

**„Interaktiver robotischer Reha-Assistent  
für das Lauf- und Orientierungstraining  
von Patienten nach Schlaganfällen“**

**Förderkennzeichen: V4KMU12/204**

**Abschlussbericht**

**Projektlaufzeit 01.07.2013 – 31.03.2016**

**TU Ilmenau, FG Neuroinformatik und Kognitive Robotik**

**Prof. Dr. H.-M. Groß**

Oktober 2016



**Abbildung 1:** Robotischer Reha-Assistent bei der Durchführung einer therapeutischen Laufübung

# 1 Zielsetzung des Vorhabens

## 1.1 Gesamtziel des Vorhabens – Aufgabenstellung

Zielstellung des Projekts ROREAS war die Entwicklung eines robotischen Reha-Assistenten für das Lauf- und Orientierungstraining in der klinischen Schlaganfallnachsorge. In der Neurorehabilitation leitet er stationäre Schlaganfallpatienten bei Laufübungen an, um so die Mobilität der Patienten und gleichzeitig auch deren räumliches Orientierungsvermögen zu trainieren. Er beobachtet die Durchführung und dokumentiert das Training in abrechenbarer Weise. Der Reha-Assistent ist mobil, autonom und interaktiv, verfügt aber nicht über Manipulatoren (Greifer) oder eine Stützfunktion.

Ergebnis dieses Projekts sollte ein praxistauglicher robotischer Reha-Assistent sein, der robuste autonome Navigation in realen Einsatzumgebungen, leistungsfähige und alltagstaugliche Mensch-Maschine-Interaktion und intuitiv verständliche Assistenzfunktionalität mit personalisierten Trainingsprogrammen konsistent integriert. Dies umfasst folgende Teilzielstellungen:

- Analyse der patientenspezifischen, therapiespezifischen und klinikspezifischen Anforderungen an den geplanten Laufassistenten und Entwicklung bedarfsgerechter Szenarien und Use Cases sowie Ableitung von Inputs für die technische Entwicklung
- Entwicklung roboterassistierter Eigenübungsprogramme aus neurorehabitativer Sicht zum Nachweis der These, dass gehbehinderte Patienten, die den Reha-Assistenten im Eigentraining nutzen, deutlich häufiger selbständig Gehübungen machen, sobald aus therapeutischer Sicht ein sicheres Gehen mit Hilfsmittel ohne Kontakthilfe möglich ist
- Schaffung der erforderlichen technischen und methodischen Voraussetzungen aus Sicht der Robotik und der Mensch-Maschine-Schnittstellen, um die medizinischen Thesen im Praxiseinsatz mit realen Patienten untersuchen zu können
- Entwicklung von robusten, alltagstauglichen und damit besonders anspruchsvollen Verfahren für die Bereiche der autonomen und nutzerzentrierten Navigation auch unter Berücksichtigung der Bedingungen einer Klinikumgebung, der Personenwahrnehmung sowie der Personenwiedererkennung
- hardwaretechnische Erweiterung einer bereits vorhandenen und einsatzerprobten mobilen Roboterplattform und Integration in die klinische IT-Struktur
- Untersuchung der Akzeptanz und Usability der entwickelten Demonstratoren aus der Sicht der Therapeuten, des Klinikpersonals sowie der Patienten und deren Angehörige
- begleitende Untersuchung ethischer, sozialer und gesellschaftlicher Fragestellungen

Wesentliche wissenschaftliche Beiträge des Teilprojekts **ROREAS-TUI** waren die Entwicklung von Methoden für die Bereiche der autonomen und nutzerzentrierten Navigation, der Personendetektion und des –trackings sowie der Personenwiedererkennung bei Multipersonendetektionen. Dies umfasste insbesondere:

- Erweiterung einer Ein- auf eine Mehrebenenavigation unter Nutzung topologischer Karten, deren Knoten jeweils lokale Navigationskarten repräsentieren
- 3D-Modellierung der Umgebung unter Nutzung von 3D-Tiefenkameras zur genaueren Modellierung der Umgebung als Grundlage für eine verbesserte Pfadplanung und Hindernisvermeidung

- nutzerzentrierte Navigation zur Umsetzung eines höflichen Navigationsverhaltens, d.h. Anpassung der Fahrgeschwindigkeit an die Laufgeschwindigkeit des jeweiligen Patienten, Halten eines angemessenen Interaktionsabstands, Ausweichen oder Zurückweichen vor entgegenkommenden Personen
- robuste Personendetektion bzw. –verfolgung auch unter Berücksichtigung krankheitsbedingt genutzter Gehhilfsmittel unterschiedlicher Art (z.B. Rollatoren)
- Entwicklung von Methoden zur ansichtsbasierten Wiedererkennung von Personen zwecks Unterscheidung verschiedener Personen und zum Kontakthalten mit dem aktuellen Nutzer

## 1.2 Voraussetzungen zum Vorhaben seitens des Partners TUI

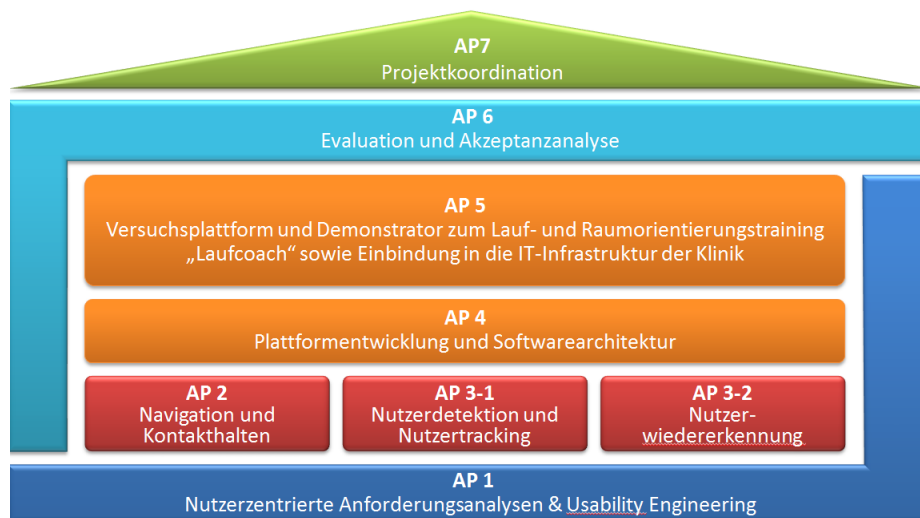
Das Fachgebiet NI&KR verfügt über eine mehr als 15-jährige ausgewiesene Forschungsexpertise in den FuE-Feldern des Vorhabens ROREAS-TUI. Die Forschungsfelder umfassen die laser- und bildgestützte Roboternavigation und Erkennung von Personen, deren körperlicher Aktivitäten sowie deren spezifische Merkmale. Darüber hinaus werden anwendungsbedingt neuartige Dialogkonzepte zwischen Nutzer und Roboter entwickelt und praktisch genutzt. Gemeinsam mit der MetraLabs GmbH Ilmenau und der toom BauMarkt GmbH wurde 2007 der weltweit erste praxistaugliche mobile Shoppingroboter entwickelt, von dem sich im Zeitraum 2008-2009 im Rahmen von Langzeitfeldtests bis zu 10 Exemplare in 3 deutschen Baumärkten im Dauereinsatz befanden [Gross 2009\*]. Die FuE-Arbeiten am Fachgebiet NI&KR widmen sich seit 2006 darüber hinaus verstärkt der Entwicklung von sozialen Assistenzrobotern für den häuslichen Einsatz. Unter anderem war das Fachgebiet maßgeblich an der Beantragung des EU-FP7 Projektes "CompanionAble" (Laufzeit: 2008-2012) beteiligt, in dem für die TU Ilmenau erstmals Aspekte der Navigation und der Mensch-Roboter-Interaktion unter realen häuslichen Verhältnissen im Vordergrund standen [Gross 2011, 2012\*; Schröter 2013\*]. Ein zweites am Fachgebiet NI&KR bearbeitetes Verbundprojekt, das AAL-JP Projekt ALIAS (AdaptabLe Amblient Living Assistent) (Laufzeit 2010-13) [Kessler 2012a, 2012b\*], hatte die Entwicklung eines Kommunikationsroboters für allein lebende Nutzer zur Unterstützung im täglichen Leben sowie zur Förderung der Kommunikation und sozialen Integration zum Ziel. Die Entwicklung einer robotergestützten Gesundheitsassistenz bildete den Anwendungsrahmen für die Arbeit der Forschergruppe SERROGA (SERvice-RObotik für die GesundheitsAssistenz) (Laufzeit 2012-2015) ([www.serroga.de](http://www.serroga.de)). Anhand von drei Demonstratoren zur roboterbasierten „Kommunikationsassistenz“, „Bewegungsmotivation“ und „Erinnerungsfunktion“ wurden darin wichtige Anforderungen an einen „Gesundheitsroboter“ entwickelt und alltagstauglich umgesetzt. Dabei wurden die Demonstratoren nicht nur mit den Endnutzern (Senioren und deren Angehörige sowie Pfleger) konzipiert, sondern auch langfristig in deren direktem Umfeld eingesetzt. Aufbauend auf den Ergebnissen dieser konsekutiv bearbeiteten Forschungsprojekte, konnten die methodisch-technischen Fragestellungen in ROREAS-TUI von Anfang an auf hohem Niveau bearbeitet werden.

## 1.3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Zur Umsetzung der FuE-Ziele des Verbundvorhabens wurden sieben Arbeitspakete (AP) definiert, deren prinzipielles Zusammenwirken in Abbildung 2 verdeutlicht wird. In **AP 1** erfolgte zunächst eine Anforderungsanalyse, um die wissenschaftlich-technischen und medizinisch-therapeutischen Anforderungen an die Funktionalität eines robotischen Reha-Assistenten abzuleiten. Im Ergebnis dieses AP wurde das aus der Sicht der Endnutzer (Mediziner, Therapeuten, Patienten) für die Neurorehabilitation als besonders wünschenswert eingestufte Szenario „Laufcoach“ ausgestaltet. Für dieses Szenario wurde im Folgenden ein Demonstrator entwickelt und im praktischen Einsatz

evaluiert. Außerdem wurden die Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit und Nutzerfreundlichkeit definiert (Usability Engineering) und während des Projektverlaufs begleitend untersucht.

Die **AP 2 und 3** sind darauf aufbauend methoden- und technologiegetrieben und umfassten die praktische Umsetzung der in AP 1 definierten Anforderungen an die Roboternavigation, Personenverfolgung und Personenwiedererkennung. In **AP 4 und 5** wurden die entwickelten methodisch-technischen Beiträge integriert und der Demonstrator für das Eigentaining realisiert. Neben den robotiknahen Technologien, wurden hier auch die notwendigen Verfahren zur Anleitung, Bewertung, Dokumentation und der Personalisierung des Eigentrainings integriert. In **AP 6** erfolgte die sozialwissenschaftliche Evaluierung und Akzeptanzanalyse der Ergebnisse hinsichtlich der realisierten Teilfunktionalitäten und des Demonstrators. Darüber hinaus erfolgte im Rahmen von **AP 7** die Projektkoordination.



**Abbildung 2:** Übersicht über die Arbeitspakete (AP) des Vorhabens und deren prinzipielle Abhängigkeiten untereinander. (Blau): Entwurfs- und Validierungs-APs mit besonderem Fokus auf Nutzerbedarf und – akzeptanz und sozialwissenschaftliche Evaluierung; (Rot): Methoden- und Technologie getriebene APs; (Orange): Integrations- und Demonstrations-APs; (Grün): AP zur Projektkoordination.

Ergebnisse zu den Teilaufgaben dieser sieben APs werden im Abschnitt 2.1 zusammen mit notwendigen Änderungen zum Projektantrag detailliert vorgestellt. Darüber hinaus galt der in Abbildung 3 dargestellte Zeitplan für das ROREAS-Konsortium.

AP	Name	PM				2013		2014				2015			
		ML	m&i	SIBIS	TUI	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4
1	Anforderungsanalyse	6	12,5	9	3,5										
2	Navigation i.d. Klinik	6	2	0	34										
3-1	Nutzerdetektion	0	3	0	17										
3-2	Nutzerwiedererkennung	2	3	0	12										
4	Plattformentwicklung und SW-Architektur	21	0	0	2										
5	Versuchsplattform und Demonstrator	22	3,5	8	6										
6	Evaluation / Akzeptanz	3	8	9	3										
7	Projektkoordination	3	0	0	0										
	Summe	63	32	26	77,5										

**Abbildung 3:** Zeitplan für das Konsortium des ROREAS-Projekts.

## 1.4 Abweichungen zu geplanten Projektzielen und geplanter Projektdurchführung

Bei der Projektdurchführung gab es zwei Abweichungen von der Arbeits- und Zeitplanung.

- 1) Das *Orientierungstraining* über mehrere Etagen inklusive Fahrstuhlnutzung konnte innerhalb des Vorhabens nur sehr eingeschränkt umgesetzt werden, da die Mehrebenen-Navigation aufgrund der bis dato nicht möglichen *Umrüstung der Fahrstühle* den Aktionsraum für das Training auf eine Etage begrenzte. Entsprechende notwendige Therapie-Erfolgsstudien konnten im Projektzeitraum daher nicht realisiert werden (siehe Bericht des Partners m&i-Fachklinik).
- 2) Aufgrund des Wunsches der Projektpartner wurde eine *Verlängerung* um 3 Monate (01–03 / 2016) vorrangig zur Durchführung weiterer Nutzertests erforderlich. Die Ursache dafür lag unter anderem in der sehr spät zur Verfügung stehenden Panoramakamera (siehe Bericht des Partners MetraLabs).

## 1.5 Wissenschaftlich-technischer Ausgangspunkt

Der wissenschaftlich-technische Ausgangspunkt zu den einzelnen Arbeitsgebieten des Teilvorhabens ROREAS-TUI ist nachfolgend nach Themenfeldern geordnet. Verweise auf eigene Publikationen des Antragstellers sind durch einen \* in der Literaturstelle markiert und finden sich im Anhang im Abschnitt 3.2 Eigene Publikationen zu Vorarbeiten von ROREAS und im Abschnitt 3.3 Fremdliteratur.

### Autonome und nutzerzentrierte Roboternavigation

Die wichtigste Grundvoraussetzung eines mobilen Roboters ist seine Fähigkeit, sich autonom und angemessen in seiner Einsatzumgebung bewegen zu können. Dabei spielen hier insbesondere seine Navigationsfähigkeiten im Umgang mit anderen Personen eine wichtige Rolle. Diese können einmal in Fähigkeiten unterschieden werden, die sich auf die direkte Interaktion mit anderen Personen beziehen, und zum zweiten auf Fähigkeiten, die das Fahrverhalten des Roboters in Anwesenheit von Menschen menschenähnlicher gestalten. Zur ersten Kategorie gehören Fähigkeiten wie eine entgegenkommende Kontaktaufnahme, das Lotsen einer Person und das Folgen einer Person. Zur zweiten Kategorie gehören Aufgaben wie das rechtzeitigen Ausweichen einer Person, welche steht oder sich bewegt, und das Beobachten einer Person. Der Stand der Wissenschaft und Technik zu diesen Verhaltensweisen wird in den nachfolgenden Absätzen näher beleuchtet. Es ist noch anzumerken, dass vor allen Dingen die Personendetektion und Wiedererkennung im Bereich der nutzerzentrierten Navigation eine zentrale Erkennungsleistung ist, weshalb diese auch in einem gesonderten Unterkapitel näher erläutert wird. Hier wird zunächst der Blick auf die Navigationsaspekte beschränkt.

Entgegenkommende Kontaktaufnahme: Auf die Signalisierung von Interaktionsbereitschaft aus der Distanz heraus folgt in der Mensch-Mensch-Interaktion unter Beibehaltung von Blickkontakt typischerweise eine räumliche Annäherung an den potenziellen Interaktionspartner [Kendon 1990, Argyle 1976, Kühn 2002]. Bei dieser räumlichen Annäherung spielt die Wahl der angemessenen Interaktionsdistanz (Proxemics gemäß [Hall 1966]) eine wichtige Rolle: Es ist eine a) intime (bis ca. 0,45 m), b) persönliche (0,45 m bis 1,2 m), c) soziale (1,2 m und 3,5 m) oder d) öffentliche Distanz (ab 3,5 m) zu wählen. Die Einhaltung der situationsspezifischen und kulturell passenden Interaktionsdistanz ist Voraussetzung für eine angenehme Mensch-Mensch- und vermutlich auch Mensch-Roboter-Interaktion. Dabei ist für die technische Realisierung der entgegenkommenden Kontaktaufnahme vor allem die unmittelbare Adaption der Pfadplanung/Zielanfahrt an die Position und Ausrichtung des potenziellen Interaktionspartners wichtig. Im COGNIRON Projekt wurden

umfangreiche Untersuchungen durchgeführt [Dautenhahn 2006, Walters 2005, Koay 2007], welcher Abstand und welche Richtung von verschiedenen Nutzern als positiv empfunden wurden. Dabei wurde prinzipiell die Theorie der Proxemics bestätigt, aber es stellte sich auch heraus, dass der Kontext oder die Aufgabe zwischen Roboter und Mensch eine wesentliche Rolle bei der Ausprägung des räumlichen Verhältnisses beider Partner spielen. Ein Ansatz, wie diese Konfiguration mathematisch beschrieben werden könnte, wurde in [Svenstrup 2009] vorgestellt, bei dem der sog. Personal-Space über ein Potentialfeld modelliert wurde, und sich der Roboter sehr effizient der Person seitlich nähern konnte, wobei er vermied hinter der Person entlangzufahren. Ein konventioneller Planer wurde hingegen in [Sisbot 2010] genutzt. Hierbei wurden während der Planungsphase zahlreiche Nebenbedingungen wie Sichtschatten und die Personenrückseite berücksichtigt, was dieses Verfahren als eines der Modularsten erscheinen lässt. Allerdings wurde es nur im Simulator mit allumfassendem Modellwissen getestet, was eine sehr harte Limitierung an den Realwelteinsatz darstellt.

Ein anderes Verhalten wurde von [Satake 2009] vorgestellt. Hier wurde der Bewegungspfad einer Person durch ein komplexes statistisches Modell vorhergesagt, und der Roboter versuchte durch eine raum-zeitliche Planung die Trajektorie der Person zu schneiden, bevor die Person den Ort erreichte. Es sollte weiterhin noch genug Zeit bleiben, um sich zur Person drehen zu können. Am Fachgebiet NI&KR wurde ein Ansatz [Kessler 2011\*] entwickelt, der einen Planer mit einer Kostenfunktion kombiniert, die von [Svenstrup 2009] inspiriert ist und den Roboter in ausreichendem Abstand um die Person herum führt und seitlich frontal vor die Person positionieren lässt. Anstatt, wie in [Gross 2006\*], die Position der detektierten Person räumlich in einem lokalen Koordinatensystem zu repräsentieren, wird beim "Image Based Visual Servoing" (IBVS) die Regelabweichung direkt aus dem Fehler im Bild zwischen gewünschter und tatsächlicher Ansicht der Person abgeleitet. Eine besondere Herausforderung stellen dabei die nicht-holonomen Eigenschaften des Differentialantriebs [Mariottini 2007, Das 2001] dar. Außerdem werden beim reinen IBVS keine Hindernisse im Umfeld berücksichtigt. Die vom IBVS vorgeschlagenen Fahrtkommandos sollten deshalb grundsätzlich nicht direkt ausgeführt, sondern immer mit einer Hindernisvermeidung fusioniert werden.

Lotsen einer Person: In diesem Bereich gibt es sehr wenige bekannte Arbeiten, die explizit das Thema des „Personenlotsens“ im personenzentrierten Sinne aufgreifen. Am Fachgebiet wurde ein solcher Lotsenroboter für ein Baumarktszenario entwickelt und über zwei Jahre getestet [Gross 2009\*]. Für die Verhaltensweise des Roboters ist aus ingenieurwissenschaftlicher Perspektive vor allem die unmittelbare Adaption des Fahrverhaltens an die Bewegung des zu lotsenden/begleitenden Nutzers erforderlich, weshalb sich zum einen implizite Verfahren auf Basis des „Visual Servoing“ [Tsai 2007, Chivilo 2004] anbieten. Zum anderen ist ein Verfahren bekannt, welches explizit die Aufmerksamkeit des Nutzers und den Willen gelotst zu werden, modelliert [Pandey 2009] und darauf entsprechend reagiert. Dies macht diese Aufgabe wesentlich komplexer als eine simple Zielfahrt, nimmt aber auch direkt auf den Nutzer Rücksicht. Im Allgemeinen wird eine Lotsenfunktion durch eine simple Zielfahrt realisiert (siehe Kurzbeschreibungen der Einzelprojekte weiter unten), die evtl. noch in ihrer Fahrgeschwindigkeit parametrisierbar ist.

Folgen einer Person: Das Folgen einer Person ist das umgekehrte Problem zum Lotsen einer Person. Hier hat der Roboter die Aufgabe, der Person zu folgen. Er muss also keinen Zielpunkt erreichen. Daher bieten sich direkt die Methoden des „Visual Servoing“ an, welche in der Literatur auch reichhaltig präsentiert werden. Dabei gibt es sowohl kamerabasierte Ansätze [Hu 2007, Hu 2009], die über Oberkörperemplates oder SIFT Features versuchen, einer Person in einem bestimmten Ansatz zu folgen, als auch Ansätze, die über einen Laserscanner versuchen einen Sollabstand zum Nutzer

einzuhalten [Ma 2008]. Diese Arbeiten behandeln typischerweise nicht das Problem, was zu tun ist, wenn der Nutzer sensorisch verloren wird oder Hindernisse den direkten Pfad zum Nutzer versperren. Ein vielversprechender Ansatz, der zumindest Teile dieses Problems adressiert, wurde von [Hoeller 2007] vorgestellt. Hier wird durch eine schnelle Planung mithilfe von Expanding Space Trees ein lokaler Pfad geplant, der sowohl die Bewegung des Nutzers über einen kurzen Zeitraum einbezieht, als auch versucht, eine von fünf Fixpositionen hinter dem Nutzer zu erreichen.

Ausweichen einer Person: Beim Ausweichen und Passieren anderer Personen (Nicht-Interaktionspartner) spielen innerhalb der Mensch-Mensch-Interaktion wiederum die Proxemics von [Hall 1966] eine wichtige Rolle. Damit der mobile Roboter einen respektvollen Abstand zu diesen Personen hält, ist ebenfalls eine Personendetektion erforderlich. Sie ermöglicht es dem Roboter, Personen von gewöhnlichen Hindernissen zu unterscheiden. Zur Hindernisvermeidung bei der lokalen Bewegungssteuerung wird häufig der "Dynamic Window Approach" [Fox 1997] eingesetzt, welcher konzeptionell mächtiger als die Potentialfeldmethode [Khatib 1985], das Vektorfeldhistogramm [Borenstein 1991] oder die "curvature method" [Simmons 1996] ist, da alle möglichen Bewegungskommandos unter verschiedenen Gesichtspunkten, wie z.B. der möglichen Kollision mit Hindernissen oder der aktuellen Fahrweise, bewertet werden. Weitere Bewertungskriterien für die Bewegungskommandos ergeben sich aus der räumlichen Relation zwischen dem Roboter und den Personen in dessen Umgebung (z.B. Mindestabstand zur Wahrung des „Personal Space“) [Satake 2009, Lam 2011, Sisbot 2010]. Damit es bei dynamischen Hindernissen nicht zur Kollision kommt, wird in [Damas 2009, Owen 2005, Fiorini 1998] zusätzlich zur Trägheit des Serviceroboters die Geschwindigkeit der Hindernisse berücksichtigt. Die Berechnung der Fahrkommandos erfolgt jedoch nur für den nächsten Zeitschritt, was bei dynamischen Hindernissen häufig ein oszillierendes Fahrverhalten bzw. Verklemmungssituationen hervorruft. Um eine harmonische, zielgerichtete Bewegung des Roboters zu gewährleisten, ist ein lokales Ausweichverhalten erforderlich, welches eine Bewegungsprädiktion der Hindernisse, z.B. basierend auf deren bisheriger Bewegungstrajektorie, vornimmt und einen Pfad über mehrere Zeitschritte mittels Planungsalgorithmen wie A\* [Göller 2010, Bennewitz 2003], ein angepasstes E\* [Kessler 2012a\*] oder "Expansive space trees" [Hoeller 2007] berechnet. Ein weiterer sehr interessanter Ansatz wurde außerdem in [Luber 2012] präsentiert. Hier wurde das soziale Laufverhalten von Personengruppen von 2-3 Personen beobachtet, die durch verschiedene Aufgaben sowohl kooperieren mussten als auch ihre Gangwege kreuzen oder aneinander vorbeilaufen mussten. Diese situationsbezogenen Gangwege wurden in verschiedene soziale Situationen geclustert. Anschließend wurde eine der Personen durch einen Roboter ersetzt, der das „gelernte“ Verhalten der zu ersetzenden Personen nachahmte.

Beobachten einer Person: Beim Beobachten einer Person geht es um die Problematik, dass der Roboter auch dann in der Lage sein soll, Befehle oder Gesten von Personen zu erkennen, wenn er eigentlich gerade nicht in Interaktion mit der Person steht, d.h. sich zum Beispiel in einer Warteposition befindet. Dies ist direkt vergleichbar mit einem menschlichen Butler, von dem gleiches Bereitschaftsverhalten erwartet wird. Arbeiten auf diesem Gebiet, die dieses Problem direkt ansprechen (und nicht vom Antragsteller stammen) sind momentan nicht bekannt. Allerdings gibt es eine große Klasse an Arbeiten, die sich mit optimaler Beobachtung von Umgebungen oder Objekten im Sinne des maximalen Informationsgewinnes bei minimaler Beobachtungsanzahl beschäftigen [Dunn 2009, Low 2006]. Diese so genannten „Next Best View“ Probleme sind aber nur sehr eingeschränkt zu gebrauchen, da sie keine Rücksicht auf Personen im zu erkundenden Umfeld nehmen und sind daher nur auf den ersten Blick mit dem Beobachtungsproblem verwandt. Des

Weiteren steht der Informationsgewinn und nicht der Informationserhalt beim „Next Best View“ Problem im Vordergrund. Außerdem werden soziale Aspekte, wie Abstand zur Person oder ein Nicht-im-Weg-Stehen, grundsätzlich nicht berücksichtigt. Am Fachgebiet NI&KR wurde daher ein eigenständiger Ansatz entwickelt, der alle umweltbedingten und sozialen Aspekte modular miteinander vereint [Schröter 2009\*, Kessler2012b\*]. Zu den umweltbedingten Aspekten zählen vor allem die Erreichbarkeit und Sichtbarkeit von Positionen, die prinzipielle Wahrnehmbarkeit einer Person durch die Robotersensoren, die zu erwartenden Lichtverhältnisse an verschiedenen Positionen und der Abstand zur nächsten Wand. Zu den sozialen Aspekten zählen: der Abstand zum Nutzer, das Freihalten der Sichtlinien, wichtige Objekte in der Einsatzumgebung (z.B. Fernseher in der Wohnung) und, dass der Roboter übliche Gangwege des Interaktionspartners nicht blockiert.

Nachfolgend werden die wichtigsten, vorhabensrelevanten Robotikprojekte hinsichtlich der fünf oben genannten, personenzentrierten Verhaltensweisen in chronologischer Reihenfolge aufgelistet, bewertet und zusammengefasst:

<b>Verhaltensweise System</b>	<b>Entgegenkommende Kontaktaufnahme</b>	<b>Lotsen einer Person</b>	<b>Folgen einer Person</b>	<b>Ausweichen einer Person</b>	<b>Beobachten einer Person</b>
-----------------------------------	---	--------------------------------	--------------------------------	------------------------------------	------------------------------------

<b>RHINO &amp; MINERVA: Museums Tour Guide (1997-2000) [Burgard 1998, Thrun 1999a, Thrun 1999b]</b>					
Einsatz	6- bzw. 13-tägiger Einsatz als Tour-Guide im Deutschen Museum in Bonn und im Smithsonian in Washington; ohne technische Ausstattung der Einsatzumgebung; Interaktion mit mehr als 2.000 bzw. 10.000 Besuchern; 18,6 km bzw. 44,0 km zurückgelegter Weg				
techn.	-	X	-	-	-
Funktionalität	Kartenbasierte Kollisionsvermeidung mit statischen, bekannten Hindernissen; Detektion von dynamischen Hindernissen, keine explizite Detektion von Besuchern und daher keine respektvolle Navigation; Bewegung von Hindernissen nicht explizit berücksichtigt; Lotsen nur als Anfahren festgelegter Positionen mit festgelegten Geschwindigk.				
Sozialw.	-	-	-	-	-
Evaluation	Feldstudien zur Wahrnehmung von Persönlichkeit und Emotionen bei Robotern				

<b>RoboX: Expo.02 Tour Guide (2002) [Siegwart 2003, Jensen 2005]</b>					
Einsatz	Über 5-monatiger Einsatz von 11 Robotern in einem Pavillon während der Expo 2002 in der Schweiz; ohne technische Ausstattung der Einsatzumgebung; Interaktion mit 686.000 Besuchern, 3315 km zurückgelegter Weg				
techn.	-	X	-	-	-
Funktionalität	Personendetektion basierend auf Laserdaten und visueller Hautfarb- sowie Gesichtsdetektion; Hindernisvermeidung mittels Laser ohne besondere Behandlung von Personen; bei Hindernisvermeidung keine Berücksichtigung des "Personal Space" oder der Bewegungsrichtung der Besucher; Lotsen nur als Anfahren festgelegter Positionen				
Sozialw.	-	-	-	-	-
Evaluation	Feldstudien zur Bewertung der Interaktionsqualität				



Verhaltensweise System	Entgegenkommende Kontaktaufnahme	Lotsen einer Person	Folgen einer Person	Ausweichen einer Person	Beobachten einer Person
------------------------	----------------------------------	---------------------	---------------------	-------------------------	-------------------------

<b>NurseBot Pearl: Assistant für ältere Personen (2001-2003) [Pineau 2003, Montemerlo 2002]</b>					
Einsatz	5-tägiger Einsatz von einem System in einem Altenheim bei Pittsburgh (USA); ohne technische Ausstattung der Einsatzumgebung; mehrere erfolgreiche Lotsenfahrten an den letzten 2 Tagen				
techn.	-	X	-	-	-
Funktionalität	Personenlokalisierung mittels Kartenvergleich, aber keine explizit nutzerzentrierte Navigation; Anpassung der Fahrgeschwindigkeit an Gehgeschwindigkeit der zu stützenden älteren Personen				
Sozialw.	-	-	-	-	-
Evaluation	Feldstudien zur Usability				

<b>Nomadic Scout II: (2001) [Butler 2001]</b>					
Einsatz	Laborstudie als häuslicher Assistent				
techn.	-	-	-	-	-
Funktionalität	Roboter und Testperson befinden sich initial auf vordefinierten Positionen; Roboter führt verschiedene feste Bewegungsmuster aus, welche zeitlich, durch Odometrie- und Sonardaten getriggert werden				
Sozialw.	X	-	-	X	-
Evaluation	Laborstudie zum Navigationsverhalten (Annähern und Passieren) mit 40 instruierten Testpersonen				

<b>TOOMAS: Einkaufsassistent (2001-2009) [Gross 2000, 2008, 2009*; Pöschl 2008, 2009*, Müller 2008*]</b>					
Einsatz	15-monatiger Einsatz mit 9 Robotern in drei Baumärkten in Deutschland; ohne technische Ausstattung der Einsatzumgebung; Interaktion mit mehr als 13.000 Baumarktkunden, 8.600 erfolgreiche Lotsenfahrten und 2.200 km zurückgelegter Weg; erster alltagstauglicher Shoppingroboter weltweit				
techn.	-	X	-	-	-
Funktionalität	Laser- und visonbasierte Navigation ohne robotergerechte Umgestaltung des Einsatzfeldes; on-board Interessenschätzung auf Basis einer einfachen Gesichtsdetektion und den Bewegungsspuren potenzieller Nutzer in der lokalen Umgebung; Personentracking während der Lotsenfahrt zwecks Anhalten bei Kontaktverlust				
Sozialw.	-	-	-	-	-
Evaluation	Feldstudien zur Usability und Akzeptanz [Gross 2009*, Müller 2007*]				

<b>Robovie: Einkaufsassistent (2002-2009) [Satake 2009, Mutlu 2009, Shiomi 2009]</b>					
Einsatz	Untersuchungen mit einem Roboter in einer Shoppingmall in Japan; technische Ausstattung der Einsatzumgebung (Einsatz von 6 stationären Laserscannern); menschlicher Operator mit unterschiedlichem Aufgabenspektrum unterstützte die				

	Roboter über Fernsteuerung und Telepräsenz; Interaktionen mit 53 Shoppingmallbesuchern [Satake 2009]				
techn.	X	X	-	-	-
Funktionalität	Personendetektion in lokalem Einsatzfeld (20 m x 5 m) mittels verteilter, stationärer Laserscanner; Interessenschätzung anhand erkannter Bewegungsmuster (Anhalten, Gehen und Rennen); bei vermutetem Interesse autonome Anfahrt des Roboters an einen zur Kontaktaufnahme geeigneten "Abfangpunkt" auf der antizipierten Bewegungstrajektorie der Person				
Sozialw.	X	-	-	-	-
Evaluation	Laborstudie zum Blickkontakt bei Konversationen mit 72 Testpersonen [Mutlu 2009]; Feldstudie zur menschlichen Wahrnehmung des Interaktionsinteresses anhand von Annährungsverhalten und Blickkontakt des Roboters (von 59 Personen gingen 33 eine Interaktion ein [Satake 2009])				

Verhaltensweise System	Entgegenkommende Kontaktaufnahme	Lotsen einer Person	Folgen einer Person	Ausweichen einer Person	Beobachten einer Person
------------------------	----------------------------------	---------------------	---------------------	-------------------------	-------------------------

<b>COGNIRON: (2004-2007) [Hüttenrauch 2006, Pacchierotti 2005, Syrdal 2007, Walters 2008]</b>					
Einsatz	Roboterplattform BIRON: Laboruntersuchung als häuslicher Assistent. PeopleBot als alternative Plattform.				
techn.	X (Simulat.)	-	-	X	-
Funktionalität	BIRON wird von einer Person gesteuert (Wizard of Oz). In [Pacchierotti 2005]: Laser und Sonar zur Personendetektion, Hindernisvermeidung und zum Ausweichen von Personen unter Berücksichtigung des "Personal Space"; in den übrigen Veröffentlichungen navigiert der Roboter gar nicht; alle Tests von [Sisbot 2010] finden im Simulator statt und begannen während des COGNIRON Projekts.				
Sozialw.	X	-	-	X	-
Evaluation	Laborstudie zu Interaktionsdistanzen bei einer Wohnungstour im RobotHouse mit 22 instruierten Testpersonen. Feldstudien 1) zum Navigationsverhalten in einem engen Korridor mit 4 instruierten Testpersonen und 2) zu Interaktionsdistanzen bei einem Assistenzroboter mit 33 instruierten Testpersonen				

<b>RoboCart: Einkaufsassistent für Sehbehinderte (2005-2008) [Gharpure 2008]</b>					
Einsatz	Untersuchungen in einem Supermarkt in Logan (USA); technische Ausstattung der Einsatzumgebung (RFID-Teppich) zwecks Vereinfachung der Navigation				
techn.	-	X	-	-	-
Funktionalität	Navigation und Selbstlokalisierung mittels RFID und Laser; Hindernisvermeidung ohne besondere Behandlung von Personen. Konstante, langsame Geschwindigkeit beim Lotsen.				
Sozialw.	-	-	-	-	-
Evaluation	Feldstudien zur Usability				

Verhaltensweise System	Entgegenkommende Kontaktaufnahme	Lotsen einer Person	Folgen einer Person	Ausweichen einer Person	Beobachten einer Person
------------------------	----------------------------------	---------------------	---------------------	-------------------------	-------------------------

<b>Grace: (2007) [Gockley 2007]</b>					
Einsatz	Laborstudie zum Folgen einer Person				
techn.	-	-	X	-	-
Funktionalität	Personentracking basierend auf Laserdaten; Personenverfolgung mit bestimmtem Abstand zur Person mittels "Path Following" bzw. "Direction Following"				
Sozialw.	-	-	X	-	-
Evaluation	Laborstudie zu den beiden alternativen Navigationsverfahren (siehe oben) mit 10 Testpersonen				

<b>CommRob Roboter: Einkaufsassistent (2008-2011) [Germa 2009, Göller 2009, Göller 2010]</b>					
Einsatz	Laborstudien mit Nachbildung eines Supermarktes; technische Ausstattung der Einsatzumgebung (RFID-Tagging)				
techn.	-	-	X	X	-
Funktionalität	Personendetektion und -tracking mittels Gesichtsdetektion und RFID-Tagging; Verfolgung von Personen unter Berücksichtigung ihres "Personal Space" mittels "Visual Servoing"; Berücksichtigung dynamischer Hindernisse und einfache vorausschauende Navigation; bislang nur Demonstration von Teilfunktionalitäten, keine vollständige Integration im Zielsystem				
Sozialw.	-	-	-	-	-
Evaluation	Laborstudien zur Utility, Usability und zum Interaktions- und Navigationsverhalten des Roboters mit instruierten Testpersonen (Stichproben 11 bis 20 Testpersonen)				

<b>CompanionAble: häuslicher Assistenzroboter (2008-2012)[Gross 2011, 2011b, 2012*; Schröter 2013*]</b>					
Einsatz	Häuslicher Assistent für Erinnerungsfunktionen und kognitives Training in Zusammenarbeit mit einer SmartHome Umgebung.				
techn.	X	-	X	-	-
Funktionalität	Heranfahren an Personen erfolgt nur an vordefinierten Positionen; Personendetektion über laserbasierte Beinpaare, bildbasierte Gesichter und Gradientenhistogramme; auch hier wurde der Personal Space nicht für personenzentrierte Navigation genutzt				
Sozialw.	X	-	X	-	-
Evaluation	Test in realer SmartHome Umgebung in Eindhoven mit 6 älteren Paaren jeweils über zwei Tage für die volle Operationszeit des Roboters (ca. 10 Stunden); insgesamt ca. 120 Stunden Feldversuche ohne Präsenz von Robotikern				

<b>ALIAS: häuslicher Assistenzroboter(2010-2013) [Kessler 2011*, Kessler 2012a*]</b>					
Einsatz	Häuslicher Assistent für Unterhaltungs- und Kommunikationsdienste.				
techn.	X	X	-	X	X

Funktionalität	Heranfahren an Personen erfolgt mithilfe des Personal Space Modells; Personendetektion über laserbasierte Beinpaare, bildbasierte Gesichter und Gradientenhistogramme; Lotsen einer Person durch Sprachkommandos, die den Roboter schneller oder langsamer fahren lassen, aber kein aktives Feedback durch Messung der Personenposition; selbstständiges Finden einer Beobachtungsposition				
Sozialw.	X	-	-	-	-
Evaluation	Tests in realen Einsatzumgebungen ohne direkte Evaluation der Navigationsfähigkeiten. Die Tests sind mehr auf die Kommunikations- und Unterhaltungsfähigkeiten konzentriert.				

**Tabelle 1:** Überblick über die wichtigsten vorhabensrelevanten Robotersysteme, deren Einsatzfelder und technische Funktionalitäten im Kontext einer nutzerzentrierten Navigation, der Bewertung bezüglich implementierter sozial relevanter Verhaltensweisen sowie durchgeführter sozialwissenschaftlicher Evaluationsstudien.

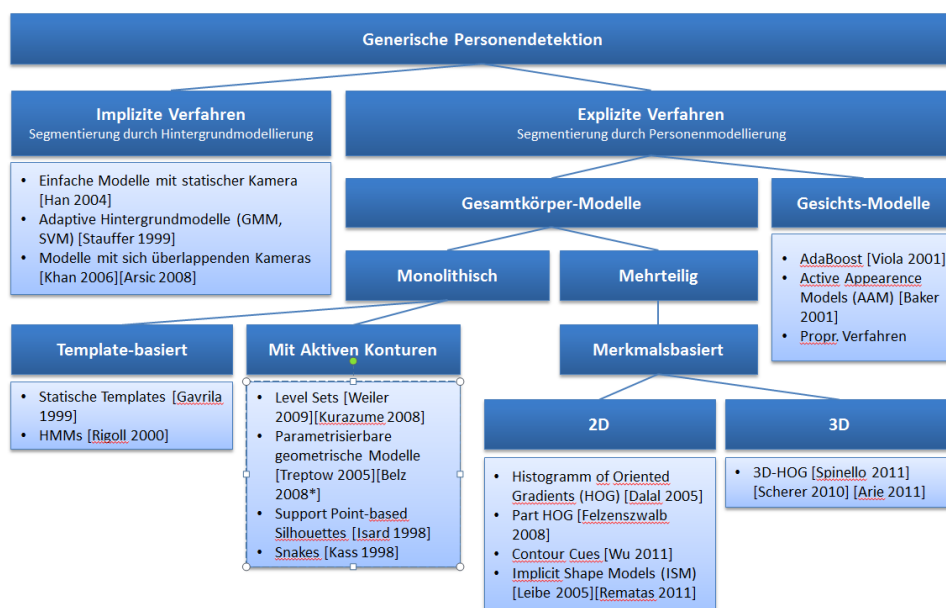
Wie Tabelle 1 zeigt, gab es bislang kein Projekt, in dem alle notwendigen technisch-algorithmischen Voraussetzungen für eine wirklich autonome, nutzerzentrierte und damit auch sozialverträgliche Roboternavigation geschaffen wurden. Hier soll das beantragte Vorhaben ansetzen und zum einen die dafür notwendigen methodisch-technischen Voraussetzungen schaffen und die eigenen Arbeiten in dieser Richtung weiter vorantreiben. Vor dem Hintergrund der Zielstellung dieses Projektes (Navigation im öffentlichen Klinikbereich) scheiden stationäre Installationen zur Personendetektion aus, so dass die Navigation und die Mensch-Roboter-Interaktion (HRI) ausschließlich mit onboard-Sensorik zu realisieren sind. Zum anderen zeigt die Tabelle, dass es bislang auch nur sehr wenige sozialwissenschaftliche Untersuchungen zum sozialverträglichen Navigationsverhalten von Assistenz- und Lotsenrobotern gibt. Prototypstudien im Labor mit kleinen Stichproben oder bereits mit dem System vertrauten Probanden dominieren. Hier soll das beantragte Vorhaben ebenfalls ansetzen und nutzerzentriertes Navigationsverhalten an uneingewiesenen Nutzerstichproben systematisch im Feld evaluieren.

### Personenwahrnehmung und Wiedererkennung

Einen Schwerpunkt des hier beantragten Vorhabens stellt das robuste Detektieren und Verfolgen (Tracken) von Personen sowie das Wiedererkennen einer speziellen Person in einer öffentlich zugänglichen Umgebung (hier im Klinikgebäude) mit der on-board Sensorik des Roboters (Laserdaten und Videodatenstrom) dar.

Wahrnehmung von Personen in Videodaten: Zum Thema der videobasierten Personendetektion gibt es eine ungeheure Fülle an Arbeiten, die zum Teil recht problem- und anwendungsspezifische Annahmen treffen, die für dieses Vorhaben jedoch nicht oder nur teilweise übertragbar sind. Um dennoch einen kompakten und aussagefähigen Überblick zu bekommen wurde durch die Antragsteller die nachfolgende grafische Systematisierung (Abb. **Abbildung 4**) erstellt. Im Bereich der vision-basierten Personendetektion sind sogenannte implizite Verfahren zur Personensegmentierung durch Hintergrundmodellierung sehr verbreitet, können aber wegen der Eigenbewegung nicht auf einem mobilen Serviceroboter angewendet werden. Im Unterschied zu den impliziten Verfahren ist die explizite, d.h. auf einer Vordergrundanalyse basierende, Detektion von Personen mittlerweile sehr effizient auf der Basis von Gesichtern möglich [Baker 2001, Viola 2001]. Im Rahmen dieses Vorhabens müssen jedoch auch Personen detektiert werden, deren Gesichter nicht unbedingt dem mobilen Roboter zugewandt sind oder die so weit vom Roboter entfernt sind, dass ihr Gesicht nicht mehr robust erkennbar ist. Deshalb sind insbesondere die Verfahren zur Ganzkörperdetektion interessant. Es werden vor allem konturbasierte [Isard 1998, Weiler 2009] und merkmalsbasierte [Dalal 2005, Leibe 2005, Felzenszwalb 2008] Verfahren unterschieden. Unter den universellen, vision-

basierten Personendetektoren sind die merkmalsbasierten Verfahren der Ganzkörperdetektion besonders robust und leistungsfähig, wie aktuelle Benchmarks belegen. Jedoch lassen sich diese auf Grund der hohen Berechnungskomplexität und der daraus resultierenden Anforderungen an die Rechenkapazität bislang nicht auf einem notwendigerweise nahezu in Echtzeit operierenden mobilen Serviceroboter anwenden. Dies trifft umso mehr auf die Verfahren zu, welche zusätzlich noch die Positionen einzelner Gliedmaßen schätzen [Stiefelhagen 1998, Voit 2009, Andriluka 2009]. Auch die eigenen im Fachgebiet NI&KR entwickelten echtzeitfähigen Verfahren zur Posenschätzung von Oberkörper und Kopf [Martin 2010\*, Weinrich 2010\*] haben hohen Rechenbedarf. Deshalb werden in der mobilen Servicerobotik häufig multimodale Verfahren eingesetzt, bei denen die visuellen Sensoren und einfache, aber dafür schnelle, Erkennungsverfahren kombiniert werden. Diese schnellen Verfahren nutzen weniger datenintensive und damit einfacher auswertbarer Sensorik, wie Laserscanner.



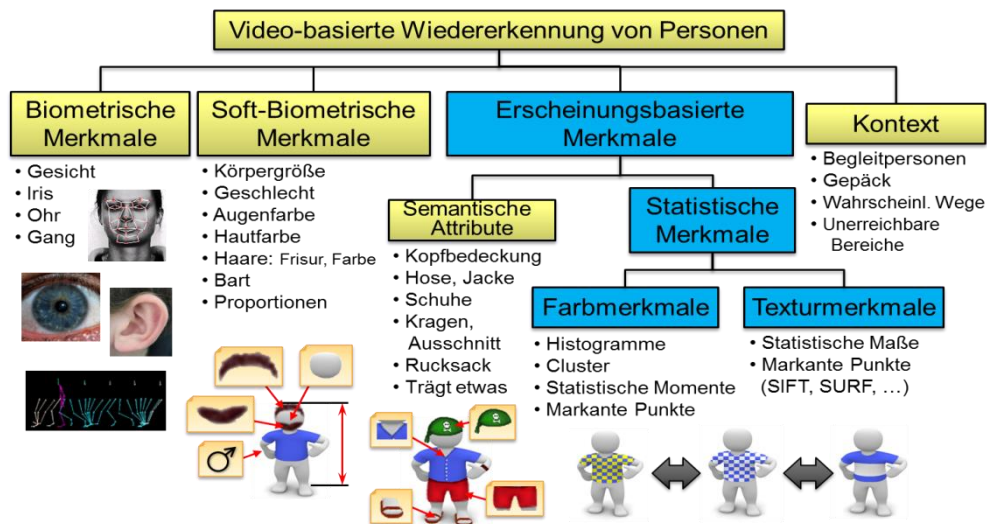
**Abbildung 4:** Systematische Übersicht zu den wichtigsten Verfahren der visuellen Personendetektion. Die im Rahmen des Teilvorhabens durch den Antragsteller verfolgten Ansätze sind rot hervorgehoben.

**Laserbasiertes Personentracking:** Häufiger werden Systeme mit Laserscannern [Gross 2008\*, Martin 2010\*, Müller 2007\*] zur Beinpaardetektion [Arras 2007] eingesetzt. Im Forschungsfeld des laserbasierten Personentrackings existiert eine Vielzahl von unterschiedlichen Verfahren. Neben wenigen 3D- [Spinello 2008] oder Multi-Layer-Ansätzen [Gidel 2008], verfolgt ein Großteil der Verfahren Personen in 2D Lasersensordaten. Häufige Gemeinsamkeit der Arbeiten ist die Extraktion von Features aus den Abstandsmessungen der Sensoren und die anschließende Klassifikation von Beinpaaren. Dies ermöglicht es, Personen von anderen beweglichen Objekten zu unterscheiden. Der Antragsteller kann auf diesem Gebiet bereits umfangreiche Expertise nachweisen [Martin 2006\*, Müller 2007\*, Gross 2008\*, Schenk 2011\*, Schenk 2012a\*, Schenk 2012b\*]. Aktuell bearbeitete Probleme im Themenfeld umfassen inter- und intraviduelle Verdeckungen, hohe Skalierbarkeit und das Verfolgen von Personen innerhalb in Personengruppen. Neuere Verfahren lernen daher besonders robuste, durch AdaBoost optimierte geometrische Features [Arras 2007, Spinello 2008] oder beschäftigen sich mit der Entstehung, Auflösung und Verfolgung von Personengruppen [Lau 2009].

**Personentracking mithilfe von Tiefenkameras:** Seit dem Erscheinen der Microsoft Kinect im November 2010, einer auf aktiver Triangulation basierenden Tiefenkamera, wurden viele erfolgreiche Verfahren zur Personendetektion und Posenschätzung entwickelt [Shotton 2013,

PrimeSense 2010, Villaroman 2011]. Allerdings ist die Kamera verhältnismäßig groß (ca. 28 x 7 x 7 cm), hat wegen der Beleuchtungseinheit einen hohen Stromverbrauch (ca. 12 W) und der Erfassungsbereich ist auf ca. 6 m Distanz und 75° horizontalen Bildwinkel beschränkt, was mehrere gleichartige Kameras für eine Rundumsicht notwendig machen und die simultane Berechnung der Datenströme einen nicht zu unterschätzenden Aufwand darstellen würde.

Verfahren zur videobasierten Personenwiedererkennung: Das gezielte Lotsen oder das Folgen einer Person erfordert in Einsatzszenarien mit einem hohen Personenaufkommen (wie in einer Klinik) zwingend eine robuste Wiedererkennung des aktuellen Nutzers anhand personenspezifischer Merkmale, da nur so eine nutzerzentrierte Navigation garantiert werden kann. Zum Thema der videobasierten Personenwiedererkennung gibt es mittlerweile ebenfalls zahlreiche Arbeiten, die zum Teil recht problem- und anwendungsspezifische Annahmen treffen, die für dieses Vorhaben nicht oder nur teilweise übertragbar sind. Um dennoch einen kompakten und aussagefähigen Überblick zu bekommen und auch die eigenen favorisierten Ansätze und Methoden einordnen zu können, wurde die in Abb. **Abbildung 5** dargestellte grafische Systematisierung erstellt.



**Abbildung 5:** Übersicht zu den wichtigsten Verfahren der visuellen Personenwiedererkennung. Für ROREAS-TUI sind die blau hinterlegten Verfahren relevant.

In ROREAS-TUI soll der Fokus auf die blau markierten Verfahren, die erscheinungsbasierte Merkmale des Nutzers extrahieren, gelegt werden. Wichtig ist, dass diese Merkmale weitestgehend invariant gegenüber Umweltbedingungen wie z.B. Beleuchtung, Pose oder Skalierung der Person sind. In [Lee 2008] werden zu diesem Zweck SIFT-Features [Lowe 2004] auf Gesichtern eingesetzt. Für das vorliegende Vorhaben sind vor allem aber Features interessant, welche die Unterscheidung von Personen auch auf größere Distanz erlauben. Häufig werden zu diesem Zweck Farbhistogramme [Liu 2007], Haar-Wavelets in Kombination mit Local-Binary-Pattern [Breitenstein 2010] oder direkt Image Patches [Lu 2006, Song 2010] verwendet.

## 2 Eingehende Darstellung

### 2.1 Erzielte Ergebnisse

Die nachfolgenden Tabellen zeigen die im Projektantrag festgelegten Arbeitspakete (AP) mit den entsprechenden Teilaufgaben (TA). Die dafür beantragten Personenmonaten (PM) wurden zu Beginn der Projektbearbeitung intern geringfügig umverteilt (siehe 1. Zwischenbericht 07-12/2013) und sind in der Spalte „TUI mod.“ dargestellt. Die letzte Spalte der Tabellen enthält die in der jeweiligen TA

ausgeführten Arbeiten, erfolgte Funktionstests mit Ergebnissen, offen gebliebene Probleme und die Art der Dokumentation der Ergebnisse.

<b>AP 1: Nutzerzentrierte Anforderungsanalyse &amp; Usability Engineering (ML: 6, Klinik: 8, <u>SIBIS</u>: 8, TUI: 3,5, BARMER)</b>			
<b>Teilaufgaben:</b>		<b>TUI mod.</b>	
<b>TA 1</b>	Vertiefung des State-of-Art: Anforderungen an und Realisierung von Reha-Robotern	<b>0,5</b>	<u>Erfolgte Arbeiten</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Rechercharbeiten zum State-of-Art: Anforderungen an und Realisierung von Reha-Robotern</li> </ul> <u>Dokumentation der erfolgten Arbeiten</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Überführung der Ergebnisse in [Gross 2016*]</li> </ul>
<b>TA 2</b>	Anforderungsanalysen	<b>0,5</b>	<u>Erfolgte Arbeiten</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Anforderungsanalyse aus methodisch technischer Sicht auf Basis der Szenariobeschreibungen der m&amp;i-Klinik</li> <li>• Entwicklung einer gemeinsamen Systemarchitektur mit Zusammenspiel der Module und Klärung bzw. Abgrenzung der softwaretechnischen Verantwortlichkeiten von TUI &amp; MetraLabs</li> <li>• Festlegung messbarer Gütekriterien und der Kriterien zum Benchmarking</li> </ul> <u>Dokumentation der erfolgten Arbeiten</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Erstellung eines 56-seitigen Spezifikationsdokumentes (kann bei Bedarf vorgelegt werden)</li> <li>• Überführung der Ergebnisse in [Scheidig 2014*]</li> </ul>
<b>TA 3</b>	Spezifikation des Demonstrators Laufcoach in unterschiedlichen Entwicklungsstufen: Entwicklung von Szenarien/ Use Cases	<b>1</b>	<u>Erfolgte Arbeiten</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Spezifizierung des Demonstrators „Laufcoach“ auch im Kontext erfolgter Funktionstest (s. AP 5 TA 6) und erweiterter Szenariobeschreibungen durch den Partner m&amp;i</li> <li>• Erstellung von fünf mit den Projektpartnern abgestimmten Use Cases für den „Laufcoach“ aus methodisch-techn. Sicht</li> </ul> <u>Dokumentation der erfolgten Arbeiten</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Erstellung eines 56-seitigen Spezifikationsdokumentes aus TA 2 (kann bei Bedarf vorgelegt werden)</li> <li>• Überführung der Ergebnisse in [Gross 2014*]</li> </ul>
<b>TA 4</b>	Spezifikation des Demonstrators Laufcoach mit ergänzendem Raumorientierungstraining am Beispiel des Hol- und Bringendienstes: Entwicklung von Szenarien/ Use Cases	<b>1</b>	<u>Erfolgte Arbeiten</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Spezifizierung des Demonstrators „Orientierungstraining“ auch im Kontext bereits erfolgter Funktionstest (s. AP 5 TA 6) und erweiterter Szenariobeschreibungen durch den Partner m&amp;i</li> <li>• Erstellung eines mit den Projektpartnern abgestimmten Use Cases für ein Orientierungstraining ergänzend zu den fünf Use Cases in TA 3 aus methodisch-technischer Sicht</li> </ul> <u>Dokumentation der erfolgten Arbeiten</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Integration in das 56-seitige Spezifikationsdokument aus TA 2 (kann bei Bedarf vorgelegt werden)</li> </ul>
<b>TA 8</b>	Berücksichtigung von Ethikaspekten und des Datenschutzes zur Klärung der rechtlichen Randbedingungen als Input für TA 6	<b>0,5</b>	<u>Erfolgte Arbeiten und Änderungen</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Arbeiten zum TA wurden durch Partner m&amp;i übernommen</li> <li>• Nutzung der PM in anderen APs</li> </ul>

**AP 2: Navigation in klinischer Umgebung und Kontakthalten (ML: 6, Klinik: 2, SIBIS: 0, TUI: 34)**

**NEU: 32,5 PM**

Teilaufgaben:		TUI mod.	
<p><b>TA 1</b></p>	<p>Auswahl, Adaption bereits vorhandener Navigations-Module (Kartenbau, Umweltmodellierung, Pfadplanung) für den robusten Einsatz in der klinischen Umgebung zur Navigation auf einer Ebene des Klinikgebäudes</p>	<p><b>6</b></p>	<p><u>Erfolgte Arbeiten</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Auswahl und Anpassung von Methoden zum laserbasierten Bau metrischer 2D-Navigationskarten</li> <li>• Anpassung und Weiterentwicklung effizienter Methoden zur 3D-Kartierung unter Nutzung einer Tiefenkamera</li> <li>• Verbesserung der Ansteuerung der PTU zur gezielten 3D-Umgebungserfassung</li> <li>• Tiefenkalibrierung des PrimeSense-Sensors (siehe <b>Abb. Abbildung 6</b>)</li> <li>• 3D-Unterscheidung statischer und dynamischer (z.B. auch Personen) Hindernisse (siehe <b>Abb. Abbildung 7</b>)</li> <li>• Behandlung bewegter Objekte (Personen), die den schmalen Sichtbereich der Tiefenkamera verlassen und durch nicht-Beobachtung als Hindernisse in der Navigationskarte verbleiben würden; Lösungsansatz (siehe <b>Abb. Abbildung 8</b>):             <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Detektion und Tracking bewegter Hindernisse</li> <li>○ Weiterpropagieren der Belegheitswahrscheinlichkeit</li> </ul> </li> <li>• Integration der lokalen laserbasierten u. 3D-bildbasierten Karten in gemeinsame lokale Karte zur lokalen Hindernisvermeidung</li> <li>• robustere 3D-Hinderniserkennung für flache Hindernisse durch:             <ul style="list-style-type: none"> <li>○ entfernungsabhängige Hindernisschwelle (s. <b>Abb. Abbildung 9</b> oben)</li> <li>○ Schätzung einer Konfidenz für Hindernishöhe mittels Intervalanalyse, die das Sensorrauschen als unbekannt (nicht normalverteilt) und beschränkt annimmt (s. <b>Abb. Abbildung 9</b> unten)</li> </ul> </li> <li>• adaptive Zellauflösung zur effizienteren Speicherung und Verarbeitung: Ungenauigkeit der Sensormessungen wächst mit dem Quadrat der Entfernung (im Nahbereich Genauigkeit von 1-2 cm, ab Entfernungen von 2 m nur noch 10-20 cm)</li> <li>• Integration von zwei PrimeSense-Tiefensensoren in Fahrtrichtung             <ul style="list-style-type: none"> <li>○ dazu gleichzeitiges Eintragen verschiedener Sensoren in dieselbe Karte</li> <li>○ ermöglicht gleichzeitiges Mapping mit mehreren Kinect</li> </ul> </li> <li>• Refactoring des NDT-Mappings</li> </ul> <p><u>Funktionstests</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aufnahme von Navigationskarten für acht Ebenen des Klinikgebäudes zur autonomen Navigation</li> <li>• freie Funktionstests zu allen oben genannten Aspekten im Labor, im eigenen Fakultätsgebäude und in der Klinik</li> <li>• Benchmarks und Erfassung von Gütekriterien in der Klinik</li> <li>• Verwendung bei Nutzertests</li> </ul> <p><u>Aufgetretene und offene Probleme</u></p>



			<ul style="list-style-type: none"> <li>• instabiler gleichzeitiger Betrieb von mehreren 3D-Sensoren → daher beide 3D-Sensoren an verschiedenen PCs, Übertragung der Daten per LAN</li> <li>• USB Bus eines PCs bereits durch andere Geräte (CAN, etc) ausgelastet</li> </ul> <p><u>Dokumentation der erfolgten Arbeiten</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Überführung der Ergebnisse in [Gross 2017*; Gross 2016a,b,c*; Einhorn 2015*; Scheidig 2015*]</li> <li>• Thematische Bearbeitung in MA T. Schmiedel (2014)</li> </ul>
<b>TA 2</b>	Navigation über mehrere Ebenen (Modellierung und Pfadplanung) unter Nutzung des Fahrstuhls und einer Begleitperson zum Rufen und Bedienen des Fahrstuhls	<b>2</b>	<p><u>Erfolgte Arbeiten</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Erweiterung von Methoden zum Bau topologischer Karten zur Repräsentation mehrerer Ebenen des Klinikgebäudes</li> <li>• sw-technische Integration der bereits erzeugten metrischen 2D-Navigationskarten und der topologischen Karten</li> <li>• Integration der Navigationskarten von sieben Ebenen des Klinikgebäudes in eine hierarchische topologische Karte</li> <li>• Entwicklung einer hybriden topologisch-metrischen Pfadplanung, dadurch starke Verkürzung der Planungszeiten auch in großen Umgebungen</li> <li>• Berücksichtigung der topolog. Karten bei Navigation erste Arbeiten zur Umplanung nicht nur in den metrischen Navigationskarten, sondern auch unter Einbeziehung der topologischen Karten</li> <li>• Entwicklung eines Editors gemeinsam mit MetraLabs zur Erstellung hierarchischer topologischer Karten (siehe <b>Abb. Abbildung 10</b>)</li> </ul> <p><u>Funktionstests</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Funktionstests zur Mehrebenenavigation im eigenen Fakultätsgebäude</li> </ul> <p><u>Aufgetretene und offene Probleme</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• durch die bislang technisch nicht mögliche Ansteuerung der Fahrstühle der Klinik durch den Roboter erfolgen Funktionstests zur Mehrebenenavigation und Fahrstuhlnutzung im eigenen Fakultätsgebäude</li> <li>• eine gemeinsame Fahrstuhlnutzung von Patient und Roboter setzt bislang dringend die Möglichkeit zur Ansteuerung des Fahrstuhls durch den Roboter voraus</li> <li>• alternativ erscheint die gemeinsame Fahrstuhlnutzung von Patient und Roboter auch bei manueller Bedienung des Fahrstuhls durch den Patienten z.B. aufgrund der Problematik des Offenhaltens der Türen und des schnellen Herauslassens unbeteiligter Personen nach der Anforderungsanalyse in AP 1 TA 2 als separat zu lösende Problemstellung</li> <li>• Umsetzung und Optimierung des Algorithmus zur Umplanung in der topologischen Karte zur effizienteren Pfadplanung</li> </ul> <p><u>Dokumentation der erfolgten Arbeiten</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Überführung der Ergebnisse in [Gross 2014*]</li> </ul>
<b>TA 3</b>	Realisierung der nutzerzentrierten Navigationsleistungen: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Folgen und Lotsen als Voraussetzung für den</li> </ul>	<b>10</b>	<p><u>Änderungen zum Projektantrag</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• da die Funktion des Abstandhaltens (TA 5 im Projektantrag) sehr eng und nicht trennbar mit den Navigationsleistungen des Folgens u. Lotsens verbunden ist, werden 4 PM aus TA 5 in TA 3 integriert</li> <li>• bislang war die Funktion des Heranfahrens an eine Person</li> </ul>

	<p>Demonstrator Laufcoach und das Raumorientierungstraining unter Nutzung der in AP 3 entwickelten Leistungen</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Halten eines sinnvollen Interaktionsabstands</li> <li>• Heranfahren an eine Person</li> <li>• Kontaktinitiiierung</li> </ul>		<p>zum Beginn einer Interaktion nicht vorgesehen; dies wird neu mit in diese TA integriert</p> <p><u>Erfolgte Arbeiten</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Lotsen:</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Roboter passt seine Geschwindigkeit an die der zu lotsenden Person an u. zeigt dabei gleichmäßiges Fahrverhalten</li> <li>○ dazu wird zukünftige Personenposition (lineares Bewegungsmodell) u. zukünftige Roboterposition bestimmt</li> <li>○ alternative Bewegungskommandos werden dann basierend auf der Einhaltung des gewünschten Abstands bewertet und das Beste ausgewählt</li> </ul> </li> <li>• <i>Folgen:</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Roboter folgt einer sich bewegenden Person, umfährt dabei Hindernisse und passt sich an deren Laufgeschwindigkeit an</li> <li>○ beim Folgen einer Person wird diese als dynamischer Zielpunkt betrachtet, der in einem bestimmten Umkreis anzufahren ist</li> <li>○ Nutzung des Pfadplanungsalgorithmus E*, um die Navigationsfunktion zu möglichen prädizierten Einholpunkten an die Person (deren Bewegung wird linear prädiziert) zu berechnen</li> <li>○ prädizierte Einholpunkte: Positionen, an denen sich Roboter und Person treffen würden</li> <li>○ Pfadplanung zu aktueller Personenposition wird neu gestartet, sobald Pfad zur letzten Position zur Navigation nutzbar ist</li> <li>○ Integration des Personenfolgens in die metrischen Navigationskarten, um ein Folgen von Personen auch um Ecken herum zu ermöglichen</li> <li>○ hält eine Person beim Folgen an, wird eine Interaktionsbereitschaft des Roboters durch Heranfahren vor die Person und Zuwendung des Displays hergestellt</li> </ul> </li> <li>• <i>Höfliches Rechtsfahren:</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Roboter hält wenn möglich einen linkseitigen Mindestabstand zu Hindernissen, um entgegenkommenden Personen Freiraum zu lassen</li> <li>○ kleinere rechtsseitige Freiräume werden nicht zur Wahrung des linksseitigen Mindestabstandes genutzt, so dass das Fahrverhalten gleichmäßig bleibt → keine unnötigen und unnatürlichen Kurvenfahrten</li> </ul> </li> <li>• <i>Personal Space:</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Bewegung von Personen in der Nähe des Roboters sehr stark durch dessen Anwesenheit geprägt → lineares Modell zur Personenprädiktion daher nicht ausreichend</li> <li>○ daher: Berücksichtigung der Geschwindigkeit der Person, der Hinderniskonstellation und der räumlichen Relation von Person zu Roboter zur Prädiktion der zukünftigen Aufenthaltswahrscheinlichkeit der Person</li> <li>○ Bewegungskommandos, die zu nah an prädizierte Personenpositionen heranführen, werden über eine Kostenfunktion schlecht bewertet und somit nicht</li> </ul> </li> </ul>
--	---	--	--

			<p>ausgeführt (siehe Abb.<b>Abbildung 11</b>); es werden Navigationskommandos bevorzugt, die den prädierten Begegnungsort mit geringer Robotergeschwindigkeit umfahren</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Bestimmung eines Personal Space durch Nutzung einer Kostenkarte, in der stehende Personen mit einer gaußförmigen Kostenfunktion überlagert sind (siehe Abb.<b>Abbildung 12</b>)</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Heranfahen an eine Person:</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Optimierungsproblem mit Berücksichtigung sämtlicher erreichbarer Positionen und Anfahrt der mittels Particle Smarm Optimization (PSO) optimierten Position über E*-Algorithmus in komplexeren Trajektorien als mit denen über Klothoiden möglichen (sog. taktische Navigation)</li> <li>○ PSO-Optimierungskriterien: generelle Erreichbarkeit durch den Roboter, Distanz zum Roboter, Abstand zu Person, Nähe zu Hindernissen, Orientierung des Displays zur Person (siehe Abb.<b>Abbildung 13</b>)</li> <li>○ Optimierung der Bestimmung der Ausrichtung des Bildschirms beim Folgen und Heranfahen an Personen zur bequemeren Bedienung durch Nutzer</li> <li>○ Erkennung von Situationen, wenn Heranfahen an Person nicht möglich</li> </ul> </li> <li>• <i>Kontaktinitiierung:</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ die Augen des Roboters sind: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ beim Lotsen und Folgen auf die jeweilige zu begleitende Person gerichtet</li> <li>▪ während des Wartens auf die am meisten interessierte Person (Analyse Oberkörperorientierung, s. AP 3-1 TA 1) gerichtet; Display wird in deren Richtung gedreht; Roboter zwinkert Person an, wenn er seine Hilfe per Audioausgabe anbietet</li> </ul> </li> </ul> </li> </ul> <p><u>Funktionstests</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• empirische Ermittlung verschiedener Parameter beim Personal Space</li> <li>• freie Funktionstests zu allen oben genannten Aspekten im Labor, im eigenen Fakultätsgebäude und in der Klinik</li> <li>• systematische Funktionstests über mehrere Tage in der Klinik zur qualitativen Evaluation der Aspekte des höflichen Rechtsfahrens und des Personal Space</li> <li>• Verwendung bei Nutzertests</li> </ul> <p><u>Dokumentation der erfolgten Arbeiten</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Überführung der Ergebnisse in Dissertation Ch. Weinrich sowie [Gross 2016a,b,c*]</li> <li>• Thematische Bearbeitung in MA B. Seidl (2015), BA J. Domey (2015), BA J. Liebner (2015)</li> </ul>
<b>TA 4</b>	Erkennung eines Abweichens des Patienten vom vorgegebenen Übungsweg	<b>1</b>	<p><u>Erfolgte Arbeiten</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Erzeugung einer sich zwischen Ausgangsposition des Patienten und dem zu erreichenden Ziel ausbreitenden Wellenfront über E*-Algorithmus (Maximumswert an Startposition der Person und Minimumswert an der Zielposition)</li> <li>• Bewegung des Patienten in Richtung Ziel → Werte auf der</li> </ul>

			<p>Wellenfront, die der aktuellen Position des Patienten entsprechen, werden dann immer kleiner</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Erkennung eines Abweichens des Patienten vom vorgegebenen Übungsweg, wenn die Werte auf der Wellenfront, die der aktuellen Position des Patienten entsprechen, größer werden als bereits erreichte Werte (Schwellwert: 3 m)</li> </ul> <p><u>Funktionstests</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>empirische Ermittlung von Parametern</li> </ul>
<b>TA 7</b>	Realisierung der Navigationsverhaltensweise „höfliche Navigation“ bei Engstellen und entgegenkommenden Personen inkl. Prädiktion von Bewegungstrajektorien von entgegenkommenden Personen und Behandlung von Begegnungen mit am Lauf- und Raumorientierungstraining unbeteiligten Personen	<b>12</b>	<p><u>Änderungen zum Projektantrag</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>aufgrund der inhaltlichen Nähe und der starken und nach Durchführung der Anforderungsanalyse nicht lösbaren Kopplung der TA 6 bis 8 erfolgte eine Integration der 5 PM aus TA 6 des Projektantrags und der 2 PM aus TA 8 des Projektantrags in TA 7</li> </ul> <p><u>Erfolgte Arbeiten</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><i>Erkennung von Engstellen:</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>treten dort auf, wo sich ausschließlich eine Person oder der Roboter befinden können (z.B. Klinikflur mit Stationswagen oder Türdurchgänge)</li> <li>Berücksichtigung der Durchfahrtsbreite entlang des geplanten Pfades (Berechnung von Normalen entlang der approximierten Kurve und Raytracing mit Normalen, siehe Abb. <b>Abbildung 14</b>)</li> </ul> </li> <li><i>Situationserkennung vor Engstellen (s. Abb. <b>Abbildung 15</b>):</i> <ul style="list-style-type: none"> <li><i>Erfassung und Prädiktion entgegenkommender Personen:</i> bei Erkennung eines Platzkonflikts weicht Roboter auf geeignete Parkposition vor der Engstelle aus und lässt Person durch</li> <li><i>Erfassung und Prädiktion einer neben dem Roboter in gleiche Richtung laufenden Person:</i> Roboter ordnet sich in „Reihe“ ein und fährt hinter der Person mit angepasstem Tempo durch die Engstelle, ohne sie zu drängen (sog. Einreihung)</li> <li>Nutzung eines Entscheidungsbaums zur Auswahl eines Roboterverhaltens: Weiterfahrt, Einreihung (mit Folgen aus AP 2, TA 3), Einnehmen einer Parkposition)</li> </ul> </li> <li><i>Ermittlung einer Warteposition:</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>Nutzung der globalen u. lokalen Navigationskarte mit PSO-Optimierung zur Ermittlung der Warteposition</li> <li>PSO-Kriterien (nah an Wänden, Beobachtung der Engstelle und Personal Space)</li> </ul> </li> </ul> <p><u>Funktionstests</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>freie Funktionstests im Labor, im eigenen Fakultätsgebäude und in der Klinik ohne Aufnahme von Gütemaßen</li> <li>manuell getriggertes Anfahren einer Warteposition an unkritischen Positionen in der Klinik</li> <li>keine Verwendung bei Nutzertests</li> </ul> <p><u>Aufgetretene und offene Probleme</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Erfassungsbereich entgegenkommender Personen liegt zur Zeit bei ca. 3 m, so dass aufgrund der schon vorliegenden räumlichen Nähe eine Prädiktion der Bewegungsspur von Personen keine Auswirkungen hat</li> </ul>

			<ul style="list-style-type: none"> <li>zur frühzeitigeren Erfassung von Personen (AP 3-1) müssen weitere leistungsfähige bildbasierte Personendetektoren integriert werden</li> <li>weiterführende methodische Arbeiten erforderlich, z.B. zur Ermittlung und zum Verlassen der Parkposition, zur Ermittlung von Platzkonflikten und zur Unterscheidung von beweglichen von statischen Engstellen</li> <li>Benchmarks und Erfassung von Gütekriterien ausstehend</li> </ul> <u>Dokumentation der erfolgten Arbeiten</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>Überführung der Ergebnisse in [Trinh 2015*]</li> <li>Thematische Bearbeitung in MA T.Q. Trinh (2014) und MA T. Bashour (2013)</li> </ul>
<b>TA 9</b>	Treppensituationen	<b>0,5</b>	<u>Erfolgte Arbeiten</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>durch Tiefenkameras können als frei beobachtete Zellen unterhalb der Bodenebene als Abgrund (d.h. nicht befahrbar) interpretiert werden (s. Abb.<b>Abbildung 16</b>), so dass Abgründe, die von Laser-Sensoren nicht wahrgenommen können, erfassbar sind</li> <li>Integration in Gesamtsystem</li> </ul> <u>Funktionstests</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>empirische Untersuchungen auf Datensätzen</li> </ul> <u>Aufgetretene und offene Probleme</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>Prüfen auf Fehlauflösungen ausstehend</li> <li>hardwarebasierten Treppenerkennung mit TeraRanger One aufgrund dessen unzureichender Leistungsfähigkeit von MetraLabs nicht in Roboter integriert</li> </ul>
<b>Weiteres</b>		<b>1</b>	<u>Erfolgte Arbeiten</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>anteilige projektbezogene Arbeiten, die in keiner anderen TA vorgesehen waren, wie z.B. Integrationsarbeiten, Hardwarearbeiten an der aktuellen Plattform oder auch interne Projektabsprachen bzw. Absprachen mit den Projektpartnern zu AP 2</li> </ul>

**AP 3-1: Nutzerdetektion, - tracking (ML: 0, Klinik: 1, SIBIS: 0, TUI: 17)**

**NEU TUI: 16 PM**

<b>Teilaufgaben:</b>		<b>TUI mod.</b>	
<b>TA 1</b>	Adaption, Erweiterung und Integration bereits vorhandener Detektions- und Trackingmethoden	<b>5</b>	<u>Erfolgte Arbeiten</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>Integration und Anpassung eines bereits vorhandenen Multi-Personentrackers für stehende und laufende Personen basierend auf einer laserbasierten Beinpaardetektion und einer bildbasierten Oberkörpererfassung</li> <li>Datenaufnahme für Sensorkonfiguration der neuen Roboterplattformen</li> <li>Datenaufnahme zur Erkennung von Personen auf Stühlen und nah an Wänden</li> <li>Datenaufnahme und Training von neuem Personendetektor FPDW für die klinische Einsatzumgebung</li> <li>Implementierung von Methoden zur Erkennung sitzender Personen</li> <li>softwaretechnische Erweiterung des Personentrackers zur</li> </ul>

			<p>Integration einer Personenwiedererkennung mit vereinheitlichter Schnittstelle</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Handy-App zur Schrittzahl-Protokollierung</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Ziel: Unterstützung des Personentrackings durch Nutzung von Handy-Lokalisationsinformationen</li> <li>○ Entwicklung einer Gyroskop-basierten Handy-App zur Erfassung der Anzahl getätigter Schritte eines Patienten über den Tag</li> <li>○ Protokoll enthält Anzahl der Schritte je Minute</li> <li>○ automatisches Upload der Protokolldatei zum Webserver der Patientenverwaltung</li> <li>○ Nutzung auch für Evaluation des therapeutischen Trainingserfolgs</li> </ul> </li> </ul> <p><u>Funktionstests:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• vergleichende Untersuchung bekannter bildbasierter Detektoren (C4, FPDW, HOG, partHOG, upperBody HOG, upperBody HOG mit Orientierung) anhand eines anspruchsvollen Datensatzes mit realen Klinikdaten</li> <li>• Evaluation von neuem Personendetektor FPDW für die klinische Einsatzumgebung</li> <li>• Benchmarks und Erfassung der Gütekriterien zur Personendetektion im klinischen Umfeld</li> <li>• Verwendung einer laser- und bildbasierten Multi-Personentracker für die Nutzertests</li> <li>• Einsatz der Handy-App im klinischen Betrieb durch m&amp;i</li> </ul> <p><u>Aufgetretene und offene Probleme</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Training des FPDW mit weiteren Personendaten unter Nutzung der erst zum Projektende vorliegenden omnidirektionalen Kamera aus klinischem Umfeld erforderlich</li> <li>• visuelle Detektion sitzender Personen durch zu kleinen vertikalen Öffnungswinkel der omnidirektionalen Kamera der Experimentalplattform problematisch</li> <li>• die zu Projektende verfügbare neue omnidirektionale Kamera lief instabil, so dass Langzeitfunktions- und Nutzertests erschwert wurden</li> <li>• ggf. Integration der Handy-App in Personentracker</li> </ul> <p><u>Dokumentation der erfolgten Arbeiten</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Überführung der Ergebnisse in [Wengefeld 2016*]</li> <li>• Thematische Bearbeitung in MA Ch. Henke (2014), BA M. Funk (2015), BA R. Arenknecht (2015)</li> </ul>
TA 3	Personendetektionsmodule zur robusten Erkennung von Personen mit und ohne Laufhilfsmitteln	10	<p><u>Änderungen zum Projektantrag</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• während der Projektbearbeitung wurde festgelegt, dass keine Unterscheidung von Personen mit bzw. ohne Laufhilfsmittel erfolgt und für alle ein gemeinsames Personenmodell gelernt wird, so dass 4 PM von TA 2 in TA 3 überführt wurden</li> <li>• während der Projektbearbeitung wurde erkannt, dass eine Personenwiedererkennung noch höhere Bedeutung in der Projektbearbeitung besitzt als ursprünglich angenommen; daher werden zwei weitere PM von TA 2 in AP3-2 TA 2 integriert</li> </ul> <p><u>Erfolgte Arbeiten</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Datenaufnahme von Laserdaten mit Experimentalplattform und neuer Roboterplattform in Klinik: Personen mit Krücken, mit Rollatoren, mit Rollstühlen und ohne Laufhilfsmittel</li> </ul>

			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ermittlung geeigneterer Merkmale für laserbasierten Detektor (siehe Abb. <b>Abbildung 17</b>) <ul style="list-style-type: none"> <li>○ invariant gegenüber Distanz zw. Objekt und Sensor</li> <li>○ unspezifisch bzgl. der zu detektierenden Objekte</li> <li>○ unspezifisch bzgl. Segmentierung des Laserscans</li> </ul> </li> <li>• Verbesserung des AdaBoost-Klassifikators durch Nutzung von Entscheidungsbäumen als Weak Classifiers</li> </ul> <p><u>Funktionstests:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• experimentelle Untersuchungen mit neuen Merkmalen ergaben auf Krankenhausdaten verbesserte Detektionsraten: <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Detektionsrate (TPR): 88.1% → <b>99.1%</b></li> <li>○ korrekte Klassifikation der Gehhilfen: 69% → <b>88%</b></li> </ul> </li> <li>• Verwendung bei Nutzertests</li> </ul> <p><u>Dokumentation der erfolgten Arbeiten</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Überführung der Ergebnisse in [Weinrich 2014a,b*]</li> <li>• Thematische Bearbeitung in MA T. Wengefeld (2013)</li> </ul>
Weiteres		1	<p><u>Erfolgte Arbeiten</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• anteilige projektbezogene Arbeiten, die in keiner anderen TA vorgesehen waren, wie z.B. Integrationsarbeiten, Hardwarearbeiten an der aktuellen Plattform oder auch interne Projektabsprachen bzw. Absprachen mit Projektpartnern zu AP 3-1</li> </ul>

### AP 3-2: Nutzerwiedererkennung bei Multipersonendetektion (ML: 2, Klinik: 1, SIBIS: 0, TUI: 12)

NEU TUI: 14,5 PM

Teilaufgaben:		TUI mod.	
TA 1	Integration einer kleidungsbasierten Wiedererkennung	6	<p><u>Erfolgte Arbeiten</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Validierung der vorhandenen Methoden</li> <li>• Entwicklung eines mehrstuf. Ansatzes zur Personenwiedererk.</li> <li>• Lernen eines personenspezifischen Modells über den mehrstufigen Ansatz mit dem Vorteil der schnellen Verfügbarkeit <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Stufe 1 sofort verfügbar <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ nur Initialbild erforderlich</li> <li>▪ schnelle Entscheidungen</li> <li>▪ niedriger Rechenaufwand: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Merkmalsextraktion: ca. 8 ms /Person im Bild</li> <li>• Matching: weniger als 70 µs /Vergleich</li> </ul> </li> </ul> </li> <li>○ Stufe 2 nach ca. 2-3 Sekunden verfügbar</li> <li>○ Stufe 3 nach ca. 15 Sekunden verfügbar <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ hohe Robustheit</li> <li>▪ unterschiedliche Beleuchtung u. Verdeckung ausgleichbar</li> </ul> </li> </ul> </li> <li>• Anpassung der Erkennungsmethoden an neue Omnikamera</li> <li>• Aufnahme eines systematischen Datensatzes, der alle klinischen Bedingungen abdeckt (Klinik-Benchmarkdatensatz)</li> <li>• Einbindung transponderbasierte Wiedererkennung von MetraLabs als Notfallstrategie, wenn Patient visuell nicht erkannt wird</li> </ul> <p><u>Funktionstests</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Erkennungsraten auf öffentlich verfügbarem Benchmark-</li> </ul>

			<p>Personendatensatz in Stufe 1:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Verwechslung bei 2 Personen 1.3%</li> <li>○ bei 10 Personen 11%</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Funktionstests auf erstelltem Klinik-Benchmarkdatensatz <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Verwechslung bei 2 Personen 7%</li> <li>○ bei 10 Personen 29%</li> </ul> </li> <li>• mehrtägige freie Funktionstests im klinikähnlichen Fakultätsgebäude</li> <li>• Verwendung bei Nutzertests</li> </ul> <p><u>Aufgetretene und offene Probleme</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• schlechte Bildqualität der Kamera der Experimentalplattform</li> <li>• Wahl des Schwellwerts zur Entscheidung, ob eine Person der aktuelle Nutzer ist, hängt von Kleidung ab (z.B. gleiche Klinikbekleidungen vs. farbenfrohe Freizeitbekleidung) → Schwellwerte müssen zur Laufzeit anhand der Daten gewählt werden</li> <li>• Bildqualität der erst zu Projektende verfügbaren neue omnidirektionale Kamera erst nach Hardwarearbeiten nach Projektende ausreichend</li> </ul> <p><u>Dokumentation der erfolgten Arbeiten</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Überführung der Ergebnisse in [Eisenbach 2016*; Wengefeld 2016*; Eisenbach 2015a,b*]</li> <li>• Thematische Bearbeitung in MA T. Wengefeld (2013), BA G. Graser (2015)</li> </ul>
<b>TA 2</b>	Nutzung diskriminativer Features und Realisierung von Invarianzleistungen gegenüber Ansicht und Beleuchtung	<b>8</b>	<p><u>Änderungen zum Projektantrag</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• aufgrund der während der Bearbeitung ermittelten sehr hohen Bedeutung einer Personenwiedererkennung wurde diese TA um zwei PM aus AP3-1 TA 2 erhöht</li> </ul> <p><u>Erfolgte Arbeiten</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Integration eines State-of-the-Art Metric-Learning-Verfahrens und dessen Verbesserung bezüglich Qualität und Laufzeit</li> <li>• ausführliche Tests zu einsetzbaren Merkmalen für die Wiedererkennung und zur Fusion auf Score-Level</li> <li>• Entwicklung eines Deep-Learning Ansatzes zur Personendetektion im klinischen Umfeld</li> </ul> <p><u>Funktionstests</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tests und Benchmarks auf Klinik-Benchmarkdatensatz, auf öffentlich verfügbarem Benchmarkdatensatz sowie freie Tests in der Klinik und im klinikähnlichen Fakultätsgebäude</li> <li>• Verwendung bei Nutzertests</li> </ul> <p><u>Dokumentation der erfolgten Arbeiten</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Überführung der Ergebnisse in [Eisenbach 2016*; Eisenbach 2015a,b*]</li> <li>• Thematische Bearbeitung in MA S. Sorge (2013), BA M. Fischer (2015), BA D. Seichter (2015), BA A. Vorndran (2015), BA O. Westphal (2014), K. Krause (2013)</li> </ul>
<b>Weite-res</b>		<b>0,5</b>	<p><u>Erfolgte Arbeiten</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• anteilige projektbezogene Arbeiten, die in keiner anderen TA vorgesehen waren, wie z.B. Integrationsarbeiten, Hardwarearbeiten an der aktuellen Plattform oder auch interne Projektabsprachen bzw. Absprachen mit Projektpartnern zu AP 3-2</li> </ul>



**AP 4: Plattformentwicklung und Softwarearchitektur (ML: 21, Klinik: 0, SIBIS: 0, TUI: 2)**

Teilaufgaben:		TUI mod.	
TA 1	Technische Spezifikation	0,5	<u>Erfolgte Arbeiten</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Spezifizierung der Anforderungen an eine Roboterplattform</li> <li>• Spezifizierung der Bauform der Roboterplattform, der erforderlichen Sensorik und sinnvoller Interaktionsschnittstellen</li> <li>• Festlegung notwendiger Änderungen für die eigene zu erwerbende und im Projekt zu nutzende Plattform</li> <li>• Anforderungsspezifizierung an eine omnidirektionale Roboterkamera (von ABS GmbH) zu Nutzung auf der zu entwickelnden Roboterplattform</li> <li>• Inbetriebnahme der neuen Roboterplattformen mit Funktionstests</li> <li>• softwaretechnische Integration (in die vorhandenen Methoden) einer neuen omnidirektionalen Kamera zur verbesserten Sitzenderkennung und Wiedererkennung</li> </ul> <u>Dokumentation der erfolgten Arbeiten</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Integration in das 56-seitige Spezifikationsdokument aus TA 2 (kann bei Bedarf vorgelegt werden)</li> </ul>
TA 5	Weiterentwicklung und Anpassungen von MIRA	1,5	<u>Erfolgte Arbeiten</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Behebung von Softwarebugs im MIRA-Framework, die u.a. im Kontext der Erstellung von Konfigurationsfiles für die Applikation aufgetreten sind</li> <li>• MIRA Erweiterungen für das Aufteilen der ROREAS-Applikation auf zwei Rechner</li> <li>• Behebung von Softwarebugs zur Navigation und HRI im MIRA-Framework</li> </ul>

**AP 5: Versuchsplattform und Demonstratoren zum Lauf- und Raumorientierungstraining sowie Einbindung in die IT-Infrastruktur der Klinik (ML: 22, Klinik: 3, SIBIS: 8, TUI: 6)**

Teilaufgaben:		TUI mod.	
TA 1	Auswahl, Anpassung und Integration der in AP 2 und AP 3 entwickelten Roboterfunktionen für die Realisierung des robotischen Laufcoachs	3	<u>Erfolgte Arbeiten</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Implementierung von Stubs für Behaviors (Basisverhalten) für die Entwicklung der State Machine durch MetraLabs</li> <li>• Implementierung von Behaviors u. Integration in eigene Test-Ablaufsteuerung zum Test d. Einzelleistungen</li> <li>• Erweiterung der Test-Ablaufsteuerung um Sprachausgaben zur Darstellung von Ereignissen</li> <li>• Integration der methodischen Einzelleistungen auf der Experimentalplattform und den ROREAS-Plattformen zur Vorbereitung der Funktionstests ab Februar 2015</li> <li>• Fertigstellung der Demo-Applikation Laufcoach für Nutzertests ab April 2015</li> <li>• Integration eines Beamers auf die Experimentalplattform und Implementierung von Methoden zur Nutzung eines Beamers zur Vermittlung bildbasierter Informationen</li> <li>• Implementierung einer testbaren Anwendung mit Ablaufsteuerung zum Orientierungstraining</li> <li>• Übergabe der Arbeiten zum Orientierungstraining an</li> </ul>

			<p>MetraLabs zur Weiterentwicklung und Integration</p> <p><u>Funktionstests</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Funktionstests im Rahmen der methodenspezifischen APs und der Gesamtanwendung (siehe AP 5, TA 6)</li> </ul> <p><u>Aufgetretene und offene Probleme</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Demonstrator zum Orientierungstraining über mehrere Etagen inklusive Fahrstuhlnutzung konnte innerhalb des Vorhabens nur sehr eingeschränkt umgesetzt werden, da die Mehrebenen-Navigation aufgrund der bis dato nicht möglichen Umrüstung der Fahrstühle den Aktionsraum für das Training auf eine Etage begrenzt</li> </ul> <p><u>Dokumentation der erfolgten Arbeiten</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Überführung der Ergebnisse in [Stricker 2015a,b*]</li> <li>• Thematische Bearbeitung in BA K. Pickel (2014), BA S. Ulrich (2013)</li> </ul>
<b>TA 4</b>	Erstellung und Evaluation eines Tools für die Therapeuten zur Vorgabe neuer patientenspezifischer Übungsabläufe	<b>0</b>	<p><u>Änderungen zum Projektantrag</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• zur Durchführung eigener Funktions- und erster Nutzertests in der Klinik wurde die Schaffung einer Raumdatenbank erforderlich</li> <li>• Weiterentwicklung einer MySQL Datenbank mit Daten aus CAD Plänen der m&amp;i-Fachklinik, allen Patientenzimmern, fahrbaren Wegen, Ruhepunkten und Orientierungsfakten mit Bildern (siehe Abb. <b>Abbildung 18</b>: Entwicklung einer Datenbank mit Daten aus CAD-Plänen der m&amp;i-Fachklinik, allen Patientenzimmern, fahrbaren Wegen, Ruhepunkten und Orientierungsfakten mit Bildern. Diese Daten können über ein Webinterface eingetragen und zur Ermittlung von Wegstrecken abgerufen werden (<b>oben links</b>).)</li> <li>• Implementierung eines Webservers mit Webinterface zum Editieren und Abfragen von Daten für Weginfos</li> <li>• Nutzung der Datenbank durch MetraLabs im zu erstellenden Softwaregesamtsystem und durch m&amp;i-Klinik bei der Untersuchung therapeutischer Aspekte des Orientierungstrainings</li> </ul>
<b>TA 6</b>	Funktionstests für Roboteranwendung	<b>3</b>	<p><u>Funktionstests</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• umfangreiche Erprobung der Demo-Applikation in Funktions- und Nutzertests mit mehrmaliger iterativer Verbesserung in der Klinik und im Fakultätsgebäude</li> <li>• Termine der Funktionstests von TUI in der m&amp;i-Fachklinik: <b>(1)</b> 12.06.2013 <b>(2)</b> 28.08.2013 <b>(3)</b> 24.10.2013 <b>(4)</b> 06.02.2014 <b>(5)</b> 25.03.2014 <b>(6)</b> 21.10.2014 <b>(7)</b> 13.11.2014 <b>(8)</b> 21.10.2014 <b>(9)</b> 18., 19., 25.02.2015 <b>(10)</b> 24.&amp;25.03.2015 <b>(11)</b> 15.-17.04.2014 <b>(12)</b> 27.05.2015 <b>(13)</b> 14.-16.12.2015</li> </ul> <p><u>Dokumentation der erfolgten Arbeiten</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Überführung der Ergebnisse in [Gross 2017*; Gross 2016a,b,c*; Scheidig 2015*]</li> </ul>

**AP 6: Evaluation und Akzeptanzanalyse (ML: 3, Klinik: 8, SIBIS: 9, TUI: 3, BARMER)**

<b>Teilaufgaben:</b>		<b>TUI mod.</b>	
<b>TA 5</b>	Technische Unterstützung und	<b>2</b>	<p><u>Erfolgte Arbeiten</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vor- und Nachbereitung der sechs Kampagnen an Nutzertests</li> </ul>

	Support für die funktionalen Module		<p>aus technischer Sicht</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Technische Unterstützung während der Durchführung der Nutzertests</li> <li>• Bedienung des Control-Tablets für ausgewählte Nutzertests</li> <li>• Termine der Kampagnen an Nutzertests inkl. Vorbereitung: <ul style="list-style-type: none"> <li>(1) 18.-20.05.2015;</li> <li>(2) 15.-18.06.2015;</li> <li>(3) 19.8. &amp; 26.-27.08. &amp; 7.-8.09.2015;</li> <li>(4) 11.-12.11. &amp; 17.-19.11.2015;</li> <li>(5) 12.01. &amp; 19.-21.01.2016;</li> <li>(6) 7.-9.03.2016</li> </ul> </li> </ul> <p><u>Dokumentation der erfolgten Arbeiten</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Überführung der Ergebnisse in [Gross 2017*; Gross 2016c*]</li> </ul>
<b>TA 6</b>	Dokumentation der Ergebnisse	<b>1</b>	<p><u>Dokumentation der erfolgten Arbeiten</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Zwischenberichte, Abschlussbericht</li> <li>• Publikationen siehe Abschn. 2.5</li> <li>• wissenschaftliche Arbeiten siehe Abschn. 2.6</li> </ul>

### AP 7: Koordination (ML: 3)

Eine Beteiligung von TUI im AP 7: Koordination war nicht vorgesehen.

## 2.2 Fazit zum Gesamtergebnis und zur Praxistauglichkeit

Mit den im Zeitraum von Mai 2015 bis März 2016 durchgeführten zeitintensiven Nutzertests konnte ein Stand erreicht werden, in dem alle methodischen Komponenten aus den AP 2, AP 3-1 und AP 3-2 integriert waren, autonom liefen und viele Basisleistungen auch vollständig ohne Korrekturen per Ferneingriff funktionierten (siehe Tabelle 2).

Teilabschnitt	Erreichte Autonomie
<b>Fahrt zum Zimmer</b>	100% autonom
<b>Sitzenderkennung</b>	66% autonom, 34% per Ferneingriff
<b>Heranfahen an Patienten</b>	100% autonom
<b>Dialog und Auswahl</b>	freie Auswahl
<b>Begleiten des Patienten</b>	teilautonom, teilweise mit Ferneingriffen
<b>Interaktion an Ruhepunkten</b>	80% autonom, 20% per Ferneingriff
<b>Auswertung / Verabschiedung</b>	100% autonom

**Tabelle 2:** Die in den Nutzertests erreichte Autonomie der robotischen Basisleistungen.

Im Rahmen der durchgeführten Nutzer- und Funktionstest wurde ermittelt, dass bei einer Fahrtstrecke von 250 m mit Anfahrt zum Patientenzimmer und Gangtraining unter Nutzung der 3D-Umgebungserfassung eine Wahrscheinlichkeit von 97 % vorliegt, das Lauftraining kollisionsfrei durchzuführen. Mit einer 2D-Umgebungserfassung sinkt diese Wahrscheinlichkeit auf nur 5 %.

Eine weitere integrierte Basisleistung war es, dem Nutzer während des Lauftrainings stabil in einem Begleitabstand zu folgen. Der dabei ermittelte Begleitabstand zwischen dem Laufcoach und den Patienten lag während des Trainings mit den Patienten bei durchschnittlich 2,6 m (minimal: 1 m,

maximal 8 m). Zukünftig ist dieser Abstand auf einem konstanteren Wert zu halten, da ein variabler Abstand die Patienten verunsichert.

Einige wenige, aber wichtige Basisleistungen, wie die Sitzenderkennung oder die Patientenwiedererkennung, erforderten während des Trainings gelegentlich aber noch immer Korrekturingriffe, wenn in bestimmten Situationen Erkennungen falsch waren oder sogar ausblieben. Hier hat auch die vom Partner MetraLabs entwickelte peilungsbasierte Wiedererkennung mittels des vom Patienten zu tragendem Sonar-Gerätes keine hundertprozentige Robustheit erbracht, weil sich durch Eigenverdeckungen und akustische Einflüsse häufig Fehlpeilungen oder Ausfälle ergaben, die dann per Ferneingriff korrigiert werden mussten. Bei der kleidungsbasierten Wiedererkennung wurden technische Unzulänglichkeiten der verbauten Panoramakamera deutlich, deren unzureichende Farbtreue bei starken Änderungen der Beleuchtungsbedingungen gelegentlich zu Problemen der Wiedererkennung während des Laufens führte, die dann ebenfalls per Ferneingriff korrigiert werden mussten. Konkrete Prozentangaben sind hier nicht möglich, da die Anzahl der korrekten Wiedererkennungen nicht mitprotokolliert wurden. Bei der kamerabasierten Sitzenderkennung traten in 20% der Fälle Defizite auf, die sich sowohl mit den technischen Unzulänglichkeiten der Panoramakamera als auch mit der teilweise unzureichenden Erkennung von sitzenden Personen auf Basis des Größenunterschiedes zwischen Stehen und Sitzen erklären lassen. Für einen vollständig autonomen praktischen Einsatz reicht diese Erkennungsrate aber noch nicht aus. Abhilfe wird hier vermutlich nur eine echte ansichtsbasierte Erkennung von Sitzposen in 2D oder 3D erbringen. Angesichts der extremen Vielfalt von möglichen Sitzhaltungen und Ansichtstörungen durch Gehhilfsmittel, Bekleidung und mitgeführten Utensilien stellt dies aber ein sehr anspruchsvolles, neues Erkennungsproblem dar.

Basierend auf den in ROREAS gemachten Erfahrungen wird vorgeschlagen, statt auf eine hundertprozentige Fehlerfreiheit aller Basisleistungen zu setzen, in Folgeprojekten nach intelligenten Strategien zur autonomen Behandlung von ausbleibenden Erkennungen (z.B. bei der Wiedererkennung oder der Sitzenderkennung), von neu auftretenden, unerwarteten Situationen oder von Fehlern im Ablauf des Trainingszyklus zu suchen. Beispielhaft könnte bei einem Kontaktverlust zum Patienten wegen fehlerhafter Wiedererkennung eine Notfallstrategie vereinbart werden, nach der der Patient am nächsten Ruhepunkt auf den Roboter wartet, so dass dieser dort und auf dem Weg dorthin gezielt nach ihm suchen kann. Mit Hinblick auf die angestrebte vollständige Autonomie als Voraussetzung für eine echte Praxistauglichkeit, muss ehrlich eingeschätzt werden, dass in ROREAS bis zum Projektende im März 2016 eine technische Fehlerfreiheit und damit eine wirkliche Praxistauglichkeit nicht erreicht hat. Durch die Möglichkeit der Ferneingriffe ergab sich für die, durch den Projektpartner SIBIS durchgeführten, sozialwissenschaftlichen Untersuchungen der Nutzertests dennoch ein vollwertig nutzbarer Trainingsassistent.

### **2.3 Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere Verwertbarkeit der Ergebnisse und Erfahrungen**

Für einen wirtschaftlichen Einsatz ist ein Orientierungstraining erforderlich, das inklusive eines Fahrstuhltrainings über mehrere Stockwerke einer Klinik stattfinden muss. Außerdem sollte die Wirkung des Roboters noch in einer klinischen Therapiestudie nachgewiesen werden. Die technischen Voraussetzungen dazu wurden durch TUIL geschaffen und deren prinzipielle Funktionsfähigkeit in mehreren Kampagnen an Nutzertests (2015 – 2016) nachgewiesen, wobei zum Ausgleich von noch fehlerhafter Erkennungsleistungen ein Control Tablet eingesetzt wurde. Für ein Orientierungstraining müssten die Dialogabläufe entsprechend abgeändert werden (nach Schaffung der technischen

Voraussetzungen mit der Fahrstuhlsteuerung). Die methodischen Voraussetzungen für die Benutzung des Fahrstuhls unter Nutzung einer technischen Fahrstuhlsteuerung für das Training auf mehreren Etagen wurden geschaffen. Damit ist nach erfolgversprechenden Nutzertests über ca. 1-2 Jahre mit einer Markteinführung durch MetraLabs nach weiteren 2 Jahren auszugehen.

Wissenschaftlich ergibt sich eine Verwertbarkeit der Forschungsergebnisse zu Methoden für Navigation, Personendetektion und Personenwiedererkennung im angelaufenen BMBF Forschungsprojekt SYMPARTNER. Außerdem werden die Ergebnisse in vier laufenden (Eisenbach, Trinh, Wengefeld, Einhorn) und einem abgeschlossenen Promotionsprojekt direkt verwertet (siehe Abschn. 2.6.1). Hinzu kommen zahlreiche Bachelor- und Masterarbeiten (siehe Abschn. 2.6.2 und 2.6.3). Darüber hinaus wurden mehrere Konferenz- und Journalpublikationen akzeptiert und sind nach Projektende verfügbar (siehe Abschn. 2.5).

Öffentlichkeitsarbeit durch den ROREAS-Partner TUI bzw. mit Beteiligung des ROREAS-Partners TUI:

Eine Auflistung der Berichterstattungen zum ROREAS-Projekt in der Presse befindet sich auf der Internetseite zum ROREAS-Projekt unter <http://www.roreas.org/presse>. Außerdem wurde das ROREAS-Projekt im Rahmen folgender Anlässe vorgestellt:

- 16.09.2013 Vorstellung des ROREAS-Projekts zum Besuch von einer Delegation der Thüringer Unfallkasse an der TUI
- 26.09.2013 Teilnahme an der Jahresveranstaltung EFRE / ESF Thüringen
- 10.06.2014 Demo des Gangtrainings anlässlich des Besuchs der Thüringer Ministerpräsidentin in der m&i Fachklinik
- 01.12.2014 Demo des Gangtrainings für Filmaufnahmen für das MDR-Thüringenjournal in der m&i-Fachklinik
- 04.03.2015 Videoaufnahmen mit der neuen Roboterplattform zum Gangtraining mit Patientendouble durch SIBIS in der m&i-Klinik
- 29./30.06.2015 Vorstellung der Projektvision und bisheriger Ergebnisse in der Session "Gesundes Leben" auf dem 2.BMBF-Zukunftskongress Demografie in Berlin ; ROREAS in Aktion auf dem Kongress
- 10.03.2016 Aufnahmen zum Kurzfilm über das Projekt ROREAS

## 2.4 Fortschritt bei anderen Stellen

Vergleichbare Forschungsarbeiten sind nicht bekannt.

## 2.5 Veröffentlichungen von ROREAS in 2013-2016

### 2.5.1 Die fünf wichtigsten Publikationen

**[Gross 2016a] Gross, H.-M., Scheidig, A., Debes, K., Einhorn, E., Eisenbach, M., Mueller, St., Schmiedel, Th., Trinh, T., Weinrich, Ch., Wengefeld, T. Bley, A., Martin, Ch.**

*ROREAS: Robot coach for walking and orientation training in clinical post-stroke rehabilitation - prototype implementation and evaluation in field trials.* in: Autonomous Robots (AR), 2016

**[Gross 2016b] Gross, H.-M., Scheidig, A., Eisenbach, M., Trinh, Th., Wengefeld, T.**

*Assistenzrobotik für die Gesundheitsassistenz - ein Beitrag zur Evaluierung der Praxistauglichkeit am Beispiel eines mobilen Reha-Roboters.* in: 9th German AAL Conference (AAL 2016), Frankfurt, Germany, pp. 58-67, VDE Verlag 2016

**[Eisenbach 2015a] Eisenbach, M., Vorndran, A., Sorge, S., Gross, H.-M.**

*User Recognition for Guiding and Following People with a Mobile Robot in a Clinical Environment.* in: IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems (IROS), Hamburg, Germany, pp. 3600-3607, IEEE 2015

**[Trinh 2015] Trinh, T.Q., Schroeter, Ch., Gross, H.-M.**

*"Go ahead, please": Recognition and Resolution of Conflict Situations in Narrow Passages for Polite Mobile Robot Navigation.* in: Proc. 2015 Int. Conf. on Social Robotics (ICSR), Paris, France, pp. 643-653, Springer 2015

**[Weinrich 2014a] Weinrich, Ch., Wengefeld, T., Schröter, Ch, Gross, H.-M.**

*People Detection and Distinction of their Walking Aids in 2D Laser Range Data based on Generic Distance-Invariant Features.* in: Proc. 23rd IEEE Int. Symposium on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN 2014), Edinburgh, UK, pp. 767-773, IEEE 2014

## 2.5.2 Weitere Publikationen

**[Einhorn 2015] Einhorn, E., Gross, H.-M.**

*Generic NDT Mapping in Dynamic Environments and its Application for Lifelong SLAM.* in: Robotics and Autonomous Systems (RAS), vol. 69 (July 2015), pp. 28-39

**[Eisenbach 2016] Eisenbach, M., Seichter, D., Wengefeld, T., Gross, H.-M.**

*Cooperative Multi-Scale Convolutional Neural Networks for Person Detection.* in: IEEE World Congress on Computational Intelligence (WCCI), Vancouver, Canada, pp. 267-276, IEEE 2016.

**[Eisenbach 2015b] Eisenbach, M., Kolarow, A., Vorndran, A., Niebling, J., Gross, H.-M.**

*Evaluation of Multi Feature Fusion at Score-Level for Appearance-based Person Re-Identification.* in: Proc. Int. Joint Conf. on Neural Networks (IJCNN 2015), Killarney, Ireland, pp. 469-476, IEEE 2015

**[Gross 2017] Gross, H.-M., Meyer, S., Scheidig, A., Eisenbach, M., Mueller, S., Trinh, T. Q., Wengefeld, T., Fricke, Ch.** *Mobile Robot Companion for Gait Training of Stroke Patients in Clinical Post-stroke Rehabilitation.* submitted to: Int. Conf. on Robotics and Automation (ICRA), 2017

**[Gross 2016c] Gross, H.-M., Eisenbach, M., Scheidig, A., Trinh, T. Q., Wengefeld, T.**

*Contribution towards Evaluating the Practicability of Socially Assistive Robots - by Example of a Mobile Walking Coach Robot .* to appear: Int. Conf. on Social Robotics (ICSR), Kansas City, USA, pp. ..., Springer 2016

**[Gross 2014] Gross, H.-M., Debes, K., Einhorn, E., Müller, St., Scheidig, A., Weinrich, Ch., Bley, A., Martin, Ch.**

*Mobile Robotic Rehabilitation Assistant for Walking and Orientation Training of Stroke Patients: A Report on Work in Progress.* in: Proc. IEEE Int. Conf. on Systems, Man, and Cybernetics (SMC 2014), San Diego, USA, pp. 1895-1902, IEEE 2014

**[Scheidig 2015] Scheidig, A., Einhorn, E., Weinrich, Ch., Eisenbach, M., Müller, St., Schmiedel, Th., Wengefeld, T., Trinh, Th., Gross, H.-M., Bley, A., Scheidig, R., Pfeiffer, G., Meyer, S., Oelkers, S.**

*Robotischer Reha-Assistent zum Lauftraining von Patienten nach Schlaganfall: Erste Ergebnisse zum Laufcoach* in: Proc. of 8th German AAL Conference (AAL 2015), Frankfurt, Germany, pp. 436-445, VDE Verlag, 2015

**[Scheidig 2014] Scheidig, A., Bley, A., Gross, H.-M.**

*ROREAS - Interaktiver Roboterischer REha-Assistent für das Lauf- und Orientierungstraining von Patienten nach Schlaganfällen.* Poster auf der BMBF Fachtagung KMU-innovativ: IKT 2014 - Gemeinsam zu intelligenten Lösungen, Berlin, Germany, 2014

**[Stricker 2015b] Stricker, R., Müller, St., Gross, H.-M.**

*Universal Usage of a Video Projector on a Mobile Guide Robot.* in: Proc. Int. Conf. on Intelligent Robotics and Applications (ICIRA), UK, LNCS 9246, part. III, pp. 25-36, Springer 2015

**[Stricker 2015a] Stricker, R., Müller, St., Gross, H.-M.**

*R2D2 Reloaded: Dynamic Video Projection on a Mobile Service Robot.* in: Proc. Europ. Conf. on Mobile Robotics (ECMR), Lincoln, UK, 6 pages

**[Weinrich 2014b] Weinrich, Ch., Wengefeld, T., Volkhardt, M., Scheidig, A., Gross, H.-M.**

*Generic Distance-Invariant Features for Detection of People with Walking Aid in 2D Range Data.* in: Proc. 13th Int. Conf. on Intelligent Autonomous Systems (IAS 2014), Padua, Italy, 12 pages, 2014

**[Wengefeld 2016] Wengefeld, T., Eisenbach, M., Trinh, T.Q., Gross, H.-M.**

*May I be your Personal Coach? Bringing Together Person Tracking and Visual Re-identification on a Mobile Robot.* in: Int. Symposium on Robotics (ISR), Munich, Germany, pp. 141-148, VDE Verlag 2016

## 2.6 Wissenschaftliche Arbeiten

### 2.6.1 Im Rahmen des Projektes bearbeitete Promotionen

**Christoph Weinrich (2016)**

Personenwahrnehmung für eine sozialverträgliche und nutzerzentrierte Roboternavigation in öffentlichen Einsatzumgebungen, TU Ilmenau, Ilmenau, 28. Januar 2016

**Erik Einhorn (Einreichung 2016 erwartet)**

Robuste vision-basierte Roboternavigation in natürlichen Einsatzumgebungen

**Jens Kessler (Einreichung 2017 erwartet)**

Nutzerzentrierte Navigationsstrategien für Assistenzroboter

**Markus Eisenbach (Einreichung 2017 erwartet)**

Eine echtzeitfähige Lösung zur robusten Personenwiedererkennung in wechselnden Videodatenströmen aus öffentlichen Einsatzumgebungen

**Thanh Quang Trinh**

Situationserkennung für robotische Assistenten in klinischen Umgebungen

**Tim Wengefeld**

Hybride Verfahren zur 3D Personenwahrnehmung für die soziale Assistenzrobotik in öffentlichen und häuslichen Einsatzszenarien

### 2.6.2 Im Rahmen des Projektes bearbeitete Masterarbeiten

**Benedict Seidl:** Framework zur Evaluation des Navigationsverhaltens mobiler Roboter gegenüber Menschen, TU Ilmenau, 2015

**Christian Henke:** Ganganalyse und Personentracking für die Schlaganfallrehabilitation mittels Smartphone, TU Ilmenau, 2014

**Thomas Schmiedel:** Lokalisierung und Map-Matching mit NDT-Karten, TU Ilmenau, 2014

**Thanh Quang Trinh:** Autonome Situationserkennung im klinischen Umfeld, TU Ilmenau, 2014

**Tareef Bashour:** Erweiterung eines vorhandenen Pfadplaners um soziale und raumzeitliche Nebenbedingungen, TU Ilmenau, 2013

**Sven Sorge:** Wiedererkennung von Personen durch symmetriegetriebene Extraktion von Merkmalen, TU Ilmenau, 2013

**Tim Wengefeld:** Personendetektion durch Klassifikation von Laserscans, TU Ilmenau, 2013

### 2.6.3 Im Rahmen des Projektes bearbeitete Bachelorarbeiten

**Michael Fischer:** Diskriminative Merkmale für die kleidungs-basierte Wiedererkennung von Personen, 2015

**Mike Funk:** Verbesserte echtzeitfähige visuelle Personendetektion auf mobilen Servicerobotern, 2015

**Daniel Seichter:** Deep Neural Network for detecting unintended single or double AAC encoding, 2015

**Alexander Vorndran:** Evaluation von Distance-Metric-Learning für die Kleidungs-basierte Wiedererkennung von Personen im klinischen Einsatzfeld, 2015

**Robert Arenknecht:** Implementierung und Evaluation verschiedener Bayesfilter für das Personentracking, 2015

**Jörg Domey:** Personendetektion und Schätzung von Oberkörperorientierung und in monokularen Bildern, 2015

**Georg Graser:** Intelligente Suchstrategien und Verdeckungserkennung für schnelles Objekttracking mittels Weak-Feature-Template-Matching, 2015

**Sebastian Ulrich:** Projektionssteuerung für die Kontaktaufnahme zwischen Serviceroboter und Nutzer, 2015

**Jonathan Liebner:** Personendetektion, Klassifikation von Gehhilfsmitteln und Schätzung von Oberkörperorientierung in Laserdaten, 2015

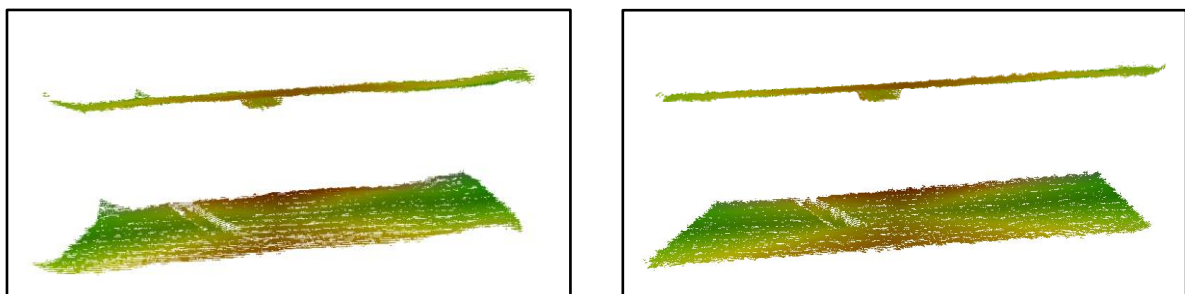
**Katrin Pickel:** Webbasierte Rehabilitationsunterstützung durch Orientierungstraining für Schlaganfallpatienten, 2014

**Oliver Westphal:** Lernen von Merkmalen für die Wiedererkennung von Personen mittels Deep Belief Networks, 2014

**Kerstin Krause:** Normalisierung von Farben in einem Multi-Kamera-System zur Wiedererkennung von Personen, 2013

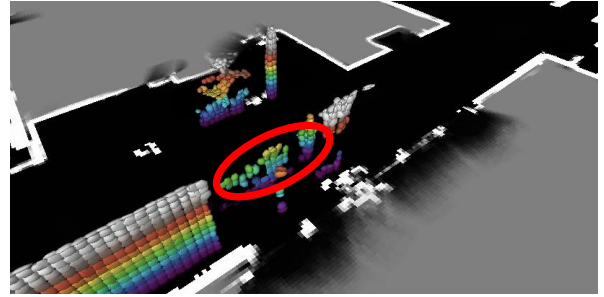
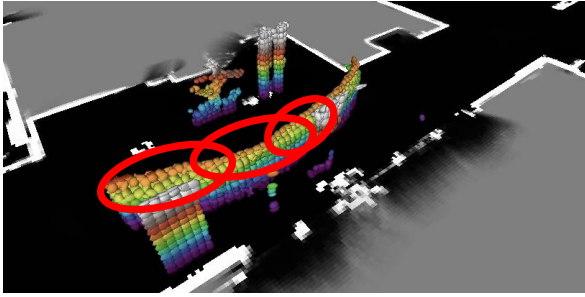
## 3 Anhang

### 3.1 Abbildungen zur Veranschaulichung der Ergebnisse

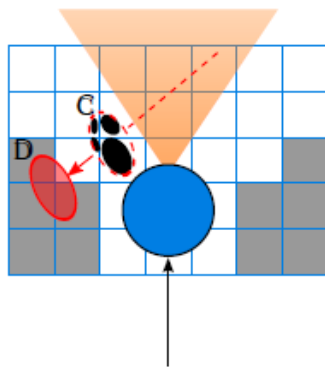
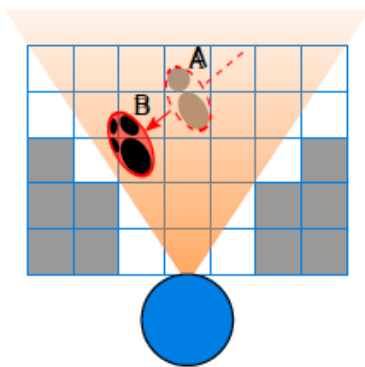


**Abbildung 6:** Darstellung des Ergebnisses der Tiefen-Kalibrierung des PrimeSense-Sensors. **Links:** Sicht auf eine Wand und Darstellung der unkalibrierten Tiefenwerte. **Rechts:** Darstellung der kalibrierten Tiefenwerte, indem die Fehlerquotienten für vier verschiedene Tiefenbereiche ermittelt und damit eine Korrektur der Tiefenwerte vom Sensor erfolgt.

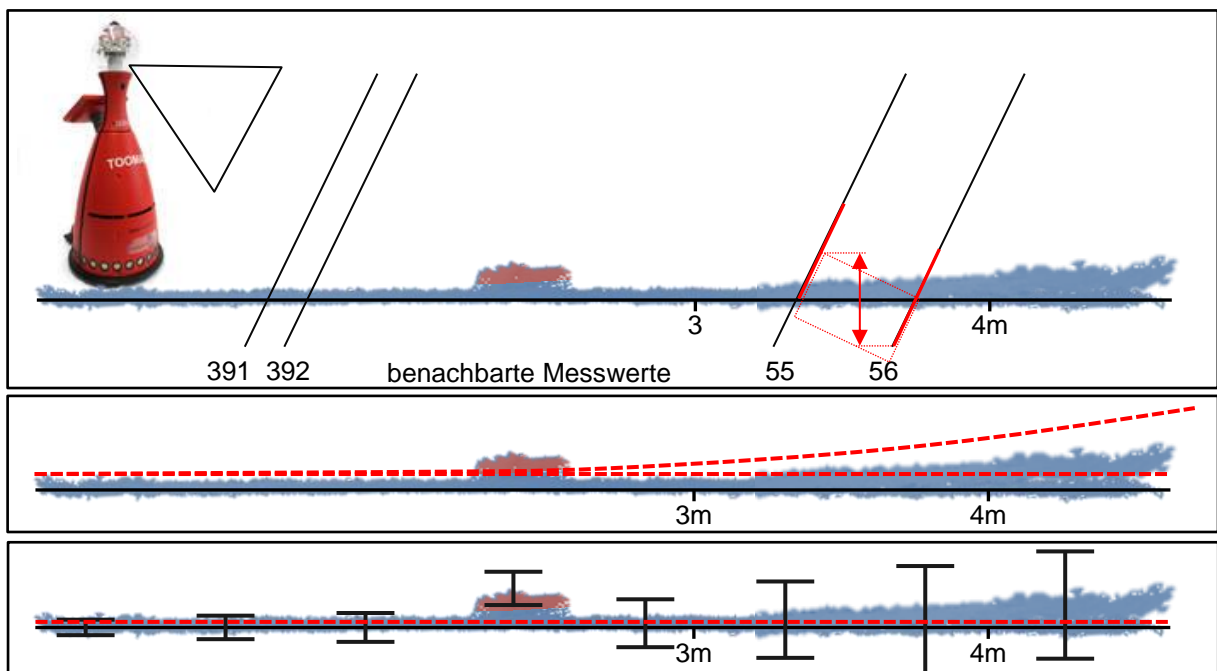




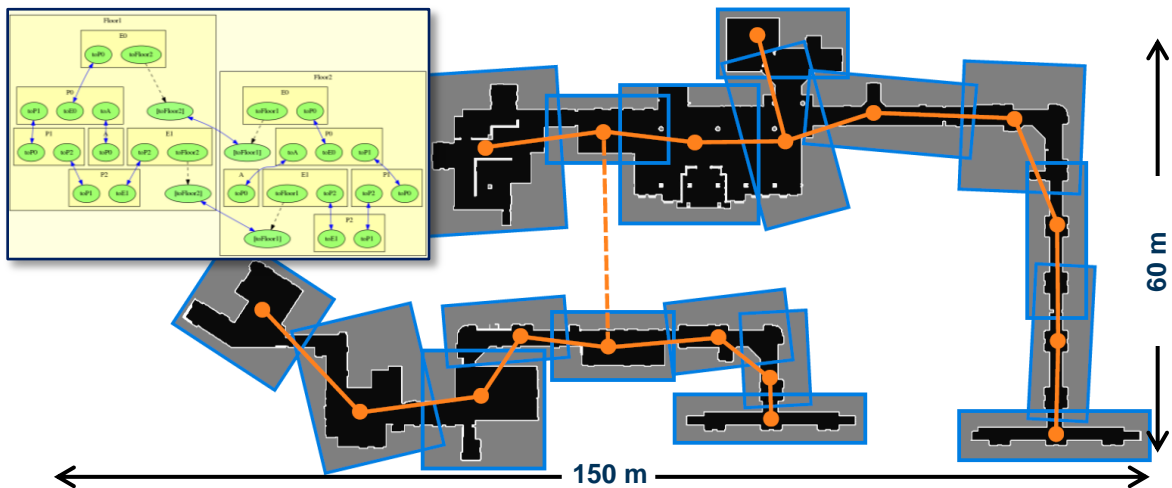
**Abbildung 7:** Darstellung des Problems der Wirkung bewegter Objekte bei einer 3D-Umgebungsmodellierung mit einer 3D-Tiefenkamera. **Links:** Die Nutzung der originalen NDT-Maps ist nur für statische Umgebungen geeignet. Bewegte Objekte werden als statische Hindernisse eingetragen. **Rechts:** Durch eine Erweiterung der NDT-Maps um eine Occupancy-Wahrscheinlichkeit verbleiben nur Artefakte außerhalb des Sichtbereiches der Kamera. Dies könnte problematisch bei Navigation in engen Umgebungen und beim Folgen von Personen sein, so dass hier auch weiterführende Arbeiten erforderlich sind.



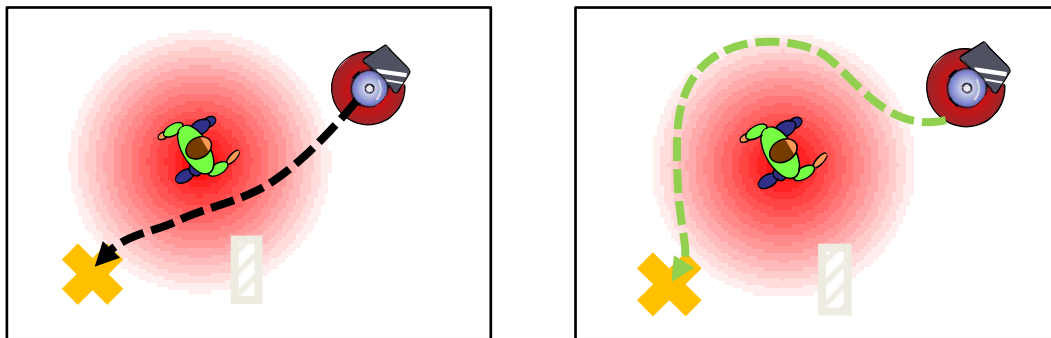
**Abbildung 8:** Im visuellen Erfassungsbereich des Roboters (oranger Kegel) bewegt sich ein dynamisches Hindernis von Position A nach Position B (**links**). Die Belegheitswahrscheinlichkeit wird auch dann weiterpropagiert (von Position C zu Position D), wenn das dynamische Hindernis den Sichtbereich der Sensoren durch eine Eigenbewegung des Roboters (blauer Kreis) verlassen hat (**rechts**).



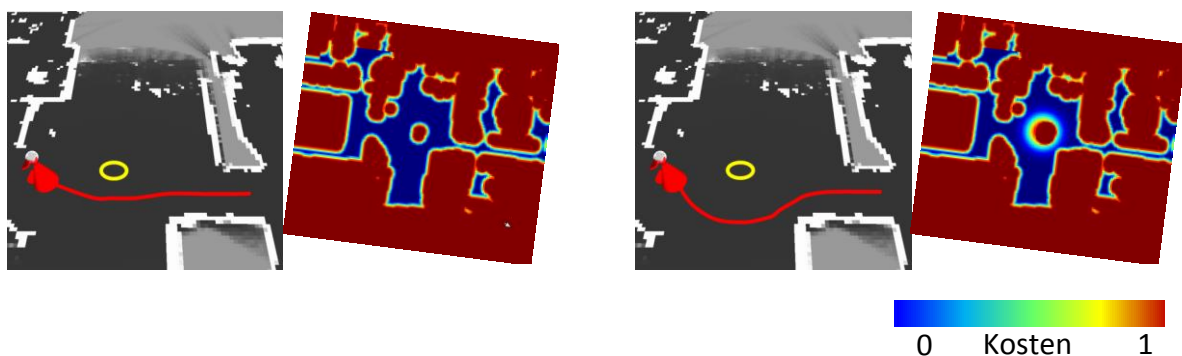
**Abbildung 9:** Verbesserte 3D-Hinderniserkennung (Detektion kleiner Hindernisse) durch Nutzung entfernungsabhängiger Hindernisschwellen. Ursache für Fehler der Höhenschätzung ist die begrenzte Auflösung der Sensoren und die Diskretisierung der Messwerte (**oben**). Nutzung einer einfachen Heuristik mit einer entfernungsabhängigen Hindernisschwelle (**Mitte**). Verbesserung durch Abschätzung des Positions-Fehlers in jeder Zelle (**unten**).



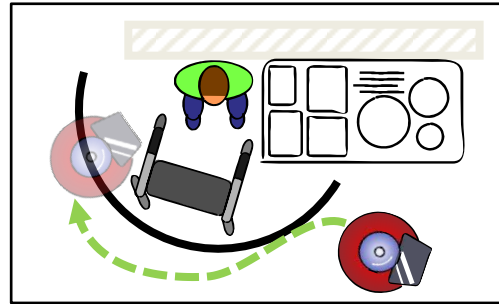
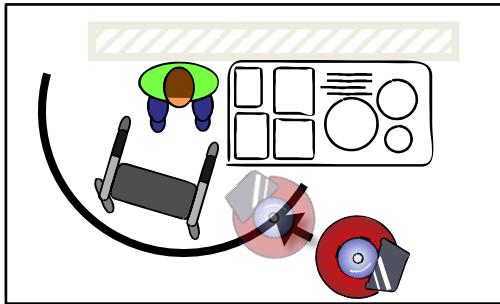
**Abbildung 10:** Integrierte topologisch- (orangene Punkte und Verbindungen) -metrische (grau dargestellte Belegtheitswahrscheinlichkeiten) Karte über zwei Ebenen des Klinikgebäudes und Editor für die hierarchische topologische Karte (oben links).



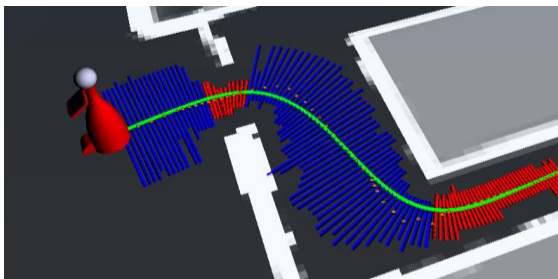
**Abbildung 11:** Ohne Berücksichtigung des Personal Space bewegt sich der Roboter auf dem Weg zu einem Ziel (orangefarbenes Kreuz) auch nah an Personen vorbei und wirkt damit unhöflich (links). Die Nutzung eines Personal Spaces bewirkt, dass der Roboter die Person in deren Laufbewegung nicht behindert (rechts).



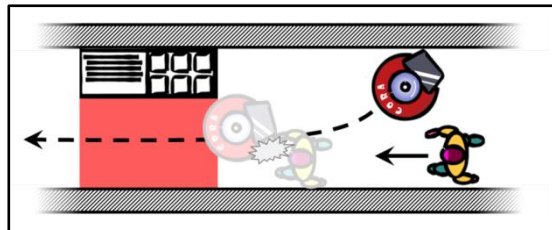
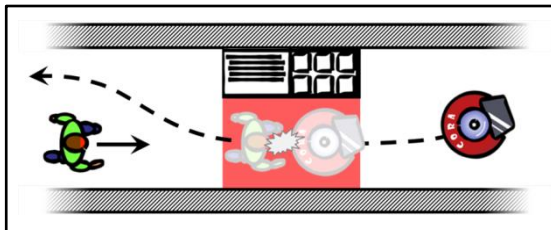
**Abbildung 12:** Darstellung der Wirkung des Personal Spaces auf das Navigationsverhalten bei Erfassung einer stehenden Person (gelber Kreis). Die braunen Bilder repräsentieren die genutzten Kostenkarten zur Ermittlung der Navigationskommandos. **Links:** Ohne Nutzung eines Personal Spaces navigiert der Roboter sehr eng an der Person vorbei, die lediglich als normales Hindernis behandelt wird. **Rechts:** Durch die Nutzung eines Personal Spaces, der als eine gaußförmige Kostenfunktion um die Person gelegt wird, wird die Person großräumig umfahren.



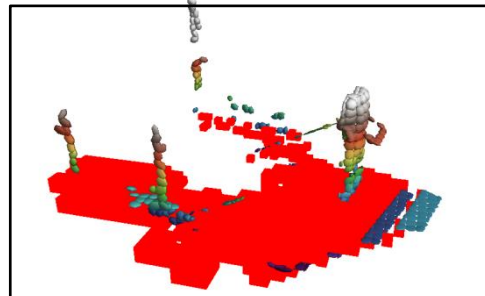
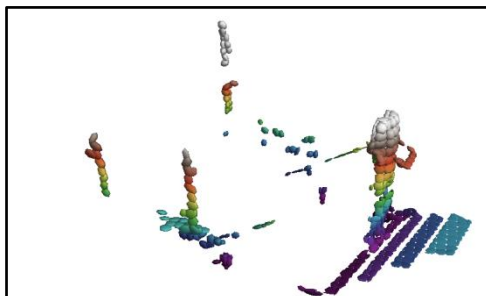
**Abbildung 13:** Beim Heranfahren an eine Person werden unterschiedliche Optimierungskriterien, wie die generelle Erreichbarkeit des Ziels durch den Roboter, die Distanz zum Roboter, der Abstand zur Person, die Nähe zu Hindernissen und die Orientierung des Displays zur Person berücksichtigt. Mit der bisherigen Navigationsfunktion wurde nur eine Teilmenge der möglichen Lösungen berücksichtigt und daher auch suboptimale Lösungen gewählt (**links**). Durch Nutzung des E\*-Algorithmus können alle möglichen Handlungsalternativen berücksichtigt und damit die optimale Lösung gewählt werden (**rechts**).



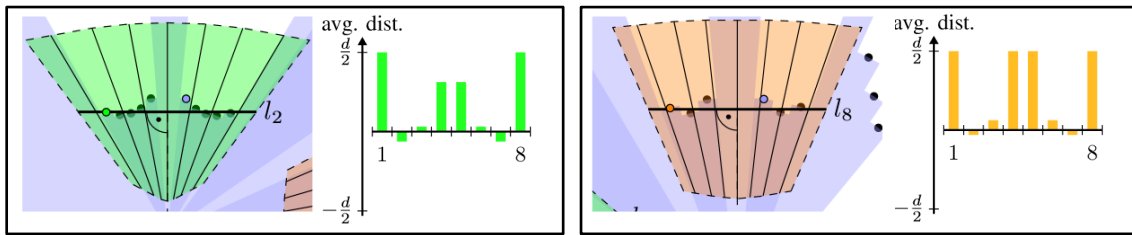
**Abbildung 14:** Entlang eines geplanten Pfades (grün hervorgehoben) erfolgt die Ermittlung von Engstellen durch die Analyse der unterschiedlichen Durchfahrtsbreiten. Dies erfolgt durch die Berechnung von Normalen entlang der approximierten Kurve und einem Raytracing mit den Normalen. Blau hervorgehoben sind ausreichend breite Durchfahrten und rot hervorgehoben ermittelte Engstellen.



**Abbildung 15:** Vor Engstellen muss der Roboter zunächst mögliche raumzeitliche Konflikte mit Personen, die ebenfalls diese Engstelle betreten wollen, ermitteln. Bei einer entgegenkommenden Person (**links**) muss der Roboter zunächst auf eine geeignete Parkposition vor der Engstelle ausweichen und die Person durchlassen (hier nicht dargestellt). Bewegt sich eine Person gleichzeitig mit dem Roboter aus der gleichen Richtung in die Engstelle, muss sich der Roboter hinter der Person einordnen und dieser mit angepasstem Tempo durch die Engstelle folgen (**rechts**).



**Abbildung 16:** Zur lokalen Navigation werden Hindernisse durch NDT-Karten repräsentiert (**links**). In dieser Kartenrepräsentation zeigen sich negative Hindernisse (z.B. nach unten führende Treppen) als Zellen unterhalb der Bodenebene, die als frei beobachtet wurden. Diese Regionen sind in der **rechten** Abbildung rot dargestellt, und dürfen vom Roboter ebenfalls nicht befahren werden.



**Abbildung 17:** Für den laserbasierten Detektor werden Merkmale ermittelt, die invariant gegenüber der Distanz zwischen Objekt und Sensor sind. Dazu wird um die Messwerte des Laserscans eine Bounding Box gelegt. In die Messpunkte innerhalb einer Bounding Box wird dann orthogonal zum Lasersensor eine Basislinie eingepasst und über diese ein Histogramm mit den Tiefenwerten ermittelt. Im Ergebnis haben Histogramme von Messwerten von Personen, die sich nah am Roboter befinden (**links**) eine hohe Ähnlichkeit zu Histogrammen von Messwerten von weiter entfernten Personen (**rechts**).



**Abbildung 18:** Entwicklung einer Datenbank mit Daten aus CAD-Plänen der m&i-Fachklinik, allen Patientenzimmern, fahrbaren Wegen, Ruhepunkten und Orientierungsfakten mit Bildern. Diese Daten können über ein Webinterface eingetragen und zur Ermittlung von Wegstrecken abgerufen werden (**oben links**).

### 3.2 Eigene Publikationen zu Vorarbeiten von ROREAS

- [Gross 2000] Gross, H.-M., Böhme, H.-J. *PERSES - a Vision-based Interactive Mobile Shopping Assistant*. in: Proc. IEEE Int. Conference on Systems, Man and Cybernetics (IEEE-SMC 2000), Nashville, 2000, pp. 80-85, IEEE Omnipress
- [Gross 2006] H.-M. Gross, J. Richarz, S. Müller, A. Scheidig, and C. Martin. *Probabilistic multi-modal people tracker and monocular pointing pose estimator for visual instruction of mobile robot assistants*. In: Proc. International Joint Conference on Neural Networks, (IJCNN 2006), 1:pp. 4209–4217
- [Gross 2008] Gross, H.-M., Böhme, H.-J., Schröter, Ch., Müller, St., König, A., Martin, Ch., Merten, M., Bley, A. *ShopBot: Progress in Developing an Interactive Mobile Shopping Assistant for Everyday Use*. in: Proc. IEEE Int. Conf. on Systems, Man and Cybernetics (IEEE-SMC 2008), Singapore, pp. 3471-3478, IEEE
- [Gross 2009] Gross, H.-M., Böhme, H.-J., Schröter, Ch., Müller, St., König, A., Einhorn, E., Martin, Ch., Merten, M., Bley, A. *TOOMAS: Interactive Shopping Guide Robots in Everyday Use - Final Implementation and Experiences from Long-term Field Trials*. in: Proc. IEEE Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems (IROS 2009), USA, pp. 2005-2012
- [Gross 2011] Gross, H.-M., Schröter, Ch., Müller, S., Volkhardt, M., Einhorn, E., Bley, A., Martin, Ch., Langner, T., Merten, M. *Progress in Developing a Socially Assistive Mobile Home Robot Companion for the Elderly with Mild Cognitive Impairment*. in: Proc. IEEE Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems (IROS 2011), USA, pp. 2430-37
- [Kessler 2011] Kessler, J., Scheidig, A., Gross, H.-M. *Approaching a Person in a Socially Acceptable Manner Using Expanding Random Trees*. in: Proc. 5th European Conference on Mobile Robots (ECMR 2011), Sweden, pp. 121-126

- [Kessler 2012a] Kessler, J., Strobel, J., Gross, H.-M. *Using a Spatio-Temporal FastMarching Planner to Politely Avoid Moving Persons*. in: Proc. of Autonomous Mobile Systems (AMS 2012), Stuttgart, pp. 59-67, Springer
- [Kessler 2012b] Kessler, J., Iser, D., Gross, H.-M. *I'll Keep You in Sight: Finding a Good Position to Observe a Person*. in: Proc. IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems (IROS 2012), Vilamoura, Portugal, pp. 4392-4398, IEEE
- [Martin 2006] Martin, Ch., Schaffernicht, E., Scheidig, A., Gross, H.-M. *Sensor Fusion using a Probabilistic Aggregation Scheme for People Detection and People Tracking*. Robotics and Autonomous Systems, Vol. 54, 9, pp. 721-728, Elsevier
- [Martin 2010] Martin, Ch., Steege, F.-F., Gross, H.-M. *Estimation of Pointing Poses for Visual Instructing Mobile Robots under Real-World Conditions*. in: Robotics & Autonomous Systems, 58 (RAS 2010), pp. 174-185
- [Müller 2007] Müller, St., Schaffernicht, E., Scheidig, A., Böhme, H.-J., Gross, H.-M. *Are you still following me?* in: Proc. 3rd European Conference on Mobile Robots (ECMR 2007), pages 211–216. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg-Universitätsverlag
- [Müller 2008] Müller, St., Hellbach, S., Schaffernicht, E., Ober, A., Scheidig, A., Gross, H.-M. *Whom to talk to? Estimating user interest from movement trajectories*. in: Proc. of the 17th IEEE Int. Symp. on Robot and Human Interactive Communication, (RO-MAN 2008), Munich, Germany, pp. 532-538
- [Pöschl 2008] Pöschl, S., Döring, N., Böhme, H.-J., Martin, C. *Computergestützte Artikelsuche im Baumarkt. Formative Evaluation eines Artikelsuchsystems für mobile Shopping-Roboter*. in: Zeitschrift für Evaluation, pp. 113–135.
- [Pöschl 2009] Pöschl, S., Döring, N., Böhme, H.-J., Martin, C. *Mensch-Roboter-Interaktion im Baumarkt. Formative Evaluation eines mobilen Shopping-Roboters*. in: Zeitschrift für Evaluation, pp. 27–58, 2009.
- [Schenk 2011] Schenk, K., Eisenbach, M., Kolarow, A., Gross, H.-M. *Comparison of Laser-based Person Tracking at Feet and Upper-Body Height*. in: Proc. 34th Annual Conference on Artificial Intelligence (KI 2011), Berlin, Germany, LNAI 7006, pp. 277-288, Springer Verlag
- [Schenk 2012a] Schenk, K., Kolarow, A., Eisenbach, M., Debes, K., Gross, H.-M. *Automatic Calibration of a Stationary Network of Laser Range Finders by Matching Movement Trajectories*. in: Proc. IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems (IROS 2012), Vilamoura, Portugal, pp. 431-437, IEEE
- [Schenk 2012b] Schenk, K., Kolarow, A., Eisenbach, M., Debes, K., Gross, H.-M. *Automatic Calibration of Multiple Stationary Laser Range Finders using Trajectories*. in: Proc. 9th IEEE Int. Conf. on Advanced Video and Signal-Based Surveillance (AVSS 2012), Beijing, China, pp. 306-312, IEEE
- [Schröter 2009] Schröter, Ch., Höchemer, M., Müller, St., Gross, H.-M. *Autonomous Robot Cameraman - Observation Pose Optimization for a Mobile Service Robot in Indoor Living Space*. in: Proc. IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation (ICRA 2009), Japan, pp. 424-429, Omnipress
- [Schröter 2013] Schröter, Ch., Müller, S., Volkhardt, M., Einhorn, E., Huijnen, C., van den Heuvel, H., van Berlo, A., Bley, A., Gross, H.-M. *Realization and User Evaluation of a Companion Robot for People with Mild Cognitive Impairments*. in: Proc. IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation (ICRA 2013), Karlsruhe, Germany
- [Weinrich 2010] Weinrich, C., Müller, St., Gross, H.-M. *Appearance-based person tracking and 3d pose estimation of upper-body and head*. in: Proc. 55th Int. Scientif. Coll. (IWK 2010) Ilmenau, Germany

### 3.3 Fremdliteratur

- [Andrikula 2009] Andrikula, M., Roth, S. and Schiele, B. *Pictorial structures revisited: People detection and articulated pose estimation*. In Proc. CVPR, volume 1, page 4, 2009.
- [Arie 2011] Arie, M., Moro, A., Hoshikawa, Y., Ubukata, T., Terabayashi, K., Umeda, K. *Fast and Stable Human Detection Using Multiple Classifiers Based on Subtraction Stereo with HOG Features*. in: Proc. of IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA 2011), China, pp. 868 - 873
- [Arras 2007] Arras, K.O., Mozos, O.M., Burgard, W. *Using boosted features for the detection of people in 2d range data*. in: IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 3402–3407, 2007.
- [Arsic 2008] Arsic, D., Hristov, E., Lehment, N., Hornler, B., Schuller, B., Rigoll, G. *Applying multi layer homography for multi camera person tracking*. in: International Conference on Distributed Smart Cameras, pp. 1-9, IEEE Press, 2008
- [Argyle 1976] Argyle, M., Cook, M. *Gaze and mutual gaze*. Cambridge: Cambridge University Press, 1976
- [Baker 2001] Baker, S., Matthews, I. *Equivalence and efficiency of image alignment algorithms*. in: Proc. of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR 2001). pp. 1090-1097
- [Bennewitz 2003] Bennewitz, M., Burgard W., Thrun, S. *Adapting navigation strategies using motions patterns of people*. in: Proc. of the IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA 2003), vol. 2, pp. 2000 - 2005
- [Borenstein 1991] Borenstein, J., Koren, Y. *The vector field histogram-fast obstacle avoidance for mobile robots*. IEEE Transactions on Robotics and Automation, 7(3) pp. 278 –288, 1991
- [Breitenstein 2010] Breitenstein, M., Reichlin, F., Leibe, B., Koller-Meier, E., van Gool, L. *Online multi-person tracking-by-detection from a single, uncalibrated camera*. in: IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1:pp. 99, 2010.

- [Burgard 1998] Burgard, W., Cremers, A.B., Fox, D., Hähnel, D., Lakemeyer, G., Schulz, D., Steiner, W., Thrun, S. *The interactive museum tour-guide robot*. In: Proc. of the Conference on Artificial Intelligence AAAI 1998, pp. 11–18
- [Butler 2001] Butler, J.T., Agah, A. *Psychological effects of behavior patterns of a mobile personal robot*. in: Autonomous Robots, 10(2) pp.185–202, 2001
- [Chivilo 2004] Chivilo, G., Mezzaro, F., Sgorbissa, A., Zaccaria, R. *The robotic attendant: how to follow a leader through visual servoing*. in: 13th IEEE International Workshop on Robot and Human Interactive Communication (ROMAN 2004). pp. 479 – 484
- [Dalal 2005] Dalal, N., Triggs, B. *Histograms of oriented gradients for human detection*. in: Proc.of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR 2005), vol. 1, pp. 886–893
- [Damas 2009] Damas, B.D., Santos-Victor, J. *Avoiding moving obstacles: the forbidden velocity map*. in: Proc. IEEE Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems (IROS 2009), pp. 4393–4398.
- [Das 2001] Das, A. K., Fierro, R., Kumar, V., Southall, B., Spletzer, J., Taylor, C.J. *Real-time vision-based control of a nonholonomic mobile robot*. in: IEEE Conference on Robotics and Automation (ICRA 2001), pp. 1714–1719, 2001
- [Dautenhahn 2006] Dautenhahn, K., Walters, M., Woods, S., Koay K., Nehaniv, L., Sisbot, E.A., Alami, R., Simeon, T. *How may I serve you? A Robot Companion Approaching a Seated Person in a Helping Context*, in: Proc. of ACM International Conference on Human Robot Interaction (HRI), pp. 172-179, 2006
- [Dunn 2009] Dunn, E., Berg, van den J., Frahm, J.-M. *Developing Visual Sensing Strategies through Next Best View Planning*, in: Proc. IEEE Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems (IROS 2009), pp. 4001-4008
- [Felzenszwalb 2008] Felzenszwalb, P., McAllester, D., Ramanan, D. *A discriminatively trained, multiscale, deformable part model*. in: IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR 2008), pp. 1–8
- [Fiorini 1998] Fiorini, P., Shillert, Z. *Motion planning in dynamic environments using velocity obstacles*. in: International Journal of Robotics Research, 17 pp. 760–772, 1998
- [Fox 1997] Fox, D., Burgard, W., Thrun, S. *The dynamic window approach to collision avoidance*. in: Robotics & Automation Magazine, IEEE, 4(1) pp. 23–33, 1997
- [Gavrila 99] Gavrila, D.M. *Real-time object detection for “smart” vehicles*. International Conference on Computer Vision, pp. 87-93, IEEE Press, 1999
- [Germa 2009] Germa, T., Lerasle, F., Ouadah, N., Cadenat, V., Devy, M. *Vision and RFID-based person tracking in crowds from a mobile robot*. in: International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2009), pp. 5591 –5596
- [Gharpure 2008] Gharpure, C., Kulyukin, V. *Robot-assisted shopping for the blind: issues in spatial cognition and product selection*. in: Intelligent Service Robotics, 1(3) pp. 237–251, 2008
- [Gidel 2008] Gidel, S., Checchin, P., Blanc, C., Chateau, T., Trassoudaine, L. *Pedestrian detection method using a multilayer laserscanner: Application in urban environment*. in: International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2008), pp. 173 – 178, IEEE Press
- [Gockley 2007] Gockley, R., Forlizzi, J., Simmons, R. *Natural person-following behavior for social robots*. in: Proc. IEEE ACM Int. Conf. on Human-Robot Interaction, pp. 17–24, 2007
- [Göller 2009] M. Göller, T. Kerscher, J.M. Zöllner, R. Dillmann, M. Devy, T. Germa, and F. Lerasle. *Setup and control architecture for an interactive shopping cart in human all day environments*. in: International Conference on Advanced Robotics (ICAR 2009), pp. 1 –6
- [Göller 2010] Göller, M., Steinhardt, F., Kerscher, T., Zollner, J.M., Dillmann, R. *Proactive avoidance of moving obstacles for a service robot utilizing a behavior-based control*. in: IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2010), pp. 5984 –5989
- [Hall 1966] Hall, E.T. *The Hidden Dimension: Man’s Use of Space in Public and Private*. The Bodley Head Ltd, London, UK, 1966
- [Han 2004] Han, B., Comaniciu, D., Davis, L. *Sequential kernel density approximation through mode propagation: applications to background modelling*. in: Asian Conference on Computer Vision, 2004
- [Hoeller 2007] Hoeller, F., Schulz, D., Moors, M., Schneider, F. *Accompanying persons with a mobile robot using motion prediction and probabilistic roadmaps*. in: Proc. IEEE Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems (IROS 2007), pp. 1260-1265
- [Hu 2007] Hu, C., Ma, X., Dai, X. *A Robust Person Tracking and Following Approach for Mobile Robots*. in: Proc. of IEEE International Conf. on Mechatronics and Automation, pp. 3571-3576, 2007
- [Hu 2009] Hu, C., Ma, X., Dai, X. *Reliable person following approach for mobile robot in indoor environment*. in: Proc. of 8th Int. Conf. on Machine Learning and Cybernetics, pp. 1815–1821, 2009
- [Hüttenrauch 2006] Hüttenrauch, H., Eklundh, K.S., Green, A., Topp, E.A. *Investigating spatial relationships in human-robot interactions*. in: International Conference on intelligent Robots and Systems (IROS 2006), pp. 5052-5059
- [Isard 1998] Isard, M., Blake, A. *Condensation - conditional density propagation for visual tracking*. International Journal of Computer Vision, 29, pp. 5–28, 1998.



- [Jensen 2005] Jensen, B., Tomatis, N., Mayor, L., Drygajlo, A., Siegwart, R. *Robots meet humans-interaction in public spaces*. in: IEEE Transactions on Industrial Electronics, 52(6) pp. 1530 – 1546, 2005
- [Kass 1988] Kass, M., Witkin, M., Terzopoulos. D. *Snakes: Active contour models*. in: International Journal of Computer Vision, 1(4) pp. 321-331, 1988
- [Khan 2006] Khan, S-M., Shah, M. *A Multiview Approach to Tracking People in Crowded Scenes Using A Planar Homography Constraint*. in: European Conf. on Computer Vision, pp. 133-146, 2006
- [Khatib 1985] Khatib, O. *Real-time obstacle avoidance for manipulators and mobile robots*. in: Proc. IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA 1985). vol.2, pp. 500 – 505
- [Koay 2007] Koay K., Sisbot, E.A., Syrdal, D.S., Walters, M., Dautenhahn, K., Alami, R. *Exploratory Study of a Robot Approaching a Person in the Context of Handing Over an Object*, Association for the Advancement of Artificial Intelligence Spring Symposia, 2007
- [Kühn 2002] Kühn, C. *Körper-Sprache. Elemente einer sprachwissenschaftlichen Explikation nonverbaler Kommunikation*. Lang, Frankfurt/M., 2002
- [Kendon 1990] Kendon, A. *Spatial organization in social encounters: the f-formation-system*. In: Adam Kendon, editor, Conducting interaction - Patterns of behavior in focused encounters, pp. 209–237. Cambridge University Press, Cambridge, 1990
- [Kurazume 2008] Kurazume, R., Yamada, H., Murakami, K., Iwashita, Y., Hasegawa, T. *Target tracking using SIR and MCMC particle filters by multiple cameras and laser range finders*. in: International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2008), pp. 3838-3844
- [Lam 2011] Lam, C.-P., Chou, C.-T., Chiang, K.-H., Fu, L.-C. *Human-Centered Robot Navigation - Towards a Harmoniously Human-Robot Coexisting Environment Robotics*. in: IEEE Transactions on Robotics, Vol. 24, pp. 99-112, 2011
- [Lau 2009] Lau, B., Arras, K. O., Burgard, W. *Tracking Groups of People with a Multi-Model Hypothesis Tracker*. in: IEEE Conference on Robotics and Automation (ICRA 2009), pp. 3180 – 3185, IEEE Press
- [Lee 2008] Lee, J., Stone, P. *Person tracking on a mobile robot with heterogeneous intercharacteristic feedback*. in: IEEE Conference on Robotics and Automation (ICRA 2008), pp. 2577 –2582
- [Leibe 2005] Leibe, B., Seemann, E., Schiele, B. *Pedestrian detection in crowded scenes*. in: IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR 2005), vol. 1, pp. 878–885
- [Liu 2007] Liu, Y., Zhang, D., Lua, G., Ma, W.-Y. *A survey of content-based image retrieval with high-level semantics*. in: Pattern Recognition, vol. 40, Iss. 1, 2007
- [Low 2006] Low, K.L., Lastra, A. *Efficient Constraint Evaluation Algorithms for Hierarchical Next-Best-View Planning*. in: Third International Symposium on 3D Data Processing, Visualization, and Transmission , pp. 830-837, 2006
- [Lowe 2004] Lowe, D.G. *Distinctive image features from scale-invariant keypoints*. in: International Journal of Computer Vision, 60(2) pp. 91–110, 2004.
- [Lu 2006] Lu, L., Hager, G.D. *Dynamic foreground/background extraction from images and videos using random patches*. in: NIPS, pp. 929–936, 2006.
- [Luber 2012] Luber, M., Spinello, L., Silva, J., Arras, K.O. *Socially-Aware Robot Navigation: A Learning Approach*, in: Proc. on IEEE Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems (IROS 2012), pp. 902-907
- [Ma 2008] Ma, X., Hu, C., Dai, X., Qian, K. *Sensor integration for person tracking and following with mobile robot*. in: Int. IEEE Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2008), pp. 3254–3259
- [Mariottini 2007] Mariottini, G.L., Oriolo, G., Prattichizzo, D. *Image-based visual servoing for nonholonomic mobile robots using epipolar geometry*. in: IEEE Transactions on Robotics, 23(1) pp. 87–100, 2007
- [Montemerlo 2002] Montemerlo, M., Pineau, J., Roy, N., Thrun, S. Verma, V. *Experiences with a mobile robotic guide for the elderly*. in: Eighteenth national conference on Artificial intelligence, pp. 587–592, Menlo Park, CA, USA, American Association for Artificial Intelligence, 2002
- [Mutlu 2009] Mutlu, B., Yamaoka, F., Kanda, T., Ishiguro, H., Hagita, N. *Nonverbal leakage in robots: communication of intentions through seemingly unintentional behavior*. in: Proceedings of the 4th ACM/IEEE international conference on Human robot interaction (HRI 2009), pp. 69–76, New York, NY, USA, ACM.
- [Owen 2005] Owen E., Montano, L. *Motion planning in dynamic environments using the velocity space*. in: IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, (IROS 2005), pp. 2833 – 2838
- [Pacchierotti 2005] Pacchierotti, E., Christensen, H.I., Jensfelt, P. *Human-robot embodied interaction in hallway settings: a pilot user study*. in: Proceedings of the IEEE International Workshop on Robot and Human Interactive Communication, pp. 164–171, University of Herfordshire, UK, 2005
- [Pandey 2009] Pandey, A.K., Rachid Alami, R. *A step towards a sociable robot guide which monitors and adapts to the person's activities*. in: Proc. of International Conference on Advanced Robotics (ICAR 2009) , pp. 1-8
- [Pineau 2003] Pineau, J., Montemerlo, M., Pollack, M., Roy, N., Thrun, S. *Towards robotic assistants in nursing homes: Challenges and results*. in: Special issue on Socially Interactive Robots, Robotics and Autonomous Systems, 42(1) pp. 271 – 281, 2003

- [PrimeSense 2010] Prime Sensor™ NITE 1.3 Algorithms notes, PrimeSense Inc., 2010
- [Rematas 2011] Rematas, K., Leibe, B. *Efficient object detection and segmentation with a cascaded Hough Forest ISM*. in: IEEE International Conference Computer Vision Workshops (ICCV Workshops 2011), pp. 966-973
- [Rigoll 2000] Rigoll, G., Eickeler, S., Muller, S. *Person tracking in real-world scenarios using statistical methods*. in: International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition, pp. 342-347, IEEE Press, 2000
- [Satake 2009] Satake, S., Kanda, T., Glas, D.F., Imai, M., Ishiguro, H., Hagita, N. *How to approach humans?: strategies for social robots to initiate interaction*. In: Proceedings of the 4th ACM/IEEE international conference on Human robot interaction, (HRI 2009), pp. 109–116, New York, NY, USA
- [Scherer 2010] Scherer, M.; Walter, M.; Schreck, T. *Histograms of oriented gradients for 3D object retrieval*. in: 18th International Conference in Central Europe on Computer Graphics, Visualization and Computer Vision (WSCG 2010), pp. 41-48, 2010
- [Shiomi 2009] Shiomi, M., Kanda, T., Glas, D.F., Satake, S., Ishiguro, H., Hagita, N. *Field trial of networked social robots in a shopping mall*. in: IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2009), pages 2846–2853
- [Shotton 2013] Shotton, J., Fitzgibbon, A., Cook, M., Sharp, T., Finocchio, M., Moore, R., Kipman, A., Blake, A. *Real-Time Human Pose Recognition in Parts from Single Depth Images*, in: Machine Learning for Computer Vision, Studies on Computational Intelligence, Volume 411, pp. 119-135, 2013
- [Siegwart 2003] Siegwart, R., Arras, K.O., Bouabdallah, S., Burnier, D., Froidevaux, G., Greppin, X., Jensen, B., Lorotte, A., Mayor, L., Meisser, M., Philippsen, R., Piguët, R., Ramel, G., Terrien, G., Tomatis, N. *Robox at expo.02: A large-scale installation of personal robots*. in: Robotics and Autonomous Systems, 42(3-4) pp. 203–222, 2003
- [Simmons 1996] Simmons, R. *The curvature-velocity method for local obstacle avoidance*. in: Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Automation, vol.4, pp. 3375–3382, 1996
- [Sisbot 2010] Sisbot, E.A., Marin-Urias, L.F., Broquère, X., Sidobre, D., Alami, R. *Synthesizing robot motions adapted to human presence - a planning and control framework for safe and socially acceptable robot motions*. in: International Journal of Social Robotics, 2(3) pp. 329–343, 2010
- [Song 2010] Song, X., Zhao, H., Cui, J., Shao, X., Shibasaki, R., Zha, H. *Fusion of laser and vision for multiple targets tracking via on-line learning*. in: IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA 2010), pp. 406–411
- [Spinello 2008] Spinello, L., Triebel, R., Siegwart, R. *Multimodal detection and tracking of pedestrians in urban environments with explicit ground plane extraction*. in: International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2008), pp. 1823-1829, IEEE Press
- [Spinello 2011] Spinello, L., Arras, K.O. *People detection in RGB-D data*. in: Proc. of IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA 2011), China, pp. 3838 – 3843
- [Stauffer 1999] Stauffer, C., Grimson, W.E.L. *Adaptive Background Mixture Models for Real-Time Tracking*. in: Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, vol. 2, pp. 2246, 1999
- [Stiefelhagen 1998] Stiefelhagen, R., Yang, J., Waibel, A. *Towards tracking interaction between people*. in: Proceedings of the 1998 AAAI Spring Symposium on Intelligent Environments., pp. 123-127, 1998
- [Svenstrup 2009] Svenstrup, M., Tranberg, S., Andersen, H., Bak, T. *Pose estimation and adaptive robot behaviour for human-robot interaction*. in: Proc. of Int. Conf. of Robotics and Automation (ICRA 2009), pp. 3571–3576
- [Syrdal 2007] D. S. Syrdal, K. L. Koay, M. L. Walters, and K. Dautenhahn. *A personalized robot companion? – the role of individual differences on spatial preferences in hri scenarios*. in: Proceedings of the 16<sup>th</sup> IEEE International Workshop on Robot and Human Interactive Communication (Ro-MAN 2007), pp. 26–29, Korea
- [Thrun 1999a] Thrun, S., Bennewitz, M., Burgard, W., Cremers, A.B., Dellaert, F., Fox, D., Hahnel, D., Rosenberg, C., Roy, N., Schulte, J., Schulz, D. *Minerva: a second-generation museum tour-guide robot*. in: IEEE Conference on Robotics and Automation, vol.3, pp. 1999–2005, 1999
- [Thrun 1999b] Thrun, S., Bennewitz, M., Burgard, W., Cremers, A.B., Dellaert, F., Fox, D., Haehnel, D., Lakemeyer, G., Rosenberg, C., Roy, N., Schulte, J., Schulz, D., Steiner, W. *Experiences with two deployed interactive tour-guide robots*. in: Proceedings of the International Conference on Field and Service Robotics (FSR 1999), Pittsburgh, PA
- [Treptow 2005] Treptow, A., Cielniak, G., Duckett, T. *Comparing Measurement Models for Tracking People in Thermal Images on a Mobile Robot*. in: European Conference on Mobile Robots (ECMR 2005)
- [Tsai 2007] Tsai, C.-Y., Song, K.-T., Dutoit, X., Brussel, van H. Nuttin, M. *Robust mobile robot visual tracking control system using self-tuning kalman filter*. in: International Symposium on Computational Intelligence in Robotics and Automation (CIRA 2007), pp. 161–166
- [Villaroman 2011] Villaroman, N., Rowe, D., Swan, B. *Teaching Natural User Interaction Using OpenNI and the Microsoft Kinect Sensor*, in: Proc. on 12<sup>th</sup> annual Conference on Information Technology and Education (SIGITE), pp. 227-232, 2011
- [Viola 2001] Viola, P., Jones, M. *Rapid object detection using a boosted cascade of simple features*. in: IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR 2001), vol. 1, pp. 511-518
- [Voit 2009] Voit, M., Stiefelhagen, R. *A System for Probabilistic Joint 3D Head Tracking and Pose Estimation in Low-resolution, Multi-view Environments*. in: 7th International Conference on Computer Vision Systems, Belgium, 2009.



- [Walters 2005]** Walters, M.L., Dautenhahn, K., Boekhorst, te R., Koay, K.L., Kaouri, C., Woods, S., Nehaniv, Ch., Lee, D., Werry, I. *The influence of Subjects' Personality Traits on Predicting Comfortable Human-Robot Approach Distance*. in: Proc. of the COGSCI Workshop on Social Mechanisms of Android Science, pp. 29-37, 2005
- [Walters 2008]** Walters, M. L., Syrdal, D. S., Koay, K.L., Dautenhahn, K., Boekhorst, te R. *Human approach distances to a mechanical-looking robot with different robot voice styles*. in: IEEE Int. Symposium on Robot and Human Interactive Communication, pp. 707–712, 2008
- [Weiler 2009]** D. Weiler, F. Roehrbein, and J. Eggert. *Level-set segmentation with contour based object representation*. in: Proc. of International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN 2009), pp. 3327–3334
- [Wu 2011]** Wu, J., Geyer, C., Rehg, J.M. *Real-Time Human Detection Using Contour Cues*. in: Proc. of IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA 2011), China, pp. 860 – 867

## Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN geplant	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) Schlussbericht
3. Titel  ROREAS - Interaktiver <b>RO</b> botischer <b>RE</b> ha- <b>AS</b> sistent für das Lauf- und Orientierungstraining von Patienten nach Schlaganfällen	
4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)]  Prof. Dr.-Ing. Horst Michael Groß; Dr.-Ing. Andrea Scheidig; Dr.-Ing. Christoph Weinrich; Dr.-Ing. Steffen Müller; Dr.-Ing. Klaus Debes; Dipl.-Inf. Erik Einhorn; Dipl.-Ing. Jens Keßler; Tim Wengefeld, MSc; Thanh Quang Trinh, MSc; Dipl.-Inf. Markus Eisenbach; Thomas Schmiedel, MSc;	5. Abschlussdatum des Vorhabens 31.03.2016
	6. Veröffentlichungsdatum geplant
	7. Form der Publikation Forschungsbericht
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse)  TU Ilmenau Fachgebiet Neuroinformatik und Kognitive Robotik Helmholtzplatz 5 (Zusebau) 98693 Ilmenau	9. Ber. Nr. Durchführende Institution -
	10. Förderkennzeichen V4KMU12/204
	11. Seitenzahl 41
12. Fördernde Institution (Name, Adresse)  Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn	13. Literaturangaben 124
	14. Tabellen 2
	15. Abbildungen 18
16. Zusätzliche Angaben	
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum)  Technische Informationsbibliothek (TIB) – Deutsche Forschungsberichte, Welfengarten 1B, 30167 Hannover, 30.09.2016	
18. Kurzfassung Derzeit werden in den westlichen Industrienationen ca. 2–5% der gesamten Gesundheitskosten durch das Krankheitsbild Schlaganfall verursacht. Aufgrund des demographischen Wandels wird die Zahl der Schlaganfälle weiter steigen, gleichzeitig führt die gesellschaftliche Entwicklung weg von der Großfamilie und den damit bestehenden Möglichkeiten der Pflege in der Familie. Dadurch steigen auch die Erwartungen an die rehabilitative Nachsorge von Schlaganfallpatienten. Ein neuer Trend ist hierbei das sogenannte Eigentaining der Patienten, von dem enormes therapeutisches und ökonomisches Potenzial erwartet wird. Im Rahmen von ROREAS (Interaktiver ROBotischer REha-ASsistent für das Lauf- und Orientierungstraining von Patienten nach Schlaganfällen) wurde für ein solches Eigentaining ein robotischer Reha-Assistent zur Anwendung beim Lauf- und Orientierungstraining in der klinischen Schlaganfallnachsorge entwickelt. Der robotische Reha-Assistent begleitet stationäre Schlaganfallpatienten bei Laufübungen, um so die Mobilität der Patienten und gleichzeitig auch deren räumliches Orientierungsvermögen zu trainieren. Er beobachtet die Durchführung und dokumentiert das Training in abrechenbarer Weise. Mit diesem robotischen Reha-Assistenten sollen auch die Ängste der Patienten vor einer Selbstüberforderung („Komme ich sicher wieder zurück?“, „Kann ich das?“, „Verlaufe ich mich vielleicht im Gebäude?“) berücksichtigt werden, die auch Hinderungsgründe für ein Eigentaining sind. Insgesamt erforderte das Vorhaben eine konsistente Integration von robuster autonomer Navigation in realen Umgebungen, leistungsfähiger und alltagstauglicher Mensch-Maschine-Interaktion und intuitiv verständlicher Assistenzfunktionalität mit personalisierten Trainingsprogrammen. Zudem sollten auch die akzeptanzhemmenden und fördernden Faktoren beim Einsatz eines solchen Reha-Assistenten ermittelt sowie die therapeutische Brauchbarkeit analysiert werden.	
19. Schlagwörter ROREAS, soziale Assistenzrobotik, robotischer Reha-Assistent, Gesundheitsassistenz, Schlaganfallnachsorge, Eigentaining, robotischer Laufcoach, technisch assistiertes Lauftraining, Benchmarking, höfliche Navigation, nutzerzentrierte Navigation, 3D-Hinderniserkennung, multimodales Personentracking, ansichtsbasierte Personenwiedererkennung	
20. Verlag Technische Informationsbibliothek – Deutsche Forschungsberichte – (TIB)	21. Preis nicht verfügbar

## Document Control Sheet

1. ISBN or ISSN planned	2. type of document (e.g. report, publication) final report
3. title  ROREAS- <b>R</b> obotic <b>R</b> Ehabilitation <b>A</b> ssistant for gait training of Stroke Patients	
4. author(s) (family name, first name(s))  Prof. Dr.-Ing. Horst Michael Groß; Dr.-Ing. Andrea Scheidig; Dr.-Ing. Christoph Weinrich; Dr.-Ing. Steffen Müller; Dr.-Ing. Klaus Debes; Dipl.-Inf. Erik Einhorn; Dipl.-Ing. Jens Keßler; Tim Wengefeld, MSc; Thanh Quang Trinh, MSc; Dipl.-Inf. Markus Eisenbach; Thomas Schmiedel, MSc;	5. end of project 31.03.2016
	6. publication date Planned
	7. form of publication research report
8. performing organization(s) (name, address)  Technische Universität Ilmenau Neuroinformatics and Cognitive Robotics Lab Helmholtzplatz 5 98693 Ilmenau	9. originator's report no. -
	10. reference no. V4KMU12/204
	11. no. of pages 41
12. sponsoring agency (name, address)  Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn	13. no. of references 124
	14. no. of tables 2
	15. no. of figures 18
16. supplementary notes	
17. presented at (title, place, date)  Technische Informationsbibliothek (TIB) – Deutsche Forschungsberichte, Welfengarten 1B, 30167 Hannover, 30.09.2017	
18. abstract  About 2-5% of all health related costs in the western developed nations originate from stroke disease patterns. Due to demographic change, the rate of stroke occurrences is expected to increase, while at the same time family structures are changing and cohabitation of different generations, providing possibilities for informal care, is receding. In effect, demand for rehabilitative follow-up care for stroke patients is increasing. A new trend in rehabilitation care, promising vast medical as well as economic potential, is so-called self-training.  ROREAS aimed to develop a robotic rehabilitation assistant for walking and orientation exercising in self-training during clinical stroke follow-up care. The robotic rehab assistant accompanies inpatients during walking exercises, practicing both mobility and spatial orientation skills. It shall also address patients' insecurity and anxiety ("Am I able to do that", "Will I find my way back?") which are possible reasons for failing self-training. The assistant also monitors the exercises and stores clinical records for accounting and clearing with insurance funds, thus combining improved training capabilities for patients and organizational efficiency for the care or treatment facility.  The project required consistent integration of robust autonomous navigation in public environments, advanced reliable human-machine-interaction and intuitive assistive functions allowing customized individual exercise plans. Beside the development of the robotic assistant, detailed analysis should quantify its therapeutic usability and utility and reveal factors promoting or impeding the acceptance of its application.	
19. keywords ROREAS, Socially Assistive Robotics (SAR), robotic rehabilitation assistant, health assistant, post-stroke self-training, robot-assisted gait training, benchmarking, social navigation, human- and situation-aware navigation, 3D-perception of environment, multimodal person detection, person re-identification	
20. publisher Technische Informationsbibliothek – Deutsche Forschungsberichte – (TIB)	21. price not available