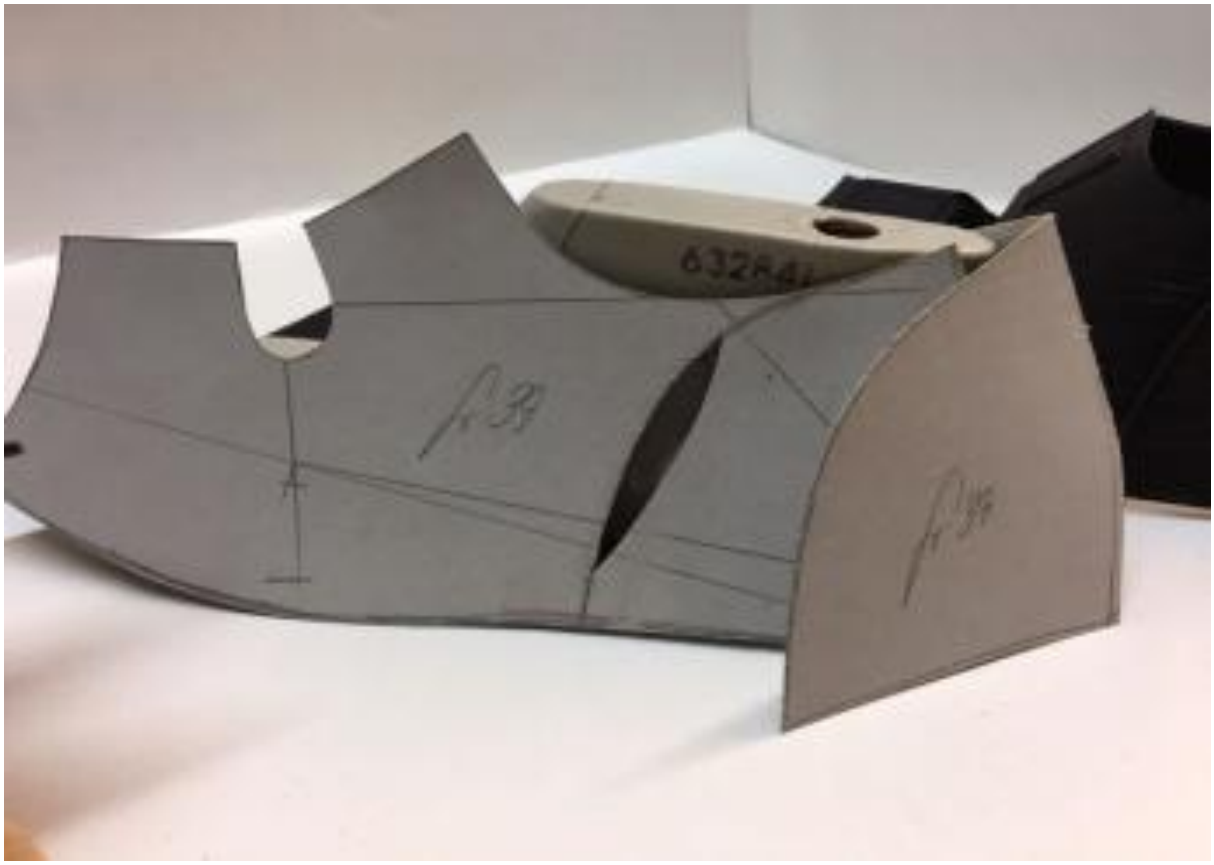


Abb.: Einlegesohlen in versch. Materialien

5.3. Funktionstest / Demonstrator

Für Tests auf dem Prüfstand wurden mehrere Messschuhe entwickelt/gefertigt und der Technischen Universität Ilmenau übergeben



6. Zusammenarbeit Projektpartner

Die von der Orthopädie Schuhtechnik eG Themar gefertigten Muster, Prototypen und Testsschuhe wurden zu weiteren Tests auf dem Prüfstand der Technischen Universität Ilmenau übergeben

7. Nutzen und Verwendbarkeit

Durch die Forschung an verschiedensten Materialien und Aufbaustoffen konnte neuartiges Material, hier insbesondere Aufbaumaterials für den Schuhboden (Blue Basic 45+) in den laufenden Herstellungsprozess der Orthopädie Schuhtechnik eG Themar übernommen werden, durch dieses Material wird eine erhebliche Gewichtseinsparung erzielt, der Tragekomfort der gefertigten orthopädischen Schuhe wird verbessert.
Die zu Testzwecken gefertigten Schuhe finden Einsatz in der Fußdruckmessung diabetischer Patienten, hierbei wird die gefertigte Diabetikerbettung mit Hilfe der Sandale am Fuß des Patienten vermessen und dient als Grundlage für die Abrechnung gegenüber den Krankenkassen.

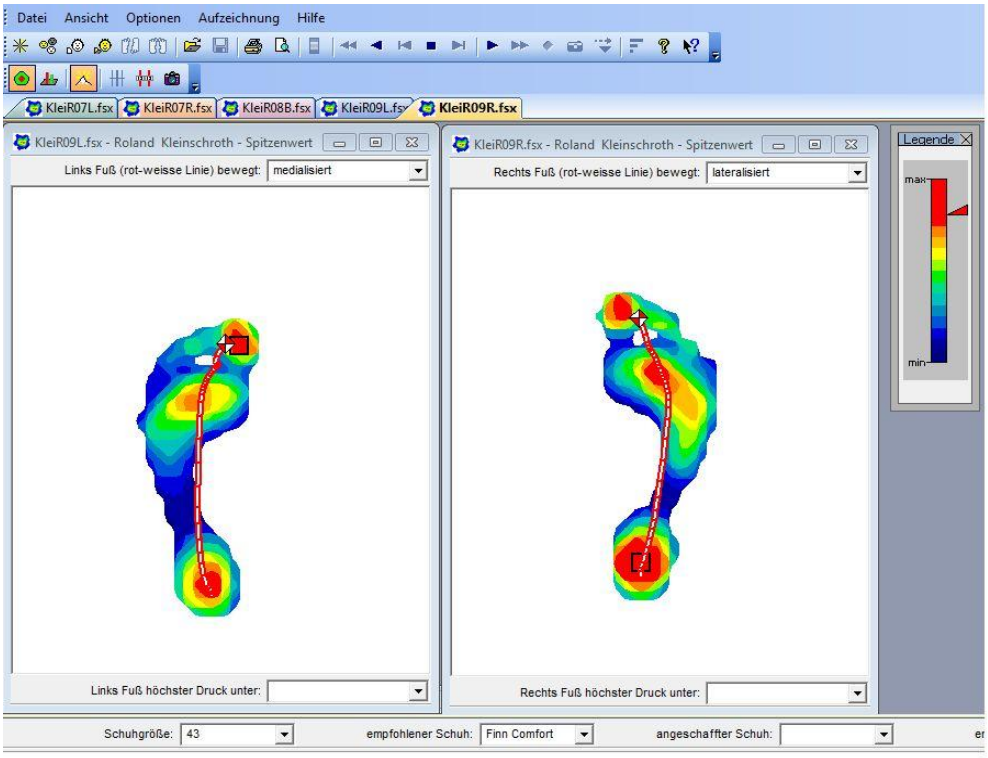


Abb.: Fußdruckmessung mit Testsschuhen

8. Veröffentlichungen

Die Veröffentlichung der Ergebnisse erfolgten in Publikationen durch den Projektkoordinator TU Ilmenau sowie auf Konferenzen.

Teil D: AWO AJS gGmbH

Alten-, Jugend- und Sozialhilfe (AJS) gGmbH
Das soziale Unternehmen

Bedienkonzepte und Schnittstellen im realen Wohnumfeld hochbetagter Nutzer (BUNDSCHUH)

Operational concepts and interfaces in real-life environments of high aged users (Bundschuh)

Nutzeranalysen und -tests

Abschlussbericht

Förderkennzeichen: 16SV6305

Projektzeitraum: 01.01.2014 – 31.12.2016

Autoren:

Denise Günther & Katina Büge
AWO AJS gGmbH
Seniorenwohn- und Pflegezentrum Ilmenau
Hanns-Eisler-Str. 16
D-98693 Ilmenau

Ilmenau, den 30.06.2017

Inhalt

Abkürzungsverzeichnis 3
1. Die Konzeption des Teilvorhabens 4
1.1. Die Aufgabenstellung 4
1.2. Die Voraussetzungen für die Durchführung des Vorhabens 5
1.3. Planung und Ablauf des Vorhabens - Durchgeführte Nutzeranalysen und –tests 6
1.3.1. Projektjahr 1 7
1.3.2. Projektjahr 2 10
1.3.3. Projektjahr 3 13
1.4. Wissenschaftlicher und technischer Stand, an dem angeknüpft wurde 16
1.5. Zusammenarbeit mit anderen Projektpartnern 17
1.5.1. Zusammenarbeit mit dem Projektpartner TU Ilmenau 17
1.5.2. Zusammenarbeit mit dem Projektpartner Aproxima 17
1.5.3. Zusammenarbeit mit dem Projektpartner Orthopädie Schuhtechnik eG Themar 17
1.5.4. Zusammenarbeit mit dem Projektpartner velixX GmbH 18
2. Die Ergebnisse der Nutzeranalysen und -tests 18
2.1. Erreichte Ergebnisse und Zielvorgaben im Vergleich 18
2.2. Die wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises 24
2.3. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit 24
2.4. Nutzen und Verwertbarkeit des Ergebnisses (Verwertungsplan) 25
2.5. Geplante Veröffentlichungen 28
3. Quellenverzeichnis 29
4. Anlagen 31
Berichtsblatt 31
Document Control Sheet 31
Erfolgskontrollbericht 31
Aktualisierter Verwertungsplan 31
Zweiseitiger inhaltlicher Bericht 31

Abkürzungsverzeichnis

AP	Arbeitspaket
AWO AJS gGmbH	Arbeiterwohlfahrt Alten-, Jugend- und Sozialhilfe gGmbH
TU	Technische Universität

1. Die Konzeption des Teilvorhabens

1.1. Die Aufgabenstellung

So verschieden wie die Menschen sind, so unterschiedlich sind auch ihre Bedürfnisse im Alter. Manch einer lebt bis ins hohen Alter noch selbstständig in der eigenen Wohnung, andere benötigen Unterstützung im Haushalt oder Pflegeleistungen durch professionelle Dienste. Die AWO AJS gGmbH bietet in Ilmenau für jeden Menschen und jeden Bedarf das passende Angebot. Mit einem ambulanten Pflegedienst, einer Service-Wohnanlage, zwei stationären Seniorenpflegheimen und zwei Seniorenbegegnungsstätten bietet der Träger am Standort Ilmenau jedem so viel Hilfe wie nötig und so viel Selbstständigkeit wie möglich.

Moderne Technik im Alltag von Senioren, soll ihre Selbstbestimmung und Lebensqualität nicht einschränken, sondern fördern und die persönliche Sicherheit erhöhen. Technische Lösungen sollen zudem auch Angehörige und Pflegende entlasten.

Die AWO AJS gGmbH hat gebündelte Kernkompetenzen und langjährige Erfahrungen im Umgang mit den potenziellen Nutzergruppen, der im Projekt BUNDSCHUH zu entwickelnden technischen Hilfsmittel. Die Hauptzielgruppen dieser technischen Lösungen sind Hochbetagte und Pflegebedürftige sowie deren pflegende Angehörige oder die Pflegemitarbeiter der professionellen Dienste. Zu allen Zielgruppen hat die AWO AJS gGmbH mit ihren verschiedenen Altenhilfe-Einrichtungen in Ilmenau direkten Zugang. Die vorhandenen Kernkompetenzen im Umgang mit pflegebedürftigen Senioren und das Wissen über häufig mit dem Alter einhergehende Krankheitsbilder und körperliche sowie kognitive Einschränkungen waren für den erfolgreichen Projektverlauf wichtig und wurden den Projektpartnern zugearbeitet.

Damit war die AWO AJS gGmbH ein unerlässlicher Partner im Projekt BUNDSCHUH, da so die wesentlichen Voraussetzungen für die zielgerichtete technische Entwicklung sowie die erfolgreiche Begleitforschung im Projekt geschaffen werden konnten. Die AWO AJS gGmbH hat somit die nötigen Rahmenbedingungen für die Bedarfsanalyse und praktische Erprobung mit der Zielgruppe geschaffen. Für die Projektpartner (nsbesondere TU Ilmenau und Aproxima) wurde ein empirisches Forschungsfeld bereitgestellt und vorbereitet, dass es ermöglichte die notwendigen Testreihen und Interviews mit den passenden Probanden durchführen zu können. Die Aufgabe der AWO AJS gGmbH bestand hierbei vor allem in der Probandenakquise sowie in der Vorbereitung, Durchführung und Begleitung der Test- und Interviewreihen in den Einrichtungen des Trägers im Regionalverbund Ilmenau.

Ziel des Projektes war es passgenaue Lösungen für die Zielgruppe zu entwickeln, die in deren alltäglichem Wohnumfeld eingesetzt werden können und von den Nutzern akzeptiert werden. Um dieses Vorhaben umzusetzen, war es notwendig vorab Bedarfslücken zu identi-

fizieren. Dieses Feld des technischen Einsatzes ist bislang nur wenig erforscht und wurde durch die AWO AJS gGmbH als Projektpartner im Projekt BUNDSCHUH gewährleistet.

Im Mittelpunkt der Betrachtung standen insbesondere folgende Fragestellungen:

- Welche Technik ist in der persönlichen Umgebung Hochbetagter und Pflegebedürftiger vorhanden? Werden diese technischen Geräte und Hilfsmittel genutzt? Falls nicht, aus welchen Gründen werden diese nicht genutzt?
- Welche technischen Hilfsmittel müssten vorhanden sein, damit diese dem Nutzer hilfreich sind, um länger und sicherer allein in der eigenen Wohnung leben zu können und den Einzug in ein Pflegeheim zu verhindern?
- Wie muss Technik geschaffen sein, um den Anforderungen der potenziellen Nutzergruppe zu entsprechen? Welche Faktoren sind zu beachten, damit Technik auch bei Vorhandensein von altersbedingten körperlichen und/oder kognitiven Einschränkungen sinnvoll einsetzbar ist?
- Inwieweit bedeutet die Nutzung technischer Hilfsmittel einen Eingriff in die Privatsphäre der Nutzer, beispielsweise durch die Nutzung von Kamerasystemen für die Gestenerkennung?

Die Evaluation der Projektergebnisse erfolgte anhand definierter Szenarien in der realen Umgebung der Nutzer. Dabei wurde neben der erfolgreichen technischen Umsetzung der Projektziele wiederum die erreichte Akzeptanz anhand vordefinierter Kriterien erhoben.

1.2. Die Voraussetzungen für die Durchführung des Vorhabens

Für die erfolgreiche Durchführung des gesamten Verbundprojektes war die enge Zusammenarbeit mit allen beteiligten Projektpartnern eine wichtige Grundvoraussetzung. Insbesondere mit der TU Ilmenau und dem Sozialforschungsunternehmen Aproxima erfolgte eine enge Kooperation während dem gesamten Projektzeitraum.

Die Forschungs- und Entwicklungsarbeit der Projektpartner velixX GmbH, TU Ilmenau und Orthopädie Schuhtechnik eG Themar war zudem wichtigste Grundvoraussetzung, um die Begleitforschung in den Einrichtungen des AWO AJS gGmbH Regionalverbundes Ilmenau in Zusammenarbeit mit Aproxima durchführen zu können. Vor allem die TU Ilmenau stellte Demonstratoren und technische Attrappen zur Verfügung, die für die Tests verwendet wurden.

Weiterhin konnten die geplanten Interviews und Tests nur mit den passenden Probanden durchgeführt werden. Daher war die Auswahl und Gewinnung von Personen der Zielgruppe unerlässlich für die Erfüllung der Projektziele. Zudem benötigten die Probanden während der Tests eine intensive Betreuung und Begleitung durch Bezugspersonen. Neben der Einbezie-

hung relevanter Probanden war auch die Unterstützungs- und Teilnahmebereitschaft des Pflegepersonals und der Angehörigen maßgeblich für den Erfolg der einzelnen qualitativen Forschungsmethoden.

1.3. Planung und Ablauf des Vorhabens - Durchgeführte Nutzeranalysen und –tests

Wie im Gesamtprojektplan vorgesehen, bestand die Haupttätigkeit der AWO AJS gGmbH darin, Senioren aus der Häuslichkeit, Pflegeheimbewohner sowie deren Angehörige in die Begleitforschung einzubeziehen. Darüber hinaus sollten pflegerelevante Aspekte der Nutzung einer Sprach-Gesten-Steuerung und des intelligenten Schuhs durch Diskussionen mit dem Pflegepersonal diskutiert werden.

Die Planung der einzelnen Tätigkeiten während des Projekts orientierte sich eng an der eingereichten Gesamtvorhabensbeschreibung. Im Wesentlichen wurden die vorgesehenen Arbeiten an den entsprechenden Arbeitspaketen planmäßig durchgeführt.

Bereits zu Beginn des Projektes wirkte die AWO AJS gGmbH als federführendes Projektmitglied bei der Durchführung der ausführlichen Anforderungsanalyse (AP 1.1.). Es wurden Gestaltungsanforderungen zum intelligenten Schuh sowie ein Anforderungskatalog für die Umfeldsteuerung unter Berücksichtigung vorhandener altersbedingter körperlicher und kognitiver Einschränkungen der Zielgruppe erstellt.

Im Rahmen der gesamten Entwicklungsphase (AP 2) fungierte die AWO AJS gGmbH vorrangig als Partner für die TU Ilmenau, Orthopädie Schuhtechnik eG Themar und velixX GmbH und sorgte für die notwendigen Rahmenbedingungen und Probanden für die Entwicklungstests der Projektpartner.

Während der Evaluierungsphase (AP 3) erfolgte bei den Demonstratortests zum intelligenten Schuh (AP 3.1.1.) und zur Sprach-Gesten-Steuerung (AP 3.1.2.) mit Probanden eine enge Zusammenarbeit mit der TU Ilmenau. Die Durchführung der Tests erfolgte vorrangig eigenständig durch die AWO AJS gGmbH.

Das oberste Ziel bei der Entwicklung des BUNDSCHUH-Assistenzsystems war es, eine technische Lösung für bestehende Probleme von Senioren, in Bezug auf deren Orientierung, Mobilität und Selbstständigkeit entwickeln. Die geplante Sprach-Gesten-Steuerung sollte eine einfache und umfassende adaptive und intelligente Bedienung aller technischen Komponenten in der häuslichen Umgebung gewährleisten. Der intelligente Schuh sollte die Bedienung von Outdoor-Technik übernehmen und im Wesentlichen zwei Aufgaben erfüllen: Einerseits die Sicherstellung der Kommunikation zu angebundenen Diensten und andererseits die Übermittlung von Hinweisen zur Orientierung und Warnung durch spürbare Vibrationen unter der Fußsohle.

Damit das BUNDSCHUH-Assistenzsystem zuverlässig funktioniert und für die definierte Zielgruppe tatsächlich ein praktikables Hilfsmittel darstellt, mussten ausführliche Nutzeranalysen und –tests durchgeführt werden, die im Folgenden chronologisch nach ihrer Durchführung ausführlich beschrieben werden.

1.3.1. Projektjahr 1

Im Jahr 2014 stand zunächst die allgemeine Einarbeitung in die Thematik „Technik und Senioren“ im Vordergrund der Arbeit am Projekt. Anschließend erfolgte zudem eine erste Annäherung an das Thema „Intelligenter Schuh“.

Im ersten Projektjahr wurden zunächst nur qualitative Befragungen der Probanden und Gruppendiskussionen zur Informationserhebung genutzt. Eine praktische Erprobung der Sprach-Gesten-Steuerung und des intelligenten Schuhs konnte zu Projektbeginn noch nicht erfolgen, da sich die Projektpartner selbstverständlich noch im Forschungs- und Entwicklungsprozess befanden. Zum Ende des ersten Projektjahres konnten jedoch schon einige Vorbereitungen für die anstehenden Testläufe mit Probanden getroffen werden.

<u>Projektrelevante Literurrecherche und Anforderungsanalyse</u>

Zum Projektbeginn wurde zunächst eine umfassende Einarbeitung in das Thema altersgerechte technische Lösungen mit Hilfe projektrelevanter Literaturrecherche durchgeführt, um einen Überblick darüber zu erhalten, welche Arbeiten und Projekte es zum Thema Wohnumfeld-Steuerung und Assistenzsysteme für Senioren bereits gibt.

Anschließend erfolgte eine ausführliche Anforderungsanalyse für die Umfeld-Steuerung des Wohnbereiches und die methodische Herangehensweise für die Bedarfs- und Akzeptanzanalyse wurde festgelegt.

<u>Gruppendiskussionen zur Erhebung spezifischer Anforderungen von Senioren an Technik</u>

Mittels leitfadengestützter Gruppendiskussionen wurde eine umfassende qualitative Datenerhebung durchgeführt, um die spezifischen Anforderungen und Bedürfnisse von Senioren an technische Hilfsmittel von Senioren zu ermitteln. Um die Fragestellung aus verschiedenen Perspektiven und Erfahrungshintergründen heraus zu beantworten, wurden zunächst 30 Diskussionspartner für vier moderierte Gesprächsrunden akquiriert.

Übersicht zur Gruppeneinteilung der Diskussionsrunden:

Gruppe	**Teilnehmer**
Gruppe 1: Experten	• Fachkräfte aus der stationären, ambulanten und offenen Altenpflege sowie aus betreuten Wohnformen • 9 Teilnehmer (9 Frauen)
Gruppe 2: Senioren	• Senioren mit verschiedenen Wohnsituationen im Alter zwischen 68 und 79 Jahren • 7 Teilnehmer (3 Frauen, 4 Männer)
Gruppe 3: Ältere Angehörige	• Angehörige im Alter zwischen 48 und 70 Jahren • 6 Teilnehmer (4 Frauen, 2 Männer)
Gruppe 4: Jüngere Angehörige	• Angehörige im Alter zwischen 22 und 44 Jahren • 8 Teilnehmer (2 Frauen, 6 Männer)

In den einzelnen Diskussionsrunden wurden jeweils mit sechs bis neun Personen folgende Leitthemen besprochen:

- Technik im Alltag von Senioren
- Visionen und Möglichkeiten sowie Grenzen bei der Nutzung von Technik durch körperlich und/oder kognitiv beeinträchtigte Senioren
- Anforderungen, die Technik erfüllen muss, um im Alltag von Senioren sinnvoll zur Anwendung kommen zu können

Die aus den Diskussionsrunden gewonnenen Ergebnisse wurden gemeinsam mit Aproxima ausgewertet und flossen dann mit in einen ausführlichen Anforderungskatalog für die technischen Entwicklungen ein.

<u>Befragungen zur Erfassung von Gestaltungsanforderungen an den intelligenten Schuh</u>

Um technische Spezifikationen für die Entwicklung des Intelligenten Schuhs zu ermitteln, erfolgten ausführliche Befragungen von 15 Senioren der Zielgruppe, um eine Aufstellung von Gestaltungsanforderung an den intelligenten Schuh zusammenzustellen. Zudem wurden weitere Befragungen durchgeführt, um Informationen darüber zu erhalten, welches Schuhwerk Senioren bevorzugt tragen. Dabei wurde auf folgende Aspekte eingegangen:

- Welches Schuhwerk tragen Senioren in ihrer Wohnung beziehungsweise im Pflegeheim sowie außer Haus?
- Welches Schuhwerk tragen Senioren bevorzugt zur Sommerzeit und zur Winterzeit?
- Welche Vorlieben haben Senioren in Bezug auf die Farbe, das Material, sowie die Passform des Schuhwerks?
- Werden von Senioren vorrangig angepasste Schuhe getragen?
- Welche weiteren Eigenschaften sind Senioren an ihrem Schuhwerk wichtig?

Bei der Auswahl der Probanden wurde darauf geachtet, möglichst Personen mit verschiedenen Wohnsituationen und Gesundheitszuständen zu befragen. Demnach wurden sowohl Pflegeheimbewohner als auch in ihrer Privatwohnung lebende Senioren befragt. Außerdem wurden Senioren mit verschiedenen Mobilitätsfähigkeiten und –einschränkungen in die Befragung einbezogen, um möglichst die breite Masse der Zielgruppe abzubilden.

Ermittlung von Krankheitsbildern, die die Sprach- und Gestensteuerung beeinträchtigen

Im weiteren Verlauf des ersten Projektsjahrs wurde bedingt durch Alter und Pflegebedürftigkeit eine ausführliche Übersicht zu Krankheitsbildern erstellt, die die Sprach- und Bewegungsfähigkeit beeinträchtigen. Schließlich kann man davon ausgehen, dass Menschen die von einer oder mehreren dieser aufgelisteten Erkrankungen betroffen sind mögliche Nutzergruppen für die Sprach-Gesten-Steuerung wären. Die Auseinandersetzung mit den ärztlichen Diagnosen erfolgte zudem, um mögliche Grenzen der Einsetzbarkeit der Sprach-Gesten-Steuerung zu ermitteln. Eine Zusammenfassung der Ergebnisse ist im weiteren Verlauf des vorliegenden Berichts dargestellt.

Zur Ermittlung der benötigten Informationen wurden von der AWO AJS gGmbH verschiedene Informationsquellen genutzt:

- Literatur- und Internetrecherche
- allgemeine Erfahrungen aus dem Pflegealltag im Seniorenheim sowie im Tätigkeitsfeld des ambulanten Pflegedienstes
- Pflegedokumentation der im Seniorenheim lebenden Bewohner und der Patienten des ambulanten Pflegedienstes

Vorbereitung der Home-Use-Tests zur Akzeptanz- und Einflussanalyse von Kamerapräsenz

In Vorbereitung auf das zweite Projektjahr wurden bereits Überlegungen zu den geplanten Home-Use-Tests zur Akzeptanz von Kameratechnik im Privatbereich angestellt. Hierzu fand ein gemeinsamer Workshop mit dem Projektpartner Aproxima statt, um die Tests zu konzeptionieren. Dabei wurden vorrangig folgende Aspekte thematisiert:

- Planung der durchzuführenden Interviews mit Probanden, Angehörigen und Mitarbeitern der Pflegeeinrichtung
- Aufbau der Testszenarios
- Entwicklung von Beobachtungs-Indikatoren und Instrumenten für die Durchführung der Befragungen und Tests
- Allgemeiner Testablauf und Zeitplan
- Zuständigkeiten der einzelnen Projektpartner

1.3.2. Projektjahr 2

Im zweiten Projektjahr wurden mehrere Probandentests mit potenziellen Nutzern der zu entwickelnden technischen Hilfsmittel durchgeführt, sowohl zum intelligenten Schuh als auch zur Sprach-Gesten-Steuerung. Zudem befasste man sich im Rahmen der Begleitforschung mit den Auswirkungen von Kamerapräsenz auf das Wohlbefinden und die Privatsphäre der Nutzer.

Probandentests zum intelligenten Schuh

Zu Beginn des Jahres 2015 wurden erste Probandentests zum intelligenten Schuh mit hochbetagten Bewohnern aus den Pflegeheimen „Hüttenholz“ und „Birkenhof“ der AWO AJS gGmbH in Ilmenau durchgeführt. Diese Tests erfolgten in Zusammenarbeit mit der TU Ilmenau. Hierbei wurden verschiedene Vibrationsmustern und Reizstärken auf einem Prüfstand erprobt. Ein Anteil der AWO AJS gGmbH bestand darin, die Durchführung dieser Tests vorzubereiten. Hierzu wurden geeignete Testpersonen aus dem Kreise der Heimbewohner ausgewählt und akquiriert. Zudem wurde der Probandentest direkt begleitet. Die Testpersonen erhielten zu Beginn des Tests eine Erläuterung zum Versuchsaufbau und der mit dem Test verfolgten Zielstellung. Die Pflegeheimbewohner wurden während dem Versuch genauestens beobachtet und persönlich befragt, um einerseits deren Akzeptanz zu ermitteln und andererseits das Sturzrisiko (bedingt durch plötzliches Erschrecken aufgrund der Vibration unter der Fußsohle) zu vermeiden.

Home-Use-Tests zur Akzeptanz- und Einflussanalyse von Kamerapräsenz

Die in 2014 bereits vorbereiteten Home-Use-Tests wurden im zweiten Projektjahr durchgeführt. Diese Testreihe diente der Akzeptanz- und Einflussanalyse von Kamerapräsenz auf das Verhalten der Nutzer anhand der Beobachtung des Einflusses auf vorhandene Rituale. Bei der Probandenauswahl und Probandenakquise wurde darauf geachtet, dass sowohl Pflegeheimbewohner als auch Senioren, die noch in der privaten Wohnung leben an den Tests teilnehmen. Es wurden zwei Testreihen durchgeführt. In beiden Testreihen wurden wiederum zwei Testszenarien umgesetzt. Dieses Vorgehen folgte der Methode der Extrem-

gruppenanalyse um die Auswirkungen von Kamerapräsenz auf das Nutzerverhalten anhand zwei polarisierender Zustände zu untersuchen. Beide Testreihen dauerten jeweils drei Wochen. Die Probanden wurden jeweils eine Woche vor dem tatsächlichen Testlauf beobachtet, dann eine Woche während der Durchführung der Tests und im Anschluss eine weitere Woche nach dem Test.

Testreihe 1:

Testszenario	**Durchgeführte Tests**
Testszenario 1-1	Test im öffentlichen Raum, in dem zwei Kameras sichtbar und hörbar angebracht worden und demnach permanent für die Testpersonen präsent waren
Testszenario 1-2	Test im öffentlichen Raum, in dem eine Kamera hing, die nicht hörbar und nicht sichtbar für die Testpersonen war

Testreihe 2:

Testszenario	**Durchgeführte Tests**
Testszenario 2-1	Test im privaten Wohnraum, in dem zwei Kameras sichtbar und hörbar angebracht worden und demnach permanent für die Testpersonen präsent waren
Testszenario 2-2	Test im privaten Wohnraum, in dem eine Kamera hing, die nicht hörbar und nicht sichtbar für die Testpersonen war

In Vorbereitung auf die Tests wurden in Zusammenarbeit mit Aproxima mehrere Interviewleitfäden entwickelt. Zu Beginn wurden Vorgespräche mit dem Pflegepersonal über die bestehenden Rituale und Alltagsroutinen der für den Test ausgewählten Probanden durchgeführt. Zudem wurden Tagebuchinterviews mit den Probanden selbst geführt, um ihren Tagesablauf zu ermitteln. Diese Befragungen dienten zunächst dazu, die Alltagsgewohnheiten der Probanden zu identifizieren, wie beispielsweise die regelmäßige Teilnahme an Veranstaltungen und Betreuungsangeboten im stationären Pflegealltag. Außerdem wurden leitfadengestützte Gespräche mit Pflegemitarbeitern geführt, um herauszufinden, wie sie zur audio- und gestengestützten Techniksteuerung eingestellt sind.

Im Anschluss an die vorbereitenden Befragungen begann der eigentlich Testlauf mit der Installation von Kameraattrappen im öffentlichen und privaten Raum der Probanden. Um die Präsenz der Kamera zu verstärken, wurden zudem Informationsschilder über die Anbringung einer Kamera im Aufenthaltsbereich angebracht. Alle Mitarbeiter des Hauses und auch die

Angehörigen der Heimbewohner wurden über die Durchführung der Tests informiert. Um während der Testreihen festzustellen, ob die Kamerapräsenz eine direkte Auswirkung auf die Rituale der Testpersonen hat, wurden regelmäßig verdeckte Beobachtungen im öffentlichen Raum durchgeführt und die Tagebuchinterviews mit den Probanden wurden fortgesetzt.

In der dritten Woche der Testreihe, also nachdem die Kameraattrappen wieder abmontiert wurden, fanden weitere leitfadengestützte Interviews mit dem Pflegepersonal statt, um die Auswirkungen der Kamerapräsenz zu ermitteln.

Im Anschluss an die Durchführung der Testreihe erfolgte zudem eine Unterstützung der Projektpartners Aproxima bei der Auswertung der Testergebnisse durch kontinuierliche Zuarbeit von Informationen über die Probanden und den alltäglichen Ablauf in der Pflegeeinrichtung.

Gestentests zur Ermittlung akzeptierter Gesten- und Sprachbefehle

Außerdem wurden im zweiten Projektjahr mittels Gestentests von Senioren akzeptierte Gesten und Sprachbefehle ermittelt. Diese Tests wurden durchgeführt, um die Sprach- und Gestensteuerung bestmöglich an die Bedürfnisse und Fähigkeiten der potenziellen Nutzer anzupassen. Hierfür wurden acht Probanden in ihrer Privatwohnung oder in ihrem Pflegeheimzimmer aufgesucht.

Die Tests wurden mit Hilfe eines gemeinsam mit Aproxima entwickelten Leitfadens durchgeführt. Zu Beginn der Tests bekamen die Probanden eine kurze Einführung zum Thema, zum Grund des Projekts und zum geplanten Testablauf. Die Probanden wurden dazu aufgefordert eine Lampe, einen Fernseher und die Zimmertür zuerst mit Sprachbefehlen und anschließend mit Gesten zu bedienen, die Ihnen zuerst in den Sinn kamen. Die von den Probanden angewiesenen Funktionen der Geräte wurden zur Verdeutlichung von der Interviewführerin manuell (beispielsweise mit der Fernbedienung) ausgelöst.

Übersicht über die getesteten Befehle (jeweils mit Sprache und Geste):

Gerät	**Befehle**
Lampe	• einschalten/ausschalten • dimmen (heller/dunkler)
Fernseher	• einschalten/ausschalten • Sender wechseln • Lautstärke erhöhen/minimieren, stumm schalten
Tür	• öffnen/schließen

Während den Tests wurde das Geschehen mit der Kinect-Kamera aufgenommen, um die entstandenen Video- und Audioaufnahmen anschließend zur Auswertung der Tests zu nutzen. Die Aufnahmen wurden zur Auswertung und weiteren Verwendung an die TU Ilmenau und velixX GmbH weitergeleitet. Die mit der Testreihe gewonnenen Ergebnisse konnten anschließend in die Gesten- und Sprachbefehlsdatenbank mit einfließen.

1.3.3. Projektjahr 3

Die Begleitforschung zum intelligenten Schuh und die Durchführung von Demonstratortests zur Gestensteuerung standen im Jahr 2016 im Fokus der Arbeit der AWO AJS gGmbH.

<u>Qualitative Interviews zum Thema Orientierung und zur Akzeptanzermittlung des intelligenten Schuhs</u>

Im Jahr 2016 wurde viel Zeit und Mühe in die Vorbereitung und Durchführung qualitativer, leitfadengestützter Einzelinterviews investiert. Hierzu wurden anhand von zuvor festgelegten Auswahlkriterien insgesamt 22 Probanden ausgewählt.

Folgende Auswahlkriterien lagen der Probandenakquise zugrunde:

Auswahlkriterium	**Gründe für die Auswahl des Auswahlkriteriums**
Heimbewohner vs. Senioren, die im Privathaushalt leben	Ermittlung von Unterschieden des Orientierungsvermögens und des Bedarfes an Hilfsmitteln
neue Heimbewohner vs. länger im Heim lebende Bewohner	Ermittlung von Unterschieden des Orientierungsvermögens an fremden und bekannten Orten
mobile Senioren vs. wenig/nicht mobile Senioren	Ermittlung von Auswirkungen von Bewegungseinschränkungen auf die Mobilität

Definition „wenig/nicht mobil“:

- starke Bewegungseinschränkungen, die die Nutzung von Rollator, Gehbock, Gehstock oder gar Rollstuhl notwendig machen
- Orientierungsschwierigkeiten durch starke Sehbehinderung

  (unter 20% Sehvermögen)
- körperlich, psychisch und habituell bedingte Bewegungsarmut (z.B. Senioren, die wenig außer Haus gehen, sich wenig in der Wohnung bewegen)
- ausgeprägtes Unsicherheitsgefühl außer Haus

Davon waren zehn Personen Heimbewohner und sechs Personen lebten noch im eigenen Haushalt. Neben der Befragung der eigentlichen Zielgruppe durch die AWO AJS gGmbH wurden vom Projektpartner Aproxima Telefoninterviews mit 13 Angehörigen der Probanden geführt, um sowohl die Eigenwahrnehmung der Senioren als auch die Fremdwahrnehmung durch nahe stehende Personen zu erfassen. In Bezug auf die Telefoninterviews erfolgte lediglich die Akquise der Angehörigen und die Weitergabe der Kontaktdaten an Aproxima. Die tatsächliche Durchführung der Telefoninterviews erfolgte durch den Projektpartner Aproxima.

Übersicht über die durchgeführten Interviews:

Umgebung	**Mobilität**	**Probanden**	**Angehörige**
neu im Heim	mobil	2 (1 Frau, 1 Mann)	2
	wenig mobil	2 (1 Frau, 1 Mann)	2
länger im Heim	mobil	3 (1 Frau, 2 Männer)	2 (1 verweigert)
	wenig mobil	3 (1 Frau, 2 Männer)	2 (1 verweigert)
Privathaushalt	mobil	4 (1 Frau, 3 Männer)	3 (1 verweigert)
	wenig mobil	2 (1 Frau, 1 Mann)	2
Anzahl der durchgeführten Interviews		16	13

Zentrale Fragestellungen der Interviews mit den Senioren waren:

- Wie hat sich das Mobilitätsverhalten mit zunehmendem Alter verändert? (Aktionsradius, Fortbewegungsmittel)
- Bestehen heute Orientierungsdefizite und werden gegebenenfalls Kompensationsstrategien zu deren Überwindung genutzt?
- Werden vorhandene Orientierungshilfen (z.B. Beschilderung oder farbliche Gestaltung im Pflegeheim) bemerkt und genutzt?
- Werden aktuell nicht-technische oder technische Hilfsmittel zur Orientierung genutzt? Welche Anforderungen bestehen an Hilfsmittel zur Orientierung?
- Ist die Nutzung des intelligenten Schuhs als praktikable Lösung denkbar oder werden andere Hilfsmittel bevorzugt?
- Welche Faktoren fördern oder hemmen den Übergang des intelligenten Schuhs in das Alltagsleben von Senioren?

Die Interviews mit den Probanden wurden auf Tonband aufgenommen und anschließend zur Auswertung an den Projektpartner Aproxima weitergeleitet. Zusätzlich dazu erhielt Aproxima einige Informationen zur Biografie sowie Angaben zum derzeitigen Gesundheits- und Gemütszustand der Probanden.

Entwicklungstest mit Probanden zur Sprachsteuerung am Demonstrator

Im dritten Projektjahr wurde außerdem ein Entwicklungstest zur Sprach-Steuerung am Demonstrator im AWO AJS gGmbH Pflegeheim „Hüttenholz“ durchgeführt. Zehn verschiedene Probanden der Zielgruppe hatten die Möglichkeit drei technische Bediengeräte (Fernseher, Deckenlampe und Stehlampe) mit Hilfe von Sprachbefehlen zu steuern. Bei der Probandenauswahl wurde darauf geachtet, dass sowohl Pflegeheimbewohner als auch in der privaten Wohnung lebende Senioren (zum Teil mit ambulanter Versorgung) am Entwicklungstest teilnehmen. In Vorbereitung auf die Demonstratortests wurden ein ausführlicher Testablaufplan sowie ein Gesprächsleitfaden konzipiert.

Testablauf:

1. Erläuterung des Demonstrators und der Zielstellung des Tests
2. Ermittlung intuitiver Sprachbefehle der Probanden zur Steuerung der drei Testgeräte
3. Erprobung der Sprachsteuerung mit dem von der TU Ilmenau programmierten Sprachbefehl-Katalog
4. Leitfadengestütztes Kurzinterview zur Akzeptanz sowie den Chancen und Grenzen der Sprachsteuerung für Senioren

Die gewonnenen Ergebnisse aus dem Demonstratortest wurden anschließend zur weiteren Optimierung der Sprachsteuerung an die TU Ilmenau weitergegeben.

Entwicklungstests mit Probanden zum Intelligenten Schuh

Gegen Ende des dritten Projektjahres und noch im Jahr 2017 wurden mehrfach Entwicklungstests zum intelligenten Schuh durchgeführt. Im Zentrum der Betrachtung standen vor allem die praktische Umsetzbarkeit des intelligenten Schuhs und die Akzeptanz der Senioren gegenüber diesem Hilfsmittel. Hierfür wurden zwei verschiedene Demonstratoren (Schuhe verschiedener Größe mit verschiedenen Vibrationsmodulen) mit Pflegeheimbewohnern durchgeführt. Für die Testreihen wurden geeignete Probanden durch die AWO AJS gGmbH ausgewählt und für die Teilnahme akquiriert. Hierbei war darauf zu achten, dass nur gehfähige Probanden ausgewählt werden. Die Notwendigkeit der Nutzung von Hilfsmitteln (z.B. Gehstock oder Rollator) war dabei kein Ausschlusskriterium. Außerdem sollten für den ersten Testlauf keine oder nur geringe kognitive Einschränkungen bei den ausgewählten Probanden vorliegen, um verwertbare Antworten auf die gestellten Fragen zu erhalten. Senioren

mit Krankheitsbildern (z.B. Diabetes oder chronische Schmerzen), die sich auf die Empfindsamkeit des Fußes auswirken, sollten ebenfalls vorerst nicht am Test teilnehmen. Die Durchführung der Tests wurde durch die Projektmitarbeiterin der AWO AJS gGmbH begleitet.

Folgende Aspekte wurden vorrangig beobachtet und erfragt:

- Sind die Vibrationen generell spürbar? Sind unterschiedliche Vibrationsstärken und Vibrationsmuster spürbar?
- Sind die Vibrationen angenehm oder unangenehm? Fühlen sich die Probanden durch die Vibration am Fuß beim Gehen behindert oder gestört?
- Wird der Schuh von den Probanden akzeptiert? Könnten sich die Probanden vorstellen einen solchen Schuh zu nutzen?

Die durchgeführten Entwicklungstests waren laut Projektplan bereits für das Jahr 2015 geplant, konnten aufgrund des Forschungs- und Entwicklungsfortschrittes seitens der Projektpartner jedoch erst später stattfinden. Zudem sorgten einige technische Probleme seitens der TU Ilmenau letztendlich dafür, dass keine weiterführenden Test mit hochbetagten Probanden mehr durchgeführt werden konnten.

1.4. Wissenschaftlicher und technischer Stand, an dem angeknüpft wurde

Grundsätzlich verfügt die AWO AJS gGmbH über vielfältige Kenntnisse zu alters- und krankheitsbedingten Einschränkungen und Bedürfnissen von Senioren. Bedingt durch den täglichen Kontakt zu Menschen mit verschiedensten Ausprägungen von Pflegebedürftigkeit, ist die AWO AJS gGmbH vertraut mit der gesamten Bandbreite der Zielgruppe und kann die spezifischen Anforderungen an technische Hilfsmittel dementsprechend gut einschätzen. Damit konnte die AWO AJS gGmbH einen Beitrag dazu leisten, den Intelligenten Schuh und die Sprach-Gesten-Steuerung so zu gestalten, dass diese sowohl für die pflegebedürftigen Menschen als auch für deren Angehörigen und das Pflegepersonal der professionellen Dienste nutzenstiftend und mehrwertbringend sind. Damit können sie eine erhebliche Erleichterung im Alltag mit sich bringen.

Darüber hinaus konnte die AWO AJS gGmbH im Projekt BUNDSCHUH an die vorhandenen Erfahrungen aus mehreren vorrangegangenen bzw. parallel laufenden Förderprojekten anknüpfen. Die beiden Projekte beschäftigen sich ebenfalls mit dem Thema „Technische Hilfsmittel für Senioren“. Diese sind im Folgenden kurz dargestellt:

- Projekt WEITBLICK:

  Ziel des Projekts war die Entwicklung eines technikgestützten Assistenzsystems für pflegebedürftige Menschen zur Information über verschiedene bestehende Dienstleistungsangebote. Das System sollte zudem zur Vermittlung und konkreten Koordination der Inanspruchnahme dieser Dienstleistungsangebote dienen.

- Projekt SYMPARTNER:

  Im bis März 2018 laufenden Projekt soll ein neuartiger Roboterassistent für ältere Menschen im häuslichen Kontext entwickelt werden, der zur Stärkung der Selbständigkeit und der Selbstbestimmung beiträgt. Dafür werden erstmalig die Ergebnisse der beiden Forschungsprojekte – die Assistenzlösung „PAUL“ und der soziale Roboter „SCITOS“ – miteinander verknüpft.

1.5. Zusammenarbeit mit anderen Projektpartnern

1.5.1. Zusammenarbeit mit dem Projektpartner TU Ilmenau

Die Zusammenarbeit mit der TU Ilmenau bestand vor allem in der praktischen Erprobung der entwickelten Lösungen. Die AWO AJS gGmbH stellte das empirische Feld für die gemeinsame Durchführung von Funktionstest der entwickelten technischen Lösungen zur Verfügung. Die Bereitstellung der Versuchsumgebung und die Akquise von passenden Probanden ermöglichte es der TU Ilmenau die technischen Lösungen an die spezifischen Bedarfe der Zielgruppe anzupassen und stetig weiterzuentwickeln. Zudem bekam die TU Ilmenau Wissen und Verständnis in Bezug auf die individuellen Problemlagen und Bedürfnisse von pflegebedürftigen Senioren vermittelt. Dieser für den Erfolg des Projekts enorm wichtige Faktor wurde durch die AWO AJS gGmbH als Projektteilnehmer gesichert.

1.5.2. Zusammenarbeit mit dem Projektpartner Aproxima

Außerdem erfolgte eine enge Zusammenarbeit mit der Markt- und Sozialforschungsgesellschaft Aproxima. Die Ergebnisse der in Zusammenarbeit mit der TU Ilmenau durchgeführten Testreihen wurden letztendlich von Aproxima ausgewertet. Zudem wurden in Zusammenarbeit Gesprächsleitfäden für die durchgeführten Diskussionsrunden und Interviews entwickelt. Die Ergebnisse der Befragungen wurden an Aproxima weitergeleitet und mit weiterführenden Informationen zum Gesundheitszustand und biographischen Daten untermauert.

1.5.3. Zusammenarbeit mit dem Projektpartner Orthopädie Schuhtechnik eG Themar

Die Zusammenarbeit mit Orthopädie Schuhtechnik eG Themar erfolgte vorrangig bei den regelmäßigen gemeinsamen Workshops und Meilensteintreffen, an denen alle Projektpartner

teilnahmen. Hier bekam die AWO AJS gGmbH einen Einblick in die praktische Forschungs- und Entwicklungsarbeit für den intelligenten Schuh.

Für die Entwicklung des Schuhs wurden von der AWO AJS gGmbH mit Hilfe von Befragungen von Senioren Gestaltungsanforderungen für Seniorenschuhe erhoben. Die Befragungsergebnisse konnten dann in die Arbeit des Projektpartners einfließen. Schließlich sollte ein Schuh entwickelt werden, der nicht nur als technisches Hilfsmittel dient, sondern der auch ansprechend und praktisch für die Zielgruppe ist.

1.5.4. Zusammenarbeit mit dem Projektpartner velixX GmbH

Die Zusammenarbeit mit velixX bezog sich vorrangig auf den Bereich der Gestenerkennung. Die mit der Kinect durchgeführten Gestentests mit Probanden wurden auf Video aufgezeichnet. Diese wurden im Anschluss an die Tests an velixX weitergeleitet, damit die Ergebnisse in die Entwicklungsarbeit des Gestenerkennungssystems für Senioren einfließen konnten. Zudem boten die gemeinsamen Workshops und Meilensteintreffen aller Projektpartner die Möglichkeit zum fachlichen Austausch.

2. Die Ergebnisse der Nutzeranalysen und -tests

2.1. Erreichte Ergebnisse und Zielvorgaben im Vergleich

Grundsätzlich konnten die im Projektplan vorgesehenen Ergebnisse erzielt werden und der Zeitplan wurde weitestgehend eingehalten. Kleinere Abweichungen vom Projektplan oder nicht durchgeführte Tests resultierten aus Verzögerungen in der Forschung und Entwicklung seitens der Projektpartner TU Ilmenau, Orthopädie Schuhtechnik eG Themar und velixX.

In Bezug auf die Probandenakquise und Probandenauswahl war zu Beginn des Projektes geplant, einen möglichst konstanten Probandenstamm für alle durchzuführenden Tests und Befragungen aufzubauen. Dies war aufgrund der enorm hohen Fluktuation der Bewohner in den Pflegeinrichtungen (aufgrund von Versterben oder Heimauszug) und deren schwankender gesundheitlicher Verfassung jedoch nur bedingt möglich. Daher mussten immer wieder neue, zusätzliche Probanden für die Befragungen und Tests ausgewählt und akquiriert werden.

Die zentralen Ergebnisse aller in Zusammenarbeit mit Aproxima durchgeführten Tests und Befragungen sind dem Abschlussbericht des Projektpartners zu entnehmen, da insbesondere die Auswertung der Begleitforschungsergebnisse vorrangig im Aufgabenbereich von Aproxima lag. Im folgenden Abschnitt sind daher vorrangig die Ergebnisse der Befragungen und Tests aufgeführt, die ohne direkte Zusammenarbeit mit Aproxima erfolgte.

Gestaltungsanforderungen an den Intelligenten Schuh:

Die Befragung von Senioren in Bezug auf deren Anforderungen an optisch ansprechendes, bequemes und praktisches Schuhwerk ergaben folgende zentrale Ergebnisse:

- weich, leicht und flexibel
- weiche und dehnungsfähige Materialien
- Polsterung im Fersen- und Ballenbereich
- hohe Stabilität – durch erhöhten Schaft
- gelenkentlastend und fußschonend (Abrollsohlen, stoßdämpfende Spezialsohlen)
- Absätze bis höchstens 15 mm
- anatomische Fußform
- Senioren tragen häufig Einlagen in den Schuhen. Dies sollte in Bezug auf das Innenraumvolumen und die Vibrationsmodule beachtet werden.
- leichtes Einsteigen, Anziehen und Ausziehen auch bei körperlichen Beschwerden (Klettverschluss, Reißverschluss, weite Öffnungsmöglichkeit bis in den Zehenbereich)
- wertvolle Leder- und Futtermaterialien (natürlicher Feuchtigkeits-, Luft- und Temperaturaustausch, angenehmes Tragegefühl, ideal bei druckempfindlichen Füßen)
- Sommerschuhe (Halbschuh, Slipper, Sandalette) in hellen Farben
- gefütterte Winterschuhe in gedeckten Farben

Krankheiten, die die Sprach- und Bewegungsfähigkeit beeinflussen:

Die folgenden tabellarischen Übersichten geben einen zusammenfassenden Überblick über mögliche Krankheitsbilder der Zielgruppe, die die Nutzung der Sprach-Gesten-Steuerung negativ beeinflussen können:

Krankheiten, die die Bewegungsfähigkeit beeinflussen	Gestensteuerung möglich?	Sprachsteuerung möglich?	*
ALS - Amyothrophe Lateralsklerose (Muskelschwäche, Muskelschwund, Spastiken)	Nein *	Nein *	Im Verlauf der Krankheit (im Anfangsstadium Ja)
Amputation	Ja *	Ja	über nicht betroffene Extremitäten

Apraxie (Unfähigkeit trotz erhaltener Beweglichkeit zu handeln) nach Schlaganfall	Nein *	Ja *	Je nach Form der Apraxie
Degen. Wirbelsäulenerkrankung (Nackenschmerzen, die in die Arme ausstrahlen, kann Arm/Arme nur schwer heben)	Ja *	Ja	über nicht betroffene Extremitäten
Demenz, Alzheimer (bewegt sich vermindert, hat Schwierigkeiten feinmotorische Tätigkeiten auszuüben, Muskelsteifheit)	Nein	Nein	
Frakturen (Knochenbrüche) → wenn Frakturen nicht richtig behandelt werden, entstehen Kontrakturen (dauerhafte Bewegungseinschränkung von Gelenken)	Ja *	Ja	über nicht betroffene Extremitäten
Hemiplegie (Halbseitenlähmung), **Hemiparese** (inkomplette Lähmung einer Körperhälfte) = Symptome nach Schlaganfall	Ja *	Nein	über nicht betroffene Extremitäten
Morbus Parkinson (Tremor = Zittern, Muskelsteifheit, Verlangsamte Bewegungen)	Nein *	Nein *	Im Verlauf der Krankheit (im Anfangsstadium Ja)
Multiple Sklerose (Gehbehinderung, Spastik)	Nein *	Nein *	Im Verlauf der Krankheit (im Anfangsstadium Ja)
Muskeldystrophie (Muskelschwäche)	Nein *	Nein *	Im Verlauf der Krankheit (im Anfangsstadium Ja)
Osteoporose (Verminderung der Knochenmasse – Schmerzen bei Bewegungen)	Ja	Ja	
Rheuma, Arthrose, Gicht (Entzündung der Gelenke) → Gelenksteife mit Kontrakturen	Ja	Ja	über nicht betroffene Extremitäten

Einschränkungen bei der Nutzung von Gestensteuerung treten vorrangig auf bei:

- Lähmungen
- Kraftmangel und Schmerzen in Armen und Händen
- Amputation der oberen Extremitäten
- Nutzung von Gehhilfen (Rollator, Gehbock) bei Gleichgewichtsstörungen, da ein permanenter Kontakt mit dem Hilfsmittel notwendig ist
- nachlassende kognitive Fähigkeiten (Befehle können nicht abgerufen werden)

Krankheiten , die die Sprachfähigkeit beeinflussen	Gestensteuerung möglich?	Sprachsteuerung möglich?	*
ALS - Amyothrophe Lateralsklerose (Abnahme der Sprachfähigkeit - undeutliche und leise Ansprache)	Nein *	Nein *	Im Verlauf der Krankheit (im Anfangsstadium Ja)
Aphasie (vollständiger Verlust der Sprache) nach Schlaganfall, Hirntumor	Ja	Nein	
Sprechapraxie	Ja	Nein	
Demenz, Alzheimer (Sprache verarmt zunehmend, Wortfindungsstörungen)	Nein	Nein	
Dysphasie (unvollständiger Verlust der Sprache)	Ja	Nein	
Erkrankungen an Stimmbändern (Verletzungen bei Struma-OP)	Ja	Nein	
Hemiplegie (Halbseitenlähmung), **Hemiparese** (inkomplette Lähmung einer Körperhälfte) = Symptome nach Schlaganfall → Sprachfähigkeit ist eingeschränkt	Ja *	Nein	über nicht betroffene Extremitäten
Morbus Parkinson (monoton und verlangsamte Sprache)	Nein *	Nein *	Im Verlauf der Krankheit (im Anfangsstadium Ja)

Multiple Sklerose (undeutliche und leise Ansprache)	Nein *	Nein *	Im Verlauf der Krankheit (im Anfangsstadium Ja)
Taubheit (Stimme ist monoton, ohne Melodie, schwer verständlich)	Ja	Ja */ Nein	Je nach Verständlichkeit der Lautsprache
Taubstumm	Ja	Nein	
Tracheostoma (Luftröhrenschnitt) nach Schlaganfall, Kehlkopfkrebs	Ja	Nein	

Einschränkungen bei der Nutzung von Sprachsteuerung treten vorrangig auf bei:

- schlecht verständliche, leise und verwaschene Artikulation
- nachlassende kognitive Fähigkeiten (Befehle können nicht abgerufen werden)

<u>Zentrale Ergebnisse der durchgeführten Demonstratortests zur Sprachsteuerung:</u>

Die Erprobung der Sprach-Gesten-Steuerung sollte ursprünglich bereits im zweiten Projektjahr stattfinden. Aufgrund von Verzögerungen in der Forschung und Entwicklung bei der TU Ilmenau wurde dies in das dritte Projektjahr verschoben. Zudem konnte lediglich die Sprachsteuerung am Demonstrator mit Probanden erprobt werden, da sich die Gestensteuerung noch nicht auf dem nötigen technischen Stand befand, um sie mit körperlich und kognitiv beeinträchtigten Senioren zu testen.

Erste Schwierigkeiten zeigten sich bereits bei der Probandeakquise. Viele Senioren lehnten die Teilnahme am Demonstratortest ab. Gründe dafür waren vorrangig die Unsicherheit im Umgang mit Technik und bestehende gesundheitliche Beschwerden. Die Senioren, die als Probanden für die Testreihe gewonnen werden könnten, zeigten jedoch großes Interesse und Begeisterung über die Möglichkeit Geräte aus dem Haushalt mit Sprachbefehlen zu bedienen.

Die Durchführung der Demonstratortests ergab, dass die entwickelte Sprachsteuerung noch einige Schwächen aufweist und noch weiter an die spezifischen Bedürfnisse der Zielgruppe angepasst werden muss. Die Spracherkennung funktionierte bei der Projektmitarbeiterin durchgängig zuverlässig. Bei den Tests mit Probanden reagierte das System jedoch nur zeitweise korrekt auf die gesprochenen Befehle. Insbesondere die Regulierung der Sprechlautstärke und die deutliche Aussprache sowie die Vermeidung von Nebengeräuschen (z.B. durch Aufstehen, Verrücken des Stuhls) erwiesen sich für die Senioren als schwierig. Einige Probanden verloren recht schnell die Geduld, sobald der Demonstrator, die Befehle nicht zuverlässig umsetzen konnte. Zwei eher technik-affine Probanden machten sich recht

schnell mit dem Demonstrator vertraut und so konnten die Sprachbefehle nach kurzer „Anlernphase“ weitestgehend zuverlässig und korrekt umgesetzt werden.

Im Anschluss an die durchgeführten Demonstratortests wurde in einem leitfadengestützten Kurzinterview auf die Frage eingegangen, ob die Probanden sich vorstellen könnten, eine solche Sprachsteuerung im Alltag zu nutzen. Bis auf die zwei Probanden, bei denen der Test positiv verlief, wurde dies verneint. Die Senioren waren prinzipiell von der Idee begeistert, sind jedoch der Meinung, dass sie ein solches technisches Hilfsmittel selbst nicht bzw. erst in ferner Zukunft und mit zunehmenden gesundheitlichen Beschwerden benötigen.

Die Ergebnisse des Probandentests am Demonstrator wurden anschließend an die TU Ilmenau weitergeleitet, um eine weitere Anpassung des System an die Bedürfnisse der Zielgruppe zu ermöglichen.

Zentrale Ergebnisse der Entwicklungstests mit Probanden zum intelligenten Schuh:

Bis auf eine Probandin waren die Vibrationen bei allen Tests deutlich spürbar. Unterschiedliche Vibrationsstärken und Vibrationsmuster wurden jedoch nur teilweise bemerkt. Insbesondere bei Probanden mit leichten kognitiven Einschränkungen (aufgrund von Demenz) kam es zu Fehleinschätzungen. Es wurden Veränderungen der Vibrationsmuster bemerkt obwohl diese nicht stattgefunden haben. Keiner der Probanden fühlte sich von den Vibrationen an der Fußsohle gestört oder beim Gehen behindert.

Der Test bei einer Probandin ergab, dass die Vibrationen unter der Fußsohle nicht bemerkt wurden. Auch auf direkte Ansprache, konnte die Probandin keine Veränderung feststellen. Sie konnte lediglich das akustische Geräusch der Vibrationsmotoren deutlich hören, sobald diese eingestellt wurden. Dieses Testergebnis ist nach aktuellem Stand der ärztlichen Diagnosen medizinisch nicht zu erklären. Es treten lediglich zeitweise Schmerzen im Hüftbereich auf, die Bewohnerin ist jedoch mit dem Rollator mobil und spürt im Alltag kaum Einschränkungen. Zudem ist die Probandin geistig fit. Demnach sollte, sobald der Intelligente Schuh marktreif ist, vor dem Erwerb in jedem Fall eine praktische Erprobung mit dem potenziellen Nutzer erfolgen, um festzustellen, ob das Hilfsmittel tatsächlich ein geeignetes Hilfsmittel für denjenigen darstellt.

Für das dritte Projektjahr waren ursprünglich noch weitere ausführliche Testreihen zum intelligenten Schuh mit Probanden geplant. Die empirischen Untersuchungen konnten jedoch nur teilweise durchgeführt werden, da die technische Entwicklung des intelligenten Schuhs die Verbundpartner vor unvorhersehbare Schwierigkeiten stellte. Die durchgeführten Testreihen an der TU Ilmenau sowie in den Einrichtungen der AWO AJS gGmbH ergaben, dass der zuverlässige Einsatz von Testmustern noch verfrüht wäre. Somit konzentrierte sich das BUNDSCHUH-Projektteam auf die ersten erzielten Ergebnisse und Erkenntnisse aus den

durchgeführten Vortests und auf die qualitative Befragung älterer Menschen zu deren Mobilitäts- und Orientierungsverhalten.

2.2. Die wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Die im Projekt BUNDSCHUH entstandenen Kosten beziehen sich zum größten Teil auf den Faktor Personalkosten. Für die Arbeit am Projekt wurde eine neue Vollzeitstelle im AWO AJS gGmbH Regionalverbund Ilmenau geschaffen. Im Laufe des Projektes kam es aufgrund einer mit dem Personalwechsel verbundenen Veränderung der Eingruppierung zu einer Verringerung des monatlichen Personalaufwandes. Nach Absprache mit dem VDI/VDE wurde ein Teil der Personalkosten (Position 0817) aus dem Sachkostenbudget finanziert.

Zusätzlich zu den Personalkosten fielen diverse Sachkosten, insbesondere für Verwaltungsmaterialien. Zur Anschaffung eines für den Zweck angemessenen Laptops wurden Kosten von Position 0843 (Mieten und Rechnerkosten) auf Position 0831 (Gegenstände bis zu 410 €) umgewidmet. Zudem wurden Reisekosten für den Transfer der Projektmitarbeiterinnen zu den einzelnen Projekttreffen über die Position 0846 (Dienstreisen) aus der Fördersumme finanziert.

Das geplante Gesamtbudget konnte eingehalten werden. Die genehmigte Fördersumme wurde fast vollständig verwendet, jedoch nicht überschritten.[1]

2.3. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die AWO AJS gGmbH hat für die Bearbeitung und Umsetzung der Projektziele eine neue Vollzeitstelle im Regionalverbund Ilmenau geschaffen, da die Projektaufgaben keine Regeltätigkeiten der AWO AJS gGmbH als Anbieter pflegerischer Tätigkeiten sind. Dadurch konnten die für das Projekt notwendigen personellen Ressourcen nicht über das mit den Pflegekassen verhandelte Entgelt finanziert werden.

Im Projektverlauf kam es zu einem Personalwechsel zum 01.09.2016. Aufgrund der Schwangerschaft von Frau Katina Büge, die das Projekt im Jahr 2014 begonnen hat, wurde das Projekt von Frau Denise Günther zu Ende geführt. Beide Mitarbeiterinnen verfügen über eine ebenbürtige Hochschulausbildung im Studiengang Sozialmanagement an der Hochschule Nordhausen.

Die im Projekt entwickelten Hilfsmittel sollten vor allem für den Nutzer hilfreich sein. Um dies zu gewährleisten musste die Zielgruppe definiert und genauestens untersucht werden, um deren Anforderungen und Bedürfnissen zu entsprechen. Eine Akzeptanzuntersuchung bei der Zielgruppe war zudem wichtig, um festzustellen, ob die geplante technische Entwicklung von der Zielgruppe tatsächlich gewollt und benötigt wird. Nur so konnte davon ausgegangen

[1] Siehe Verwertungsnachweis

werden, dass die entwickelte Technik vom potenziellen Nutzer tatsächlich in Anspruch genommen werden würde und demnach konnten Erfolgsaussichten abgeschätzt werden.

Im Projektverlauf zeigte sich schnell, dass die Probandenakquise für die geplanten Tests und Befragungen sehr zeitaufwändig war. Ein Großteil der Pflegeheimbewohner war wegen enormer Pflegebedürftigkeit oder weit fortgeschrittener Demenzerkankung von Vorneherein nicht für die Teilnahme am Projekt geeignet. Aufgrund der hohen Fluktuation durch Sterbefälle und Auszüge in den Pflegeheimen und auch unter den Patienten des ambulanten Pflegedienstes konnte kein fester Probandenstamm für den gesamten Projektzeitraum aufgebaut werden. Demnach mussten für jede empirische Erhebung erneut die passenden Probanden unter Berücksichtigung ihres aktuellen körperlichen und kognitiven Gesundheitszustands ausgewählt und angeworben werden. Um dies zu gewährleisten, mussten ausführliche Informationen zu den ärztlichen Diagnosen und dem aktuellen Allgemeinzustand der Senioren erhoben werden. Zudem zeigte sich die Problematik, dass bei den meisten Senioren generell Berührungsängste zum Thema Technik bestehen und Befragungen eher gemieden werden. Es brauchte demnach viel Überzeugungsarbeit, um die ausgewählten Probanden zu einer tatsächlichen Teilnahme an der Begleitforschung zu bewegen.

Auch die Durchführung der Befragungen und Tests mit den Senioren erwies sich als deutlich zeitaufwändiger und weniger ergiebig, als es mit jüngeren Probanden der Fall gewesen wäre. Die Gründe dafür liegen vor allem im Alter der Senioren begründet. Hochbetagte neigen zu kognitiven Defiziten, schnellem Ermüden und Konzentrationsschwächen. Aufgrund dessen haben sie zum Teil Schwierigkeiten beim Verstehen der Fragen und Geben angemessener Antworten. Auch das Hör- und Sehvermögen ist bei Senioren häufig beeinträchtigt, was die Befragungen und Tests zusätzlich erschwert hat. Zudem mussten während den Tests und Befragungen immer wieder Unsicherheiten und Berührungsängste der Probanden reduziert werden und es wurde genauestens auf die Einhaltung des Datenschutzes geachtet. Ein insgesamt schlechter Allgemeinzustand der pflegebedürftigen und hochbetagten Probanden führten zum Teil dazu, dass Tests und Befragungen verfrüht abgebrochen werden mussten bzw. die gewonnenen Ergebnisse nicht oder nur teilweise verwertbar waren. Unter Berücksichtigung dieser Schwierigkeiten wurden ausschließlich qualitative Erhebungsmethoden für die Begleitforschung im Projekt eingesetzt, da qualitative Erhebungen Validitätsprobleme hervorrufen könnten und nicht für die ausgewählten Probanden geeignet waren.

2.4. Nutzen und Verwertbarkeit des Ergebnisses (Verwertungsplan)

Bedingt durch den tiefgreifenden demografischen Wandel nimmt die Zahl pflegebedürftiger alter Menschen in der stationären und ambulanten Pflege stetig zu. Bisher wurden noch keine oder nur unzureichende geeignete Lösung gefunden, um diese hohe Nachfrage nach Pflege- und Betreuungsleistungen mit stationären Angeboten zu bedienen.

Das im Jahr 2017 verabschiedete Pflegestärkungsgesetz 2 wurde notwendig, weil bei der Feststellung von Pflegebedürftigkeit bisher vor allem auf körperliche Einschränkungen geschaut wurde. Menschen mit kognitiven und/oder psychischen Beeinträchtigungen wurden bisher nur eingeschränkt berücksichtigt. Insbesondere Demenzerkrankungen nehmen bei Menschen im hohen Alter immer mehr zu. Um allen Menschen zukünftig einen gleichberechtigten Anspruch auf Leistungen der Pflegeversicherung zu ermöglichen, wurde die Pflegereform verabschiedet. Eine wesentliche Auswirkung der Gesetzesänderung war, dass ambulant betreute Senioren nun einen deutlich höheren Unterstützungsanspruch durch die Pflegekasse haben als bisher. Mit der neuen Pflegereform gab es also schon einige positive Veränderungen, um die allgemeine Prämisse „Ambulant vor Stationär" umzusetzen. Doch weder pflegende Angehörige noch professionelle Dienste der ambulanten Versorgung stehen 24 Stunden am Tag an sieben Tagen pro Woche zur Verfügung. Daher müssen Mittel und Wege gefunden werden, die es ermöglichen, dass Senioren länger in der eigenen Häuslichkeit zurechtkommen und leben können. Die Situation in stationären Pflegeeinrichtungen wird bedingt durch einen enormen Anstieg der Pflegebedürftigkeit der Bewohner und einen gleichzeitigen Fachkräftemangel auf Personalseite immer prekärer. Daher müssen dringend Lösungen gefunden werden, die den Pflegealltag für alle Beteiligten erleichtern.

Eine konkrete wirtschaftliche Verwertung der im Verbundprojekt erzielten Ergebnisse ist derzeit generell noch nicht möglich, da die Forschungs- und Entwicklungsarbeit zum intelligenten Schuh und auch zur Sprach-Gesten-Steuerung im Rahmen des Projektzeitraumes noch nicht abgeschlossen werden konnten. Eine Verwertung ist demnach für die AWO AJS gGmbH erst in fernerer Zukunft denkbar, wenn zuverlässig funktionierende Systeme auf dem Markt sind, die in den Pflege- und Betreuungsalltag der AWO AJS gGmbH integriert werden könnten. Daher ist es für die AWO AJS gGmbH derzeit noch nicht möglich einen konkreten Verwertungsplan aufzustellen.

Für die AWO AJS gGmbH bot die Durchführung des Projekts BUNDSCHUH dennoch gleich in mehrfacher Hinsicht positive Verwertungsmöglichkeiten. Für die Bewohner und Mitarbeiter sowie Angehörigen des Regionalverbunds Ilmenau erhoffte sich die AWO AJS gGmbH einen langfristigen positiven Nutzen.

Folgende Verwertungsmöglichkeiten der Projektergebnisse ergaben sich für die AWO AJS gGmbH:

- Technische Hilfsmittel, die im Zentrum der Betrachtung des Projekts BUNDSCHUH stehen, sind daher eine sinnvolle Ergänzung bereits bestehender Angebote für Senioren. Abgesehen von der Nutzung von Hausnotrufsystemen in den Service-Wohnanlagen und der ambulanten Pflege war die AWO AJS gGmbH bisher nur begrenzt im Feld des Einsatzes technischer Lösungen tätig. Diese könnten jedoch nicht

nur im ambulanten Bereich, sondern auch im stationären Bereich zur Anwendung kommen. Schließlich können technische Hilfsmittel dazu dienen, das Pflegepersonal im Heim bzw. im ambulanten Pflegedienst zu entlasten, weil sie dem Bewohner bzw. patienten Tätigkeiten abnehmen und den Alltag erleichtern.

- Mit den im Projekt BUNDSCHUH entwickelten technischen Lösungen für Senioren kann perspektivisch ein langfristiger Beitrag zur Qualitätssicherung in der Pflege sowie eine Verbesserung und Effektivierung des Personaleinsatzes und der Pflegedokumentation erreicht werden. Schließlich bestände die Möglichkeit die vorhandene Technik neben der eigentlichen Gerätesteuerung zusätzlich für die Pflegedokumentation zu nutzen. Eine gute Ausstattung mit Hilfsmitteln erhöht zudem die Attraktivität unserer Einrichtungen und Dienstleistungen aus Sicht potenzieller Kunden.
- Zudem fand die AWO AJS gGmbH im Rahmen des Projektes die Orthopädie Schuhtechnik Themar eG als neuen Kooperationspartner für eine zukünftige Zusammenarbeit. Eine Vielzahl der Bewohner unserer Senioreneinrichtungen benötigen orthopädisches Schuhwerk, angepasste Sohlen oder Ähnliches. Für die AWO AJS gGmbH ist eine langfristige enge Kooperation, zum Wohle unserer Bewohner und für eine bestmögliche Ausstattung mit Orthopädietechnik denkbar.
- Das Verbundprojekt ermöglichte es der AWO AJS gGmbH zudem sich fernab von der alltäglichen Arbeit mit möglichen zukünftigen Perspektiven für den Pflegesektor zu beschäftigen. Eine Anschlussfähigkeit der Projektergebnisse für die künftige Arbeit mit Senioren ist gegeben. Die bereits vorhandenen Erkenntnisse in Bezug auf die Orientierung und Mobilität von Senioren wurden vertieft und können damit im Pflegealltag noch besser Berücksichtigung finden. So gab das Projekt der AWO AJS gGmbH Anlass dazu, die Gestaltung der Altenhilfeeinrichtungen und dazugehörigen Außenanlagen des Trägers zu hinterfragen und gegebenenfalls Anpassungen vorzunehmen, die den spezifischen Bedürfnissen von Senioren in Bezug auf ihre Orientierung und Mobilität noch besser entsprechen.
- Die gewonnenen Ergebnisse aus der Begleitforschung sowie die im Projekt entstandenen Hilfsmittel sind zudem nicht nur für den Regionalverbund Ilmenau, sondern für alle vom Träger betriebenen Einrichtungen innerhalb Thüringens verwertbar. Zudem stehen die Projektergebnisse aufgrund der geplanten Veröffentlichung auch allen anderen Anbietern im Pflegebereich zur Verfügung und können zu positiven Entwicklungen und damit zu einer echten Bereicherung im gesamten Pflegesektor beitragen.

2.5. Geplante Veröffentlichungen

Eine gemeinsame Veröffentlichung aller Projektpartner zu den zentralen Ergebnissen des Verbundprojektes ist angedacht. Über die Art und inhaltliche Ausgestaltung dieser Veröffentlichung muss jedoch noch eine konkrete Abstimmung im Projektteam erfolgen.

3. Quellenverzeichnis

Andreae, S.; Von Hayek, D. & Weniger, J. (2006): Altenpflege professionell – Krankheitslehre. Stuttgart: Georg Thieme Verlag, 2. Auflage

Andreae, S. et al. (2006): Lexikon der Krankheiten und Untersuchungen. Stuttgart: Georg Thieme Verlag, 1. Auflage

Balasch, M. C. (2013): Smart Senior – Intelligente Dienste und Dienstleistungen für Senioren (Projektbericht)

Doenges, M. E. et al. (2002): Pflegediagnosen und Maßnahmen. Bern: Verlag Hans Huber, 3. Auflage

Ehmann, M. & Völkel, I. (2000): Pflegediagnosen in der Altenpflege. München: Urban & Fischer Verlag, 1. Auflage

Drude, K. & Larkamp, M. (2007): Arbeitsbuch Pflege Heute. München: Urban & Fischer Verlag, 4. Auflage

Engeln, A. & Schlag, B.(2008): Kompensationsmöglichkeiten und Bewältigungsstrategien im Alter. In: Schlag, B. (Hrsg.) (2008): Leistungsfähigkeit und Mobilität im Alter. Köln: TÜV-Verlag, 1. Auflage

Falk, J. (2004): Basiswissen Demenz. Lern- und Arbeitsbuch für berufliche Kompetenz und Versorgungsqualität. Weinheim/München: Juventa Verlag, 1. Auflage

Flade, A.; Limbourg, M. & Schlag, B. (Hrsg.) (2001): Mobilität älterer Menschen. Wiesbaden: Springer Fachmedien GmbH, 1. Auflage

Friesdorf, W. & Heine, A. (Hrsg.) (2007): sentha – Seniorengerechte Technik im häuslichen Alltag. Ein Forschungsbericht mit integriertem Roman. Wiesbaden: Springer Verlag, 1. Auflage

Grond, E. (2009): Die Pflege verwirrter und dementer alter Menschen. Freiburg im Breisgau: Lambertus Verlag, 10. Auflage

Hansen, W. (Hrsg.) (2007): Medizin des Alterns und des alten Menschen. Stuttgart: Schattauer GmbH, 1. Auflage

Hefter, T. & Götz, K. (2013): Mobilität älterer Menschen. State oft he Art und Schlussfolgerungen für das Projekt COMPAGNO. ISOE-Diskussionspapiere (36), S. 5-58

Jakobs, E.-M.; Lehnen, K. & Ziefle, M. (2008): Alter und Technik – Studie zu Technikkonzepten, Techniknutzung und Technikbewertung älterer Menschen. Aachen: Apprimus Verlag, 1. Auflage

Keiser, T. et al. (Hrsg.) (2015): Gestensteuerung im Pflegeumfeld. Das Projekt GeniAAL. Grundlagen, Anwendungsfelder, Technologien und Erfahrungen. Norderstedt: Books on Demand, 1. Auflage

Klein, P. & Müller, S. (2013): Methoden und Möglichkeiten zur Akzeptanzsteigerung von Mobilitäts-Assistenzsystemen am Beispiel des Forschungsprojektes inDAgo.

Kreimer, R. (2004): Altenpflege – menschlich, modern und kreativ. Grundlagen und Modelle einer zeitgemäßen Prävention, Pflege und Rehabilitation. Hannover: Schlütersche Verlagsgesellschaft, 1. Auflage

Krohwinkel, M. (2007): Rehabilitierende prozesspflege am Beispiel von Apoplexiekranken. Bern: Verlag Hans Huber, 2. Auflage

Mayring, P. (2016): Einführung in die qualitative Sozialforschung. Weinheim: Beltz Verlag, 6. Auflage

Mötzing, G. & Schwarz, S. (2010): Leitfaden Altenpflege. München: Urban & Fischer Verlag, 4. Auflage

Oertel, W. H.; Deuschl, G & Poewe, W. (2012): Parkinson-Syndrome und andere Bewegungsstörungen. Stuttgart: Georg Thieme Verlag, 1. Auflage

Pelizäus-Hoffmeister, H. (2013): Zur Bedeutung von Technik im Alltag Älterer. Theorie und Empirie aus soziologischer Perspektive. Wiesbaden: Springer Fachmedien Verlag, 1. Auflage

Scholz-Weinrich, G. & Graber-Dünow, M. (Hrsg.) (2015): Lebensraum Bett. Bettlägerige alte Menschen im Pflegealltag. Hannover: Schlütersche Verlagsgesellschaft, 1. Auflage

Seel, M. & Hurling, E. (2005): Die Pflege des Menschen im Alter. Hannover: Brigitte Kunz Verlag, 3. Auflage

4. Anlagen

Berichtsblatt

Document Control Sheet

Erfolgskontrollbericht

Aktualisierter Verwertungsplan

Zweiseitiger inhaltlicher Bericht

Teil E: aproxima Sozialforschung

Bundschuh

Bedienkonzepte und Schnittstellen im realen Wohnumfeld hochbetagter Nutzer – BUNDSCHUH

Teilvorhaben:

„Evaluation des Verbundprojektes und Untersuchung der Akzeptanz von Bedien-, Orientierungs- und Überwachungssystemen durch die Nutzer“

Schlussbericht

Förderkennzeichen: 16SV6306

Laufzeit des Vorhabens: 01.01.2014 bis zum 31.12.2016

Autoren:

Dr. Henry Kreikenbom
Sebastian Götte

aproxima Sozialforschung

Frische Forschung.

Weimar, den 30.06.2017

Schlussbericht gemäß Anlage 2 zu Nr. 8.2 NKBF 98 für das BMBF-Forschungsvorhaben.

Das diesem Bericht zugrundeliegende Teilvorhaben wurde zu 50% mit Mittel des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert.

Zusammenfassung

Körperliche und geistige Defizite, zum Beispiel Einschränkungen des Bewegungsapparats, des Seh- und Hörvermögens und Erscheinungen von Demenz, die sich mit zunehmendem Alter häufig einstellen, erfordern hohe Standards der Barrierefreiheit. Das betrifft den privaten Wohnbereich, das Wohnumfeld, öffentliche Institutionen, Wege und Verkehrsmittel, und quergelagert dazu einfache Sprache und einfache Bedienbarkeit von Gegenständen. Mehr Lebensqualität im Alter durch die möglichst lange Erhaltung einer selbstbestimmten Lebensführung durch technische Unterstützungssysteme ist das Ziel des Verbundprojekts „BUNDSCHUH".

Dabei untersuchte aproxima im Verbundprojekt wichtige soziale Aspekte der Mensch-Maschine-Interaktion. Gegenstand der Untersuchung waren das von den Partnern entwickelte System zur Sprach- und Gestensteuerung von Geräten und Gegenständen im Alltagsleben älterer Menschen und der „intelligente Schuh" zur Orientierung und Navigation im öffentlichen Raum. Drei Forschungsziele sollten in der Begleitforschung erreicht werden:

1. Abschätzung der Akzeptanz der Bedien- und Orientierungssysteme durch ältere Menschen und Personen in ihrem Umfeld (Angehörige, Pflegekräfte)
2. Bestimmung des Beitrags der Systeme zur Erhaltung selbstbestimmten Lebensführung Älterer
3. Weiterentwicklung der empirischen Evaluationsmethodik in Bezug auf ältere Menschen

Im Verlauf der Begleitforschung wurden Fokusgruppen, qualitative Einzelinterviews und Beobachtungen durchgeführt. Die empirische Forschungsarbeit war am Konzept des Home-Use-Tests und der ethnographischen Methode angelehnt. Das sind die Bausteine des von aproxima entwickelten Konzepts zur validen empirischen Untersuchung in der Zielgruppe der älteren Menschen.

Es konnten zwei Teilgruppen ermittelt werden, für die die Unterstützungssysteme einen besonderen Nutzen erzeugen. Generell für ältere Menschen könnten dabei die folgenden positiven Effekte zutreffen:

- *Mehr Sicherheit, verringerte Verletzungsgefahr und in der Folge weniger medizinische Behandlungen und Rehabilitationsmaßnahmen.*
- *Die Selbständigkeit des älteren Menschen bleibt länger erhalten. Weniger kleine Serviceleistungen sind durch Pflegepersonal oder Angehörige notwendig (z. B. Anschalten des TV oder Öffnen und Schließen von Fenstern). Die Zeitersparnis kann für mehr Zuwendung zum Menschen verwendet werden.*
- *Mehr Sicherheit und mehr Selbständigkeit des älteren Menschen reduziert bei Angehörigen seelischen Belastungen (Sorge um die Sicherheit den Angehörigen).*

Bedenken, dass durch diese Systeme persönliche Daten unkontrolliert preisgegeben werden, spielen eine untergeordnete Rolle. Das Bedienen von Gegenständen mittels gezielter Gesten sowie die Navigation über Vibrationen in der Schuhsohle (intelligenter Schuh) sind keine mehrheitlich akzeptierten und gewohnten Handlungen. Die Akzeptanz dieser Systeme wird Zeit benötigen, in der sich die Menschen mit diesen neuen Praktiken vertraut machen. Das Verlernen von konventionellen Fähigkeiten, Geräte zu bedienen und sich auf der Straße zu orientieren, die Gefahr der Verkümmerung der Mensch-Mensch-Kommunikation sowie die Abgabe von Kompetenzen an die Technik sind Bedenken, die dem Effekt qualitativ verbesserter Betreuung und einer höheren Lebensqualität älterer Menschen entgegenstehen können.

Abstract

With age there is an increase in physical and intellectual deficits like limitations of the locomotor system, vision, hearing as well as the development of dementia. Those changes require higher standards concerning barrier freedom. Those standards affect the private living space, the living environment, public institutions, infrastructure and public transport. It also demands simple language and easy to use household aids

The aim of the joint project "BUNDSCHUH" is to achieve more quality of life during ones senior years through the conservation of a self-determined lifestyle of elderly people by the use of technical supporting systems.

Within this project aproxima analyzed important social aspects of man-machine interaction.

The subject of the analysis was a system of various technical household devices controlled by means of voice and intuitive natural gesture as well as the "smart shoe" a system for orientation and navigation within public space.

The following three research aims ought to be achieved by the accompanying evaluation:

4. The assessment of acceptance of operating systems and aids to orientation by elderly people and people in their proximity (e.g. relatives, nursing staff).
5. The contribution of the systems for the conservation of a self-determined lifestyle for elderly people.
6. The refinement of empirical evaluation methods related to elderly people.

In the course of the accompanying evaluation several focus groups as well as qualitative interviews and observations were conducted. The empirical research study was based on the concept of Home-Use-Tests as well as the ethnographical method. These components made the concept of a valid empirical survey within the target group of elderly people developed by aproxima.

It was possible to identify two subgroups for which the supporting systems generated a specific benefit. Generally, the following effects can have a positive impact on elderly people:

- More security, a reduced risk of injuries; thus less medical treatment as well as rehabilitation measures.
- The self-determination of the elderly person is sustained for a longer time. Hence, less time is needed for small services usually carried out by nursing staff and relatives (e.g. to turn in the TV or to open and close the window). This saving of time can be used for a more personal attention of the elderly person.
- More security as well as a higher self-reliance of elderly people leads to relieving relatives from emotional stress (such as the worry about the wellbeing of their elderly relatives).

The concern about a possible uncontrolled disclosure of personal data played a non-decisive role. So far, the operation of objects by means of intuitive natural gestures as well as the navigation through vibrations in shoe soles (smart shoe) are neither widely accepted nor familiar practices. The acceptance of those technical systems needs time since people need to get familiar with those new methods.

However there are doubts concerning a possible unlearning of conventional skills on how to operate equipment, on how to orient oneself on the street as well as the risk of a degeneration of the man-man interaction and the concern to assign certain everyday skills to technical devices. The concerns named above can collide with the effect of a improved care and a higher quality of life of elderly people.

Inhalt

Zusammenfassung ... 3
Abstract ... 4
Abbildungsverzeichnis ... 6
Abkürzungen ... 7
1. Die Konzeption des Teilvorhabens ... 8
1.1 Die Aufgabenstellung ... 8
1.2 Die Voraussetzungen für die Durchführung des Vorhabens ... 9
1.3 Planung und Ablauf des Vorhabens ... 9
1.4 Wissenschaftlicher und technischer Stand ... 10
1.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen ... 11
2. Die Ergebnisse der Begleitforschung ... 13
2.1 Erreichte Ergebnisse und Zielvorgaben im Vergleich ... 13
2.1.1 Akzeptanz von Langzeit-Videoüberwachung und Funk-Lokalisierungs-Geräten ... 13
2.1.2 Begleitforschung zum Sprach-Gesten-Steuerungssystem im Wohnumfeld ... 16
2.1.3 Begleitforschung zum intelligenten Schuh ... 22
2.1.4 Der Nutzen sprach-gestengesteuerter Systeme und des intelligenten Schuhs ... 26
2.2 Die wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises ... 32
2.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit ... 33
2.4 Fortschritte auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen (Literaturanalyse) ... 35
2.4.1 Literaturanalyse zur Videoüberwachung ... 35
2.4.2 Literaturanalyse zu Navigationssystemen ... 38
2.5 Nutzen und Verwertbarkeit des Ergebnisses (Verwertungsplan) ... 42
2.6 Geplante Veröffentlichungen ... 44
3. Quellenverzeichnis ... 45
3.1 Verwendete Literatur ... 45
3.2 Weiterführende Literatur ... 47
4. Anlagen ... 50

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Übersicht über die Gruppenstruktur der Gruppendiskussionen 14
Abbildung 2: Affinitäten und Ängste der hochbetagten Nutzer 15
Abbildung 3: Einblick in die Testräume 18
Abbildung 4: Übersicht über die Stichprobe 23
Abbildung 5: Ganzheitliches Smarthome-Konzept für Objektsteuerung und Orientierung 27
Abbildung 6: Wirkungszusammenhänge zur Verbesserung der Effektivität der Pflege und Betreuung 32
Abbildung 7: Übersicht über FuE-Projekte mit thematischem Bezug zu BUNDSCHUH 38

Abkürzungen

AP	Arbeitspaket
AWO	Arbeiter Wohlfahrt
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
FuE	Forschung und Entwicklung
IKT	Informations- und Kommunikationstechnologien
NKBF	Nebenbestimmungen für Zuwendungen auf Kostenbasis des BMBF an Unternehmen der gewerblichen Wirtschaft für FuE-Vorhaben
MTI	Mensch-Technik-Interaktion
TU	Technische Universität

1. Die Konzeption des Teilvorhabens

1.1 Die Aufgabenstellung

Das Verbundvorhaben „Bedienkonzepte und Schnittstellen im realen Wohnumfeld hochbetagter Nutzer – BUNDSCHUH“ erstreckte sich über den Zeitraum vom 01.01.2014 bis zum 31.12.2016. Als Kooperationspartner in diesem Projekt setzten die Mitarbeiter[1] von aproxima ihre sozialwissenschaftlichen Kompetenzen dafür ein, dass die wichtigen sozialen Aspekte eines technischen „Eingriffs“ in die Privatsphäre (z. B. durch die Nutzung von Kamerasystemen für die Gestenerkennung) Berücksichtigung fanden und im Kontakt mit den hochbetagten Personen und denen ihres Umfeldes (Angehörige und Pflegekräfte) wissenschaftlich untersucht werden konnten. Neben einer initialen Bedarfsanalyse und der Untersuchung der technischen Rahmenbedingungen wurden ständig begleitende Akzeptanzuntersuchungen durchgeführt, deren Ergebnisse in die Systemgestaltung einflossen. Als Partner im Verbundvorhaben fokussierte sich aproxima dabei auf zwei Zielstellungen:

1. Beantwortung von Fragen der Akzeptanz der Bedien- und Orientierungssysteme durch die ältere Nutzer und die Personen ihres Umfeldes (Angehörige, Pflegekräfte) über den eigentlichen technischen Ansatz hinaus.
2. Verfeinern der Evaluationsmethodik in mehreren Iterationsschritten.

In Bezug auf die Implementierung der technischen Systeme in das Alltagsleben der Senioren bestand das Ziel darin, Erkenntnisse über den Zusammenhang dieser technischen Lösungen mit der Verbesserung der Lebensqualität und damit -zufriedenheit von älteren Menschen zu generieren. Dabei standen zwei Gesichtspunkte im Vordergrund der Untersuchung:

1. Die nachhaltige Stärkung der Autonomie und Selbständigkeit von Senioren.
2. Die Erhöhung der Lebensqualität und damit -zufriedenheit von Senioren über eine Steigerung des psychischen Wohlbefindens und des Sicherheitsgefühls.

Der Bezug zum Innovationsfeld „Mensch-Technik-Interaktion“ (MTI) der Forschungsförderstrategie „IKT 2020 – Forschung für Innovation“ realisierte sich vor allem durch die übergreifende Forschungsperspektive, in der der gesamte Prozess beginnend mit der Identifikation individueller Bedarfs- und Verhaltensaspekte potenzieller Nutzer über die notwendigen Mensch-Maschine-Schnittstellen und modularen Hard- und Softwarelösungen bis hin zu den sozialen Folgen in der FuE-Arbeit im Verbundprojekt abgebildet wurde. Die Begleitforschung flankierte diesen Prozess und war vor allem bei der Untersuchung von Bedarf und Verhalten bzw. der sozialen Folgen der Technikentwicklung involviert.

Wir als Forschungseinrichtung in der Markt- und Sozialforschung erwarteten neue Erkenntnisse hinsichtlich der Akzeptanz solcher unterstützender Technologien durch die Zielgruppe. Aus methodischer Sicht streben wir eine Präzisierung der Forschungsmethoden in der prozessbegleitenden (formativen) empirischen Evaluation von Produktentwicklungen in frühen Entwicklungsstadien von FuE-Prozessen an. Damit verbessern sich die Möglichkeiten für Anschlussprojekte u. a. zur Untersuchung der Integration technischer Systeme, zur Effektivierung der Pflege und zur Verbesserung der Lebensqualität im Alter. Diese Erweiterung unseres Leistungspotenzials ist vor allem im Wissens- und Erfahrungszuwachs und der Verbesserung der Evaluationsmethodik von Produktentwicklungen im frühen FuE-Stadium zu verzeichnen.

[1] Ausschließlich aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird in diesem Bericht das generische Maskulinum verwendet. Die Personen weiblichen Geschlechts sind explizit eingeschlossen. Sofern es in einzelnen Fällen von Belang ist, um welches Geschlecht es sich handelt, wird dies durch die Formulierung explizit gemacht.

1.2 Die Voraussetzungen für die Durchführung des Vorhabens

Voraussetzung für die Begleitforschung war die Forschungs- und Entwicklungsarbeit der Verbundpartner für das Sprach-Gesten-Steuerungssystem und den intelligenten Schuh als Navigations-, Orientierungs- und Überwachungssystem. Für die Entwicklung des Steuerungssystems im Wohnumfeld waren dafür die Fachgebiete Systemanalyse und Biomechatronik der TU Ilmenau in Kooperation mit der velixX GmbH zuständig. Die Entwicklung des intelligenten Schuhs trieben die Partner der TU Ilmenau gemeinsam mit der Orthopädie Schuhtechnik eG Themar voran. Die praktischen Tests und die damit einhergehende Begleitforschung zur Folgeabschätzung basiert auf diesen Entwicklungen.

Eine zweite wesentliche Voraussetzung für die Begleitforschung bot die Kooperation mit der AWO AJS gGmbH Erfurt und dem durch diese betriebenen AWO Senioren- und Pflegezentrum Ilmenau Haus „Hüttenholz“. Hier konnten die Probanden für die Akzeptanzuntersuchungen und die Untersuchungen zur Folgeabschätzung gewonnen und somit das empirische Forschungsfeld bereitgestellt werden.

Relativ unabhängig von der Forschungs- und Entwicklungsarbeit der Partner gestaltete sich die grundsätzliche Akzeptanzanalyse von Sprach-Gesten-Steuerungssystemen und Navigationssystemen. Dazu konnten wir unseres über 10 Jahre Forschungsarbeit angesammelte Wissen und unsere Erfahrungen gut einsetzen (vgl. Seite 10). Bestandteil der im ersten Projektjahr durchgeführten Akzeptanzanalyse war eine empirische Erhebung mit Senioren sowie Personen aus deren Umfeld, die im Vorfeld der im Projektjahr 2 und 3 durchgeführten Tests stattfand. Ergänzt wurde die Akzeptanzanalyse durch eine permanente und die Begleitforschung flankierende Literaturanalyse. Hier griffen wir zum einen auf eine turnusmäßig durchgeführte Internetrecherche nach neuer Literatur zum Projektthema zurück, zum anderen nutzten wir den Förderkatalog des Bundes (vgl. BMBF 2017). In dieser Förderdatenbank befinden sich über 110.000 abgeschlossene und zurzeit laufende Fördervorhaben der Bundesministerien. Hierzu wird ausführlicher in ab Seite 35 berichtet.

1.3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Wie im Verbundprojektplan vorgesehen, stand aproxima im Lead bei der Vorbereitung, Durchführung und Auswertung der vorab durchzuführenden Akzeptanzuntersuchung (Arbeitspaket (AP) 1.3 im Projektablaufplan) und bei der Begleitforschung zur Folgeabschätzung (AP 3.3) Bei der technischen Konzeption (AP 1.2) und bei den technischen Tests (AP 3.2) fungierte aproxima als Partner. Im Wesentlichen wurden die vorgesehenen Arbeiten an den Arbeitspaketen planmäßig durchgeführt.

Im ersten Projektjahr befassten wir uns im Rahmen des Arbeitspakets 1.3 mit der Untersuchung der fördernden und hemmenden Faktoren der Akzeptanz von Langzeit-Videoerfassungen und der Nutzung von Funk- und Lokalisierungsgeräten. In enger Abstimmung mit unserem Partner AWO AJS gGmbH Erfurt wurden als Probanden Senioren sowie deren Angehörige und Pflegepersonal aus dem AWO Senioren- und Pflegezentrum Ilmenau Haus „Hüttenholz“ für das Forschungsprojekt gewonnen. Ziel war es, von Anfang an einen festen Probandenstamm aufzubauen, der über den gesamten Projektverlauf in den verschiedenen Test- und Erhebungsschritten beteiligt wird. Die im Jahresverlauf turnusmäßig durchgeführten Jours fixes mit den Partnern der Fachgebiete Systemanalyse und Biomechatronik der TU Ilmenau und der AWO AJS gGmbH Erfurt dienten dazu, die Arbeiten in den AP 1.2 (technische Konzeption) und 1.3 (Akzeptanzuntersuchung) wechselseitig abzustimmen. Bei dem Meilensteintreffen am Ende der Projektphase wurden schließlich die Ergebnisse der Akzeptanzuntersuchung durch uns präsentiert und mit allen Verbundpartnern diskutiert.

Im Zentrum der Arbeiten im zweiten Projektjahr stand die Begleitforschung zum Systemmodul Wohnumfeld (AP 3.3.1). Basis dieser Begleitforschung waren die Tests mit Mockups und einem Wizard-of-Oz-Szenario an einem Demonstrator. Diese Praxistests (AP 3.2.1) wurden in enger Abstimmung mit unserem Partner AWO AJS gGmbH Erfurt vorbereitet und durchgeführt. Die Auswertung und Bewertung im Sinne der Folgeabschätzung wurden von aproxima durchgeführt. Es stellte sich heraus, dass schon in dieser Phase wichtige Erkenntnisse für das wissensbasierte Assistenzmodul (AP 3.3.3), zumindest in Bezug auf das Sprach-Gesten-Steuerungssystem im Wohnumfeld, gewonnen werden konnten, weshalb hier an einigen Stellen bereits Arbeiten vorweggenommen wurden, die erst im dritten Jahr geplant waren. Auch im zweiten Projektjahr wurden in mehreren Jours fixes die einzelnen Teilschritte der Begleitforschung mit den Entwicklern an der TU Ilmenau und der velixX GmbH eng abgestimmt. Im Meilensteintreffen konnten dann die Ergebnisse der Begleitforschung in Form von Umfeldanalysen und Anforderungsprofilen an die Sprach-Gesten-Steuerung im Wohnumfeld präsentiert werden.

Gegenstand des dritten Projektjahres war die Begleitforschung zum Einsatz des intelligenten Schuhs (AP 3.3.2). Ähnlich wie bei den Arbeiten zur Begleitforschung der Sprach-Gesten-Steuerung im Wohnumfeld, fanden hier empirische Untersuchungen mit älteren Probanden und Personen deren Umfeldes statt. Allerdings konnte hier kein Mockup bzw. Muster eingesetzt werden. Die technische Entwicklung durch die Verbundpartner stellte diese vor unvorhersehbare Herausforderungen. Die ersten technischen Vortests an der TU Ilmenau sowie vereinzelt mit einigen Senioren führten zur Erkenntnis, dass der zuverlässige Einsatz von Testmustern noch verfrüht wäre. Somit konzentrierten wir uns auf die ersten Erkenntnisse aus besagten Vortests und auf die Befragung potenzieller Nutzer zum Mobilitäts- und Orientierungsverhalten älterer Menschen.

Ziel der Untersuchungen war, Anwendungsszenarien für Orientierungshilfen und individuelle Techniken des Sichorientierens bei hochbetagten Menschen zu definieren. Gemeinsam mit unserem Partner der AWO AJS gGmbH Erfurt organisierten wir die empirischen Untersuchungen im AWO Senioren- und Pflegezentrum Ilmenau Haus „Hüttenholz“ sowie im Ilmenauer Umfeld und führten diese durch. Entsprechende Anwendungsszenarien und Orientierungstechniken konnten identifiziert und Ableitungen für die Einsatzmöglichkeiten eines intelligenten Schuhs getroffen werden. In einem gemeinsamen Workshop mit den Partnern der TU Ilmenau und der Orthopädie Schuhtechnik eG Themar wurden die Befunde aus der Begleitforschung besprochen und Ableitungen für die Entwicklung des Schuhs getroffen.

Auch hier zeigte sich, dass wichtige Erkenntnisse für das wissensbasierte Assistenzmodul (AP 3.3.3) bereits in der Begleitforschung zum intelligenten Schuh gewonnen wurden. Es ergab sich praktisch eine Verschmelzung beider Arbeitspakete sowohl hinsichtlich der Arbeiten am Sprach-Gesten-Steuerungssystem im Wohnumfeld als auch der Begleitforschung zum intelligenten Schuh.

1.4 Wissenschaftlicher und technischer Stand

Wir konnten bei der Konzeption und Durchführung der Begleitforschung an den Erfahrungen der Mitarbeiter von aproxima aus mehreren, im Folgenden kurz vorgestellten, Forschungsprojekten anknüpfen, die sich mit Unterstützungssystemen für Handicapgruppen beschäftigten.

- *In einer empirischen Untersuchung der individuellen Akzeptanz und des gesellschaftlichen Nutzens des Hausnotrufs im Auftrag der Initiative Hausnotruf e. V. konnten wir den Zusammenhang von Usability, individuellem Nutzen und gesellschaftlicher Nützlichkeit technischer Unterstützungssysteme für älteren Menschen und Menschen mit Handicap nachweisen. Dabei wendeten wir einen Methodenmix bestehend aus quantitativen und qualitativen Erhebungsmetoden an, um den individuellen Besonderheiten der zu untersuchenden Zielgruppe entsprechen zu können. An*

diese methodischen Erfahrungen und die inhaltlichen Erkenntnisse über die Zusammenhänge der Mensch-Technik-Interaktion konnten wir im BUNDSCHUH-Projekt anknüpfen.

- *Die Erforschung von Wohnbedürfnissen stand im Zentrum einer Untersuchung im Forschungsprojekt „Wohnen im Alter" im Auftrag der AWO Jena-Weimar und in Kooperation mit der Ernst-Abbe-Fachhochschule Jena. Der Zusammenhang von technischen Lösungen zur Barrierefreiheit und der Gestaltung einer altersgerechten Wohninfrastruktur und Wohnumfeldstruktur mit dem Gewinn an Lebensqualität und Selbstbestimmtheit wurde hier empirisch herausgearbeitet. Für die Untersuchung der Zusammenhänge von sprach-/gestengesteuerter Bedienung von Alltagsgegenständen im Wohnumfeld und von Navigationshilfen im Wohnumfeld konnten diese hier gewonnen Erkenntnisse auf das BUNDSCHUH-Projekt übertragen werden.*
- *In Kooperation mit der TU Ilmenau waren wir in zwei Projekten im Rahmen des Förderprogramms „Unternehmen Region" an der Bedarfsanalyse für ein Assistenzsystem zum barrierefreien Zugang von Urlaubs- und Freizeitaktivitäten beteiligt. In Kooperation mit der Hochschule für Kunst und Design Burg Giebichenstein untersuchten wir Orientierungstechniken von Menschen mit Handicap und Möglichkeiten der Gestaltung von Barrierefreiheit in öffentlichen Räumen. Orientierungstechniken und Bedarfe an technischen Unterstützungen sowie Usability standen hier im Mittelpunkt. Unsere Erfahrungen und Kenntnisse insbesondere hinsichtlich der Sinneseinschränkungen Hören und Sehen – häufig auch bei älteren Menschen anzutreffen – wurden in die Begleitforschung im BUNDSCHUH-Projekt eingebracht.*

Darüber hinaus wurde angeknüpft an aktuelle Erkenntnisse der Forschung auf folgenden Themengebieten:

- *Videoüberwachung auf öffentlichen Plätzen*
- *Mitarbeiterüberwachung per Video*
- *Videoüberwachung in privaten Räumen (mit Kinect 2[2])*
- *Usability bei Gestensteuerung – Beispiele aus der Marktforschung*
- *Umgang und Verhalten mit Navigationssystemen*

Dazu wurden ausführliche Sekundäranalysen vorgenommen. Diese Anknüpfungspunkte werden ausführlich ab Seite 35 dargestellt.

1.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Im Verbundprojekt war eine enge Zusammenarbeit mit dem Partner AWO AJS gGmbH Erfurt erforderlich. Im Zentrum der wissenschaftlichen bzw. technischen Arbeitsziele stand für uns in Kooperation mit dem genannten Partner die Untersuchung der relevanten sozialen Aspekte eines technischen „Eingriffs" in die Privatsphäre der

[2] „Die Kinect (abgeleitet vom englischen kinetic connect, deutsch Kinetische Verbindung) ist eine Hardware zur Steuerung der Videospielkonsole Xbox 360, die seit Anfang November 2010 verkauft wird. Kinect wurde von Microsoft zusammen mit der Firma PrimeSense entwickelt. Spieler können damit anstatt mittels herkömmlicher Gamepads allein durch Körperbewegungen und Sprache die Software bedienen. Diese neue Art der Steuerung wird durch eine Kombination von PrimeSense-Tiefensensor, 3D-Mikrofon, Farbkamera und Software ermöglicht. Seit der Vorstellung im Jahr 2009 wurden zahlreiche Forschungsprojekte aus dem Bereich Mensch-Maschine-Interaktion mit Hilfe der Microsoft Kinect realisiert, da diese gleichsam umfangreiche Funktionalitäten und vergleichsweise günstigen Anschaffungskosten bietet." (Wikipedia 2017).

Nutzer (z. B. durch die Nutzung von Kamerasystemen für die Gestenerkennung im Seniorenheim.) Zu klären war, wie und inwieweit solche Aspekte im Kontakt mit den betreuten Personen wissenschaftlich untersucht werden können. Dazu führten wir begleitend gemeinsam eine ständige Akzeptanzuntersuchung durch.

Die AWO AJS gGmbH stellte mit dem AWO Senioren- und Pflegezentrum Ilmenau Haus „Hüttenholz“ und den Netzwerken im Umfeld des Heimes die nötigen Feldvoraussetzungen für die empirische Begleitforschung. Die Ergebnisse der Begleitforschung flossen in die Entwicklung der sprach-/gestengesteuerten Bediensysteme und des Orientierungssystems (intelligenter Schuh) ein. Dazu wurden Anforderungen an die Nutzung der Applikation der technischen Systeme definiert, um den Bedürfnissen der späteren Nutzer gerecht zu werden. Letztendlich wurden auch Fragen der sozialen Interaktion aller Beteiligten bei Nutzung der neuentwickelten Technologien untersucht.

An der Schnittstelle zu unseren Kooperationspartnern TU Ilmenau, Fachgebiet Systemanalyse und Fachgebiet Biomechatronik wurden diese Informationen an die Partner übergeben. Diese wiederrum, lieferte das nötige technologische Grundlagenwissen für die Entwicklung der Systeme. Die Orthopädie Schuhtechnik eG Themar und die velixX GmbH entwickelten schließlich die technischen Systeme (intelligenter Schuh und Sprach-Gesten-Steuerungssystem).

In gemeinsamen Workshops und in Dokumentationen wurden die Anforderungsprofile der Applikation und der technischen Systeme besprochen.

2. Die Ergebnisse der Begleitforschung

2.1 Erreichte Ergebnisse und Zielvorgaben im Vergleich

2.1.1 Akzeptanz von Langzeit-Videoüberwachung und Funk-Lokalisierungs-Geräten

Im Rahmen des Arbeitspakets 1.3 befassten wir uns mit der Untersuchung der fördernden und hemmenden Faktoren der Akzeptanz von Langzeit-Videoerfassungen und von Navigations- und Lokalisierungsgeräten im Alltag älterer Menschen und in ihrem sozialen Umfeld. Das Ziel der Arbeit bestand darin,

- *die Affinitäten und Nutzungsgewohnheiten sowie die Nutzungsschwellen und Berührungsängste der Zielgruppe mit mobilen Kommunikations- und Orientierungsgeräten zu beschreiben,*
- *die individuelle Akzeptanz sowie Vor- und Nachteile aus Sicht der Zielgruppe zu bestimmen,*
- *sensible und nicht-sensible Reaktionen in Bezug auf die Technik zu identifizieren und*
- *Ableitungen für die Gestaltung allgemein akzeptierter Nutzerszenarien für die zu entwickelnden Unterstützungssysteme im Wohnumfeld Älterer zu treffen.*

Die hier gewonnenen Erkenntnisse flossen unmittelbar in die Arbeit unserer Kooperationspartner am AP 1.2 (technische Konzeption zur Entwicklung der Unterstützungssysteme im Wohnumfeld Hochbetagter) ein.

Für die geplante empirische Erhebung waren Face-to-Face-Interviews mit stationären und ambulant betreuten älteren Menschen sowie deren Bezugspersonen in ihrem Umfeld (qualitative Fallstudien) geplant. Die methodische Umsetzung erfolgte schlussendlich in Abstimmung mit unserem Partner der AWO ASJ gGmbH, der seine praktischen Erfahrungen im Umgang mit älteren Menschen einbrachte, in Form von Gruppendiskussionen[3] anstelle der im Projektkonzept vorgesehenen Face-to-Face-Interviews. Es stellte sich heraus, dass diese Methodik an dieser Stelle der empirischen Forschungsarbeit in Bezug auf die Zielgruppe vorteilhafter war.

Im Zentrum der empirischen Untersuchung standen drei Zielgruppen (Probandengruppen):

- *Senioren als unmittelbare Nutzer bzw. Personen, auf die die mit der Technik verbundenen Leistungen direkt gerichtet sind (Nutzer)*
- *Pflegekräfte in Senioren- und Pflegeheimen sowie im betreuten Wohnen bzw. Service-Wohnen als mittelbare Nutzer der Technik, für die sich die Pflegeprozesse komfortabler gestalten sollen (Experten)*
- *Angehörige der Senioren als periphere Nutznießer der Technik, die dadurch höhere Gewissheit erhalten sollen, dass ihre Angehörigen möglichst lange ihre gewohnte Lebensqualität erhalten können (Angehörige)*

[3] Unter Gruppendiskussion oder Fokusgruppe versteht man eine ein- bis mehrstündige Diskussion zu einem festgelegten Thema in einer Gruppe von idealerweise 8 bis 12 Personen mit einem möglichst homogenen Erfahrungshintergrund unter der Leitung eines geschulten Moderators. Dieser regt die Teilnehmer dazu an, persönliche Meinungen oder Vorstellungen zu äußern und mit anderen auszutauschen. Die Gruppendiskussion bildet den Prozess der Meinungsbildung weitgehend ab, wie er sich im Alltag vollzieht. Sie erlaubt Einsichten in die Struktur und Prozesse der individuellen und kollektiven Stellungnahmen zu sozialen, politischen, familiären Ereignissen. Mit ihr lässt sich die nicht-öffentliche Meinung erheben.

Im Verlauf der Projektarbeit entschieden wir uns in der Arbeitsgruppe dazu, eine vierte Zielgruppe zusätzlich aufzunehmen. Dabei handelt es sich um die Enkelgeneration der Senioren, die als Kontrastgruppe fungiert. Wir wollten erfahren, wie die Technikakzeptanz und der Umgang mit Technik aus ihrer Sicht bewertet werden.

Insgesamt wurden 4 Gruppendiskussionen vorbereitet, durchgeführt und ausgewertet (vgl.: Abbildung 1). An jeder Gruppendiskussion nahmen 6 bis 9 Personen aus den oben genannten Zielgruppen teil. Das entspricht den wissenschaftlichen Standards für diese Erhebungsmethode.

Abbildung 1: Übersicht über die Gruppenstruktur der Gruppendiskussionen

Gruppe 1 – Senioren	Gruppe 2 – Pflegekräfte
7 Teilnehmer	9 Teilnehmer
68 bis 79 Jahre	23 bis 65 Jahre
3 Frauen, 4 Männer	9 Frauen
Gruppe 3 – Angehörige	**Gruppe 4 – Enkel**
6 Teilnehmer	8 Teilnehmer
48 bis 70 Jahre	22 bis 44 Jahre
4 Frauen, 2 Männer	2 Frauen, 6 Männer

Den Begriff „Hochbetagte“, wie er im Titel des Verbundprojekts geführt wird, haben wir im Interesse einer differenzierten Zielgruppenbetrachtung in Anlehnung an die Altersforschung weiter aufgegliedert. Es gibt verschiedene Definitionen der Segmentierung in der Altenforschung (vgl. z. B. Destatis 2015a, Heinze 2014). Wir haben uns für die Dreiteilung der Alterskohorten in der Betrachtung der Menschen über 55 Jahren entschlossen:

- *die „jungen Alten“ im Alter zwischen 55 und 69 Jahren*
- *die „Alten“ zwischen 70 und 85 Jahren*
- *die „Hochbetagten“ im engeren Sinne, zu denen in der Altenforschung alle Personen gezählt werden, die 86 Jahre und älter sind*

Im Fokus unserer Untersuchung stehen vor allem die Personen über 70 Jahre. Wir bezeichnen diese in unserer Studie Senioren oder ältere Menschen.

Stark komprimiert dargestellt wurden in den Gruppendiskussionen die folgenden Ergebnisse erzielt:

1. Die Technikaffinität folgt der Sozialisation – Bestimmte Technikepochen prägen Technikaffinitäten der Generationen. Jede Generation hat somit ihre eigenen Bediengewohnheiten von technischen Geräten und dementsprechende Affinitäten und Ängste. Wir konnten drei solche Generationstypen identifizieren.
    a. Die mechanisierte Generation (heute über 70 Jahre) ist geprägt durch die Mechanisierung; alles hat Hebel, Schrauben, Nieten, Transmissionsriemen oder -ketten.
    b. Die automatisierte Generation (heute über 40 Jahre) ist geprägt durch die Anfänge der Elektronik, die Automatisierung; alles hat Schalter, Steckverbindungen, austauschbare elektronische Teile.
    c. Die virtualisierte Generation (heute unter 40 Jahren) ist geprägt durch Computerarbeit, mobile Kommunikation und Internet; alles ist digital und softwaregesteuert und hat Softschalter.

2. Wir haben Unterschiede bezüglich der Triebkräfte für Technik-Affinitäten und Berührungsängste in der Nutzergruppe (Senioren) feststellen können. Durch die Reflexion dieser Befunde in den anderen Gruppen konnten diese validiert werden. In der nachfolgenden Übersicht (Abbildung 2) werden die Kerninhalte der identifizierten Triebkräfte für Affinitäten und Ängste dargestellt.

Abbildung 2: Affinitäten und Ängste der hochbetagten Nutzer

Affinitäten werden gefördert durch

- Zugang über jüngere Generationen
- Neugier
- Erwartungen (Erleichterung Lebensalltag)
- Erfolgserlebnisse im Umgang mit Technik
- Geräte mit wenig Bedienaufwand
- gewohnheitsnahe Bedienkonzepte

Ängste werden aufgebaut durch

- Beschädigung durch falsche Bedienung
- Visuelle, auditive, motorische und kognitive Überforderung
- Scham/Blamage
- Innovationsdruck (permanenter technischer Fortschritt)
- Verständnishürden
- Bedienungsfrust durch Bedienfehler

3. Im Ergebnis der Gruppendiskussionen konnten die nachfolgenden Leitlinien (a. bis i.) herausgearbeitet werden. Diese bilden den Handlungsrahmen, innerhalb dessen sich die Technikentwicklung für die videogestützte Gestensteuerung von Alltagstechnik und die Nutzung von Funk- und Navigationstechnik für Seniorinnen und Senioren (AP 1.2) bewegen sollte.

   a. Die Komplexität technischer Lösungen reduzieren (Gesten, Sprachbefehle und Tasten sind jeweils nur einer Funktion zugeordnet – Vermeidung von Mehrfachbelegungen).

   b. Vorhandene Bedienkonzepte werden genutzt, anstatt neue einzuführen (gewohnte Handgriffe der konventionellen Steuerung von Geräten auf die der Gestensteuerung übertragen, um den Lernaufwand durch neue Bewegungen zu minimieren).

   c. Nachlassende körperliche und kognitive Fähigkeiten der potenziellen Nutzergruppen berücksichtigen (minimale Anzahl an möglichst großen Knöpfen und Bedienelementen; technische Funktionen sind auf die wesentlichen Funktionen reduziert; Geräte sind widerstandsfähig gebaut).

   d. Den lebensweltlichen Erfahrungskontext der potenziellen Nutzer berücksichtigen (Touchscreen und moderne Medien wie Internet sind zum Teil eine fremde Welt für Senioren).

   e. Neue Bedienkonzepte intuitiv und leicht erlernbar gestalten (Gestensteuerung über intuitive Gesten und einfache, gewohnte Bewegungen; Routinen und Gewohnheiten des Nutzers aufgreifen).

   f. Bedienungshilfen und Beschreibungen sind eindeutig und verständlich (einfache Sprache, ohne fremdsprachige Fachbegriffe; ausreichend große Schrift und Grafik; Einsatz von Piktogrammen und Bildern).

   g. Technische Lösungen sind individualisierbar (Implementation technischer Lösungen in gewohnte Gegenstände und angepasst auf die Unterstützungsbedarfe, z. B. Schuh, Brosche, Gürtel, Ring).

h. Neben der technischen Bereicherung des Alltags steht das Thema Sicherheit für die Nutzergruppen im Mittelpunkt (Sprachsteuerung/Gestensteuerung elektrischer Geräte kann zur Gefahrenquelle werden, wenn Geräte durch nicht eindeutige Sprachbefehle/Gestenbefehle eingeschaltet werden; Feedbackfunktion als Sicherheitsmechanismus ist nötig).

i. Der Schutz der Privatsphäre ist berücksichtigt (Audio- und Videoüberwachung nur unter bestimmten Voraussetzungen und durch vorab bestimmte Personen; Rückmeldung an beobachtete Person bei Einschalten der Kamera/des Mikrofons; Idee: Kameras in Fußbodenhöhe minimieren Eingriff in Privatsphäre).

4. Hinsichtlich der Steuermedien zeigte sich bei den Gruppendiskussionen die folgende Priorisierung: Die Zielgruppen bevorzugen in erster Linie die Audiosteuerung von Geräten, gefolgt von der Tastatursteuerung, und erst an dritter Stelle kommt die Gestensteuerung. Dieses Ranking relativiert sich, sobald Kombinationen aus den drei Medien angeboten werden.

5. Bezüglich der Überwachungskontrolle zum Schutz von Gesundheit und Wohlbefinden der Hochbetagten präferieren die Probanden die Sensor- und Videoüberwachung. Bezüglich des Datenschutzes sind die Probanden in allen vier Gruppen relativ unkritisch. Sie bewerten die Themen „Sicherheit“ und „Erhaltung der Lebensqualität“ höher als das Thema „Datenschutz“. Im Umkehrschluss bedeutet das jedoch nicht, dass der Datenschutz und der Schutz der Privatsphäre der Menschen ausgeblendet werden. Der grundsätzlichen Bedeutung dieses Themas sind sich die Betroffenen bewusst.[4]

6. Die Trägermedien für Gestensteuerungen bzw. Funk- und Lokalisierungsgeräte müssen alltagstauglich und mit den individuellen Alltagsroutinen und Gewohnheiten verknüpft sein, sollen sie zuverlässig durch die Senioren genutzt werden. Folgende Trägermedien bieten sich an:

   a. persönliche wichtige Gegenstände (Schmuck, Talismane usw.), die täglich genutzt werden

   b. ständig gebrauchte Gegenstände (Schuhe, Brille, Hörgerät, Uhr, Rollator usw.)

   c. häufig gebrauchte technische Geräte (Handy und andere mobile Geräte), sofern entsprechende Nutzeraffinitäten gegeben sind

   d. im Alltag wichtige Umgebungspunkte (Türschwellen, -klinken, Bettkanten usw.)

2.1.2 Begleitforschung zum Sprach-Gesten-Steuerungssystem im Wohnumfeld

Im Zentrum der Arbeiten im AP 3.3.1 stand die Begleitforschung zum Systemmodul Sprach-Gesten-Steuerung im Wohnumfeld. Hier verfolgten wir folgende Ziele:

- *Veränderungen der Lebensqualität älterer Menschen insbesondere hinsichtlich des Verhaltens der Personen unter permanenter Kamerabeobachtung abzuschätzen,*
- *den Grad der Akzeptanz der kameragestützten Gestensteuerung im Lebensalltag zu bestimmen,*
- *weitere Optimierungsempfehlungen für die Systementwicklung zu geben und*

[4] Unser Verbundpartner velixX GmbH hat dazu ein Gutachten zur datenschutzrechtlichen Zulässigkeit von Gestensteuerungs- und Positionsbestimmungssystemen im Pflegeumfeld anfertigen lassen. Darin wird festgestellt, dass unter Beachtung von im Gutachten definierten datenschutzrechtlichen Anforderungen der Einsatz der im Rahmen des Verbundprojekts zu entwickelnden Assistenzsysteme möglich ist.

- *erste Überlegungen zum individuellen und gesellschaftlichen Nutzen eines kameragestützten Sprach-Gesten-Steuerungssystems anzustellen*

Unser methodisches Vorgehen orientierte sich an der Methode des Home-Use-Tests[5]. Dazu wurden hochbetagte Probanden im Heimbetrieb und in privaten Haushalten als Testpersonen gewonnen. Sie absolvierten bestimmte Aufgaben ihres Alltagslebens unter vorher festgelegten Bedingungen. Die zentrale Bedingung hierbei war die Anwesenheit einer Kameraattrappe. Die Kamera ist im zu entwickelnden Sprach-Gesten-Steuerungssystem von Alltagsgegenständen älterer Menschen das für den Nutzer sichtbare Modul. Es wird benötigt, um Gesten in Steuervorgänge umzuwandeln. Die Kameras suggerieren dem Nutzer aber auch, dass er unter ständiger Videobeobachtung steht. Den Probanden wurde mitgeteilt, dass die Kamera keine konkreten Bilder, aber ihre Bewegungskonturen aufzeichnet. Durch Vor- und Nachbefragungen wurden Informationen zu den Einstellungen und zum Verhalten der Probanden gesammelt und vergleichend ausgewertet. Die Abweichungen vom vorher justierten „Normalzustand“ zwischen den Testgruppen wurden analysiert. Um den Besonderheiten älterer Menschen Rechnung zu tragen, die diese Zielgruppe von jüngeren Zielgruppen unterscheiden und oft Ursache mangelnder Validität von empirischen Erhebungen bei Hochbetagten sind, verknüpften wir dieses Vorgehen mit Elementen der ethnographischen Methode[6].

Zu den im Pflegeheim lebenden Testpersonen, bei denen in den Wohnräumen Kameraattrappen installiert wurden (siehe Abbildung 3 oben), gehörten vier Senioren zwischen 71 und 90 Jahren. Eine weitere jüngere Testperson (zwischen 50 und 60 Jahren) lebt aufgrund starker körperlicher Einschränkungen, die durch eine chronische Erkrankung bedingt sind, im Pflegeheim. Zu den fünf Testpersonen gehörten zwei Frauen und drei Männer. Alle Testpersonen wurden zweimal befragt: vor dem Test mit der Kameraattrappe und nach Abschluss des Tests noch einmal. Ergänzend zu den Tests wurde bei vier der fünf Probanden auch ein Interview mit einem nahestehenden Angehörigen geführt. Diese Angehörigen waren genauso wie die Testpersonen selbst über die Studie und deren Ziele informiert. Zur Ergänzung des Bildes wurden außerdem fünf Pflegekräfte, die mit den Probanden im Heim Umgang haben, befragt.

Gespiegelt wurde die Untersuchung des Verhaltens von Heimbewohnern an einer Gruppe von älteren Menschen, die in Privathaushalten leben. Die Auswahl geeigneter Probanden und deren Teilnahmebereitschaft gestalteten sich jedoch sehr schwierig. Dadurch konnte hier nur ein realer Test bei einem 81-jährigen Probanden und ein Interview mit einem nahestehenden Angehörigen durchgeführt werden. Fünf weitere hochbetagte Personen wurden zu dem Forschungsthema zumindest interviewt.

[5] Ein Home-Use-Test findet unter realen Bedingungen zu Hause bei dafür ausgewählten Testpersonen statt. Zumindest, was den Kontext angeht, ist dieser nicht (wie beim Experiment) künstlich, sondern er entspricht einer normalen alltäglichen Lebenssituation. Die Probanden können über einen längeren Zeitraum Produkte im Alltag erproben. Sie geben schließlich Bewertungen auf der Grundlage ihrer Lebensgewohnheiten ab. Die Urteile sind damit realitätsnäher als bei anderen Erhebungsmethoden.

[6] Die ethnographische Methode wurde durch die Sozialwissenschaft aus der kulturanthropologischen Forschung entlehnt. Der Forscher begibt sich eine Zeit lang in eine Gruppe und bewegt sich innerhalb des natural settings der Gruppe. Damit ist es möglich, einen tieferen und allseitigen Einblick in Denk- und Verhaltensweisen von Menschen und in Verhaltensstrategien und Sozialtechniken bei der Gestaltung des Alltags in der Gruppe zu gewinnen. Da Forschung mit Hochbetagten ein gutes Vertrauensverhältnis zum Probanden voraussetzt, ist diese Methode u. E. gut geeignet, um valide empirische Informationen zu erheben.

Abbildung 3: Einblick in die Testräume

Eine zweite Testreihe hatte die Untersuchung des Verhaltens hochbetagter Menschen in gemeinschaftlich genutzten Räumen zum Gegenstand. Als Untersuchungsraum dienten uns zwei Gemeinschaftsräume im AWO Senioren- und Pflegezentrum Ilmenau Haus „Hüttenholz“ (Abbildung 3 unten). Die Tests fanden in je einem Gemeinschaftsraum von zwei Wohnbereichen statt. Beide Gruppen wurden vor Beginn des Tests über die Anwesenheit von Kameras und deren Zweck informiert. Die Tests dauerten eine Woche. Je Wohnbereich waren ca. 10 Personen involviert. Allen Personen wurde für die Dauer der Tests ein Ausweichraum angeboten, den sie hätten nutzen können, falls sie mit der Anwesenheit von Kameras im Raum nicht einverstanden gewesen wären. Auch dies war für uns bereits ein Indikator für eine Verhaltensänderung. Vorab sei hier angemerkt, dass keine der beteiligten Personen davon Gebrauch machte. Mittels Vorabbefragung und Nachbefragung der Probanden, der Erstellung von Gewohnheitsprofilen der täglichen Nutzer der Gemeinschaftsräume bei den Mahlzeiten auf Basis der Erfahrung der dort arbeitenden Pflegekräfte und einer nichtteilnehmenden Beobachtung während der Mahlzeiten durch uns und unseren Kooperationspartner der AWO AJS gGmbH wurden die erforderlichen Informationen erhoben, deren Bewertung schließlich zu den nachfolgenden Ergebnissen führte. Auch hier stellen wir die Ergebnisse in stark zusammengefasster Form vor.

Kamerasysteme im Wohnbereich im Senioren- und Pflegeheim

Alle befragten Heimbewohner und ihre Angehörigen deuten die Sprach-Gesten-Steuerung von Bedienobjekten im Alltagsleben als Hilfsmittel bei krankheits- oder altersbedingten körperlichen Defiziten. Sie beurteilen diese Art der Steuerung als vorteilhaft, aber ungewöhnlich. Auch bei dezidiertem Nachfragen nach Vorteilen bei der Nutzung solcher technischen Möglichkeiten ändern sie ihre Meinung nicht. Die Ursachen für diese Einschätzungen sehen wir zum einen der Vermutung, dass das gesetzte Forschungsthema, das allen Probanden bekannt war, einen starken Ausstrahlungseffekt auf die individuellen Deutungen der Fragestellungen im Interview ausübte. Zum anderen gab es in den Gesprächen auch Hinweise darauf, dass die Gewohnheit konventioneller Bedienfunktionen über Schalter (z. B. Lampe, Deckenlicht), Tasten (z. B. Telefon, Radio), Hebel (z. B. Türklinke, Fenstergriff) oder Drehknöpfe (z. B. Wasserhahn, Fensterwirbel) einen starken Einfluss auf die Vorstellungskraft der Probanden hat. Dies blockiert die Fähigkeiten zu Visionen in der Bedientechnologie.

Unter Berücksichtigung der beschriebenen Einschränkung stehen die meisten Probanden grundsätzlich einer solchen Bedientechnologie positiv gegenüber. Alle Probanden erwarten eine Aufwertung der Lebensqualität der Betroffenen. Diese bleiben so in der Lage, viele Tätigkeiten in ihrem Lebensumfeld autonom ausüben und somit ihre selbstbestimmte Lebensführung im Alter verlängern zu können. Dafür liefert jede der Testpersonen im Interview zahlreiche Argumente.

- *Die Sprach-Gesten-Steuerung spart Bedienzeiten, da die Bedienschritte, im Vergleich zur konventionellen Bedienung, einfacher werden.*
- *Die Sprach-Gesten-Steuerung macht die Steuerung von Objekten im Raum hindernisfrei und damit gefahrenfrei möglich. Für Personen, die auf Gehhilfen angewiesen sind, werden beispielsweise Möbelstücke auf dem Weg zum Bedienelement (z. B. einem Fenster) oft zum Hindernis.*

- *Ältere Menschen haben oft Schwierigkeiten, aus dem liegenden (Bett) oder sitzenden (Sessel) Zustand aufzustehen. Für solche Menschen sowie insbesondere Personen, die bettlägerig sind, ist eine Sprach-Gesten-Steuerung der Bedienobjekte im Raum vorteilhaft. Oft ist auch die Bedienung von Tasten nicht mehr zuverlässig möglich. Sprach-Gesten-Steuerung ermöglicht über größere Distanzen im Raum und unabhängig von Bedientasten die Steuerung von Objekten.*
- *Menschen, die auf den Rollator oder den Gehbock angewiesen sind, können mit Sprach-Gesten-Steuerungssystemen bewegliche Bedienobjekte, wie beispielsweise Türen, sicherer bedienen. Der Öffnungs- oder Schließradius von Türflügeln erfordert körperliche Mobilität vom Bediener. Er muss ggf. beim Öffnen der Tür dieser aus dem Weg gehen können. Mit Rollator oder Gehbock können das riskante Bewegungen sein, die beispielsweise Sturzgefahren implizieren.*
- *Bei Älteren lassen oft die haptischen Fähigkeiten nach, die für die konventionelle Bedienung von Objekten Drucktasten und zunehmend über Touchfelder notwendig sind. Nachlassende Hautsinne und Tiefensensibilität als Voraussetzung für eine sichere konventionelle Objektbedienung können durch Sprach- und Gesten-Steuerung gut kompensiert werden. Gleiches trifft zu, wenn die Körperkraft in den Armen und Händen nachlässt. Vor allem mechanische Bedienelemente (Tür- und Fensterknauf, Heizungsregler) bereiten älteren Menschen dann Schwierigkeiten.*
- *Für Personen mit Bewegungseinschränkungen stellen mitunter auch Bewegungssensoren Risiken im Alltagsleben dar. Gerade in öffentlichen Bereichen sind diese auf den „Normalbetrieb" eingestellt. Menschen mit Bewegungseinschränkungen benötigen jedoch in der Regel mehr Zeit. Türen, die mit Bewegungssensoren geöffnet werden, schließen oft zu schnell und Leuchten, die auf diese Weise eingeschaltet werden, schalten oft zu schnell wieder ab. Sprach-Gesten-Steuerung gibt den Menschen hier mehr Sicherheit, da sie die Funktionen selbst steuern und somit auf ihre individuellen Bedürfnisse anpassen können.*
- *In Notfallsituationen könnte die Sprach-Gesten-Steuerung Leben retten oder Gesundheitsschäden verhindern. Da, wo die klassischen Hausnotrufsysteme ihre Grenzen haben, kann die Sprach-Gesten-Steuerung diese kompensieren. Der Hausnotruf setzt voraus, dass der Nutzer den Signalgeber immer bei sich hat oder er sich in der Nähe der Freisprechanlage befindet. Das Sprach-Gesten-Steuerungssystem ist hingegen überall präsent. Viele Probanden wünschen auch eine Überwachung bestimmter Vitalfunktionen durch das System. So könnte es auch im Fall, dass der Nutzer bewusstlos ist, schnell Hilfe veranlassen.*
- *Seheinschränkungen können mit dem Sprach-Gesten-Steuerungssystem beim Bedienen von Objekten ausgeglichen werden. Das Erkennen von Funktionsbeschreibungen auf Tasten sowie das Erkennen der Tasten selbst oder auch die Orientierung im Dunkeln (Sprachsteuerung der Leuchten) können erleichtert und der Bedienprozess risikominimiert werden.*
- *Es entstehen durch den Einsatz von Sprach-Gesten-Steuerungssystemen Vorteile hinsichtlich des Betreuungsaufwands durch das Pflegepersonal und die Angehörigen. Wenn viele Bedienfunktionen durch Hochbetagte möglichst lange selbständig ausgeübt werden können, trägt das dazu bei, die Autonomie in der eigenen Lebensführung und somit Selbstbestimmtheit der Persönlichkeit zu erhalten und das Wohlbefinden zu verbessern. Das Pflegepersonal im Heim muss weniger in Anspruch genommen werden und auch die Angehörigen sparen Betreuungszeit. Bei ihnen mindert sich vor allem das Gefühl der Sorge um die Sicherheit und das Wohlbefinden der hochbetagten Familienangehörigen.*
- *Die Einschränkung von Persönlichkeitsrechten durch die mögliche Verletzung der Privatsphäre oder den Missbrauch personenbezogener Daten beim Einsatz eines Sprach-Gesten-*

Steuerungssystems sehen die Probenden umso kritischer, je jünger sie sind und je weiter entfernt sie davon sind, im Alltagsleben einen persönlich nachvollziehbaren Nutzen aus solch einem System ziehen zu können. Insbesondere die hochbetagten Testpersonen, aber auch alle Angehörigen nehmen in Bezug auf die Nutzung eines Sprach-Gesten-Steuerungssystems, wenn das krankheits- oder altersbedingte Defizite erforderlich machen, eine pragmatische Haltung ein. Mögliche Nachteile, wie z. B. Gefahren des Datenmissbrauchs, wägen alle bei ihrer Entscheidung für die Sprach-Gesten-Steuerung gegen den zu erwartenden persönlichen Nutzen ab. Neben diesem Prinzip der „Kosten-Nutzen-Abwägung" wirkt bei älteren Menschen, die im Pflegeheim leben, auch ein „Unbescholtenheitspostulat" als Rechtfertigungsargument positiv auf die Akzeptanz der Kamera. Man habe sich nichts vorzuwerfen und lebe redlich. Somit könne auch jeder Einblick nehmen in die Privatsphäre.

Sprach-Gesten-Steuerungssysteme sind jedoch nicht uneingeschränkt einsetzbar. Körperliche und kognitive Fähigkeiten müssen soweit intakt sein, dass die Steuerparadigmen (Sprache und Gestik) vom Nutzer angewendet werden können. An unseren Testpersonen konnten wir feststellen, dass insbesondere die folgenden Einschränkungen einzelne Steuerparadigmen nicht anwendbar erscheinen lassen:

- *Lähmungen und Kraftmangel in Armen und Händen schränken die Gestensteuerung ein.*
- *Gleichgewichtsprobleme können ebenfalls dazu führen, dass die Gestensteuerung nur bedingt einsatzfähig ist.*
- *Bei Hochbetagten und insbesondere bei Schlaganfallpatienten ist die Sprachfähigkeit mitunter stark eingeschränkt. Die klare Artikulation von Sprachbefehlen ist dann meist nicht mehr gegeben.*
- *Altersbedingt können die kognitiven Fähigkeiten nachlassen. Das Erinnerungsvermögen im Kurzzeitgedächtnis ist meist davon stark betroffen. Sprach- und Gestenbefehle müssen jederzeit abrufbar sein, anderenfalls werden Befehle nicht oder nicht im gewünschten Sinne ausgeführt.*

Kamerasysteme im Privathaushalt älterer Menschen

Ältere Menschen, die nicht in einem Pflegeheim wohnen, sondern in privaten Haushalten, haben ein deutlich größeres tägliches Aktivitätsspektrum und einen breiteren Verantwortungsbereich im Alltagsleben. Sie gehen täglich mit einer viel größeren Palette von Geräten und Bedienobjekten um als Bewohner im Pflegeheim. Sie wirken dadurch agiler und gehen selbstbestimmter mit ihrer Alltagssituation um. Hier fällt die Orientierung am personellen Umfeld (Pflegekräfte) und den Ritualen im Pflegeheim weg. Die Personen sind in der Regel auf sich gestellt und orientieren sich ggf. an ihrem Lebenspartner.

Noch deutlicher als die Heimbewohner projizieren sie die Nutzung eines Sprach-Gesten-Steuerungssystems in eine mögliche, aber ferne Zukunft, in der ihre körperlichen Fähigkeiten krankheits- oder altersbedingt eine konventionelle Steuerung von Bedienobjekten des Alltags nicht mehr möglich machen. Sie sind ebenfalls bestrebt, die konventionellen Bedienfähigkeiten so lange wie möglich praktizieren zu können und würden es als Defizit empfinden, wenn diese Bedienfähigkeiten verloren gingen. Die mit Bezug auf die Heimbewohner dargestellten Vor- und Nachteile eines Sprach-Gesten-Steuerungssystems für Bedienobjekte im Alltagsleben unterscheiden sich nicht von den Wahrnehmungen der Probanden, die in den eigenen vier Wänden leben.

Kamerasysteme in gemeinschaftlich genutzten Räumen im Senioren- und Pflegeheim

Die Teilnehmer des Tests in gemeinschaftlich genutzten Räumen haben die Tatsache, dass Kameras in ihrem Gemeinschaftsbereich installiert wurden, weitestgehend ignoriert. Keiner hatte die Aushänge am Eingang zum Gemeinschaftsraum zur Kenntnis genommen. Worum es bei dem Test ging, hatten auch die wenigsten ausreichend erfasst. Die meisten haben über den Heimfunk[7] am Morgen des ersten Testtags davon erfahren. Die Anwesenheit von Kameras führte schließlich zu Irritationen unter den Testteilnehmern. Unter den Bewohnern eines Wohnbereichs breitete sich das Gerücht aus, dass das Verhalten bestimmter Personen beobachtet werden solle bzw. dass die Heimleitung herausfinden wolle, wer Besteck während der Mahlzeiten entwendet.

In der Anfangsphase des Tests gab es Verhaltensänderungen bei einigen Testpersonen. Diese beobachteten die Kameras und versuchten herauszufinden, was es mit der ab und an blinkenden Kontrollleuchte am Gerät auf sich hatte. Dazu klopften einige Bewohner gelegentlich auf den Tisch und interpretierten das Blinken der Kameraleuchte als Reaktion auf ihr Klopfen. Auch war die Anwesenheit der Kameras in den ersten Tagen verstärkt Gesprächsgegenstand an einigen Tischen.

Nach einigen Tagen jedoch pegelte sich das Verhalten der Testpersonen wieder auf den normalen Zustand ein, obwohl einige Personen im Nachgespräch angaben, die Kamerapräsenz zu keinem Zeitpunkt vergessen zu haben. Keine Testperson hat die Gelegenheit wahrgenommen, wegen der Kameras in den angebotenen Nebenraum, in dem keine Kameras installiert waren, zu wechseln. Die nicht alltägliche Situation schien eher eine willkommene Abwechslung zu sein, denn als Störfaktor zu wirken.

Obwohl die Kameras für die meisten Testpersonen immer präsent waren, wurde der Störeffekt durch zwei andere Wirkfaktoren paralysiert. Sie können als Besonderheiten bezeichnet werden, die mit der Lebenskultur im Pflegeheim zusammenhängen.

1. Im Pflegeheim bewegen sich alle Bewohner in einem quasi halböffentlichen Raum. Durch die Anwesenheit der anderen Mitbewohner und den regelmäßigen Kontakt mit den Pflegekräften in den Gemeinschaftsräumen und im privaten Bereich sind alle gewohnt, einen Teil ihres Privatlebens öffentlich zu machen. Diese Gewohnheit scheint auch die Hemmschwellen zu senken, die das Diskretionsbedürfnis der Persönlichkeit steuert. Die Heimbewohner sind deutlich ignoranter bzw. toleranter gegenüber der Aufhebung ihrer Privatsphäre als Personen, die im eigenen Haushalt leben. An manchen Stellen wurde in den Gesprächen auch deutlich, dass sich die Heimbewohner mit dieser Halböffentlichkeit abgefunden und arrangiert haben bzw. diese als von ihnen nicht beeinflussbar akzeptieren (höhere Gewalt).
2. Jede der befragten Testpersonen nimmt für sich in Anspruch, Persönlichkeitseigenschaften zu besitzen, die ein integres Verhalten offenbaren. Somit brauche man sich für nichts zu entschuldigen und habe auch keine negativen Folgen aus einer eventuellen Videobeobachtung zu erwarten (Unbescholtenheitsprinzip). Mögliche Folgen werden auf andere Personen projiziert und damit das subjektiv wahrnehmbare persönliche Risiko minimiert.

Die Testpersonen in gemeinschaftlich genutzten Räumen kommen somit, im Unterschied zu den Testpersonen im privaten Wohnbereich, nicht auf die Kosten-Nutzen-Rechnung als Argumentationsschema, das ihnen die Akzeptanz des Sprach-Gesten-Steuerungssystems in Abwägung zum Risiko der Verletzung von Persönlichkeitsrechten und des möglichen Missbrauchs von personenbezogenen Daten ermöglicht. Sie nehmen die Anwesenheit der Kameras als von ihnen nicht beeinflussbare Bedingung widerstandslos hin.

[7] Im AWO Senioren- und Pflegezentrum Ilmenau Haus „Hüttenholz“ wird ein hausinterner Heimfunk genutzt, um die Heimbewohner über wichtige Ereignisse im Tagesablauf zu informieren. Neben den Aushängen, die über die bevorstehenden Tests informierten, wurde auch dieser Weg genutzt, um die Informationen verbal an die Heimbewohner heranzutragen.

Nachdem die Interviewerin den Testpersonen den praktischen Zweck des Sprach-Gesten-Steuerungssystems im Gespräch erklärt, können die meisten der Anwesenheit der Kameras positive Aspekte abgewinnen. Insbesondere den Ausgleich von körperlichen Defiziten beim Bedienen von Objekten im Wohnumfeld erkennen die meisten als Vorteil. Auch würden die meisten von ihnen den Einsatz des Sprach-Gesten-Steuerungssystems im privaten Bereich nun akzeptieren. Ihre Privatsphäre dadurch eingeschränkt sieht nur eine Testperson.

Die meisten Testpersonen verlagern den Einsatz eines Sprach-Gesten-Steuerungssystems in die Zukunft. Erst dann, wenn gesundheitlich bzw. altersbedingt Defizite eintreten, die die konventionelle Steuerung von Objekten nicht mehr möglich machen, wäre ein solches System für sie akzeptabel.

Mehrere Testpersonen sehen keinen Nutzen in einem Sprach-Gesten-Steuerungssystem, da sie sich auf die Betreuungsrolle der Pflegekräfte berufen. Sie sind daran gewöhnt, dass die Pflegekräfte Unterstützung leisten, wenn Bedienobjekte im Gemeinschaftsraum durch die Bewohner nicht mehr mühelos bedient werden können.

2.1.3 Begleitforschung zum intelligenten Schuh

Das dritte Projektjahr umfasste die Arbeiten am AP 3.3.2. Hier stand die Begleitforschung zum Einsatz des intelligenten Schuhs im Mittelpunkt. Ziele der Begleitforschung in diesem Arbeitspaket waren:

- *Herausarbeiten der Vor- und Nachteile der Nutzung des intelligenten Schuhs und Identifizierung möglicher Nutzungshürden sowie Abschätzung der Akzeptanz des intelligenten Schuhs*
- *Klärung der Frage der Alltagstauglichkeit und Integrierbarkeit in die realen Lebensabläufe und Identifizierung praxisrelevanter Anwendungsszenarien für den intelligenten Schuh*
- *Bestimmung der Zielgruppenrelevanz (Für welche Nutzer ist der intelligente Schuh geeignet?)*
- *Abschätzung möglicher Veränderungen in der Lebensqualität*

Aufbauend auf den Erkenntnissen aus den Gruppendiskussionen zur allgemeinen Akzeptanz von Navigations- und Lokalisierungsgeräten im Alltag älterer Menschen und deren sozialen Umfeld, die wir im AP 1.3 gewonnen haben, ging es nun darum, am konkreten Beispiel des intelligenten Schuhs als Orientierungs- bzw. Navigationshilfe für älterer Menschen die Zweckmäßigkeit und den individuellen und gesellschaftlichen Nutzen dieses Assistenzsystems zu untersuchen. Dazu wurden erneute empirische Erhebungen geplant und durchgeführt.

Für die Erhebung in der Zielgruppe der älteren potenziellen Nutzer wählten wir die Methode des persönlichen qualitativen Interviews. Mithilfe eines vorher entwickelten Leitfadens führten wir gemeinsam mit unserem Kooperationspartner AWO AJS gGmbH in Ilmenau diese Interviews durch. Die Interviews mit den Angehörigen wurden ebenfalls mit der Methode des qualitativen Interviews umgesetzt. Aus zeitökonomischen Gründen und weil wir davon ausgingen, dass die Angehörigen auf diese Weise leichter zur Teilnahme zu bewegen sein würden, führten wir diese Interviews telefonisch durch. Die Anbahnung der Gespräche übernahm unser Verbundpartner AWO AJS gGmbH.

Ziel der Probandenauswahl in der qualitativen Forschung ist es, die empirisch mögliche Breite und Vielfalt der in der Wirklichkeit anzutreffenden Einstellungstypen zu erfassen und in die Untersuchung einzubeziehen. Da dies zu Beginn einer qualitativen Forschung nie zu einhundert Prozent garantiert werden kann, wird die Stichprobe im laufenden Forschungsprozess immer dann nachjustiert und erweitert, wenn neue empirische Fälle auftreten, deren Existenz vorher nicht erkannt werden konnte. Auf der Grundlage unserer bisherigen Erkenntnisse wurden deshalb für die Auswahl der hochbetagten Probanden die folgen Gruppenmerkmale als Ausgangspunkte festgelegt:

- *Auswahlparadigma 1: Heimbewohner vs. Bewohner im Privathaushalt*
- *Auswahlparadigma 2: neu im Heim vs. schon länger im Heim*
- *Auswahlparadigma 3: sehr mobile Personen vs. weniger mobile Personen*

Insgesamt konnten zehn Personen (vier Frauen und sechs Männer), die im AWO Senioren- und Pflegezentrum Ilmenau Haus „Hüttenholz“ wohnen, und sechs Personen (zwei Frauen und vier Männer), die in Privathaushalten in Ilmenau leben, in die qualitative Erhebung einbezogen werden. Diese Personen waren im Alter von 70 bis 90 Jahren bzw. eine Person zwischen 50 und 60 Jahren. Ergänzend zu diesen Interviews wurde bei 13 der 16 Probanden auch jeweils ein Interview mit einem nahestehenden Angehörigen geführt (vgl. Abbildung 4). Diese Angehörigen waren genauso wie die Testpersonen selbst über die Studie und deren Ziele informiert.

Abbildung 4: Übersicht über die Stichprobe

Umgebung	Mobilität	Proband	Angehörige
neu im Heim	mobil	Herr Auto	Sohn
		Frau Hund	Tochter
	wenig mobil	Herr Motorrad	Tochter
		Frau Park	Bekannte
länger im Heim	mobil	Frau Schleichweg	Bekannter
		Herr Blume	Tochter
		Herr Halle	verweigert
	wenig mobil	Herr Geschichte	Tochter
		Herr Hamburg	Neffe
		Frau Marke	verweigert
Privathaushalt	mobil	Herr Doktor	Sohn
		Herr Gelenkwelle	Sohn
		Herr Busfahrer	verweigert
		Frau Fahrrad	Schwiegertochter
	wenig mobil	Herr Hut	Sohn
		Frau Café	Bekannte
Anzahl der Interviews		16	13

Im Folgenden stellen wir abrissartig die Ergebnisse der Begleitforschung dar.

Akzeptanz, Vor- und Nachteile und Nutzungshürden

Bei den im Heim wohnenden Testpersonen, die an der Befragung teilgenommen haben, ist die Aufgeschlossenheit gegenüber einem intelligenten Schuh zur Navigation im Alltagsleben verhalten. Nur zwei der 10 Probanden sind daran interessiert. Unter den Probanden aus privaten Haushalten ist die Meinung zum Einsatz eines intelligenten Schuhs eher geteilt. Hier waren vier der sechs Probanden skeptisch, wobei drei davon einräumten, das System eventuell zu einem späteren Zeitpunkt, wenn die Orientierungsfähigkeit gegebenenfalls nachlässt, es zumindest damit zu probieren.

Wer technikaffin ist, bereits Erfahrung mit Navigationssystemen besitzt und (noch) mobil ist, kann sich eine Nutzung des intelligenten Schuhs durchaus vorstellen. Hier überwiegen die Neugier und die Aufgeschlossenheit

gegenüber dem Thema, sich sicher in öffentlichen Räumen bewegen zu können. Bei diesen Personen ist jedoch auch das Bedürfnis nach Mobilität stark ausgeprägt. Die meisten Personen, die diese Einstellungen teilen, verlagern aber die Nutzung des Schuhs in die Zukunft. Hier gibt es Parallelen zur Nutzung des Sprach-Gesten-Steuerungssystems (vgl. Seite 18 ff.). Solange die Interessenten die konventionellen Orientierungssysteme und -techniken noch beherrschen, kommt die Nutzung eines intelligenten Schuhs für sie kaum infrage.

Die Skeptiker der Navigation über Vibrationen im Schuh befürchten, dass die Informationsübertragung von Vibrator in der Schuhsohle zur Fußsohle nicht zuverlässig ist und dass durch die Vibration Unsicherheiten beim Gehen entstehen können. Diese Bedenken haben verschiedene Ursachen. Krankheitsbedingt bzw. durch altersbedingte Defizite hat sich bei einigen Testpersonen Taubheit in der Fußsohle eingestellt. Die Kommunikation zwischen Vibrator und Fußsohle ist bei solchen Personen weitestgehend ausgeschlossen. Ein anderer Proband, der technisch sehr affin ist, argumentiert gerade mit diesem Phänomen, das er im Alter für sehr wahrscheinlich und weit verbreitet hält, gegen den Einsatz eines intelligenten Schuhs. Den Rollstuhlfahrern in unserer Strichprobe erschien der Einsatz eines Schuhs ebenfalls als unpraktisch. Schlussendlich fielen in unseren qualitativen Interviews auch einige Technikskeptiker auf, die kaum mit modernen Kommunikations- und Navigationsgeräten umgehen, weil sie sich für zu alt dafür halten bzw. diese Technologien nicht beherrschen und ihnen misstrauisch gegenüberstehen. Sie vertrauen auf die Hilfe durch andere Personen (Pflegekräfte, Nachbarn, andere Heimbewohner, Angehörige).

Nutzungshürden ergeben sich weniger aus der allgemeinen Unsicherheit bzw. Unkenntnis des Umgangs älterer Menschen mit moderner Technik, weil der Schuh relativ wenige Bedienungsanforderungen an die Nutzer stellt. Vielmehr ergeben sich Hürden aus den körperlichen Einschränkungen von Personen, die sich aus deren Gesundheitszustand oder den altersbedingten Defiziten ergeben. Menschen mit Gleichgewichtsstörungen, fehlender Sensibilität in den Fußsohlen durch Erkrankungen oder altersbedingter Abnahme der taktilen Sinnesfähigkeiten werden kaum bereit sein, einen intelligenten Schuh zur Navigation und Orientierung zu nutzen. Rollstuhlfahrer halten einen intelligenten Schuh als Navigations- und Orientierungshilfe ebenfalls für nicht praktikabel. Zum einen ist auch hier oft die mangelnde Sensibilität in den Fußsohlen anzutreffen, zum anderen halten die Rollstuhlfahrer die kognitive Übersetzung der Signale an der Fußsohle im Sitzen (Rollstuhl) in die Steuerung des Rollstuhls für schwierig. Diese Hürden implizieren Einschränkungen in der Nutzerzielgruppe.

<u>Mögliche Zielgruppen</u>

Mobile ältere Menschen entwickeln eigene Orientierungsstrategien, um die durch den Alterungsprozess oder durch Krankheit auftretenden Orientierungsdefizite zu kompensieren. Meist hängen diese Defizite mit der Verschlechterung des Seh- und Hörvermögens und den damit verbunden Wahrnehmungsfähigkeiten, mit der Verlangsamung der kognitiven Verarbeitung von Informationen und der damit verbundenen Verlangsamung von Reaktionszeiten, mit Konzentrationsschwächen und schnellerem Ermüden, mit der Veränderung von Zeitgefühl und Erinnerungsfähigkeit sowie mit der partiellen Überforderung bei komplexen Aktivitäten zusammen.

Generell haben wir in unseren qualitativen Interviews wahrgenommen, dass Menschen mit zunehmendem Alter einerseits dazu tendieren, ihre Mobilitätsaktivitäten einzuschränken, andererseits aber durch verschiedene Orientierungsstrategien ihre Mobilität auf einem für sie akzeptablen Niveau erhalten wollen. Zu diesen Orientierungsstrategien zählen:

- *Beschränkung der Mobilität auf bekannte Wege und Meiden unbekannter Wege*
- *Nutzung sicherer Wege (Ampeln, Fußgängerüberwege, barrierefreie Wege)*
- *Gehen in der Gruppe oder mit Begleitern (Freunde, Partner, Verwandte, Betreuungs- und Pflegepersonal)*

- *Beschränkung auf kurze Wege*
- *Vorabplanung, wenn unbekannte Wege unumgänglich zurückgelegt werden müssen (z. B. Behördenwege), ggf. Einbeziehen von Unterstützern (Freunde, Partner, Verwandte, Betreuungs- und Pflegepersonal)*
- *Fragen von Passanten bei Unsicherheiten*

Die Nutzung technischer Assistenzgeräte zu Überbrückung alters- oder krankheitsbedingter Orientierungsdefizite ist dagegen als Kompensationsstrategie selten bei älteren Menschen anzutreffen. Der intelligente Schuh als Navigations- und Orientierungssystem steht in Konkurrenz zu den marktüblichen, durch Tasten, Touchscreen oder Audiosteuerung bedienbaren, Navigationsgeräten. Senioren, die noch mobil sind, nutzen auch die durch Sozialisation in ihrer Adoleszenz internalisierten analogen Orientierungshilfen wie Landkarten, Hinweisschilder, Wegweiser, Streckenpläne oder Abfahrtspläne. Digitale Orientierungshilfen wie Handy-Apps werden zur Planung von konkreten Mobilitätsaktivitäten wenig genutzt, der Personal-Computer und einschlägige Kartenprogramme (Google Maps) dagegen schon deutlich häufiger. Somit besteht die eigentliche Konkurrenz zu den o. g. Navigationsgeräten weniger in ihrer Nutzung, sondern vor allem darin, dass diese an gesellschaftlich etablierten Bedienungstechnologien anknüpfen. Die Tastensteuerung ist vor allen durch die Bedienung des Telefons oder der Fernbedienung am Fernseher bekannt. Eine Kommunikation mit einem Gerät über Sprache knüpft an die Kommunikationsgewohnheiten der Menschen an und ist deshalb plausibler als eine Navigationshilfe, die mit dem Nutzer über Vibrationen (einseitig) kommuniziert. Dieses Nutzungsparadigma ist nicht gesellschaftlich eingeführt. Dennoch führen alters- oder krankheitsbedingte Handicaps dazu, dass eine derartige Navigations- und Orientierungsassistenz Nutzen stiften kann.

Zu den o. g. Defiziten hinsichtlich der Orientierungsleistung älterer Menschen tritt in Bezug auf die Steuerung von Navigationssystemen noch hinzu, dass mit zunehmendem Alter auch die haptischen Fähigkeiten der Bedienung von Tastengeräten oder Geräten mit Touchscreen naschlassen. Wir haben dies bereits in Bezug auf das Sprach-Gesten-Steuerungssystem erläutert (vgl. Seite 19).

Je jünger, körperlich und geistig vitaler und affin für digitale Navigations- und Orientierungssysteme die Menschen sind, desto weniger Interesse besteht an der Nutzung des intelligenten Schuhs. Diese These wird dadurch erhärtet, dass Personen, die (noch) in der Lage sind, mit konventionellen Navigations- und Orientierungssystemen umzugehen, keinen Mehrwert in der Nutzung des intelligenten Schuhs erkennen. Wie bei den Probanden der Tests zur Sprach-Gesten-Steuerung, besteht auch hier in Bezug auf den intelligenten Schuh das Bestreben der befragten Personen, ihre gewohnten Fähigkeiten so lange wie möglich erhalten zu wollen. Die meisten versuchen, die gewohnten Mobilitätsstrategien und die Nutzung der gewohnten Navigations- und Orientierungssysteme so lange wie möglich zu nutzen. Jedoch ist die Umkehrung der zu Beginn dieses Absatzes aufgemachten These nicht möglich. Einige von uns identifizierte Rahmenbedingungen verhindern diese Umkehrung.

- *Mit zunehmendem Alter oder durch Krankheit werden die physischen Voraussetzungen für Mobilitätsaktivitäten reduziert, was zur Einschränkung der Mobilitätsbereitschaft führt. Der Bedarf an Orientierungssystemen lässt hier generell nach.*
- *Alters- oder krankheitsbedingte Defizite in den unteren Extremitäten machen eine Nutzung des intelligenten Schuhs nicht möglich, da die taktilen Sinneswahrnehmungen in den Fußsohlen meist ausgefallen sind oder die Fortbewegung ohne Rollstuhl nicht mehr möglich ist.*
- *Menschen mit Gleichgewichtsstörungen erleben mit hoher Wahrscheinlichkeit durch die Vibrationen in der Schuhsohle Verunsicherungsgefühle, was die Sturzgefahr erhöht.*

Positive Einflüsse auf die Nutzungsbereitschaft des intelligenten Schuhs gehen von den folgenden Zusammenhängen aus:

- *Mit zunehmendem Alter oder durch Krankheit können Orientierungsfähigkeiten für Mobilitätsaktivitäten oder konventionelle Bedienfähigkeiten von Navigations- und Orientierungsgeräten abnehmen. Der intelligente Schuh kann hier als Navigations- und Orientierungssystem für Nutzer attraktiv werden.*
- *Menschen mit Einschränkungen der geistigen Leistungsfähigkeit im Alter (z. B. Demenz) können durch den Einsatz des intelligenten Schuhs Orientierungssicherheit zurückgewinnen. Der Einsatz des Systems zumindest auf alltäglich zurückzulegenden Wegen unterstützt die Sicherheit dieser Personen, wenn zusätzlich zum Navigationstool noch ein Ortungstool eingebaut ist und Pflegekräfte oder Angehörige die Nutzer schnell finden können wenn diese sich verirrt haben.*
- *Sofern der Weg im intelligenten Schuh programmiert ist, ist eine handfreie, nichtvisuelle Nutzung mit einfachen Signalen möglich. Nicht ausreichend geklärt ist bisher der Inputweg, d. h. wie die nötigen Informationen über den Weg, den der Nutzer gehen will, in das Navigationssystem gelangen. Der Inputweg für die Programmierung oder Auswahl der gewünschten Routen, die der Schuh den Nutzer führen soll, könnte wiederum eine Nutzerhürde darstellen, wenn dieser nicht altersgerecht gestaltet ist.*

Folgen wir der Typisierung älterer Menschen in fünf Gruppen, wie sie im Projekt „GOAL. Growing Older, staying mobile: Transport needs for an ageing society" vorgenommen wurde (vgl. Millonig et al. 2012: 61 – in unserem Abschlussbericht ab Seite 41 dargestellt), dann schätzen wir, dass die folgenden Gruppen zu den potenziellen Nutzern des intelligenten Schuhs gehören könnten:

- *„An Oldie but a Goodie": Sie sind hauptsächlich weiblich und zwischen 80 und 90 Jahre alt, leben meist in Single-Haushalt, sind meist gesund und wenig eingeschränkt, sie gestalten ihr alltägliches Leben eigenständig, gehen bevorzugt zu Fuß und benötigen eine barrierefreie Infrastruktur.*
- *„The Care-Full": Sie sind meist über 85 Jahre alt, eher weiblich, meist verwitwet und verfügen über ein geringes Einkommen. Sie leiden oft unter Parkinson, Alzheimer oder Demenz. Oft haben sie ein schlechtes Seh- und Hörvermögen. Sie sind oft auf die Unterstützung und Pflege angewiesen und führen meist passive Aktivitäten zu Hause aus, z. B. Zeitung lesen, Radio hören oder fernsehen.*

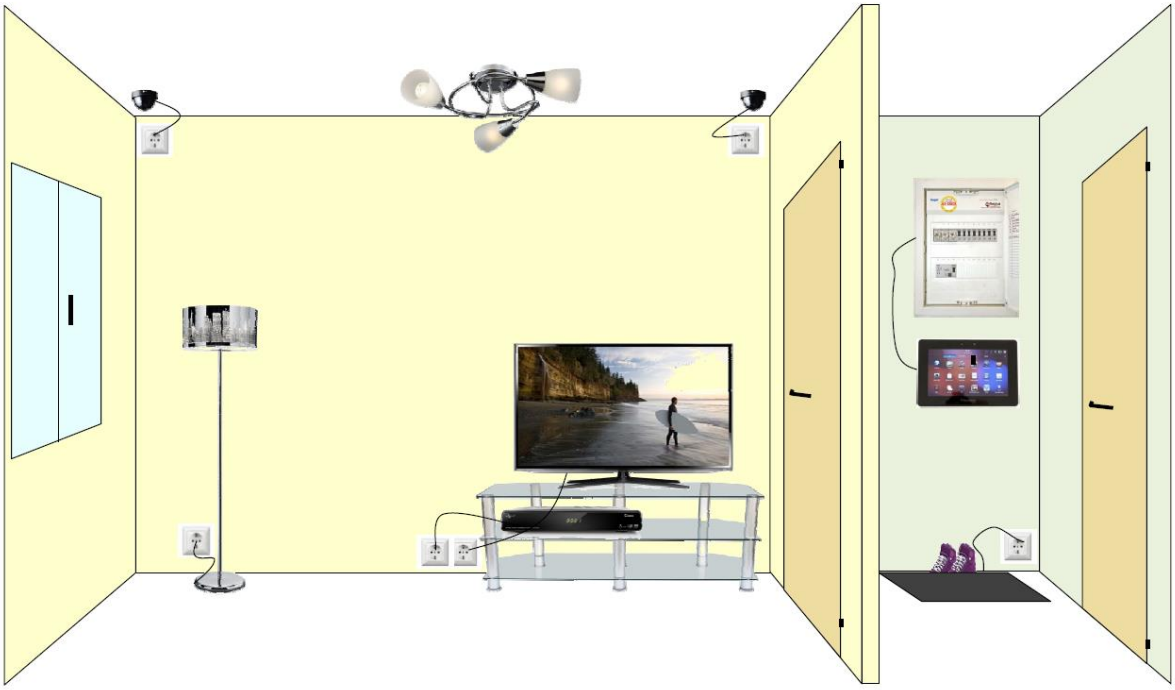
Zum gegenwärtigen Zeitpunkt sind weiterführende Überlegungen zur quantitativen Hochrechnung der potenziellen Nutzerzahl nicht möglich. Dazu müsste zumachst eine repräsentative quantitative Analyse der Verteilung der auf Grundlage der im Projekt „GOAL. Growing Older, staying mobile" definierten Typen älterer Menschen in der deutschen Bevölkerung vorgenommen werden. Dies war aber nicht Aufgabe der von uns im Rahmen des Teilvorhabenantrags konzipierten und vom BMBF bewilligten Förderung der Begleitforschung.

2.1.4 Der Nutzen sprach-gestengesteuerter Systeme und des intelligenten Schuhs

Der Ansatz der FuE-Arbeit im Verbundprojekt BUNDSCHUH bestand darin, ein ganzheitliches Smarthome-Konzept zu verfolgen, das den Wohnbereich und das Wohnumfeld im Zusammenhang betrachtet (Vgl.: Abbildung 5). Technische Unterstützungssysteme zur Erleichterung der Bewältigung alltäglicher Aufgaben und Handlungen älterer Personen in ihrem Wohnumfeld sollten Innenwelt (Wohnbereich) und Außenwelt (Wohnumfeld)

einschließen. Die Entwicklungsarbeit an den zwei technischen Unterstützungssystemen Sprach-Gesten-Steuerung und intelligenter Schuh steht deshalb im Zusammenhang. Dieser ist durch den Zweck des Smarthome-Konzepts gegeben: die Erleichterung des gewohnten Lebens älterer Menschen und die möglichst lange Erhaltung der gewohnten Lebensqualität durch die ganzheitliche Betrachtung der Lebensweise. Der intelligente Schuh ist somit ein Unterstützungssystem im Wohnumfeld der Senioren und die durch Sprache und Gesten gesteuerten Bediensysteme zielen auf deren Wohnbereich ab. Im Wohnbereich erleichtert das sprach-gestengesteuerte Bediensystem den Menschen die Nutzung der Bedienobjekte in der Wohnung. Sobald der Nutzer die Wohnung verlässt, unterstützt ihn der intelligente Schuh, damit er sicher seinen gewünschten Zielort, beispielsweise im Wohnheim oder in der Stadt, erreicht und wieder zurück zur Wohnung findet. Wir betrachten deshalb die Fragen nach dem individuellen und gesellschaftlichen Nutzen beider Unterstützungssysteme ebenfalls als wechselwirkende Einheit.

Abbildung 5: Ganzheitliches Smarthome-Konzept für Objektsteuerung und Orientierung



(Quelle: TU Ilmenau, Fachgebiet Systemanalyse und Fachgebiet Biomechatronik)

In dieser frühen Phase der FuE-Arbeit sind allerdings aufgrund des aktuellen Standes der entwickelten Technik noch keine konkreten Prognosen möglich. Die in der Begleitforschung ermittelten Ergebnisse sind deshalb eher hypothetischen Charakters. Quantifizierungen und Hochrechnungen etwa in Form von zu erwartenden Einsparungen an Arbeitszeit in der Pflege und Betreuung oder einzusparenden Kosten für die medizinische Betreuung wären derzeit noch verfrüht. Dies erfordert einen empirischen Beweis für das Eintreten von Effektivitäts- und/oder Effizienzsteigerungen durch den Einsatz von Sprach-Gesten-Steuerungssystemen oder des intelligenten Schuhs auf der Grundlage einer langfristigen empirischen Begleitforschung in der Praxis. Dennoch sind auf der Basis der im Rahmen dieses Projektes durchgeführten empirischen Begleitforschung belastbare Schlussfolgerungen zum Nutzen der entwickelten Technik möglich.

Wir betrachten zwei Ebenen des Nutzens und lehnen uns dabei in unseren Einschätzungen an theoretische Überlegungen aus dem Fachgebiet der sozialen Arbeit an.

- *Die erste Betrachtungsebene bezieht sich auf die „Effektivität“, den Effekt, den die Unterstützungssysteme im Wohnbereich und im Wohnumfeld einerseits für das Individuum und andererseits für die Gesellschaft erbringen. In der sozialen Arbeit zielt die Bewertung von Effektivität bei der Gestaltung sozialer Dienstleistungen „auf die Beantwortung der Frage, ob die Leistungserstellung zielorientiert und nach professionellen Maßstäben erfolgt, wobei ein wesentlicher Bezugspunkt für die Definition der Ziele im Bedarf der Adressaten zu suchen ist.“ (Merchel 2003: 10)*
- *Die zweite Betrachtungsebene stellt auf die „Effizienz“ der eingesetzten Ressourcen für die Zielerreichung ab. Hier geht es um die betriebswirtschaftliche Betrachtung des Kosten-Nutzen-Kalküls (Merchel 2003: 10).*

Beide Aspekte stehen in einer Wechselwirkung, weil es auf beiden Ebenen direkte und indirekte Wirkungen gibt, die auf die jeweils andere Ebene Einfluss haben. Ein höherer Effekt sozialer Arbeit muss nicht notgedrungen mit einem höheren Ressourceneinsatz verbunden sein und somit die Effizienz beeinträchtigen. Eine höhere Effizienz des Ressourceneinsatzes kann auch zu einem höheren Effekt sozialer Arbeit führen, wenn Effizienzdenken nicht die Effektivität als Ziel aus den Augen verliert und der betriebswirtschaftliche Zweck zu dominieren droht.

Im Sinne der Definition sozialer Dienstleistungen (vgl. Merchel 2003: 6) ist das Ziel der Betreuung der Nutzen für den Betroffenen (Konsumenten). Obwohl dieses Ziel hoch individuell bleibt, da jeder Betroffene ganz persönliche Voraussetzungen, Bedürfnisse, Interessen und Erwartungen hat, hängt die Qualität bzw. die Qualitätserwartung im gesellschaftlichen Aushandlungsprozess von allgemein in der Gemeinschaft oder in bestimmten Subgruppen als vereinbart geltenden Normen und Werten ab. Sie bilden den Rahmen, innerhalb dessen sich Qualitätserwartung und -bewertung bewegen. Es gibt also zu jedem Zeitpunkt in der Gesellschaft anerkannte Qualitätsvorstellungen, die sich in Gruppenkulturen und auch in den individuellen Zielerwartungen widerspiegeln. Somit sind auch Verallgemeinerungen von Ziel und Qualität sozialer Arbeit gestattet, die unter konkreten historischen Bezügen als gesellschaftlicher Konsens gelten können. Die Qualität wird also einerseits bestimmt „als Grad der Übereinstimmung zwischen den Erwartungen an eine Leistung und der tatsächlich erbrachten Leistung andererseits“ (Merchel 2003: 9). Darüber hinaus ist die Qualitätserwartung immer interessengeleitet. In diesem Interessenspiel sind die Rollen verschieden verteilt, je nachdem, welche Player im Spiel sind und welchen Machteinfluss sie haben. Gewöhnlich sind es drei Akteure, die dabei eine Rolle spielen: (1.) der Betroffene, der Ältere oder der Mensch mit Behinderung, (2.) der betreuende Angehörige, (3.) die Pflegekraft. Die Qualitätserwartung wird zwischen ihnen ausgehandelt.

Den gegenwärtig in unserer Gesellschaft anerkannten allgemeinen Nutzen als Zielkategorie sozialer Arbeit und der Betreuung durch Angehörige subsumieren wir unter Gesichtspunkten, die auf die Erhaltung von gewohnter Lebensqualität der hochbetagten Menschen hinwirken. Dazu zählen:

- *Verlängerung der Teilhabe Hochbetagter am gesellschaftlichen Leben und ihrer Integration in das soziale Umfeld*
- *Verlängerung der aktiven Teilhabe am gesellschaftlichen Produktions- und Konsumtionsprozess, beispielsweise durch längere Ausübung von begrenzten beruflichen Tätigkeiten und ehrenamtlicher Arbeit sowie ein aktives Konsumtionsverhalten*
- *Einsparung von Pflegeressourcen (unmittelbare Kosten bei sozialen Dienstleistern – mittelbar bei Angehörigen)*

- *Einsparung von medizinischen Behandlungen und medikamentöser Versorgung sowie weniger Krankenhausaufenthalte und rehabilitative Anschlussbehandlungen durch weniger Unfälle und stabilere Gesundheit*

Die ersten beiden Zielkategorien bilden die soziale Effektivität sozialer Dienstleistungen ab und in den beiden letzten Punkten bewegen wir uns bereits in der Debatte um die Effizienz der Betreuungsleistung.

Der individuelle Nutzen der sozialen Arbeit für Hochbetagte zielt also auch auf die Erhaltung eines langen selbstbestimmten Lebens ab. Auf der individuellen Ebene drückt sich dies aus in:

- *Erhaltung der Selbständigkeit*
- *Erhaltung der Gesundheit*
- *Verlangsamung der körperlichen und geistigen Defizitentwicklung*
- *Verminderung von Unfall- und Gesundheitsrisiken*
- *Erhaltung und Pflege sozialer Kontakte*
- *Erhaltung eines positiven Lebensgefühls*

Die Umsetzung dieser Ziele hat mittelbare und unmittelbare Effekte für das betreuende Umfeld der Hochbetagten in Form von:

- *Entlastung der Angehörigen bei Pflegeaufgaben*
- *mehr Gelegenheit zur Zuwendung der Pflegenden für Hochbetagte, was wiederum den Effekt sozialer Arbeit steigern kann*

Vor diesem Hintergrund können nun verschiedene Effektivitäts- und Effizienzstrategien entwickelt werden, die einen individuellen und gesellschaftlichen Nutzen stiften. Kosten für die Betroffenen, ihre Angehörigen und für das Sozial- und Gesundheitssystem können so eingespart werden.

1. Je länger hochbetagte Menschen ein selbstbestimmtes Leben führen können, desto wahrscheinlicher ist es, dass sie ihre gewohnte Lebensqualität und das Niveau ihrer körperlichen und geistigen Vitalität lange erhalten können. Altersbedingte Defizite können sich langsamer einstellen.
2. Je höher die Sicherheit bei der selbständigen Verrichtung von alltäglichen Handlungen im gewohnten Lebensumfeld durch hochbetagte Menschen ist, desto geringer ist das Unfallrisiko und damit einhergehend seltener die Notwendigkeit verletzungsbedingter medizinischer Behandlung und ggf. Rehabilitation.
3. Je selbständiger hochbetagte Menschen alltägliche Handlungen verrichten können, desto weniger „kleine Serviceleistungen“ (z. B. Hilfe bei Bedienung von technischen Geräten im Wohnumfeld) müssen Pflegekräfte in stationären (Wohn- und Pflegeheim) und ambulanten (betreutes Wohnen, Privathaushalte) Tätigkeitsfeldern erbringen. Eine höhere Konzentration auf die Kerntätigkeiten des Pflegeauftrags und auch Arbeitszeitersparnisse sind dadurch möglich
4. Je selbständiger hochbetagte Menschen alltägliche Handlungen verrichten können, desto weniger Unterstützungsleistungen werden von den Angehörigen (z. B. Hilfe bei Bedienung von technischen Geräten im Wohnumfeld) eingefordert. Hieraus resultieren für die Angehörigen Entlastungen zeitlicher und seelischer (Sorge und Ängste um die Sicherheit der zu Betreuenden) Art.

Der Einsatz von Unterstützungssystemen im Wohnbereich und im Wohnumfeld Hochbetagter bietet hinsichtlich dieser Strategien positive Effekte in der Betreuung hochbetagter Menschen durch Pflegekräfte und Angehörige, die die Qualität des Betreuungsziels verbessern und Kosten sparen können. Alle vier Strategien finden hier Anwendung. Die oben erwähnten individuellen Nutzeneffekte und der Nutzen für das Umfeld der Hochbetagten werden durch die Wirkungen, die von einen sprach-gestengesteuerten Bediensystem im Wohnbereich und durch den intelligenten Schuh ausgehen können, ausgelöst.

Allerdings darf auch an dieser Stelle nicht unerwähnt bleiben, dass die Substitution von gesellschaftlich anerkannten konventionellen Handlungsweisen bei der Bedienung von Objekten im Wohnberiech oder von alltäglich gewohnten Orientierungspraktiken bei Mobilitätsaktivitäten durch die Unterstützungssysteme als Verlust empfunden werden kann. Das Bedienen von technischen Geräten beispielsweise oder das Öffnen bzw. Schließen von Fenstern und Türen mittels gezielter Gesten sowie das Sich-navigieren-Lassen von einem intelligenten Schuh über Vibrationen sind keine gesellschaftlich geübten Handlungskonventionen. Die Akzeptanz dieser Systeme wird somit Zeit benötigen, in der sich die Gesellschaft mit diesen neuen Praktiken vertraut machen und anfreunden kann. Das Verlernen konventioneller Bedientechnologien, die Gefahr der Verkümmerung der Mensch-Mensch-Kommunikation sowie die Abgabe von Kompetenzen an die Technik (die der Mensch generell abgibt und die Pflegekräfte insbesondere, da die Pflegekompetenzen in Form von alltäglichen Hilfestellungen an die Technik abgegeben werden) sind Bedenken, die dem Effekt qualitativ verbesserter Pflege und Betreuung entgegenstehen können.

Unsere Überlegungen zum Nutzen der Unterstützungssysteme fußen auf den Ergebnissen einer Expertengesprächsrunde, die wir mit Pflegerinnen aus dem Pflegeheim „Hüttenholz“ unseres Kooperationspartners AWO AJS gGmbH am Ende der empirischen Nutzertests mit hochbetagten Bewohnern des Pflegeheims und mit Personen in Privathaushalten in Ilmenau ermittelt haben. Auch Ergebnisse aus diesen Nutzertests mit Hochbetagten liegen den nachfolgenden Überlegungen zugrunde.

Folgende Nutzenaspekte sind als unmittelbare Folge des Einsatzes der Unterstützungssysteme (Sprach-Gesten-Steuerung und intelligenter Schuh) bei Hochbetagten zu erwarten:

- *erhöhte Lebensqualität*
  - *mehr Selbständigkeit, Erhaltung der Vitalität*
  - *mehr Privatsphäre durch höhere Selbständigkeit*
  - *Autonomie (verringerte Abhängigkeit vom Pflegepersonal),*
  - *Wahrung der Intimsphäre*
- *Vermeidung von gesundheitlichen Schäden*
  - *Verringerung psychischer Schäden (z. B. Depression) durch mehr Unabhängigkeit und Selbstbestimmtheit*
  - *Abwendung von Verletzungsgefahren*
  - *Abwendung von Gesundheitsschäden in Notfallsituationen*

Für unsere Expertenrunde leiten sich aus dem Nutzen für die Hochbetagten auch eigene Nutzenaspekte ab.

- *Effizienzsteigerung in der Pflegearbeit*
  - *Zeiteinsparung durch weniger Laufwege, weniger zusätzliche Aufenthalte beim Heimbewohner, weniger Dokumentation der täglichen Ereignisse (Dokumentationspflicht)*

- *Vermeidung von Störungen/Unterbrechungen bei Pflegemaßnahmen durch Klingelrufe anderer Heimbewohner*
- *Mehr Stringenz der Organisation der Abläufe in der Arbeit der Pflegekräfte*
- *Reduktion der Serviceklingel auf tatsächliche Notfallsituationen durch seltenere Betätigung*
- *Erleichterung der richtigen Priorisierung der Klingelrufe für die Pflegekräfte durch seltenere Betätigung der Serviceklingel*

Steigerung der Effektivität des Pflegeziels

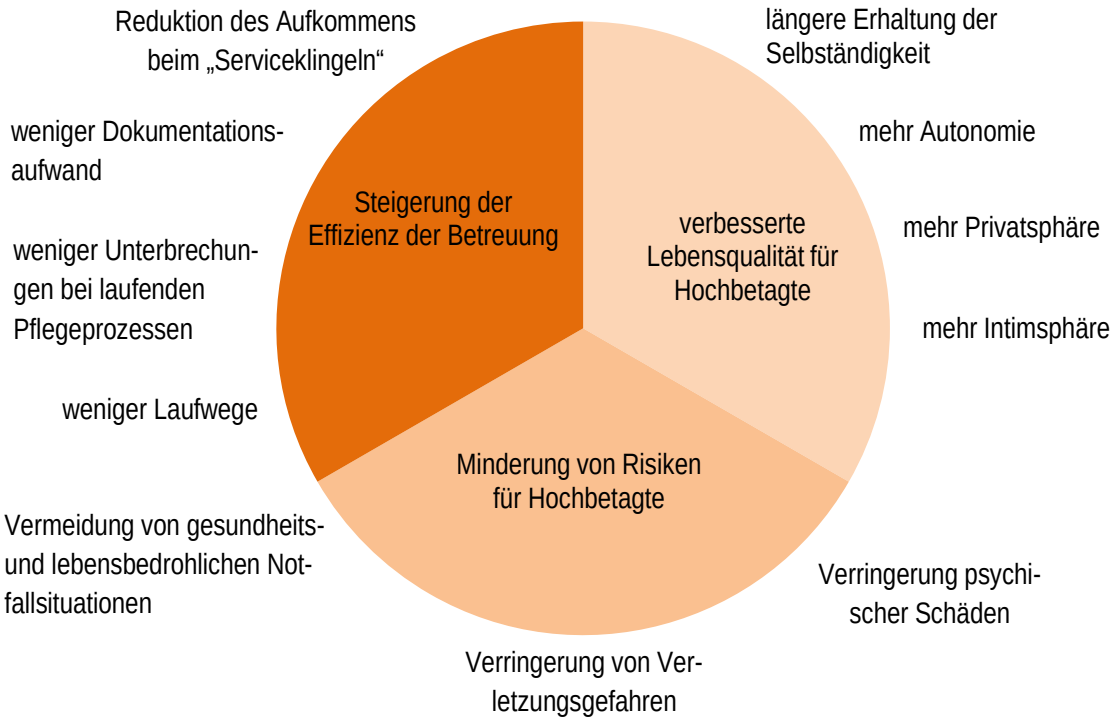
- *Zeitgewinn für Pflege- und Betreuungsmaßnahmen und bessere Konzentration auf zu Pflegende – Erhöhung der Pflegequalität*

In der Expertenrunde wurden vor allem Effizienzeffekte angesprochen, die sich durch die Einsparung von Arbeitszeit unmittelbar durch wegfallende „kleine Servicedienstleistungen“ (das sogenannte Serviceklingeln) ergeben. Aus körperlichen Handicaps bei den Hochbetagten resultieren Bedienleistungen an Gegenständen, die ohne fremde Hilfe nicht oder nur noch schwer möglich sind. Hier müssen die Pflegekräfte bisher immer einspringen. Eine Sprach-Gesten-Steuerung kompensiert diese Handicaps und macht die Selbstbetätigung durch die Hochbetagten möglich. Der intelligente Schuh kann mehr Selbständigkeit bei Mobilitätsaktivitäten von Heimbewohnern im Wohnheim oder im Heimumfeld ermöglichen. Notwendige Begleitungen durch das Pflegepersonal fallen ggf. weg. Die eingesparte Arbeitszeit kann wiederum für die Erhöhung der Effektivität des Betreuungsziels der Betreuungsarbeit eingesetzt werden, etwa durch intensivere Beschäftigung mit den Betreuten. Im Ganzen schätzen die Experten ein, kann so bis zu einer Arbeitsstunde je Pflegekraft pro Schicht eingespart werden.

Aber auch für die Angehörigen hat eine Erhöhung der Effektivität der Pflegeziele positive Effekte. In den Interviews mit ihnen wurde sichtbar, dass eine längere Erhaltung der gewohnten Lebensqualität der Hochbetagten auch für die Angehörigen Zeitersparnisse durch die Verringerung der, bereits von den Experten erwähnten, kleinen Serviceleistungen möglich sind. Darüber hinaus – und das ist wahrscheinlich das Wichtigere – würde damit ein höheres Sicherheitsgefühl bei den Angehörigen entstehen, da die Hochbetagten geringeren Risiken im Alltagsleben ausgesetzt sind.

Zusammenfassend lassen sich also die folgenden Nutzenaspekte auf der individuellen Ebene für zu Pflegende, Pflegekräfte und Angehörige ableiten, die den o. g. gesellschaftlichen Zielstellungen entsprechen.

Abbildung 6: Wirkungszusammenhänge zur Verbesserung der Effektivität der Pflege und Betreuung



2.2 Die wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Die Begleitforschung erforderte ausschließlich den Einsatz von Personalleistungen. Dafür waren zwei Mitarbeiter vorgesehen. Darüber hinaus sind für den Transfer der Mitarbeiter zu den Besprechungen im Projektteam in Ilmenau und Mannheim und zu den begleitenden empirischen Untersuchungen, die im AWO Senioren- und Pflegezentrum Ilmenau Haus „Hüttenholz“ stattfanden, Reisekosten angefallen.

Der im Projektantrag kalkulierte Arbeitsaufwand wurde in den einzelnen Arbeitspaketen und Projektphasen von uns adäquat umgesetzt. Näheres ist dem zahlenmäßigen Nachweis gemäß Nr. 19.3 NKBF 98 zu entnehmen. Es gab lediglich kleinere Verschiebungen einzelner Positionen zwischen den Projektjahren, da sich die Arbeit in einigen Arbeitspaketen verzögerte oder der zeitliche Ablauf bewusst den praktischen Erfordernissen der Projektarbeit angepasst wurde. Das geplante Gesamtbudget konnte dabei aber eingehalten werden.

Im Rahmen der Begleitforschung wurden ausschließlich technische Hilfsmittel aus dem eigenen Bestand verwendet. Dabei handelte es sich um Audio-Aufnahmetechnik, die für die Aufnahmen der Gruppendiskussionen und der mündlich-persönlichen Interviews mit den Testpersonen vor und nach den Tests des Verhaltens bei Anwesenheit einer Kamera bzw. der praktischen Erprobung des intelligenten Schuhs eingesetzt wurde. Die dazu erforderlichen Versuchsanordnungen (Kameraattrappen und Muster des intelligenten Schuhs) sowie die erforderlichen Räumlichkeiten wurden von den Forschungspartnern im Verbundprojekt gestellt. Darüber hinaus kam Audiowiedergabetechnik zur Transkription der Tonaufnahmen aus dem eigenen Bestand zum Einsatz.

Verkaufserlöse durch Veräußerungen eigener Entwicklung von Technik (Gegenstände, Versuchsanordnungen, Module, und Baumuster im Sinne Punkt 9.4. NKBF) oder Erlöse aus Lieferung von Dienstleistungen gegenüber Dritten in oder außerhalb des Projektteams fanden nicht statt und sind der Natur unseres Forschungsauftrags entsprechend auch nicht erforderlich bzw. möglich.

Die Herstellung von Gegenständen durch Dritte zur Erfüllung des Zuwendungszwecks im Sinne der Nummer 3.5. NKBF trifft ebenfalls in Bezug auf unser Teilprojekt nicht zu. Derartige Gegenstände waren nicht erforderlich. Die Begleitforschung wurde ausschließlich mit technischen Hilfsmitteln aus dem eigenen Bestand von aproxima oder aus dem Bestand bzw. im Laufe des Verbundprojektes von den Projektpartnern entwickelten technischen Gegenständen durchgeführt.

2.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Der demografische Wandel (vgl. Destatis 2015a: 11 f., Destatis 2015b) stellt unsere Gesellschaft vor die Tatsache, dass der wachsende Anteil der älteren Bevölkerung immer spürbareren Einfluss nimmt auf alle ihre Bereiche.

- *Im politischen Bereich ist die ältere Bevölkerung zur größten Wählergruppe geworden und steht im Fokus der Parteien.*
- *Die ältere Bevölkerung wird zu einer bedeutenden Konsumentengruppe. Das wachsende Bedürfnispotenzial der weitestgehend hedonistisch eingestellten Lebensstile der Generationen, die in der Zeit des wirtschaftlichen Aufschwungs der 1950er und 1960er Jahre sozialisiert wurden, wird zu einem wichtigen Wirtschaftsfaktor vor allem für die Konsumgüterhersteller und den Dienstleistungssektor.*
- *Die zunehmende Lebenserwartung, die Auflösung der traditionellen Großfamilienverbände in den letzten 80 Jahren sowie die zunehmende Mobilität der Menschen im Berufsleben haben zur Herausbildung sozialer Fürsorge- und Betreuungssysteme und entsprechender Strukturen geführt, die die Absicherung eines lebenswürdigen Alltags älterer Menschen unterstützen. Der wachsende Bedarf und Aufwand an sozialen Dienstleistungen stellen das Sozialsystem vor Herausforderungen (vgl. Nave-Herz 2010).*
- *Der Sektor der sozialen Dienstleistungen wächst. Die gesellschaftlich notwendigen staatlichen Ausgaben steigen.*
- *Insbesondere die Alterskohorten zwischen dem 45. und dem 65. Lebensjahr sehen sich vor zwei Aufgaben gestellt: Einerseits erbringen sie wirtschaftliche und familiäre Unterstützungsleistungen für ihre Kinder und andererseits tragen Sie Verantwortung für die Betreuung ihrer hochbetagten Eltern.*
- *Mit dem Wachstum der älteren Bevölkerungsanteile steigen Unfall- und Gesundheitsrisiken. Diese führen zur Ausweitung der medizinischen Vorsorge- und Behandlungsleistungen sowie zu einem steigenden Medikamentenbedarf. Das sind wachsende Herausforderungen für das Gesundheitssystem.*
- *Körperliche und geistige Defizite, zum Beispiel Einschränkungen des Bewegungsapparats, des Seh- und Hörvermögens und Erscheinungen von Demenz, die sich mit zunehmendem Alter häufig einstellen, erfordern hohe Standards der Barrierefreiheit von privaten Wohnbereichen, des Wohnumfelds, öffentlicher Räume, Verkehrsmittel und -einrichtungen bis hin zur einfachen Sprache und Bedienbarkeit von Gegenständen.*

Das Verbundprojekt „BUNDSCHUH – Bedienkonzepte und Schnittstellen im realen Wohnumfeld hochbetagter Nutzer“ leistet einen wichtigen Beitrag, um auf der Grundlage modernster digitaler Technologien gesundheitlich und altersbedingte Defizite und damit verbundene Barrieren im Lebensalltag älterer Menschen zu reduzieren.

Durch nutzerfreundliche Bedienkonzepte, wie ein sprach-gestengesteuertes Bediensystem für Alltagsgegenstände im Wohnbereich und ein auf Vibrationssignalen basierendes Navigations- und Orientierungssystem im Schuh (intelligenter Schuh), werden zwei Mensch-Technik-Schnittstellen entwickelt, die eine aktive Gestaltung der o. g. Veränderungsprozesse ermöglichen. Damit können individuelle und gesellschaftliche Aufwendungen und Kosten reduziert und die Lebensqualität älterer Menschen und ihrer Angehörigen erhalten oder verbessert werden. Das Erforschen derartiger Technologien und davon abgeleiteter Applikationen ist aus o. g Gründen wichtig und notwendig. Über die Angemessenheit der dafür durchgeführten Arbeiten können wir uns aus fachlicher Sicht kein Urteil erlauben. Dies obliegt den Verbundpartnern, die für die entsprechenden Arbeitspakete verantwortlich zeichnen.

Die Notwendigkeit der Begleitforschung in solchen frühen Forschungs- und Entwicklungsphasen derartiger Technologien und Applikationen resultiert aus folgendem Umstand: Grundsätzlich ist davon auszugehen, dass sich der Erfolg neuer Technologien und darauf aufbauender Anwendungen letztendlich am Markt entscheidet. Voraussetzungen dafür sind die Auswahl der richtigen Zielgruppen (potenzielle Kunden), die Akzeptanz neuer Technologien in den Zielgruppen, die Lösung eines echten Kundenproblems (Bedürfnis), eine möglicherweise überlegene Substitution bestehender Lösungen und die Handhabbarkeit (Usability) des neuen Produkts. Eine derartige Begleitforschung richtet den Blick der FuE-Partner von Anfang an auf die Merkfähigkeit der Entwicklungen. Auch wenn in solchen Frühen Phasen der FuE noch keine konkreten Marktpotenziale und Vermarktungsstrategien abgesteckt werden können, kann zumindest ein erfolgversprechender Entwicklungspfad neuer Technologien und Applikationen abgeschätzt und damit der Blick der Entwickler auf den Markt gelenkt werden. Diese Aufgabe wurde in der Begleitforschung gelöst. Die empirische Begleitforschung lieferte wichtige Erkenntnisse über die Akzeptanz der eingesetzten Technologien. Es wurden Handlungsempfehlungen für die Anforderungen an die FuE-Arbeit am sprach-gestengesteuerten Bediensystem und am intelligenten Schuh abgeleitet, Informationen zur Usability im Rahmen der Möglichkeiten der Tests mit Mockups und Mustern extrahiert, die möglichen Zielgruppen identifiziert und die Vor- und Nachteile des Einsatzes dieser Applikationen für die Zielgruppe und deren personellen Umfeldes abgeschätzt.

Die Angemessenheit des Aufwandes für die empirische Begleitforschung im Rahmen des Teilvorhabens „Evaluation des Verbundprojektes und Untersuchung der Akzeptanz von Bedien-, Orientierungs- und Überwachungssystemen durch die Nutzer“ begründet sich durch die Spezifik der Zielgruppe. In der Markt- und Sozialforschung sind insbesondere hochbetagte Menschen über 85 nur selten Gegenstand von empirischen Erhebungen, wie zum Beispiel mündlich-persönlichen, telefonischen oder Online-Befragungen. In standardisierten Befragungen werden nicht selten die Altersgruppen über 70 Jahren aus Validitätsgründen ausgespart. Das Interview ist ein sozialer Prozess zwischen Forscher, Interviewer und Proband. In der Interaktion zwischen diesen Akteuren wirkt ein Sender-Empfänger-Prozess, der Abweichungen zwischen der gesendeten Information durch den Forscher bzw. Interviewer, dem Verstandenen und der Reaktion des Empfängers impliziert. Bei älteren Menschen, insbesondere bei Hochbetagten, werden nicht selten Probleme mit der Validität der gegebenen Antworten beobachtet. Damit werden derartige empirische Erhebungsmethoden mit Blick auf das zu erzielende Ergebnis nur eingeschränkt nutzbar. Ursachen dafür sind im Alter auftretende Defizite, wie verringertes Hörvermögen, verringerte kognitive Leistungsfähigkeit beim Verstehen und Verarbeiten von Informationen, die Zunahme von Konzentrationsschwächen und die Verringerung der Aufmerksamkeitskurve (schnelles Ermüden). Im Besonderen tritt bei dem im Rahmen dieser Begleitforschung zu lösenden Forschungsproblem hinzu, dass die Akzeptanz und Nutzbarkeit von Technologien empirisch untersucht werden sollte, für die bei der Zielgruppe der älteren Menschen und Hochbetagten mit keinen sozialisationsbedingten Voreinstellungen (Attitüden) zu rechnen ist. Damit ist die Vorstellungskraft der Probanden in Bezug auf die nur in Form von Mockups und Mustern verfügbaren Applikationen eingeschränkt.

Um sehr nahe an der Vorstellungswelt älterer Menschen und insbesondere Hochbetagter zu arbeiten und die beschriebenen Validitätsprobleme möglichst zu vermeiden, wählten wir ein multimethodisches Herangehen auf der Basis qualitativer Erhebungsmethoden. Dabei konnten wir auf unsere langjährige Erfahrung aus der Handicapgruppenforschung zurückgreifen. Die genaue Darstellung des betriebenen Forschungsaufwands ist auf den Seiten 9 ff., 13 ff., 16 ff. und 22 ff. bereits vorgenommen worden. Wir verweisen an dieser Stelle darauf.

Bewusst haben wir auf quantitative Erhebungsmethoden, wie zum Beispiel geschlossene Fragebögen mit Antwortvorgaben, verzichtet, da besonders hier die oben beschriebenen Validitätsabstriche in Kauf genommen werden müssen.

2.4 Fortschritte auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen (Literaturanalyse)

2.4.1 Literaturanalyse zur Videoüberwachung

Da ein wesentlicher technologischer Angelpunkt des Sprach-Gesten-Steuerungssystems zur Bedienung von Alltagsgegenständen im Wohnbereich älterer Menschen die Videoerfassung der Gesten der Nutzer ist, haben wir parallel zur empirischen Evaluation eine Analyse einschlägiger Studien durchgeführt. Schwerpunktthemen, von denen wir uns wichtige Hinweise auf das zu erwartende Verhalten der Nutzer von Sprach-Gesten-Steuerungssystemen versprachen, waren:

1. die Videoüberwachung öffentlicher Räume
2. die videogestützte Mitarbeiterüberwachung
3. die Videoüberwachung in privaten Räumen
4. Untersuchungen zur Usability der Gestensteuerung in der Marktforschung

Die Überwachung öffentlicher Räume (Einkaufszentren, Straßen und Orte des öffentlichen Nahverkehrs) durch Videoüberwachungssysteme ist für viele Menschen zur Normalität geworden (Koskela 2000, Apelt/Möllers 2011), Das öffentliche Bewusstsein für Videoüberwachung in öffentlichen Räumen nimmt stetig zu – nicht nur in Ländern wie Großbritannien oder den USA (Hempel/Töpfer 2004). Wesentliche Diskurse betreffen den Effekt von Videoüberwachung auf die Kriminalitätsrate, Verhaltensänderungen und Emotionen von Individuen und mögliche gesellschaftliche Folgen. Abrissartig stellen wir hier die zentralen Schlussfolgerungen unserer Literaturanalyse dar.

- *Die Effektivität öffentlicher Videoüberwachung:*

  Die Videoüberwachung ist stark kontextabhängig. In kleinen und gut abgrenzbaren Bereichen, z. B. Parkhäusern, ist der Einsatz öffentlicher Videoüberwachung effektiver als in großen und schlecht einsehbaren Bereichen. Ein Rückgang der Kriminalität, der auf die Implementierung von Videoüberwachungssystemen zurückzuführen ist, ist schwierig nachzuweisen. Der Einsatz von Videoüberwachung als präventive Maßnahme ist zur Verhinderung von Eigentumsdelikten besser geeignet als zur Verhütung von Gewalttaten.

- *Akzeptanz und Emotionen*

  Öffentliche Videoüberwachung wird von der Bevölkerung eher dann akzeptiert, wenn sie mit Sicherheitsargumenten begründet werden kann, als wenn sie die Privatsphäre beschneidet und in das nähere soziale Umfeld eindringt (vgl. Helten/Fischer 2004). Laut Koskela ist ein oft genanntes positives Gefühl das Empfinden erhöhter Sicherheit. Öffentliche Videoüberwachung kann aber

auch negative Gefühle hervorrufen. Eine Überwachung kann zu einem Schuldbewusstsein führen, obwohl dafür kein Grund besteht. Andere negative Gefühle, wie Verlegenheit, Ruhelosigkeit oder Irritation, können ebenso durch Überwachung ausgelöst werden (vgl. Koskela 2000: 257). In der Studie von Helten und Fischer (2004) zeigt sich eine steigende Skepsis, je näher die öffentliche Überwachung an die engere Umgebung rückt. Weitere Ängste in diesem Zusammenhang sind der Datenmissbrauch und/oder die Verletzung der Grund- oder Datenschutzrechte (vgl. Ellis et al. 2013). Der Verlust der Anonymität in der Öffentlichkeit durch öffentliche Videoüberwachung ist für Slobogin (2002) ein weiterer Einschnitt in die Privatsphäre. Eine weitere Verhaltensänderung, vermutet Zehnder (2011), bestünde bei einem erhöhten Sicherheitsgefühl in einer Abnahme der Zivilcourage und eigener Präventionsmaßnahmen sowie im Rückgang des Zusammenhaltes in der Gesellschaft.

- *Sicherheit versus Panoptismus:*

  Eine Übertragung des Panoptikum-Konzepts – einst für den Bau von Gefängnissen entwickelt – auf die öffentliche Videoüberwachung, scheint nahezuliegen. Der Beobachtete wird sichtbar, während der Beobachter unsichtbar bleibt, wodurch eine Selbstdisziplinierung des Beobachteten ausgelöst wird, um den Normen und Vorstellungen des Beobachters zu genügen (vgl. Apelt/Möllers 2011). Besonders zu erwähnen ist hier das Forschungsprojekt „Urbaneye", welches von 2001 bis 2004 in Österreich, Dänemark, Deutschland, Großbritannien, Ungarn, Norwegen und Spanien durchgeführt wurde (vgl. Hempel und Töpfel 2004). Hinweise eines Selbstdisziplinierungseffekts äußern sich vor allem bei Jüngeren. Im Gegensatz dazu fühlen sich ältere Menschen weniger von Überwachungssystemen in ihren Verhaltensweisen affektiert (vgl. Hempel/Töpfer 2004).

- *Diskriminierung und Ausgrenzung:*

  Zwei Drittel der Befragten des Projekts „Urbaneye" sind der Meinung, „wer nichts zu verstecken hat, hat durch öffentliche Videoüberwachung nichts zu befürchten" (Hempel/Töpfer 2004: 8). Mehrere Studien zeigen jedoch, dass Vorurteile beim Überwachungspersonal als Stütze zur Interpretation und Einordnung von Verhaltensweisen bestimmter Gruppen dienen können. In diesen Fällen führt eine videogestützte Überwachungspraxis zur Verstärkung und Verfestigung von Diskriminierung, Stigmatisierung und Förderung der Ausgrenzung bestimmter (Rand)gruppen der Gesellschaft (vgl. u.a. Lin 2006, Zehnder 2011, Apelt/Möllers 2011, Helten/Fischer 2003, Heger 2010).

- *Missbrauch und Zweckentfremdung von Videomaterial:*

  Nicht nur Diskriminierung und Ausgrenzung kann eine Folge von Videoüberwachung sein. Durch die Speicherung und Aufzeichnung von Bildmaterial sowie durch den technologischen Fortschritt von hochauflösenden Farbkameras und Gesichtserkennungssoftware und die Verbreitung von öffentlichen Videoüberwachungssystemen steigt das Risiko für Missbrauch und Zweckentfremdung (vgl. Helten/Fischer 2004, Cavallaro 2007). Immer wieder geraten beispielsweise im US-amerikanischen Raum pikante Videoszenen, die versehentlich bei öffentlicher Videoüberwachung aufgezeichnet wurden, in Umlauf (Greer 2012).

In der Personalforschung wurden schon frühzeitig die Effekte elektronischer Überwachung, zu der auch Videoüberwachung gehört, tiefergehender untersucht (vgl. Smith et al. 1992, Chalykoff/Kochan 1989). Auch wenn die öffentliche Videoüberwachung von der Bevölkerung durchaus positiv wahrgenommen wird, so haftet der Mitarbeiterüberwachung eher ein negativer Beigeschmack an (Loch et al. 1998). Das Dilemma besteht offensichtlich in dem Balanceakt zwischen dem Ausgleich der Informationsasymmetrie des Arbeitgebers und der Wahrung des

Rechts auf Privatsphäre des Arbeitnehmers (Brown 2000). Die Autoren Bain und Taylor (2000) warnen jedoch davor, den Mitarbeitern eine allzu passive Rolle zuzuschreiben, die lediglich die Disziplin und Kontrolle des Vorgesetzten internalisiert. Damit ist die panoptische Perspektive nicht blind auf die Arbeitnehmer-Arbeitgeber-Beziehung zu übertragen. Trotzdem ist eine Internalisierung der Normen der Autorität durch die Mitarbeiterüberwachung und somit das Auftreten panoptischer Effekte nicht völlig auszuschließen, sodass die vom Arbeitgeber gewünschten sozialen Reaktionen auftreten (Brown 2000). Das Mitarbeiterverhalten kann sich in Adaption an die gewünschten Normen der überwachenden Autoritätsperson äußern (Brown 2000). Selbstentfremdung (Zuboff 1988, zitiert nach Brown 2000), Verlust der Kreativität (Martin/Freeman 2003) oder infantiles Verhalten der Mitarbeiter sind zurückzuführen auf eine paternalistische Beziehung zum Vorgesetzten (Martin/Freeman 2003) und könnten Folgen des adaptiven Verhaltens sein. Wird jedoch der Balanceakt erfolgreich bewerkstelligt, so kann Mitarbeiterüberwachung zur gewünschten Produktivitätssteigerung und Verringerung der Arbeitsentfremdung führen.

Eine öffentliche Thematisierung der Überwachung einer Person im privaten Wohnbereich mithilfe der Microsoft Kinect unabhängig vom Hersteller Microsoft, insbesondere bezüglich der technischen Möglichkeiten der Kinect, fand bisher nicht statt. In diesem Bereich sind zwar zahlreiche Artikel zu finden, in denen die Verwendung der möglicherweise erhobenen Daten durch Microsoft kritisiert wird, da diese Artikel sich aber ausschließlich auf die Verwendung der Kinect mit der Spielekonsole Xbox One und auf die damit verbundene Datenerhebung, -verarbeitung und -verwendung durch Microsoft beziehen, konnten aus dieser öffentliche Debatte keine unmittelbaren Rückschlüsse für das Forschungsprojekt BUNDSCHUH abgeleitet werden. Für unser Forschungsprojekt könnte die öffentliche Debatte um die MS Kinect dennoch einige wichtige mittelbare Informationen liefern. In der öffentlichen Debatte spiegelten sich in den sozialen Medien bereits zwei primäre Einstellungen wieder: Zum einen gibt es die Gruppe der „Unbekümmerten“, die für den persönlichen Komfort auch ihre Privatsphäre „opfern“, zum anderen gibt es die Gruppe der „Besorgten“, die den Schutz ihrer Privatsphäre in den Vordergrund stellen und, wenn nötig, auf den Komfort verzichten. Interessant sind die Ergebnisse der „DIVSI-Milieu-Studie zu Vertrauen und Sicherheit im Internet“ (SINUS 2012). Hier kommen die Autoren zu dem Schluss: „Wer sich nicht auskennt, fordert Schutz, und wer sich sicher fühlt, wünscht Freiheit“ (DIVSI 2012: 157). Zu den Erkenntnissen dieser Studie gehört, dass die Zielgruppe der Hochbetagten noch überwiegend zu den „digitalen Außenseitern“ gehört, welche wenig sensibilisiert und bezüglich neuer Technologien verunsichert ist. Diese Zielgruppe fordert (digitalen) Schutz – eine Tendenz, die mit der nachfolgenden, stärker sensibilisierten Generation der „digital Immigrants“ sogar noch zunimmt. Beide Gruppen delegieren die Verantwortung des Datenschutzes daher an Dritte, bevorzugt an den Staat. Kann – in Bezug auf das Projekt BUNDSCHUH – dieser Datenschutz hinreichend und verständlich gewährleistet werden, reduziert sich somit auch die Verunsicherung und damit ein wichtiges Hemmnis für eine grundlegende Akzeptanz.

In mehreren Marktforschungsstudien zu unterschiedlichen Produktansätzen wurden Aspekte der Usability von Sprach-Gesten-Steuerungen untersucht.

> *Die Forschungsarbeit der YOUSE GmbH konzentriert sich auf die Akzeptanz und die Entwicklung gestengestützter Bedienkonzepte. Grundsätzlich ist die Gestensteuerung als Bedienkonzept für Nutzer intuitiv verständlich. Voraussetzungen für eine hohe Akzeptanz gestengesteuerter Bedienelemente sind eine benutzerfreundliche Bedienbarkeit und sinnvolle Funktionalität. Nedopil (2011a) identifiziert geeignete und ungeeignete Rahmenbedingungen für den Einsatz eines gestengesteuerten Bedienkonzeptes. Gestensteuerung ist dann sinnvoll einsetzbar, wenn sich Geräte nur mit großem physischen Aufwand bedienen lassen, sich nicht in unmittelbarer Nähe befinden oder wenn durch die Bedienung ein Verletzungsrisiko besteht sowie aus Gründen der Hygiene. Ebenfalls sinnvoll ist der Einsatz von Gestensteuerung, wenn eine Sprachsteuerung nicht möglich ist. Ungeeignet ist ein gestengesteuertes Bedienkonzept dann, wenn Geräte ohne Steue-*

rung genutzt werden können oder wenn eine Steuerung durch Texteingabe oder Sprachkommandos sinnvoller ist. Darüber hinaus ist aus Nutzersicht eine ganzheitliche Bedienbarkeit wünschenswert. Eine Bedienbarkeit wird durch technische Rahmenbedingungen, z. B. durch ein schnelles Feedback, Lernfähigkeit oder hohe Fehlertoleranz, durch sichtbare Hardware, z. B. Sensoren und intuitive Handhabung erleichtert. Abschrecken könnten hohe Anschaffungskosten, ein erhöhter Energieverbrauch durch den ständigen Betrieb, Angst vor Funkwellen und Strahlenbelastung oder aufwendige Installation der Gerätschaften sowie fehlerhafte Gestenerkennung.

Im Projekt Smart Senior, welches vom Bundesministerium für Bildung und Forschung gefördert und mit 28 Partnern aus Wirtschaft und Forschung durchgeführt wurde, wurden „altersgerechte Assistenzsysteme“ untersucht und erprobt. Die Akzeptanzanalyse ergab, dass ältere Menschen bereit sind, auch neue Technologien zu nutzen, wenn ihnen diese einen deutlich Mehrwert bieten. Für die Akzeptanz ist von entscheidender Bedeutung, dass die Technologien auf die Bedürfnisse und Anforderungen der älteren Menschen zugeschnitten und einfach zu bedienen sind. Weiterhin sollten die Gestaltung der Dienste, die mithilfe neuer Technologien verrichtet werden, nicht stigmatisierend wirken und Fragen der Datensicherheit und des Datenschutzes transparent gewährleistet (vgl. Balasch 2013: 14) sowie Vertrauen der Nutzer zum Dienstleister, zu den Technologien und Dienstleistungen vorhanden sein.

2.4.2 Literaturanalyse zu Navigationssystemen

Auf der Grundlage einer Recherche im Förderportal des Bundes (vgl. BMBF 2017) haben wir 25 FuE-Projekte identifiziert, die für unsere Begleitforschung aufschlussreich sind (vgl. Abbildung 7). Davon wurden 10 durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung, 8 durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie und 4 durch die Europäische Kommission gefördert. In 7 Projekten wurden Systeme zur Smartphone-Nutzung, in 11 zur Nutzung mit mobilen Endgeräten – meist Tablets und Smartphones – und in 5 Navigationssysteme für Textilien entwickelt. Die Adressaten der Projekte sind vielfältig. Jeweils 10 Projekte wurden für die Bedürfnisse von Senioren und für mobilitätseingeschränkte Personen, z. B. Blinde, Gehörlose oder anders körperlich behinderte Personen, konzipiert. Die restlichen Projekte streben ein „Design for all“ an.

Abbildung 7: Übersicht über FuE-Projekte mit thematischem Bezug zu BUNDSCHUH

Projekt	Förderung	Zweck	Trägerelement
Nadine – Navigation im öffentlichen Personenverkehr mit modularer Dienste-Architektur zur Einbindung in externe Applikationen	BMWI 01.11.2012–30.10.2015	Entwicklung von räumlich und inhaltlich übertragbarer und fahrpreissensitiver Tür-zu-Tür-Navigation im ÖPV	Smartphone
M4guide – mobile multi-modal mobility guide	BMWI 12/2012–05/2016	Tür-zu-Tür-Navigation für Fußwege, im öffentlichen Nahverkehr und Orientierung in Bürgerämtern	Smartphone

(Fortsetzung Abbildung 7)

Projekt	Förderung	Zweck	Trägerelement
InMoBS – Innerstädtische Mobilitätsunterstützung für Blinde und Sehbehinderte	BMWI 01.01.2012–31.12.2014	Fußgänger-Navigation	mobiles Endgerät
AMPER – Betreuter Anschluss mit persönlicher Navigation	BMWI, Land Sachsen-Anhalt 2013–2015	Tür-zu-Tür-Navigation für Fußwege, im öffentlichen Nahverkehr, v. a. in ländlichen Gebieten in Sachsen-Anhalt	Smartphone
DYNAMO – Dynamische, nahtlose Mobilitätsinformation	BMWI 2013–2015	Indoor-Ortung, Routing, Navigation	mobile Endgeräte
Mobile – Mobil im Leben	BMWI 01.04.2013–31.03.2016	ÖPNV-Navigation	
PRÖVIMM – P+R und ÖPNV-Informationen machen Menschen mobil	BMWI 01.06.2013–30.11.2015	ÖPNV-Navigation	Smartphone, Autonavigationssystem
inDAgo – Regionale Alltags- und Freizeitmobilität für Senioren am Beispiel der Stadt Darmstadt	BMBF 01.11.2011–31.10.2014	Konfigurator für Termine, Adressen etc., Helfernetzwerk, weiteres Ziel: Punkt-zu-Punkt-Navigation im Straßenverkehr im ÖPNV und zu Fuß, HelpMe-Funktion (Notfall-Hilfe)	Smartwatch und Mäppchen ähnlich zur Geldbörse
SIMBA/GENIAAL MOBIL	BMBF 01.02.2012–31.01.2015	Navigation über die gesamte Mobilitätskette	mobiles Endgerät
Namo – Nahtlose, barrierefreie Informations- und Mobilitätsketten für ältere Menschen	BMBF 01.02.2012–31.01.2015	Navigation über die gesamte Mobilitätskette	mobiles Endgerät (Android-Betriebssystem)
PASSAge – Personalisierte Mobilität, Assistenz und Servicesysteme in einer alternden Gesellschaft	BMBF 01.08.2012–31.07.2015	altersgerechtes Assistenzsystem zur Förderung der individuellen Mobilität mit Unterstützung zu Sicherheit, Komfort und Gesundheit	mobiles Endgerät
PASS – Personalisiertes Assistenzsystem und Services für Mobilität im hohen Alter	BMBF 01.02.2012–31.07.2014	mobiles Orientierungssystem für Reisende	mobiles Endgerät

(Fortsetzung Abbildung 7)

Projekt	Förderung	Zweck	Trägerelement
WikiNavi – Navigationssystem für Personen mit körperlichen Behinderungen in urbanen Gebieten mit vielfältigen Mobilitätsangeboten	BMBF 01.12.2011–30.11.2014	Fußgänger-Navigation, Outdoor- und Indoor-Navigation für Senioren, Familien mit Kinderwagen, Rollator-Nutzer und Rollstuhlfahrer	mobiles Endgerät
Vibe – Virtueller Begleiter	BMBF 01.02.2012–31.01.2015	Assistenz für ältere Menschen zur Steigerung der eigenständigen Mobilität durch Fußgänger-Navigation und im ÖPNV	mobiles Endgerät
ACCESS – Barrierefreier Tourismus für Senioren	BMBF 01.02.2012–31.01.2015	Navigationshilfen für ältere Menschen mit oder ohne Einschränkungen	mobiles Endgerät
COMPAGNO	BMBF 01.03.12–28.02.15	personalisierte Begleitung, Reise-Navigation	mobiles Endgerät
SMART-WAY	Europäische Kommission 2012 abgeschlossen	Fußgänger-Navigation, ÖPNV	Smartphone
SESAMONET – SEcure and SAfe MObility NETwork	Europäische Kommission 2013 abgeschlossen	Befragung zur Akzeptanz von Audio-Navigation	Smartphone, Headset, Blindenstock mit Transponder (Fußgängerpfad mit RFID)
ASK-IT – Navigationssysteme der Zukunft	Europäische Kommission	Fußgänger-Navigation	Mobiles Endgerät
NAPA – Navigationsempfänger Chipsatz für Personennavigation mit Anwendungen bei erhöhter Genauigkeit	BMBF 19.10.2010–30.06.2014	Personennavigation	Smartphone
ASSIST	BMWI 2016 Markteinführung	Indoor-Navigation	
Autonomous System for Mobility Orientation, Navigation and Communication	Europäische Kommission 01.10.1994–03.09.1997		Rucksack
Lechal	-	Navigation	Schuhsolen
CabBoots, München	-	Navigation	Schuhe
Shoe me the Way, Bauhaus-Universität Weimar	-	Navigation	am Schuh montierter Mikrocontroller

In dem Konsortialprojekt „GOAL. Growing older, staying mobile: Transport needs for an ageing society“ (Millonig et al. 2012) wurden auf der Basis von quantitativen und qualitativen Analysen fünf Profiltypen für die ältere Bevölkerung entwickelt.

1. “Fit as fiddle”:
   Sie sind meist zwischen 50 und 60 Jahre alt, verheiratet oder leben in einer Partnerschaft, haben eine sehr gute körperliche und geistige Gesundheit, sind häufig berufstätig, von ihrem Auto abhängig, haben ein hohes Einkommen und hohe Bildung, verfügen über soziale Netzwerke und wenden Technologien regelmäßig an.
2. “Hole in the Heart”:
   Sie sind meist zwischen 50 und 75 Jahren alt, in ihren Aktivitäten und in ihrer Mobilität sehr eingeschränkt, da sie unter chronischen Krankheiten leiden. Sie sind oft sozial desintegriert, das Auto ist das bevorzugte Fortbewegungsmittel, die Verwendung von Technologien ist sehr unterschiedlich, auf eine barrierefreie Umwelt sind sie angewiesen.
3. “Happily Connected”:
   Sie sind meist zwischen 60 und 75 Jahre alt, meist verheiratet oder leben in einer Partnerschaft, pflegen einen starken sozialen aktiven Lebensstil, haben eine gute Gesundheit und ein aktives soziales Leben, sie präferieren die Fortbewegung mit dem Auto, die Nutzung von Technologien hängt von ihrer Erfahrung mit dieser ab.
4. “An Oldie but a Goodie”:
   Sie sind hauptsächlich weiblich und zwischen 80 und 90 Jahre alt, leben meist in Single-Haushalt, sind meist gesund und wenig eingeschränkt, sie gestalten ihr alltägliches Leben eigenständig, gehen bevorzugt zu Fuß und benötigen eine barrierefreie Infrastruktur.
5. “The Care-Full”:
   Sie sind meist 85 bis 100 Jahre alt, eher weiblich, meist verwitwet und verfügen über ein geringes Einkommen. Sie leiden oft unter Parkinson, Alzheimer oder Demenz. Oft haben sie ein schlechtes Seh- und Hörvermögen, oft sind sie auf die Unterstützung und Pflege angewiesen und führen meist passive Aktivitäten zu Hause aus, z. B. Zeitung lesen, Radio hören oder fernsehen.

Hefter und Götz (2013) identifizieren drei Formen der Bewältigung der alltäglichen Herausforderungen:

1. Die aktive Bewältigung zeigt sich darin, dass Personen ihr Leben aktiv meistern und genau wissen, welche Hilfe sie benötigen und wo sie sie finden. Sie reflektieren sich selbst und zeigen eine erhöhte Aufmerksamkeit und Vorsicht (kognitive Kompensation). Sie nutzen ihre eigenen Ressourcen und die ihres sozialen Netzwerks, d. h. sie kontrollieren aktiv ihre Lebensumstände und reagieren, wenn sie nicht die Hilfe erhalten, die sie benötigen. Zum Beispiel ziehen sie in eine funktionalere Wohnumgebung und nutzen die Hilfe von Familie, Freunden, Nachbarn etc., d. h. sie bewältigen ihren Alltag problemorientiert. Sie passen ihr Verhalten an die körperliche oder geistige Verfassung an. Sie wählen beispielsweise weniger dichtbefahrene Routen (verhaltensmäßige Kompensation). Eine andere Form der Kompensation ist die motivationale Kompensation, bei der die Personen die Anstrengung als Ausgleich zu den bemerkten Schwächen bewusst erhöhen.

2. Wenn hochbetagte Menschen ein adaptives Verhalten zeigen, erlauben sie anderen, ihre Bedürfnisse zu definieren und beteiligen sich nur anteilig an der Situationsbewältigung. Oft resultiert dieses Verhalten aus der Konfliktvermeidung mit ihren Angehörigen bzw. dem Versuch, ihre Angehörigen zufrieden zu stellen. Ein Teil hochbetagter Menschen der passen sich an alle Angebote der Altenbetreuung an und

vermeiden Beschwerden. Andere nehmen die Angebote dankend an. Das heißt, körperliche und geistige Defizite werden durch die Hilfe anderer Personen bewältigt. Sozial-organisatorische Kompensationsstrategien werden hier angewendet. Ein weiteres adaptives Verhalten zeigt sich in der Änderung der Präferenzen hochbetagter Menschen die angepasst werden an deren Lebensumstände (emotionale Kompensation).

3. Die passive Bewältigung der Lebensumstände ist meist der schlechten körperlichen Verfassung geschuldet. Diese Menschen brauchen ständige Betreuung und Pflege. Sie sind nicht mehr in der Lage, selbst Entscheidungen zu treffen, sodass sie die Verantwortung an entsprechende Personen abgeben, z. B. an Familien oder Pflegekräfte. Sie haben ihre Unabhängigkeit aufgegeben, suchen nach sozialer Unterstützung und sehen keine Chancen, selbst aktiv zu werden.

Diese drei Bewältigungsformen oder -strategien Hochbetagter lassen Überlegungen für Anwendungsszenarien des intelligenten Schuhs zu. Diese sowie die weiter oben bereits aus anderen FuE-Projekten bekannten Anwendungsmöglichkeiten und -grenzen von Navigationssystemen wurden im empirischen Teil unserer Begleitforschung evaluiert (vgl. Seite 22 ff.).

2.5 Nutzen und Verwertbarkeit des Ergebnisses (Verwertungsplan)

Wirtschaftliche Erfolgsaussichten für das Teilvorhaben von aproxima sind in Bezug auf den FuE-Gegenstand des Verbundprojekts nicht darstellbar. Das Teilprojekt „Evaluation des Verbundprojektes und Untersuchung der Akzeptanz von Bedien-, Orientierungs- und Überwachungssystemen durch hochbetagte Nutzer“ liefert wichtige Erkenntnisse für die Optimierung der technischen Systeme. Es schafft damit Grundlagen für die Erfolgschancen der Verwertung des sprach-gestengesteuerten Bediensystems von Alltagsgegenständen im Wohnbereich älterer Menschen sowie für den intelligenten Schuh im Wohnumfeld. An der Verwertung ist aproxima als Begleitforscher jedoch nicht beteiligt. Die Verwertung der Forschungsergebnisse zur Sprach-Gesten-Steuerung und zur Navigation mittels eines intelligenten Schuhs ist für uns als sozialwissenschaftliche Begleitforscher nicht Gegenstand unserer Verwertungsinteressen. Insofern ist die Erstellung eines Verwertungsplans bezogen auf den FuE-Gegenstand nicht möglich.

Für aproxima ergeben sich folgende Verwertungsmöglichkeiten, für die der Natur der Sache nach allerdings kein Verwertungsplan erstellt werden kann:

1. Die Möglichkeit den eignen Kenntnisstand zum Thema Mensch-Maschine-Schnittstellen auszuweiten.
2. Die thematische Profilierung im Rahmen des Projekts unterstützt unsere Strategie, im Markt der Begleitforschung zu den Themen Industrie 4.0, Mensch-Maschine-Schnittstellen, Innovationsmarktforschung und Alten- sowie Handicapgruppenforschung weiter Fuß zu fassen und unseren Auftragsbestand diesbezüglich auszubauen.
3. Damit sollen weitere Kundenzielgruppen erschlossen werden.
4. Mithilfe des Projekts verfeinern wir unsere methodischen Werkzeuge zur Akzeptanz- und Usability-Untersuchung in den Zielgruppen älterer Menschen und Menschen mit Behinderung.

Für unsere Partner – die TU Ilmenau und die AWO – schaffen wir Grundlagen für die wissenschaftliche und praktische Verwertung der Projektergebnisse in Form von Forschungsteilergebnissen zur Akzeptanz der modernen Technologien im Alter. Geleichzeitig entstehen Erfahrungen und Empfehlungen für die praktische Umsetzung moderner Techniken in der Arbeit im Pflegebereich. Dies verbessert die wissenschaftlichen und technischen

Erfolgsaussichten unserer Partner. Unsere Forschungsergebnisse sind darüber hinaus für alle im Pflegebereich engagierten Akteure nutzbar.

Es ist eine unmittelbare Anschlussfähigkeit im Pflegemarkt und in der wissenschaftlichen Forschung, speziell auf den Gebieten Mensch-Maschine-Schnittstellen, Technikakzeptanz, Usability digitaler Technologien, Technikfolgeabschätzung, Pflegewirtschaft, soziale Arbeit, Altenforschung und Handicapgruppenforschung gegeben.

Die im Laufe des Projekts angesammelten und erweiterten methodischen und inhaltlichen Erfahrungen und Kenntnisse in der Forschung über ältere Menschen sollen systematisch ausgearbeitet werden. Dazu wird ein Referenzblatt entwickelt und mit einer Pressemitteilung zum Abschluss des Projekts sowie entsprechender Verlinkungen zur den Forschungsdatenbanken des BMBF unser Kompetenzportfolio am Markt sichtbar erweitert.

Da sowohl die Bearbeitung des Themas des o. g. Teilprojekts als auch die Methodik der Untersuchung an hochbetagten Probanden wenig erforscht ist, erwarten wir hier ein Alleinstellungsmerkmal in der privatwirtschaftlich verfassten Forschungslandschaft.

Die methodischen Erkenntnisse werden so aufgearbeitet, dass sie im Rahmen der Dozententätigkeit von Dr. Kreikenbom in Lehrveranstaltungen für Studenten und Führungskräfte angeboten werden können.

Aus der Arbeit zur Begleitforschung im Rahmen des Verbundprojekts BUNDSCHUH ergeben sich weiterführende Forschungsfragen für zukünftige Projekte und damit die Anschlussfähigkeit der Projektergebnisse an zukünftige Vorhaben.

- *Die erzielten Ergebnisse der Begleitforschung sind Grundlage für weiterführende konkretere Untersuchungen zu quantifizierbaren Nutzenpotenzialen für Individuum und Gesellschaft auf der Basis des Testeinsatzes von funktionsfähigen Prototypen der Technik. Diese Tests könnten in einem Praxislabor (präparierte Wohnung) oder in dafür vorgesehen reale Testräumen (Pflegeheim, Wohngebiet) erfolgen.*
- *Die im Rahmen der Begleitforschung angewandten empirischen Erhebungsmethoden in Form eines Methodenmixes, bestehend aus Home-Use-Test, ethnographischer Methode und Wizard-of-Oz-Test basierend auf qualitativen Erhebungsmethoden (Gruppendiskussionen, Leitfadeninterviews Face-to-Face und CATI), sollten durch Vergleichserhebungen validiert werden. Ziel sollte sein, ein zuverlässiges empirisches sozialwissenschaftliches Erhebungsinstrumentarium zu entwickeln, das der Spezifik der Zielgruppe hochbetagter Menschen als Untersuchungseinheiten (Probanden) besser gerecht wird, als die bisherigen Erhebungspraktiken das zulassen.*
- *Zum gegenwärtigen Zeitpunkt sind weiterführende Überlegungen zur quantitativen Hochrechnung der potenziellen Nutzer unter älteren Menschen in Sinne von Marktpotenzialen nicht möglich. Dazu ist eine repräsentative quantitative Analyse der Verteilung der auf Grundlage der im Projekt „GOAL Growing Older, staying mobile" definierten Typen älterer Menschen (vgl. Millonig et al. 2012) in der deutschen Bevölkerung notwendig. Diese halten wir für die im Verbundprojekt BUNDSCHUH entwickelten Technologien für erfolgversprechende Nutzergruppen.*

2.6 Geplante Veröffentlichungen

Gemeinsam mit unseren Partnern der TU Ilmenau ist eine Veröffentlichung der Ergebnisse der Begleitforschung beabsichtigt. Die Beiträge, die aproxima dazu beisteuern kann, sind in den folgenden Punkten abrissartig dargestellt.

- *Das Verhalten von Senioren und deren persönlichen Umfeldes unter Kameraeinfluss im privaten Raum (Akzeptanz sprach-gestengesteuerter Bediensysteme im Wohnbereich)*
- *Mobilitätsstrategien, Akzeptanz und Usability von Navigationssystemen bei Mobilitätsaktivitäten älterer Menschen im Wohnumfeld*
- *Abschätzung von persönlichen und gesellschaftlichen Nutzenaspekten beim Einsatz von sprach-gestengesteuerten Bediensystemen von Alltagsobjekten im Wohnbereich älterer Menschen sowie von Orientierungshilfen mittels eines intelligenten Schuhs im Wohnumfeld.*
- *Empirische Methoden zur validen Forschung zu hochbetagten Zielgruppen*

Eine konkrete Abstimmung mit unseren Partnern zu den Inhalten sowie zum Zeitplan der Arbeit an der Publikation muss jedoch noch erfolgen.

3. Quellenverzeichnis

3.1 Verwendete Literatur

Apelt, M.; Möllers, N. (2011): Wie „intelligente“ Videoüberwachung erforschen? Ein Resümee aus zehn Jahren Forschung zu Videoüberwachung. In: Z Außen Sicherheitspolitik (4), S. 585–593.

Bain, P.; Taylor, P. (2000): Entrapped by the ‘electronic panopticon’? Worker resistance in the call centre. New technology, work and employment, Vol. 15 (1), S. 2–18.

Balasch, Michael C. (2013): SmartSenior: Intelligente Dienste und Dienstleistungen für Senioren (Projektreport).

BMBF (2017) = Bundesministerium für Bildung und Forschung (2017): Förderkatalog. URL: http://foerderportal.bund.de/foekat/jsp/StartAction.do?actionMode=list, zuletzt geprüft am 27.04.2017.

Brown, William S. (2000): Ontological Security, Existential Anxiety and Workplace Privacy. In: Journal of Business Ethics 23, S. 61–65.

Cavallaro, A. (2007): Privacy in Video Surveillance. In: IEEE Signal Processing Magazine Vol. 24 (Issue 2).

Chalykoff, J.; Kochan, T. A. (1989): Computer-aided monitoring: its influence on employee job satisfaction and turnover. Personnel Psychology, Vol. 42(4), S. 807–834.

Destatis (2015a) = Statistisches Bundesamt (2015a): Bevölkerung Deutschlands bis 2060. 13. koordinierte Bevölkerungsvorausberechnung. Wiesbaden. URL: https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/Bevoelkerung/VorausberechnungBevoelkerung/BevoelkerungDeutschland2060Presse5124204159004.pdf?__blob=publicationFile, zuletzt geprüft am 30.05.2017.

Destatis (2015b) = Statistisches Bundesamt (2015b): Animierte Bevölkerungspyramide. URL: https://service.destatis.de/bevoelkerungspyramide/#!y=2059, zuletzt geprüft am 30.05.2017.

DIVSI (2012) = Deutsches Institut für Vertrauen und Sicherheit im Internet (2012): DIVSI Milieu-Studie zu Vertrauen und Sicherheit im Internet. Eine Grundlagenstudie des SINUS-Instituts Heidelberg im Auftrag des Deutschen Instituts für Vertrauen und Sicherheit im Internet (DIVSI).

Ellis, D.; Tucker, I.; Harper, D. (2013): The affective atmosphere of surveillance. In: Theory & Psychology Vol. 23 (6), S. 716–731.

Greer, O. J. (2012): No Cause of Action: Video Surveillance in New York City. In: Michigan Telecommunications and Technology Law Review Vol. 18, S. 589–626.

Hefter, T.; Götz, K. (2013): Mobilität älterer Menschen. State of the Art und Schlussfolgerungen für das Projekt COMPAGNO. ISOE-Diskussionspapiere (36), S. 5–58.

Heger, N. (2010): Die Entwicklung der Sicherheitsgesellschaft am Beispiel der Videoüberwachung am Wiener Schwedenplatz. In: Groenemeyer, A. (Hrsg.): Wege der Sicherheitsgesellschaft. Gesellschaftliche Transformationen der Konstruktion und Regulierung innerer Unsicherheiten. 1. Aufl. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften, S. 343–357.

Heinze, R. G. (2014): Die Lebensphasen im Alter. Vortrag beim 6. GENERALI-Zukunftssymposium

„Das Dritte Leben. Von der Vielfalt der Nacherwerbsphase“ am 26./27. Juni 2014 in Köln. Präsentation. URL: https://zukunftsfonds.generali-deutschland.de/cms/content/binary/b5uqxl5BpWAZxq_9jcpKsOmOVvova1WWdf14KXJJIO7N7HQ-U1tPMCIrd9P4iz4MBdOq3eExTk4JJOsSgYReh5o40wWo4uJI2F1vYecZuyV_zqBeiKh_XLQldmFwzdYU/Praesentation_Prof_Dr_Rolf_G_Heinze.pdf, zuletzt geprüft am 06.06.2017-

Helten, F.; Fischer, B. (2003): Video Surveillance on Demand for Various Purposes? Berlin Shopping Malls as Socio-technical Test beds for CCTV. Berlin: Working paper No. 11.

Helten, F.; Fischer, B. (2004): What do people think about CCTV? Finding from a Berlin survey. In: Working Paper No. 13.

Hempel, L.; Töpfer, E. (2004): CCTV in Europe. On the Threshold to Urban Panopticon? Analysing the Employment of CCTV in European Cities and Assessing its Social and Political Impacts. In: Working Paper No.15.

Koskela, H. (2000): 'The gaze without eyes': video-surveillance and the changing nature of urban space. In: Progress in Human Geography, Vol. 24 (2), S. 243–265.

Lin, C.-Y. (2006): Öffentliche Videoüberwachung in den USA, Großbritannien und Deutschland – Ein Drei-Länder-Vergleich. Dissertation. Georg-August-Universität Göttingen. URL: http://hdl.handle.net/11858/00-1735-0000-0006-B3C4-7, zuletzt geprüft am 27.12.2015.

Loch, K. D.; Conger, S.; Oz, E. (1998): Ownership, privacy and monitoring in the workplace: a debate on technology and ethics. Journal of Business Ethics, Vol. 17(6), S. 653–663.

Martin, K.; Freeman, R. E. (2003): Some problems with employee monitoring. Journal of Business Ethics, Vol. 43(4), S. 353–361.

Merchel, J. (2003): Zum Stand der Diskussion über Effizienz und Qualität in der Produktion sozialer Dienstleistungen. In: Möller, M. (Hrsg): Effektivität und Qualität sozialer Dienstleistungen. Kassel: Kassel Univ. Press.

Millonig, A.; Mandl, B.; Lackner, B.; van Buuren, S.; Perenboom, R.; Gorris, T.; Goldbohm, S.; Hoedemaeker; M.; Wilschut, E.; Wulf, A.; Henne, S.; Bencini, G.; Baldazini, N. (2012): GOAL. Growing Older, staying mobile: Transport needs for an ageing society. Deliverable D2.1: Profiles of Older People. Goal Consortium.

Nave-Herz, R. (2010): Die Familie im Wandel. In: Faulbaum, F; Wolf, C. (Hrsg.): Gesellschaftliche Entwicklungen im Spiegel der empirischen Sozialforschung. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften, S. 39–57.

Nedopil, C. (2011a): Bedienkonzept Gestensteuerung. Unberührte Möglichkeiten bei Steuerung von Geräten in der Küche. In: YOUSE GmbH, S. 1–26.

Slobogin, C. (2002): Public Privacy: Camera Surveillance of Public Places And The Right to Anonymity. In: Mississippi Law Journal Vol. 72 (1).

Smith, M. J.; Carayon, P.; Sanders, K. J.; Lim, S. Y.; Le Grande, D. (1992): Employee stress and health complaints in jobs with and without electronic performance monitoring. Applied Ergonomics, Vol. 23(1), S. 17–27.

Wikipedia (2017): Kinect. URL: https://de.wikipedia.org/wiki/Kinect, zuletzt geprüft am 26.05.2017.

Zehnder, M.(2011): Kameraüberwachung als Präventionsinstrument im öffentlichen urbanen Raum. Evaluation für den Bahnhofplatz der Stadt Luzern. In: Bericht zuhanden der Direktion Umwelt, Verkehr und Sicherheit der Stadt Luzern.

3.2 Weiterführende Literatur

Albrecht, J.; Berhard, R.; Berker, F.; Bohner-Degrell, C.; Döring, L.; Franzen, J.; Gennaro, M. F.; George, N.; Godder, A.; Heck, H.; Heller, S.; Holz-Rau, C.; Köhler, A.; Landwehr, M.; Lechtenfeld, S.; Marquard, J.; Michels, H.; Neuhauser, M.; Nietzio, A.; Reins, F.; Schreiner, J.; Woerns, S. (2015): Nahtlose, barrierefreie Informations- und Mobilitätsketten für ältere Menschen. Abschlussbericht, S.1–129.

Althans, B. (2000): Der Klatsch, die Frauen und das Sprechen bei der Arbeit. 1. Aufl. Frankfurt/New York: Campus Verlag.

Arenz, R.; Huth, N.; Thylmann, M. (2011): Datenschutz im Internet: Eine repräsentative Untersuchung zum Thema Daten im Internet aus Nutzersicht. Berlin. Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e.V. (BITKOM).

Bell, C. (2006): Surveillance strategies and populations at risk: Biopolitical governance in Canada's national security policy. Security Dialogue,Vol. *37*(2),S. 147–165.

Byers, P. (2010): Die Videoüberwachung am Arbeitsplatz unter besonderer Berücksichtigung des neuen § 32 BDSG. In: Lang, P. (Hrsg.): Europäische Hochschulschriften. Vol. 5132, Reihe II.

Engeln, A.; Schlag, B. (2008): Kompensationsmöglichkeiten und Bewältigungsstrategien im Alter. In: Schlag, B. (Hrsg): Leistungsfähigkeit und Mobilität im Alter. Köln: TÜV-Verlag.

Erbstößer, A.-C. (2015): Smart Home Berlin. Von der Komfortzone zum Gesundheitsstandort. In: Report 2015.

Fairweather, N. B. (1999): Surveillance in employment: The case of teleworking. Journal of Business Ethics, Vol. 22(1), S. 39–49.

Foucault, M. (1994): Überwachen und Strafen. Die Geburt des Gefängnisses. 1. Aufl. Frankfurt am Main: Suhrkamp.

Gill, M.; Spriggs, A. (2005): Assessing the Impact of CCTV. London, UK: Home Office, HMSO: Home Office Research Study Nr. 292.

Goffman, E.: (2003): Wir alle spielen Theater. Die Selbstdarstellung im Alltag. München: Piper. [Original: Goffman, E. (1959): "The presentation of Self in everyday life." New York, London, Sydney, Auckland: Doubleday. Übersetzt von P. Weber-Schäfer].

Graham, S.; Brooks, J.; Dan, H. (1998): Towns on Television: Closed Circuit TV Systems in British Towns and Cities. Local Government Studies 22(3): S. 1–27.

Härter, H. (2012): Sensor navigiert durch Gebäude: Orientierung mit dem Smartphone. Elektronik Praxis, URL: http://www.elektronikpraxis.vogel.de/hf/articles/365876/, zuletzt geprüft am 31.05.2016.

Hammerich, M.; Sturm, P. (2013): Study on general acceptance and end-user requirements to fine tune the SeSaMoNet project. JRC Technical Reports. European Commission.

Hargreaves, T.; Wilson, C. (2013): Who uses smart home technologies? Representations of users by the smart home industry. In: ECEEE Summer Study Proceedings, S. 1769–1780.

Hessisches Telemedia Technologie Kompetenz-Center e.V. (o. J): InDAgo. URL: http://www.indago-projekt.de/, zuletzt geprüft am 03.06.2016.

Insoft GmbH (o.J.): Sucess Story, URL: http://www.infsoft.de/branchen/airports/success-story, zuletzt geprüft am 31.05.2016.

Keiser, T.; Höß, O.; Klein, B.; Neuhüttler, J.; Schneider, H.; Vetter, T. (Hrsg.) (2015): Gestensteuerung im Pflegeumfeld - Das Projekt GeniAAL. Grundlagen, Anwendungsfelder, Technologien und Erfahrungen. 1. Aufl. Norderstedt: Books on Demand.

Kendon, A. (1997): Gesture. In: Annual Review of Anthropology, Vol. 26, S. 109–128.

Klein, P.; Müller, S. (2013): Methoden und Möglichkeiten zur Akzeptanzsteigerung von Mobilitäts-Assistenzsystemen am Beispiel des Forschungsprojektes inDAgo.

Latané, B.; Darley, J. M. (1970): The unresponsive bystander. Why doesn't he help? New York: Appleton-Century Crofts.

Leimgruber; S.; Santos; O. (2012): Young Children Are More Generous When Others Are Aware of Their Actions. PLoS ONE, Vol.7 (10).

Liszkowski, U. (2008): Before L1: A differentiated perspective on infant gestures. In: GEST 8 (2), S. 180–196.

Magnusson, C.; Rassmus-Gröhn, K.; Tillmar, K.; Stigmar, H. (2009): Exploring User Requirements for Non-visual Mobile Navigation Systems. International Federation for Information Processing, S. 754–757.

McNaney, R.; Vines, J.; Roggen, D.; Balaam, M.; Zhang, P.; Poliakov, I.; Olivier, P. (2012): Exploring the Acceptability of Google Glass as an Everyday Assistive Device for People with Parkinson's. Session: Interactive Technologies for Rehabilitation, S. 2551–2554.

Milgram, S. (1974): Das Milgram-Experiment. Zur Gehorsamsbereitschaft gegenüber Autorität. Reinbek bei Hamburg: Rowohlt.

Mishra, J. M.; Crampton, S. M. (1998): Employee monitoring: privacy in the workplace? SAM Advanced Management Journal, Vol. 63(3), S. 4.

Moriarty, T. (1975): Crime, commitment, and the responsive bystander: Two field experiments. In: Journal of Personality and Social Psychology, Vol 31(2), S. 370–376.

Nedopil, C. (2011b): Bedienkonzept Gestensteuerung. Unberührte Möglichkeiten bei Steuerung von Geräten im Bad. YOUSE GmbH, S. 1–26.

Nedopil, C. (2011c): Bedienkonzept Gestensteuerung. Unberührte Möglichkeiten bei Steuerung von Geräten im Auto. YOUSE GmbH, S. 1–9.

Norris, C.; Amstrong, G. (1999): CCTV and the social structuring of surveillance. In: Crime Prevention Studies Vol. 10, S. 157–178.

Peterhans, M.; Dirtheuer, K. (2011): Digitale Gesellschaft 2011: Die digitale Gesellschaft in Deutschland – Sechs Nutzertypen im Vergleich. München: TNS Infratest GmbH.

Ratcliffe, J. (2006): Video surveillance of public places. Washington, D.C.: U.S. Dept. of Justice, Office of Community Oriented Policing Services (Problem-oriented guides for police response guides series, No. 4).

UX Fellows (o. J.): Thumbs up to gesture-controlled Consumer Electronics? A cross-cultural study spanning 18 countries on spontaneous gesture behavior by UX Fellows. URL: http://www.uxfellows.com/gesture.php#, zuletzt geprüft am 30.05.2017.

VDI/ VDE (o.J.): Nahtlose Mobilitätsketten zur Beseitigung, Umgehung und Überwindung von Barrieren, URL: http://www.mtidw.de/ueberblick-bekanntmachungen/mobil-bis-ins-hohe-alter, zuletzt geprüft am 03.06.2016.

Weißhaupt, M. (1997): Impression-Management. In: Einstellungsinterviews: Effekte verschiedener Selbstdarstellungstaktiken auf die Wahrnehmung und Beurteilung von Personen, Tübingen.

Welsh, B. C.; Farrington, D. P. (2003): Effects of Closed-Circuit Television on Crime. In: The ANNALS of the American Academy of Political and Social Science 587 (1), S. 110–135.

Workman, M. (2009): A field study of corporate employee monitoring: Attitudes, absenteeism, and the moderating influences of procedural justice perceptions. Information and Organization, Vol. 19(4), S. 218–232.

Zilkens, M. (2007): Videoüberwachung. Eine rechtliche Bestandsaufnahme. In: Datenschutz und Datensicherheit Jg. 31 (4), S. 279–283.

4. Anlagen

Anlage 1: Berichtsblatt

Anlage 2: Document Control Sheet

Anlage 3: Erfolgskontrollbericht

Anlage 4: Aktualisierter Verwertungsplan

Anlage 5: Zweiseitiger inhaltlicher Bericht