

Robotischer Reha-Assistent zum Lauftraining von Patienten nach Schlaganfall: Erste Ergebnisse zum Laufcoach*

A. Scheidig, E. Einhorn, Ch. Weinrich, M. Eisenbach, S. Müller, Th. Schmiedel, T. Wengefeld, Th. Trinh, H.-M. Gross

Fachgebiet Neuroinformatik und Kognitive Robotik, TU Ilmenau, Deutschland

A. Bley, R. Scheidig, MetraLabs GmbH, Ilmenau

G. Pfeiffer, m&i-Klinikgruppe, Enzensberg, Deutschland

S. Meyer, SIBIS Institut für Sozialforschung & Projektberatung, Berlin, Deutschland

S.Oelkers, Barmer GEK, Wuppertal

www.roreas.de

Kurzfassung

In diesem Beitrag werden erste Ergebnisse zum Einsatz eines robotischen Reha-Assistenten als Laufcoach in einer Klinik vorgestellt. Zunächst wird das mit Laufcoach bezeichnete Einsatzszenario beschrieben und die zur Umsetzung dieses Szenarios grundlegenden Roboterverhalten sowie die eingesetzten realwelttauglichen Erkennungs-, Navigations- und Interaktionsleistungen zusammen mit der Roboterplattform vorgestellt. Die Herangehensweise an zunächst 4-tägige Funktionstests in der Klinik mit 15.000 m gefahrener Wegstrecke wird dargelegt und erste erreichte Ergebnisse zu den Roboterverhalten der autonomen und höflichen Zielfahrt, des Lotsens und Folgens einer Person diskutiert.

Abstract

This paper presents first results of a robotic rehab assistant working as a gait trainer at a clinic. First, the gait trainer's application scenario is described and its required basic robotic behavior as well as its used real-world performances concerning detection, navigation, and interaction are introduced together with the robotic platform itself. The approach to initial four-day functional tests at the clinic with a total distance covered of 15,000 m is shown and first targets achieved on the robotic behavior of an autonomous and polite homing, piloting and following a person are discussed.

1 Problemstellung

Ein neuer Trend in der rehabilitativen Nachsorge von Schlaganfallpatienten ist das sogenannte Eigentaining der Patienten, von dem enormes therapeutisches und ökonomisches Potenzial hat. In dem laufenden BMBF-Projekt ROREAS (Interaktiver ROBOTischer REha-Assistent für das Lauf- und Orientierungstraining von Patienten nach Schlaganfällen) wird zur Zeit ein robotischer Reha-Assistent für ein solches Eigentaining zur Durchführung eines Lauf- und Orientierungstrainings in der klinischen Schlaganfallnachsorge entwickelt [1].

Der robotische Reha-Assistent wird stationäre Schlaganfallpatienten bei Laufübungen begleiten, um so deren Mobilität und gleichzeitig auch ihr räumliches Orientierungsvermögen zu trainieren. Er wird dazu die Durchführung des Trainings beobachten und dies in abrechenbarer Weise dokumentieren. Mit diesem robotischen Reha-Assistenten soll auch auf die Ängste der Patienten vor einer Selbstüberforderung („Komme ich sicher wieder zurück?“, „Kann ich das?“, „Verlaufe ich mich vielleicht im Gebäude?“) eingegangen werden, die auch Hinderungsgründe für ein Eigentaining sind.

Zielstellung dieses Beitrags ist es, zunächst die aus medizinisch-therapeutischer Sicht entwickelten Szenarien und dann den daraus abgeleiteten Demonstrator vorzustellen.

Dazu wird in Abschnitt 2 zunächst der Stand der Technik zu technischen Assistenzsystemen für ein Lauftraining vorgestellt. In Abschnitt 3 wird dann die Umsetzung des Laufcoaches für einen praktischen Einsatz als Reha-Assistent in einem klinischen Umfeld diskutiert. Basierend auf der in Abschnitt 4 vorgestellten Roboterplattform werden dann in Abschnitt 5 erste im klinischen Einsatzfeld



Abbildung 1: Robotischer Reha-Assistent in der Funktion eines Laufcoaches basierend auf einem SCITOS G3 Roboter während eines Gangtrainings in der m&i-Fachklinik Bad Liebenstein.

erreichte Ergebnisse zum Laufcoach diskutiert. Im Ausblick werden die bevorstehenden ersten Nutzertests vorgestellt.

*Gefördert durch das Programm „IKT 2020 – Forschung für Innovationen“ des BMBF mit dem Förderkennzeichen 16SV6133.

2 Stand der Technik zu technisch assistiertem Lauftraining

Das Spektrum an technischen Systemen zur Unterstützung der Therapeuten im Rehabilitationsprozess ist mittlerweile recht breit. Man unterscheidet dabei entweder *berührungsfrei* / *berührungsbasierte* oder *aktiv unterstützende* / *passiv beobachtende* Verfahren (siehe Abb. 2). Entsprechend des in [2] vorgestellten Überblicks zu robotischen Assistenzsystemen in Rehabilitation und Therapie liegt der Schwerpunkt gegenwärtig noch auf *berührungsbasierten* Verfahren mit *aktiver Unterstützung*. Diese umfassen Exoskelette, intelligente Prothesen und auch intelligente Rollstühle. Typische Beispiele sind Roboterarme zur aktiven Unterstützung der Armbewegungen des Patienten wie MIT-Manus [3], Armeo [4] oder robotergestützte Gangorthesen, wie der Lokomat [5], die allerdings ein Laufband benötigen. Mit diesen Systemen werden die Patienten im Rahmen ihres Trainingsprogramms aktiv bei Bewegungen unterstützt, was für bestimmte pathologische Einschränkungen sinnvoll, bei der Neurorehabilitation im Allgemeinen jedoch nicht erforderlich bzw. auch therapeutisch fragwürdig ist. Zudem wird meist während der Anwendung ein Therapeut zur Sicherung des Patienten benötigt.

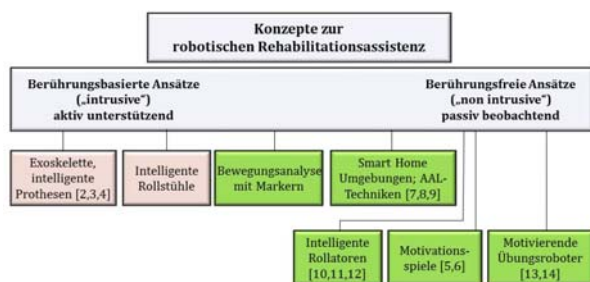


Abbildung 2: Übersicht über wichtige Konzepte der Rehabilitationsrobotik.

Die *berührungsfreien* Verfahren lassen sich wiederum in markerbasierte und markerlose Systeme unterscheiden wobei für diesen Beitrag nur die markerlosen von Interesse sind. Zu den *markerlosen* Verfahren zählen frei ausführbare Übungen z.B. mit Spielekonsolen, wie die XBOX 360 von Microsoft oder die Nintendo Wii. Sie geben dem Patienten einen spielerischen Anreiz, sich überhaupt körperlich zu betätigen. Zur häuslichen Sturzprophylaxe und Schlaganfallrehabilitation wurden dazu bereits 2011 und 2012 das Konzept [6] und ein erster Prototyp [7] des interaktiven Trainingssystems SmartSenior vorgestellt. Für die Einbettung in ein mobiles technisches System zum Lauf- und Orientierungstraining eignen sich die Konsolen jedoch nicht, da sie zwar eine Analyse der von den Patienten ausgeführten Bewegungen ermöglichen, dies jedoch nur stationär in einem lokal begrenzten Umfeld der Konsole erlauben. Darüber hinaus gibt es mittlerweile bereits zahlreiche AAL- und Smart Home-Technologien, die das marker- und berührungsfreie Erfassen von Informationen über ausgeführte Bewegungsprogramme, Aktivitätsverläufe und zudem auch Nutzerzu-

stände ermöglichen [8,9,10]. Diese Ansätze erlauben die langfristige Dokumentation sich ändernder Nutzerparameter oder möglicher Trainingsfortschritte, ein echtes Lauftraining kann jedoch noch nicht unterstützt werden.

Intelligente Rollatoren sind gegenwärtig zwar noch forschungsorientierte Systeme, haben aber einen engen Bezug zu ROREAS, da bei beiden Ansätzen das freie Laufen, z.B. auch im Rahmen eines Lauftrainings, im Mittelpunkt steht. Intelligente Rollatoren haben dabei die Gewichts- und Lenkunterstützung des Nutzers als hauptsächliches Ziel und ermöglichen oft auch die Anpassung der Geschwindigkeit an die Umgebungsbedingungen und das Laufverhalten des Nutzers. Verschiedene Systeme können zudem eine Pfadplanung und lokale Hindernisvermeidung integrieren [11,12] und darüber hinaus während der Nutzung ein Gesundheitsmonitoring, die Erfassung des Belastungsgrades und eine Ganganalyse durchführen [13]. In dem für dieses Vorhaben besonders relevanten Bereich der *roboterassistierten berührungsfreien* Übungsdurchführung ohne aktive Bewegungsunterstützung gibt es bislang nur sehr wenige Arbeiten. Die sozial assistive Robotik (SAR) [14] wird dabei als Assistenz durch soziale und kommunikative aber ohne physische Interaktion mit einem Roboter definiert. Ein SAR kann einen Nutzer zum Training anleiten, motivieren, bei der Ausführung beobachten und motivieren sowie ein zielgerichtetes Feedback geben. Somit besteht eine konzeptuelle Ähnlichkeit zu ROREAS. Wichtige Arbeiten im Kontext von SAR sind die Arbeiten um Mataric zu einem Übungsroboter, der Schlaganfallpatienten in der Rehabilitation zu einfachen Armübungen anregt [15]. Mittels Videoanalyse bewertet dieser stationär operierende Übungsroboter die Übungen zur Armmobilisierung. Hier handelt es sich um eine reine Forschungsplattform, die nicht für den Einsatz außerhalb kontrollierter Laborbedingungen und somit auch nicht als Lauf- Orientierungstrainer im Alltagseinsatz geeignet ist.

3 Realisierung des Laufcoaches

3.1 Spezifik der Einsatzumgebung Klinik

Die Einsatzumgebung des ROREAS-Laufcoaches ist die m&i-Rehabilitations Fachklinik Bad Liebenstein. Die Klinik ist ein U-förmiger Mehrebenen-Komplex und hat mehr als 400 Betten (siehe Abb. 3). Die Länge eines Klinikgangs auf einer Ebene beträgt etwa 170 m. Zur Orientierung der Patienten im Gebäude wurden wichtige Orientierungspunkte, wie z.B. Bereiche vor Fahrstühlen oder Wartebereiche für Patienten, als sogenannte T-Punkte gekennzeichnet. Darüber hinaus ist eine Vielzahl an Ruhepunkten mit Sitzgelegenheiten vorhanden.

Durch die insgesamt acht Ebenen des Gebäudes ergibt sich für den Reha-Assistenten eine anspruchsvolle Einsatzumgebung, die es erfordert, dass dieser autonom über mehrere Ebenen navigieren kann. Eine ähnliche Mehrebenennavigation unter Nutzung des Fahrstuhls ist von Klinik-Transportsystemen [16] bereits bekannt, wobei diese auf eine eigene, von den Patienten unabhängige

Infrastruktur zurückgreifen können. Sobald der Laufcoach seine Einsatzebene im Klinikgebäude wechseln muss, um z.B. einen Patienten abzuholen, muss er in der Lage sein, den normalen Personenfahrstuhl zu bedienen sowie die Befahrbarkeit des Fahrstuhls und den dann erfolgten richtigen Etagenwechsel zu erkennen [17]. Während die methodischen Voraussetzungen bis auf das Prüfen der Befahrbarkeit bereits geschaffen wurden, ist die technische Anbindung an die Fahrstuhlsteuerung seitens des Betreibers ein noch zu lösendes Problem.



Abbildung 3: Die Klinik besitzt einen U-förmigen Grundriss über 8 Ebenen und hat zwei Anbauten

Darüber hinaus ist die Einsatzumgebung je nach Tageszeitpunkt sehr dynamisch. Insbesondere vormittags befinden sich viel Personal und auch viele Patienten, teilweise in Rollstühlen oder mit Laufhilfsmitteln, auf den Klinikfluren. Darüber hinaus werden vormittags auch die Räume gereinigt, so dass sich weiteres Personal mit Reinigungswagen auf den Fluren befindet und auch viele Türen geöffnet sind, so dass die bereits engen Klinikflure weiter verengt werden. Zu den Essenszeiten bewegen sich wiederum viele Patienten zielgerichtet im Gebäude. Ab dem frühen Abend bewegen sich dann nur noch vereinzelt Personen in den Flurbereichen.

Resultierend aus dieser Spezifik der Einsatzumgebung ist es erforderlich, dass sich der Roboter nicht nur zielgerichtet und hindernisvermeidend in der Klinik bewegen kann, sondern vor allem selbst zu keinem Hindernis im Klinikalltag wird, was nur über eine situationserkennende und höfliche Navigation möglich ist. Ebenso wird klar, dass auch die Personenerfassung und vor allem die Personenwiedererkennung wirklich realwelttauglich sein müssen, um ein nutzergerechtes Gangtraining durchführen zu können (siehe Abschn. 3.3).

3.2 Spezifik des Laufcoaches

Der Laufcoach soll Patienten, die gerade vom Therapeuten die Erlaubnis für ein selbständiges Gehen mit Laufhilfsmitteln erhalten haben, jedoch noch zögerlich sind, motivierend, begleitend und dokumentierend unterstützen. Eine einzelne Trainingseinheit mit dem Laufcoach wird ca. 20 Minuten umfassen und kann mehrfach täglich durchgeführt werden. Zunächst soll ROREAS einem solchen Patienten über drei aufeinanderfolgende Tage zur Verfügung stehen, da erhofft wird, dass bereits dieser Zeitraum ausreichend ist, um ein unbegleitetes Gehen des Patienten zu trainieren.

Nachfolgend wird der softwaretechnisch bereits größtenteils umgesetzte Trainingsablauf mit dem Reha-Assistenten

zum Stand März 2015 vorgestellt. Konzeptionell vorgesehene, technisch jedoch noch nicht umgesetzte Aspekte werden entsprechend benannt. Zudem ist zu erwarten, dass Details dieses Ablaufs während der im März 2015 beginnenden Nutzertests noch leicht an die Wünsche der Testnutzer angepasst werden.

Zu Beginn einer Trainingseinheit soll ROREAS zunächst Kontakt zum jeweiligen Patienten aufnehmen. Dazu informiert ROREAS den Patienten über den Beginn des Trainings mit einer SMS auf das Patiententelefon, die diesem vorgelesen wird, wie z.B. *"Ich bin Ihr robotischer Laufcoach und möchte Sie zu einem Spaziergang im Gebäude einladen. Ich erwarte Sie vor der Tür Ihres Zimmers. Bitte nehmen Sie Ihren Schlüssel. Am Schlüssel ist ein Transponder. Den brauchen Sie, damit ich Sie erkennen kann."* Funktions- und Nutzertests hierzu sind noch ausstehend.

Gleichzeitig fährt ROREAS zum Zimmer des Patienten. Er platziert sich so vor der Tür, dass er den Klinikbetrieb nicht stört und den Patienten beim Betreten des Flures erfassen kann. Er begrüßt den Patienten z.B. mit *"Guten Morgen, ich bin Ihr Laufcoach! Bitte berühren Sie meinen Bildschirm."* Zum Schutz der Privatsphäre der Patienten wäre es zwar wünschenswert, diesen Begrüßungs- und später auch Verabschiedungsdialog direkt im Zimmer des Patienten zu führen. Der Vorgang des gemeinsamen und kooperativen Befahrens und Verlassens des Zimmers ist jedoch aus Sicht der Robotiknavigation sehr aufwändig und eine Umsetzung im Projekt daher nicht vorgesehen.

Die Anmeldung des Patienten erfolgt durch diesen selbst über einen Knopfdruck auf der GUI. Zudem prüft der Roboter anhand des Transponders des Patienten, ob er mit dem richtigen Patienten Kontakt hat (technisch noch nicht umgesetzt). Die im weiteren Trainingsverlauf genutzte kleidungsbasierte Wiedererkennung dient lediglich der Unterscheidung des Patienten von anderen, unbeteiligten Personen, jedoch nicht seiner Identifizierung.

Auf der Grundlage des Trainingsfortschritts des Patienten wird ihm ein Vorschlag für das anstehende Lauftraining, zu einem Ruhepunkt unterbreitet, z.B. per Sprachausgabe: *"Ich zeige Ihnen auf meinem Bildschirm, welchen Weg Sie das letzte Mal mit mir gegangen sind. Sie sind den Weg bis zum ersten Ruhepunkt zweimal gegangen, ohne eine Pause zu brauchen. Ich denke, Sie schaffen auf jeden Fall den Weg bis zum nächsten Ruhepunkt. Sie können jedes Mal beim Ruhepunkt entscheiden, ob Sie noch eine Runde laufen wollen."* Außerdem wird auf einer aufbereiteten Navigationskarte der beim letzten Training gegangene Weg, der sich auch über mehrere Stockwerke erstrecken kann, zusammen mit verschiedenen Ruhepunkten und wichtigen Zielen, z.B. Orientierungspunkte, Speisesaal, Rezeption oder Cafeteria, dargestellt.

Nach einer Bedenkzeit zur Wahl des Weges macht der Roboter die Sprachausgabe *"Ich gehe die erste Strecke vor Ihnen. Sind Sie bereit? Bitte informieren Sie mich über mein Display"*. Dort findet sich zur Auswahl: *"Es kann losgehen!"* oder *"Ich fühle mich heute nicht wohl und möchte lieber auf meinem Zimmer bleiben"*. Bei

Auswahl des Laufziels läuft der Patient los und der Roboter folgt ihm. Bewegt sich der Patient bereits vor der Zimmertür oder auch im weiteren Trainingsverlauf in eine falsche Richtung, wird er vom Roboter darauf aufmerksam gemacht und gebeten, wieder in die andere Richtung zu laufen. Liefere der Patient trotzdem weiter in die falsche Richtung, wird das Training durch den Roboter abgebrochen und das Pflegepersonal mit einer Nachricht informiert (noch nicht integriert).

Befinden sich auf dem Weg Ruhepunkte, die nicht der aktuelle Zielpunkt sind, macht ROREAS den Patienten darauf aufmerksam. Dies kann über ein akustisches Signal (technisch noch nicht umgesetzt) oder durch eine Sprachausgabe des Roboters erfolgen. Dem Patienten wird vorgeschlagen, sich zu setzen und eine Pause zu machen, z.B. durch „Hier ist ein Ruhepunkt, wollen Sie sich ausruhen?“. Will dies der Patient nicht, kann er einfach weitergehen, auch ohne mit ROREAS in Kontakt zu treten.

Sollte der Patient deutlich früher eine Pause machen als beim letzten Gangtraining, reagiert ROREAS durch eine Sprachausgabe „Sie haben heute deutlich früher eine Ruhepause gebraucht als beim letzten Mal. Geht es Ihnen heute nicht gut? Ich würde vorschlagen, ich sage im Stationszimmer Bescheid. Bitte sagen Sie mir über mein Display, ob Ihnen das recht ist.“ Hat der Patient einen ähnlich weiten oder längeren Weg bis zur ersten Pause zurückgelegt, wird jeweils situationsgerecht mit einer motivierenden, lobenden Sprachausgabe reagiert und die Entscheidung zur Rückkehr oder Fortsetzung gegeben. Ebenso erfolgt eine Erinnerung an das Umkehren beim Erreichen der Hälfte der zuletzt insgesamt zurückgelegten Strecke.

An den Ruhepunkten werden die Patienten explizit auf die Spezifik der Umgebung mit z.B. dort vorhandenen Bildern oder einem sichtbaren Fahrstuhl aufmerksam gemacht, was insbesondere das Orientierungsvermögen von Patienten mit kognitiven Einschränkungen trainieren soll. Am Ziel wird der Patient darauf aufmerksam gemacht, dass er angekommen ist und ihm wird vorgeschlagen, direkt zurück zu gehen oder sich zunächst auszuruhen. Sollten sich wieder Ruhepunkte auf dem Rückweg befinden, verhält sich ROREAS genauso wie beim Hinweg. Am Zimmer angekommen, kann der Patient die Strecke wiederholen. Zum Abschluss des Trainings erfolgt die Verabschiedung an der Tür des Patienten, z.B. mit folgender Sprachausgabe „Wir sind wieder bei Ihrem Zimmer angekommen. Sie sind diesmal 50 m gelaufen. Dies sind 10 m mehr als beim letzten Mal. Ich hole Sie gerne wieder zum nächsten Gangtraining um 17:00 Uhr ab.“

3.3 Steuerarchitektur

Die Umsetzung des Laufcoaches auf dem Roboter erfolgt durch eine Kombination unterschiedlicher Basisverhalten, den sogenannten Behaviors (siehe Abb. 4, grüne Schicht Zeile). Behaviors sind z. B. das Fahren zu definierten Zielen in der Klinik, das Lotsen oder Folgen von Patienten. Sie werden wiederum durch realwelttaugliche Erkennungs-, Navigations- und Interaktionsleistungen, so-

nannte Skills, realisiert (siehe Abb. 4, gelbe Schicht), wozu auch spezielle Hardwarekomponenten (Abb. 4, graue Schicht) erforderlich sind. Eine Kurzübersicht der dazu selbst entwickelten sowie der aus der Literatur eingesetzten Verfahren gibt Tabelle 1, inklusive der Referenzen auf eigene Publikationen dazu. Die softwaretechnische Umsetzung aller Verfahren auf dem Roboter erfolgt unter Nutzung des MIRA Softwareframeworks [18, 19].

Skills	Beschreibung	Referenz
Personendetektion	Asynchron arbeitende Detektionsmodule (verbessertes 2D-laserbasierter Beindetektor; Oberkörperdetektor) zur Detektion von Personen mit und ohne Laufhilfsmittel	[20], [21]
Personentracking	Realzeit-Personentracker zur Filterung asynchroner, multimodaler Detektionen über 7D-Kalmanfilter pro Person	[22]
Selbstlokalisierung	Nutzung der adaptiven MCL (aMCL) auf 2D-Belegtheitskarten mit Laserscanner	[23]
Navigation und Pfadplanung	Hierarchischer Ansatz, der topologische und metrische Pfadplanung (mittels E*) auf taktischer Ebene mit der lokalen Hindernisvermeidung (DWA mit einzelnen „Objektives“) auf reaktiver Ebene kombiniert	[1]
Nutzerzentrierte Navigation	Personal Space als „Objektive“ im DWA; Modell zur Personenprädiktion unter Berücksichtigung der Geschwindigkeit der Person, der Hinderniskonstellation und der räumlichen Relation zwischen Person und Roboter	[24]
3D Hindernisdetektion	Lokale NDT-Karten zur 3D-Modellierung der Umgebung zwecks Behandlung dynamischer Hindernisse und Personen	[25]
Engstellenbehandlung	Prädiktion von Personenbewegungen mit Situationserkennung für Entscheidung zu Weiterfahrt, Einreihen oder Warten in zu findender Warteposition	[26], [27]
Personenwiedererkennung	Echtzeitfähiges ansichtsbasiertes Wiedererkennungsverfahren unter Nutzung eines ad-hoc gelernten nutzerspezifischen „Bekleidungsmodells“; Nutzung von Metric Learning und Score Level Fusion Techniken	[28], [29]

Behaviors	Beschreibung	Referenz
Lotsen	Autonome Zielfahrt mit Anpassung der Robotergergeschwindigkeit; Prädiktion der Personen- und Roboterposition zur Einhaltung eines gewünschten Abstands	[24]
Folgen	Dynamisches Neuplanen eines Pfades mittels E*, um einer sich bewegenden Hypothese des Personentrackers zu folgen	[22]
Interaktionsdistanz herstellen	PSO-Optimierung mit folgenden Kriterien: generelle Erreichbarkeit und Distanz zum Roboter, Abstand zu Person, Nähe zu Hindernissen, Ausrichtung des Displays zur Person	
Kontaktaufnahme	Intuitive Interaktionsformen mittels der Roboteraugen für den Blickkontakt zum Patienten sowie der Displayausrichtung entsprechend der Oberkörperorientierung des Nutzers	

Tabelle 1: Wichtige Erkennungs-, Navigations- und Interaktionsleistungen sowie Basisverhalten für ROREAS mit Literaturverweisen.

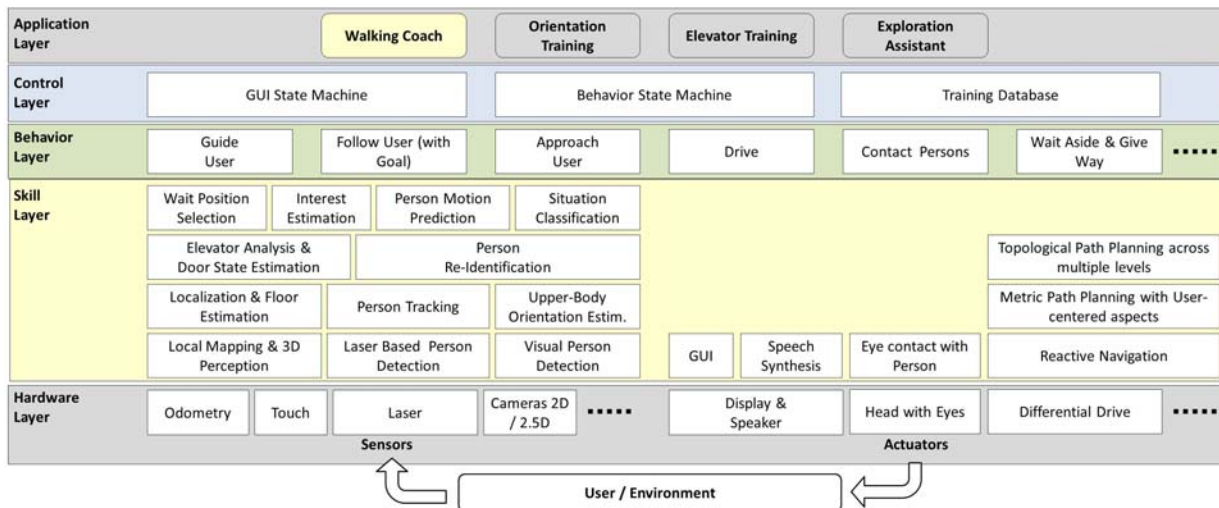


Abbildung 4: Systemarchitektur zum Demonstrator Laufcoach aus [1]. Grau hinterlegt sind weitere mögliche Demonstratoren, die bislang noch nicht oder nicht vollständig realisiert wurden. Der Laufcoach wird durch zwei State Machines (siehe Control Layer) und kombinierte Basisverhalten umgesetzt, die verschiedene Erkennungs-, Navigations- und Interaktionsleistungen aber auch spezifische Hardwarekomponenten erfordern.

4 Roboterplattform

Im ROREAS-Projekt wurde entsprechend der speziellen Anforderungen an einen Laufcoach im klinischen Einsatz die Trainingsplattform ROREAS basierend auf dem eigens dafür neu entwickelten Roboter SCITOS G3 der Firma MetraLabs realisiert (Abb. 5). Die Größe von ROREAS wurde mit 45 x 55 cm bewusst klein gewählt, um im Klinikbetrieb mit teilweise sehr engen Klinikgängen größenbedingte Behinderungen zu vermeiden. Der Antrieb des Roboters besteht aus zwei differentiell ansteuerbaren Motoren und einem Kastorrad. Er hat eine Höhe von 1.5 m, ein Gewicht von ca. 70 kg und kann mit einer Geschwindigkeit von bis zu 1.4 m/s fahren.



Abbildung 5: Die im Rahmen des Projektes entwickelte mobile Roboterplattform ROREAS, basierend auf einem SCITOS G3.

Zur Realisierung solcher Basisleistungen, wie hindernisvermeidende, höfliche Navigation, Nutzererfassung und –wiedererkennung, ist ROREAS mit einem innovativen Sensorkonzept ausgestattet. Dazu zählen zwei an gegenüberliegenden Ecken des Roboters angebrachte Laser-Range-Finder mit einem Erfassungsbereich von 270° in

einer Höhe von ca. 20 cm über dem Boden, drei Asus-Tiefenkameras (zwei in Fahrt- und eine in Rückwärtsfahrtrichtung) sowie eine Panorama-Farbkamera auf dem Roboterkopf.

Zur Nutzerinteraktion mit Patienten besitzt ROREAS zwei Touchdisplays (eins pro Fahrtrichtung bzw. eins zur Interaktion im Stehen und eins zur Interaktion im Sitzen), ein Sprachausgabesystem und aufbauend auf den positiven Erfahrungen mit dem Shoppingroboter TOOMAS [30] einen Roboterkopf mit Augen mit 6 Freiheitsgraden. Die Touchdisplays bilden dabei das hauptsächliche Interaktionsinterface. Der Kopf hingegen gibt dem Roboter ein smartes Aussehen und unterstützt die Interaktion durch die ansteuerbare Blickrichtung. Die Gesamtheit dieser Hardwarekonfiguration mit einem sehr hohen Datenaufkommen und die softwaretechnische Integration kliniktauglicher Methoden machten es erforderlich, zwei energiesparende PCs zu integrieren.

Die äußere Form von ROREAS wurde so gewählt, dass auch ein sitzender Patient das ihm zugewandte Display einfach erreichen und bedienen kann.

Das Energiemanagement ermöglicht einen Langzeiteinsatz von bis zu 8 Stunden, bevor ein erneutes vollständiges Aufladen an der Ladestation in höchstens 6 Stunden erforderlich ist. Beim Design der ROREAS-Plattform standen Funktionalität und Energieeffizienz aber auch die Möglichkeit der intuitiven Nutzung durch die Patienten und nicht zuletzt die Berücksichtigung der Kosten und damit möglicher Markteintrittsbarrieren im Fokus.

5 Funktionstests zum Laufcoach

5.1 Durchführung der Funktionstests

Bevor der Laufcoach in Nutzertests mit Patienten evaluiert werden kann, müssen zunächst grundlegende Basisverhalten in der klinischen Einsatzumgebung getestet und bewertet werden. Erste umfangreiche Funktionstests er-

folgten mit ROREAS in der m&i Fachklinik in Bad Liebenstein im Februar 2015 über 4 Tage, wobei ca. 15.000 m Fahrtstrecke zurückgelegt wurden. Die Funktionstests wurden in verschiedenen Etagen der Klinik und zu unterschiedlichen Tageszeiten durchgeführt, um die Basisverhalten unter möglichst vielfältigen Klinikbedingungen zu bewerten, wie z.B. räumliche Charakteristik, Beleuchtungsverhältnisse oder Personendichte auf den Gängen. Die Tabelle 2 zeigt zunächst einen Überblick über die drei während der Funktionstests getesteten Basisverhalten *autonome Zielfahrt* (Z1 bis Z5), *Lotsen* (L1 und L2) und *Folgen* (F1 und F2) einer Person im Kontext der Nutzung unterschiedlicher Skills.

Konfiguration	Zielfahrt	Lotsen	Folgen
2D-Umgebungserfassung	Z1	-	-
3D-Umgebungserfassung	Z2	-	F1
Personal Space	Z3	-	-
Engstellenbehandlung	Z4	L1	-
Rechtsfahren	Z5	-	-
Wiedererkennung	-	L2	F2

Tabelle 2: Übersicht durchgeführter Funktionstests zu Basisverhalten mit unterschiedlichen Skills.

Zur Durchführung der Funktionstests wurden auf jeweils einer Klinikebene Navigationspunkte an beiden Enden des Flurs ggf. auch mit Zwischenpunkten festgelegt, die dann mehrfach über eine autonome Navigation mit jeweils unterschiedlichen eingebundenen Roboterskills (siehe Tab. 2, Konfiguration) zu erreichen waren.

Zur qualitativen und quantitativen Bewertung der unterschiedlichen methodischen Ansätze wurden während dieser Fahrten die Anzahl erfolgter Kollisionen mit ausgelöstem Bumper (siehe Abb. 5) sowie die Fahrzeit erfasst. Weitere Maße, wie z.B. die Dauer der Pfadplanung oder die gefahrenen Geschwindigkeitsprofile wurden zwar auch ermittelt, werden in diesem Beitrag aus Platzgründen jedoch nicht ausgewertet.

Zudem war während der Funktionstests ein externer Versuchsbeobachter anwesend, der mit ausreichend Abstand zum Roboter die Tests begleitete, so dass er das Verhalten des Roboters nicht beeinflusste und trotzdem die Ereignisse dokumentieren konnte. Dies umfasste zur Bewertung des *Navigationsverhalten*: (1) zu geringe Abstände zu Hindernissen, (2) zu geringe Abstände zu Personen und (3) manuell getriggerte Not-Stops des Roboters. Zur Bewertung einer *Engstellenerkennung* wurden jeweils separat für entgegenkommende und gleichzeitig mit in die Engstelle laufende Personen erfasst, wenn: (1) eine Verklemmungssituation durch den Roboter korrekt erkannt wurde, (2) eine vorhandene Verklemmungssituation nicht erkannt wurde, (3) eine Verklemmungssituation erkannt wurde, obwohl keine vorhanden war und (4) eine nicht vorhandene Verklemmungssituation als solche auch erkannt wurde. Zur Bewertung der *Wiedererkennung* von Personen beim Lotsen und Folgen wurde erfasst, ob der eigentliche Nutzer mit einer anderen Person im Umfeld verwechselt wurde.

Der externe Versuchsbeobachter konnte weiterhin zur möglichst unterbrechungsfreien Durchführung der Funktionstests für das Folgen- und Lotsenverhalten ein eigens dafür im Projekt entwickeltes, Tablet-basiertes Interface (*Control Tablet*) nutzen. Über dieses Tablet ist es ihm möglich, zur Zeit noch fehlerhafte Erkennungsleistungen der Skills (z.B. bei der Personendetektion oder Personenwiedererkennung) manuell zu korrigieren, so dass noch vor Abschluss der Methodenentwicklung und damit deutlich frühzeitiger als üblich mit in der realen Umgebung begonnen werden kann. Gleichzeitig erhalten die Entwickler ein sehr objektives Feedback, in welcher Situation die Erkennungsverfahren noch Probleme haben. Die automatisch mitgeloggten Daten wurden zusammen mit den manuell erfassten Ereignissen für jeden Versuch in einem Ereignisprotokoll zusammengefasst (siehe Abb. 6) und anschließend ausgewertet.

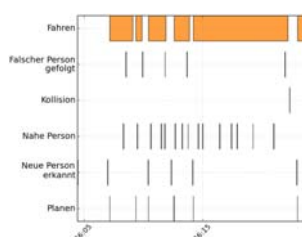


Abbildung 6: Beispielhaftes Ereignisprotokoll über 20 Minuten, das in der Klinik während einer Fahrt zur Mittagszeit aufgenommen wurde.

5.2 Funktionstests höfliche Navigation

Die Klinik als Einsatzumgebung erfordert, dass der Roboter sich nicht nur zielgerichtet und hindernisvermeidend bewegen kann, sondern selbst zu keiner Behinderung im Klinikalltag wird. Ergebnisse ausgewählter Aspekte (siehe Tab. 2) werden nachfolgend vorgestellt.

5.2.1 Umgebungserfassung und Hindernisvermeidung (Z1 und Z1)

Ziel dieser Funktionstests (Vergleich Z1 und Z2) ist die Ermittlung, ob eine 2D-laserbasierte Umgebungswahrnehmung für eine kollisionsvermeidende Navigation in der Klinik ausreicht oder die Nutzung einer 3D-Umgebungserfassung mit integrierten Laser- und Tiefenkamerainformationen erforderlich ist.

Ergebnisse der Funktionstests

Zur Untersuchung der Leistungsfähigkeit der 2D- und 3D-Umgebungserfassung und der Hindernisvermeidung wurden Funktionstests auf drei verschiedenen Etagen der Fachklinik durchgeführt. Insgesamt wurde dafür eine Wegstrecke von 12.000 m mit ca. 70 Zielfahrten des Roboters analysiert. Zunächst erfolgte der Funktionstest Z1 mit ausschließlich 2D-laserbasierter Umgebungserfassung. Dieser Funktionstest musste jedoch nach 2.000 m abgebrochen werden, da das Risiko von Kollisionen mit Hindernissen oder Patienten zu hoch war (siehe Abb. 7). Dagegen sank unter Nutzung einer 3D-Umgebungserfassung die Anzahl an Kollisionen erheblich, ebenso wie die Anzahl von Situationen, in denen ein zu starkes Annähern an Hindernisse erfolgte (siehe Tab. 3).

Tests: Z1 und Z2	2D-Umgebungs- erfassung	3D-Umgebungs- erfassung
Gefahrene Strecke	2.000 m	10.000 m
Kollision	23 (12 pro km)	1 (0.1 pro km)
Ereignisse mit zu ge- ringem Hindernisab- stand	18 (9.4 pro km)	4 (0.2 pro km)

Tabelle 3: Ergebnisse des Funktionstests zur 2D- und 3D-Umgebungserfassung und Hindernisvermeidung.

Wird angenommen, dass das Risiko einer Kollision exponentialverteilt ist und die durchschnittliche Strecke eines vollständigen Lauftrainings inklusive des Weges des Roboters zum Abholen des Patienten an dessen Patientenzimmer 250 m beträgt, ergibt sich unter Nutzung der 3D-Umgebungserfassung eine Wahrscheinlichkeit von 97 %, das Lauftraining kollisionsfrei durchzuführen. Ohne 3D-Umgebungserfassung sinkt diese Wahrscheinlichkeit auf nur 5 %.

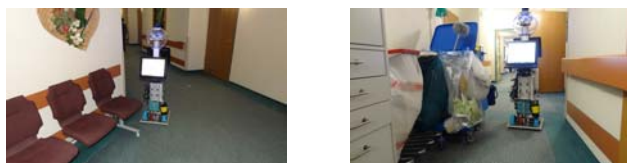


Abbildung 7: Situationen, die zur Vermeidung von Kollisionen eine 3D-Umgebungserfassung erfordern.

5.2.2 Nutzung des Personal Space (Z2 und Z3)

Im Funktionstest Z3 soll der Effekt der Wahrung einer sozialen Distanz (Personal Space) zu umgebenden Personen vergleichend zu einer nicht personenbeachtenden autonomen Navigation untersucht werden. Aufgrund der erreichten Ergebnisse zur Umgebungserfassung (siehe Abschn. 5.2.1) wurde in diesen Funktionstests durchgehend eine 3D-Hindernisvermeidung genutzt.

Ergebnisse der Funktionstests

Die Funktionstests zur Wahrung einer sozialen Distanz zu Personen während einer Zielfahrt erfolgten ähnlich zu denen der 3D-Umgebungserfassung, so dass die gleichen Zielpunkte auf den drei Etagen verwendet wurden. Die Evaluation umfasste eine Gesamtstrecke von 9.500 m und besteht ebenfalls aus zwei vergleichenden Einzeltests.

Im ersten Funktionstest Z2, über eine Strecke von 1500 m, wurde der Personal Space nicht genutzt, während er im zweiten Testlauf über eine Strecke von 8.000 m aktiviert wurde. Zur Bewertung der Wirkung des Personal Spaces zählte der Beobachter kritische Begegnungen mit Personen, d.h. wenn der Pfad des Roboters zu nah an einer Person entlangführte (siehe Abschn. 5.1). Diese Begegnungen könnten dazu führen, dass die betroffenen Personen sich fälschlicherweise zur Interaktion aufgefordert fühlen, obgleich der Roboter diese nur passieren möchte. Zudem können sich Personen durch einen zu nah kommenden Roboter in ihrer Privatsphäre gestört fühlen. Da dieses Bewertungsmaß stark vom jeweiligen Personenaufkommen abhängig ist, wurde darauf geachtet, die ver-

gleichenden Tests zu gleichen Tageszeiten durchzuführen. Zur Bewertung des Personenaufkommens wurde auch die Anzahl der Personen gezählt, die den Roboter in einen Radius von 2 m passierten. Für beide Funktionstests wurden dabei ähnliche durchschnittliche Werte ermittelt (siehe Tab. 4).

Tests: Z2 und Z3	3D-Hindernis- vermeidung	3D-Hindernis- vermeidung und Personal Space
Gefahrene Strecke	1.500 m	8.000 m
Erfasste Personen	24 (15 pro km)	133 (17 pro km)
Zu geringer Ab- stand zu Personen	11 (7 pro)	4 (0.5 pro km)

Tabelle 4: Ergebnisse des Funktionstests zur Nutzung eines Personal Spaces.

Die Werte in Tabelle 4 verdeutlichen, dass unter Nutzung des Personal Spaces ein durchschnittliches zu nahes Vorbeifahren an Personen von 7 mal pro km auf 0.5 mal pro km reduziert werden konnte. Aufgrund der deutlichen Wirkung des Personal Spaces ist dieser für eine höfliche Navigation in bevölkerten öffentlichen Einsatzumgebungen, wie z.B. einer Klinik, unumgänglich.

5.2.3 Engstellenbehandlung (Z4, L1)

Mit den Funktionstests Z4 und L1 wird die Güte des bislang genutzten Ansatzes zur Engstellenbehandlung über die sogenannte Trefferquote (vorhandene potentielle Verklemmungen werden als solche erkannt) und die Genauigkeit (die erkannten Verklemmungssituationen sind auch solche) ermittelt. Um das Risiko von Kollisionen und die Störung von Patienten zu minimieren, wurden hier die 3D-Hindernisvermeidung und der Personal Space genutzt.

Ergebnisse der Funktionstests

Die Funktionstests zur Engstellenbehandlung erfolgten ähnlich zu denen der 3D-Umgebungserfassung, und es wurden wieder die gleichen Zielpunkte auf den drei Etagen für die autonome Zielfahrt und für das Lotsen einer Person genutzt. Zur Bewertung dieser Funktionstests erfasste der externe Beobachter die Klassifikationsergebnisse des Verfahrens (siehe Abschn. 5.1), ebenso wie das Personenaufkommen im Umkreis von 2 m zum Roboter.

Test: Z4 und L1	3D-Hindernisvermeidung, Personal Space und Situationserkennung
gefahrte Strecke	3.600 m
erfasste Personen	77 (21. pro km)
Verklemmungen	20 (5.5 pro km)

Tabelle 5: Ergebnisse des Funktionstests Z4 und L1 zur Erkennung von Verklemmungen an Engstellen.

Die Auswertung der vorhandenen und der richtig erkannten Verklemmungen an Engstellen ergab eine Trefferquote von 0.95 und unter Einbezug der gemachten Fehler eine Genauigkeit von 0.59.

Ein Großteil der Verklemmungssituationen wurde also erkannt, die Fehler resultieren vor allem aus einer noch

unzureichenden Engstellenerkennung und Problemen bei der Prädiktion der aller möglichen Verklemmung in einer Engstelle. Daher erfolgt in den kommenden Nutzertests zunächst noch eine manuellen Kontrolle und Korrektur der erfassten Verklemmungssituationen über das Control Tablet.



Abbildung 8: Beispielhafte Situationen, die eine Engstellenerkennung erfordern, wie z.B. eine Flurverengung durch eine integrierte Tür (links) oder auch Service- und Reinigungswagen sowie geöffnete Zimmertüren (rechts).

5.2.4 Rechtsfahrverhalten (Z5)

Mit den Funktionstests Z5 sollten die Effekte des verstärkten Rechtsfahrens des Roboters in Übereinstimmung mit der natürlichen Bewegungspräferenz der Menschen (in Deutschland) untersucht werden. Es wurde erwartet, dass ein Rechtsfahren ein verklemmungsfreies Navigieren unterstützt und damit die Kollisionswahrscheinlichkeit verringert wird.

Ergebnisse der Funktionstests

Erste Ergebnisse der Funktionstests ergaben, dass sich die Zeit für die Durchfahrt durch den kompletten (personenfreien) Gang mit einer Länge von ca. 170 m durch Nutzung des Rechtsfahrens um durchschnittlich 47 Sekunden erhöhte. Dies erhöhte ebenso die komplette durchschnittliche Durchfahrtsdauer von 3:48 Minuten (0,75 m/s) auf 4:35 Minuten (0,62 m/s). Eine Verringerung der Anzahl aufgetretener Verklemmungen oder Kollisionen konnte bislang noch nicht festgestellt werden (siehe Abb. 9). Dies könnte am geringen zeitlichen Umfang durchgeführter Tests, verbunden mit einem geringen Personenaufkommen liegen. Umfassende Betrachtungen, auch zu Zeiten eines hohen Personenaufkommens werden nochmals im Zusammenhang mit nächsten Nutzertests durchgeführt.



Abbildung 9: Visualisierung eines Ausschnitts einer Robotertrajektorie unter Nutzung des Rechtsfahrverhaltens während einer kompletten Rundfahrt durch den Gang. Es ist erkennbar, dass sich der Roboter auf der Hin- und Rückfahrt jeweils näher an der in Fahrtrichtung rechten Wand befindet.

5.3 Funktionstests zum Lotsen einer Person in der Klinik (L1, L2)

Zielstellung der Funktionstests zum Lotsen einer Person ist die Ermittlung, wie stabil eine zu lotsende Person erfasst werden kann, um ein Lotsen ohne Unterbrechung durch z.B. eine sensorisch verlorengegangene Person oder

eine Verwechslung mit einer anderen Person zu unterbrechen. Dazu erfolgt in den Funktionstests L1 zunächst das Lotsen einer Person ohne und im Vergleich dazu im Test L2 mit kleidungsbasierter Personenwiedererkennung.

Ziel der Wiedererkennung war es, ständig zu überprüfen, ob der Kontakt zum aktuellen Benutzer noch besteht. Dies wurde durch Vergleich der Ähnlichkeit des Nutzers im aktuellen Kamerabild mit Bildern zur Zeit der Anmeldung realisiert. Um zu vergleichen, wie gut das Lotsen ohne Wiedererkennung funktioniert, lief simultan ein Referenzverfahren mit, das den Hypothesen des Personentrackers folgt, bis diese unterbrochen wurden. Daraufhin folgt es jeweils der räumlich nächsten Person bezogen auf den zuletzt bekannten Aufenthaltsort. Das Referenzverfahren benutzt keine visuellen Informationen für die Entscheidung. Von diesem Verfahren wurden die Entscheidungen nur geloggt um die Fehlerstellen zu erkennen, gefolgt wurde aber jeweils nur den Entscheidungen der Wiedererkennung. Während es im ersten Test zu Verwechslungen kommen kann, sollte die Zahl an Verwechslungen im zweiten Test reduziert sein. Bei allen Tests wurde die 3D-Hindernisvermeidung, höfliche Navigation und Engstellenerkennung genutzt.

Ergebnisse der Funktionstests

Um die Wiedererkennungsleistung des Roboters beim Lotsen einer Person zu ermitteln, wurden drei Probanden in zusammen fünf Durchläufen durch den gesamten Flur der Klinik (170 m Länge) gelotst. Die reine Fahrtzeit betrug insgesamt etwa eine Stunde. Zu Beginn jedes Durchlaufs meldete sich die Person jeweils per Touchscreen beim Roboter an. Der Roboter fuhr anschließend voran und gab den Weg vor. Die Probanden konnten während des Lotsens ihr Lauftempo frei wählen, und der Roboter passte sein Tempo entsprechend an.

Das Verhalten des Roboters wurde als korrekt bewertet, wenn er durchgängig fuhr und ihm die Person dabei folgte. Kurzes Anhalten bis zu drei Sekunden war dabei gestattet, wenn der Roboter sich unsicher war (z.B. wenn die Person über mehrere Bilder hinweg nicht im Kamerabild detektiert wurde). Danach musste die Fahrt fortgesetzt werden. Pausen von mehr als drei Sekunden wurden als unnötiges Anhalten bewertet. Sollte der Kontakt zur Person verloren gehen, muss der Roboter anhalten und darf nicht einer falschen Person folgen. Verhielt sich der Roboter nicht korrekt, so wurde ein Anhalten manuell über ein Control Tablet erzwungen und die korrekte Personenhypothese manuell gesetzt. Der Roboter musste danach seine Route fortsetzen.

Tabelle 6 listet die Ergebnisse der fünf Durchläufe auf. Dabei ist jeweils angegeben, wie viele Personen in engen Kontakt mit dem Roboter kamen und somit mit dem Nutzermodell durch die Wiedererkennungskomponente verglichen wurden. Diese Werte wurden von externen Beobachtern gezählt. Die in der Spalte IDs angegebene Anzahl vergebener Track-IDs soll einen Eindruck vermitteln, wie gefüllt die Gänge zur Zeit des Experiments waren (neue IDs werden jeweils vergeben bei Personendetektionen, die keiner bereits getrackten Person zuge-

ordnet werden können). Situationen, in denen der Roboter anhielt, sind unterschieden in korrekt (Person nicht sichtbar; siehe Spalte „ok“) und falsch (Person eigentlich noch sichtbar, siehe Spalte „Fehldet.“). Bei Verwechslungen wird unterschieden nach Fehldetektionen und fremden Personen (siehe Spalte „Pers.“). Verwechslungen mit Fehldetektionen geschahen, wenn der Personendetektor irrtümlich in der Nähe von Türen Objekte erkannte, deren Silhouette ähnlich der Kopf-Schulterpartie einer Person aussieht. Dies hat ein Verhalten zur Folge, bei dem der Roboter Richtung Wand fährt. In Klammern ist angegeben wie häufig dieser Fehler selbst durch den Roboter korrigiert werden konnte (z.B. weil die Fehldetektionen nur kurzzeitig auftraten) und wie häufig ein manuelles Eingreifen erforderlich war. Die letzten beiden Spalten zeigen die kritischen Fehler, bei denen der Roboter einer falschen Person folgen wollte und ein manuelles Eingreifen notwendig war (mit Wiedererkennung) bzw. gewesen wäre (ohne Wiedererkennung).

N r.	Pers	IDs	Anhalten		Verwechslung		
			Ok	fa-lsch	Fehldet.	Pers	Ref.
1	8	386	1	1	1 (0/1)	0	1
2	13	465	0	2	2 (2/0)	0	1
3	10	847	0	0	0	0	0
4	5	247	0	1	0	0	0
5	12	154	0	0	0	0	1
Σ	48	2099	1	4	3 (2/1)	0	3

Tabelle 6: Wiedererkennungsleistung beim Lotsen einer Person in der Klinik. Hervorhebungen: *unkritisches*, *tolerierbares* und *kritisches Verhalten*.

Während dieses Experiments kam der Roboter auf einer Strecke von 2 km in näheren Kontakt zu 48 Personen. In Tabelle 6 ist zu sehen, dass der Roboter mit Wiedererkennung zu keiner Zeit eine falsche Person lotst. Das Referenzverfahren hätte sich hingegen in drei Fällen für eine andere Person entschieden. Mit Wiedererkennung kam es jedoch zu drei Verwechslungen mit Fehldetektionen, woraufhin der Roboter die Wand ansteuerte. Der Grund für die Verwechslung lag in Fehldetektionen, die während des Trainings des Modells nach der Anmeldung des Nutzers eingelernt wurden. Beim Vergleich gab es eine Fehldetektion an einer nahezu identisch aussehenden Stelle. Aus Sicht der Wiedererkennung war keine Unterscheidung möglich. Um diese Fehler zu vermeiden, muss die Detektionsleistung des Personendetektors verbessert werden. Nur eine der drei Situationen erforderte jedoch das manuelle Eingreifen. In den beiden anderen Fällen konnte der Roboter dem Nutzer wieder folgen, nachdem dieser sich kooperativ zum Roboter hin bewegte. Des Weiteren hielt der Roboter viermal an, obwohl dies nicht notwendig war. Dieses Verhalten ist jedoch unkritisch und könnte im späteren Praxiseinsatz durch Bestätigung der Identität des Nutzers über den Touchscreen aufgelöst werden.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Wiedererkennung beim Lotsen einen positiven Einfluss auf das Verhalten des Roboters hat. Er ist während der Experi-

mente zu keiner Zeit einer falschen Person gefolgt. Für den realen Einsatz in der Klinik müssen Verwechslungen des Nutzers mit Fehldetektionen vermieden werden. Dies kann durch eine Verbesserung des Personendetektors erreicht werden. Mit dem aktuellen Stand sind schon erste Nutzertests möglich, wenn das Control Tablet zum Korrigieren der wenigen Fehlentscheidungen der Wiedererkennung eingesetzt wird.

5.4 Funktionstests zum Folgen einer Person in der Klinik (F1, F2)

Um die Wiedererkennungsleistung des Roboters beim Folgen einer Person zu ermitteln, wurden der gleiche Versuchsaufbau wie für das Lotsen und die gleichen Bewertungskriterien gewählt. Bei diesem Experiment folgte der Roboter abwechselnd einem der drei Probanden durch den gesamten Flur der Klinik auf einer Strecke von jeweils 400 m. Es wurden sechs Durchläufe durchgeführt. Die reine Fahrtzeit betrug wie beim Lotsen etwa eine Stunde. Die Probanden konnten ihre Laufgeschwindigkeit wieder frei wählen, wurden jedoch angewiesen, sich in einem ähnlichen Tempo wie Schlaganfallpatienten beim Eigentaining zu bewegen. Der Abstand zwischen Roboter und Proband war in diesem Versuch deutlich größer als beim Lotsen und betrug meistens 3 bis 4 m, weshalb die Bilder des Nutzers häufig nur niedrig aufgelöst und durch Drehbewegungen des Roboters verwackelt sind. Dies erschwert die Wiedererkennung.

Insgesamt begegnete der Roboter auf einer Strecke von 2,4 km 67 Personen. Der Roboter folgte mit Wiedererkennung deutlich seltener falschen Personen. In den meisten Fällen entschied er sich korrekt zum Anhalten, da der Nutzer nicht mehr im Kamerabild zu sehen war. In einen Fall zeigte sich ein besonders gutes Verhalten, als der Roboter dem Nutzer zick-zack durch sieben Personen folgte, die vor einem Fahrstuhl warteten. Der Roboter folgte dem Nutzer fast bis zum Ende, verlor dann aber durch ein Ausweichmanöver zur Kollisionsvermeidung doch den Kontakt zum Nutzer. Da er ihn visuell nicht mehr wahrnehmen konnte, entschied er sich korrekt zum Anhalten. Auch bei den Experimenten zum Folgen einer Person kam es relativ häufig zu Verwechslungen mit Fehldetektionen (neunmal in einer Stunde). Für den praktischen Einsatz müssen diese Fehlerquellen durch eine Verbesserung des Personendetektors noch beseitigt werden. Für erste Tests mit Probanden können die wenigen Fehler der Wiedererkennung jedoch wieder mittels des Control Tablets manuell behoben werden.

6 Sozialwissenschaftliche Studien

Parallel zur methodisch-technischen Entwicklung führt das SIBIS Institut begleitende Nutzeruntersuchungen durch. Ziel ist es, patientenspezifische, therapiespezifische und klinikspezifische Anforderungen an den geplanten Laufassistenten zu analysieren, daraus bedarfsgerechte Szenarien und Use Cases zu entwickeln, Inputs für die technische Entwicklung abzuleiten sowie die Akzeptanz

und Usability der entwickelten Demonstratoren zu untersuchen. Es werden Ansätze des szenariobasierten Designs genutzt, die den Nutzer während der gesamten Planung und Technikentwicklung mit einbeziehen. Um diese empirischen Analysen schon vor Fertigstellung der Roboterplattform ROREAS durchzuführen, wurde ein methodisches Konzept „Roboter-Dummy“ als Weiterentwicklung des „Body Storming“ genutzt. Dieser wurde durch einen Therapeuten der Klinik imitiert, der das Ein- und Ausgabe-Tablet vor seinem Körper trägt. Der Tablet-Träger simulierte also den späteren Roboter, navigiert durch den Flur wie es später die Roboterplattform tun wird. Auf dieser Basis wurde es möglich, das spätere Interaktionskonzept zwischen Roboter und Patienten zu simulieren und empirisch zu begleiten. Die empirischen sozialwissenschaftlichen Analysen mit dem Roboter Dummy erfolgten bereits in vier Terminen mit insgesamt 10 Patienten.

7 Ausblick

Ab April 2015 erfolgen nächste Nutzertests mit ROREAS in der Klinik und Akzeptanzuntersuchungen zum roboter-gestützten Training mit verschiedenen Nutzergruppen (Patienten der Klinik, Senioren im Betreuten Wohnen, Angehörigen, Therapeuten) zu akzeptanzfördernden und –hemmende Aspekte dieser Therapieform.

8 Literatur

- [1] 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-SMC, pp. 1880-1887, 2014.
- [2] Andrade, A.O., Pereira, A.A., Walter, St., Almeida, R., Loureiro, R., Compagna, D., Kyberd, P.J.: *Bridging the gap between robotic technology and health care*. in: Biomedical Signal Processing and Control, 10, pp. 65–78, 2014.
- [3] Krebs, H.I. et al.: *Rehabilitation robotics: pilot trial of a spatial extension for MIT-Manus*. in: Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation, vol.1, no.1, pp. 1-5, 2004.
- [4] Zariffa, J. et al.: *Effect of a robotic rehabilitation device on upper limb function in a sub-acute cervical spinal cord injury population*. in: Proc. IEEEICORR 2011, pp. 1–5, 2011
- [5] Neckel, N. et al.: *Limb Alignment and Kinematics Inside a Lokomat Robotic Orthosis*. in: Proc. IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, pp. 2698–2701, 2006.
- [6] John, M. et al.: *SmartSenior Interaktiver Trainer-Entwicklung eines Trainingssystems zur häuslichen Sturzprophylaxe für Senioren. Technik für ein selbstbestimmtes Leben*, in: Proc. AAL-Kongress 2012.
- [7] Kiselev, J. et al.: *Konzeption und Entwicklung eines interaktiven Trainingssystems zur häuslichen Sturzprophylaxe und Schlaganfallrehabilitation*. in: Proc. AAL 2011.
- [8] <http://www1.smart-senior.de/>
- [9] Frenzel, M. et al.: *MeineReha® - Konzept und Prototyp eines Telearbeitsplatzes für Physiotherapeuten zur Betreuung von Rehabilitationspatienten im häuslichen Umfeld*. in: Proc. 6. AAL-Kongress 2013.
- [10] Stehen, E.-E., Frenken, T., Frenken, M., Hein, A.: *Funktionales Assessment älterer Menschen zuhause: Erste Ergebnisse eines Feldtests*. in: Proc. 6. AAL-Kongress 2013.
- [11] Cortés, U. et al.: *Towards an Intelligent Service to Elders Mobility Using the i-Walker*. in: Proc. of AAAI Fall Symposium AI in Eldercare: New Solutions to Old Problems, 2008.
- [12] Rodriguez-Losada, D. et al.: *Implementing Map Based Navigation in Guido, the Robotic SmartWalker*. In: Proc. IEEE ICRA, pp. 3401-3406, 2005.
- [13] Spenko, M., Yu, H., Dubowsky, S.: *Robotic Personal Aids for Mobility and Monitoring for the Elderly*. In: IEEE Transactions on Neural systems and Rehabilitation Engineering, 14:3, pp. 244-351, 2006.
- [14] Wade, E., Parnandi, A., Mead, R., Mataric, M.: *Socially Assistive Robotics for Guiding Motor Task Practice*. in: Journal of Behavioral Robotics, pp. 218–27, 2011.
- [15] Fasola, J., Mataric, M. J.: *Robot exercise instructor: A socially assistive robot system to monitor and encourage physical exercise for the elderly*. in: Proc. IEEE RO-MAN, pp. 416–421, 2010.
- [16] Tschichold-Guerman, N., Vestli, S.J., Schweitzer, G.: *The service robot mops: First operating experiences*. in: Robotics and Autonomous Systems, 34, 165–173, 2001.
- [17] Stricker, R., Müller, S., Einhorn, E., Schröter, C., Volkhardt, M., Debes, K., Gross, H.-M.: *Interactive Mobile Robots Guiding Visitors in a University Building*. in: Proc. IEEE RO-MAN 2012, pp. 695-700, 2012.
- [18] MIRA-Project Website: www.mira-project.org
- [19] Einhorn, E., Langner, T., Stricker, R., Martin, Ch., Gross, H.-M.: *MIRA - Middleware for Robotic Applications*. In: Proc. IEEE/RSJ IROS, pp. 2591-2598, 2012.
- [20] Weinrich, C., Vollmer, Ch., Gross, H.-M.: *Estimation of Human Upper Body Orientation for Mobile Robotics using a SVM Decision Tree on Monocular Images*. in: Proc. IEEE/RSJ IROS, pp. 2147-2152, 2012.
- [21] 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. IEEE RO-MAN, pp. 767-773, 2014
- [22] Volkhardt, M., Weinrich, Ch., Gross, H.-M.: *People Tracking on a Mobile Companion Robot*. in: Proc. of IEEE SMC, pp. 4354-4359, 2013.
- [23] Fox, D.: *Adapting the Sample Size in Particle Filters Through KLD-Sampling*. in: IJRR, vol. 22, 2003.
- [24] Weinrich, Ch., Volkhardt, M., Einhorn, E., Gross, H.-M.: *Prediction of Human Avoidance Behavior by Lifelong Learning for Socially Compliant Robot Navigation*. in: Proc. IEEE ICRA, pp. 376-381, 2013.
- [25] Einhorn, E., Gross, H.-M.: *Generic NDT mapping in dynamic environments and its application for lifelong SLAM*. to appear: RAS, Elsevier, 2015.
- [26] Kessler, J., Strobel, J., Gross, H.-M.: *Using a Spatio-Temporal FastMarching Planner to Politely Avoid Moving Persons*. in: Proc. Autonomous Mobile Systems, Informatik aktuell, pp. 59-67, 2012.
- [27] Kessler, J., Strobel, J., Gross, H.-M.: *Avoiding Moving Persons by Using Simple Trajectory Prediction and Spatio Temporal Planning*. in: Proc. German Conf. on Artificial Intelligence 2012, LNCS 7526, pp. 85-96, Springer 2012.
- [28] Eisenbach, M. et al.: *User Recognition for Guiding and Following People with a Mobile Robot in a Clinical Environment*. submitted to: IEEE-IROS, 2015.
- [29] Eisenbach, M., Kolarow, A., Schenk, K., Debes, K., Gross, H.-M.: *View Invariant Appearance-based Person Reidentification Using Fast Online Feature Selection and Score Level Fusion*. in: Proc. 9th IEEE AVSS, pp. 184-190, 2012.
- [30] 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 IROS, pp. 2005-12, 2009.