

# Welche Sicherheitsassistenz brauchen Rollstuhlfahrer? What Safety Assistance is Needed for Wheelchair Drivers?

Prof. Dr. Bernd Krieg-Brückner, Dr. Hui Shi, Carsten Fischer, Dr. Thomas Röfer, Jian Cui, Prof. Dr. Kerstin Schill  
Sichere Kognitive Systeme, DFKI Bremen und SFB/TR 8 Spatial Cognition, Universität Bremen, Deutschland  
{bkb, shi, cfi, roefer, ken, kschill}@informatik.uni-bremen.de

## Kurzfassung

Für den Rollstuhl ROLLAND werden verschiedene Assistenten zur Kompensation nachlassender physischer und kognitiver Fähigkeiten entwickelt und evaluiert: der *Sicherheitsassistent* bremst rechtzeitig; der *Fahrassistent* weicht Hindernissen aus und erleichtert die Türdurchfahrt; der *Navigationsassistent* leitet den Weg oder fährt autonom; ein *Kopf-Joystick* und Dialog in gesprochener *natürlicher Sprache* erleichtern die Interaktion.

## Abstract

Various assistants for the wheelchair ROLLAND are developed and evaluated to compensate for diminishing physical and cognitive faculties: the *safety assistant* brakes in time; the *driving assistant* avoids obstacles and facilitates passing through a door; the *navigation assistant* guides along a route or drives autonomously; a *head joystick* and spoken *natural language dialogue* ease interaction.

## 1 Motivation und Zielsetzung

ROLLAND [1, 2] ist ein elektrischer Rollstuhl, der durch Laserscanner (rotierende Laser-Entfernungsmesser) ergänzt wurde, so dass zusätzliche Funktionalität entwickelt werden konnte: der *Sicherheitsassistent* erkennt automatisch Hindernisse in der Umgebung und hält den Rollstuhl rechtzeitig an; der *Fahrassistent* weicht Hindernissen aus und erleichtert das Fahren in engen Räumen, z.B. durch eine Tür. Diese Assistenten wurden sowohl auf dem Rollstuhl *Champ* der Firma MEYRA (Bild 1), als auch auf dem brandneuen Rollstuhl *Xeno* der Firma OTTO BOCK HEALTHCARE umgesetzt (Bild 2). In der Entwicklung sind außerdem ein *Navigationsassistent*, der den Weg leitet oder automatisch fährt, sowie vielseitige Interaktionen über natürliche Sprache oder einen berührungsempfindlichen Bildschirm [3, 4].

Mit diesen Entwicklungen möchten wir einerseits existierenden Rollstuhlnutzern bessere Unterstützung bieten, andererseits mittels der Intelligenz des Rollstuhls durch die Kompensation von Defiziten neue Nutzergruppen erschließen. Es ist keine Frage, dass Nutzer die aufgrund physischer Einschränkungen (z.B. Tremor der Hand) keinen Standard-Rollstuhl fahren könnten oder (aus Sicherheitsgründen) dürften, mit dem Sicherheitsassistenten zusätzliche Mobilität und Lebensqualität erhalten; analog gilt dies für zusätzliche Eingabegeräte wie den von uns entwickelten Kopf-Joystick [5]. Die verschiedenen Assistenten im Innenraum, in weitläufigen Gebäuden, in Innenhöfen bzw. Parks, eröffnen eine Vielzahl von Kompensationsmöglichkeiten für altersbedingte Einschränkungen.



Bild 1 ROLLAND 3 (Champ, MEYRA [6])

## 2 Der Sicherheitsassistent

Der Sicherheitsassistent für ROLLAND überwacht die Umgebung des Rollstuhls und hält ihn rechtzeitig vor Hindernissen an. Er weicht Hindernissen nicht aus, sondern bremst nur, um Kollisionen zu vermeiden. Damit hat der Benutzer stets die Kontrolle über seinen Rollstuhl; dieser verweigert lediglich Fahrkommandos, die zu Kollisionen führen könnten.

Der Fahrassistent entscheidet dazu 30-mal pro Sekunde, ob das aktuelle Fahrkommando sicher ist, dann wird es an den Rollstuhl weitergeleitet, sonst wird der Rollstuhl angehalten. „Sicher“ bedeutet, dass ein Stopp-Kommando, das erst im nächsten Verarbeitungszyklus gesendet würde, den Rollstuhl noch rechtzeitig, also ohne Kollision, anhalten könnte; sonst muss bereits im aktuellen Zyklus angehalten werden. Ob der Rollstuhl rechtzeitig anhalten kann, hängt von der aktuellen Geschwindigkeit seiner zwei Antriebsräder, dem aktuellen Fahrkommando, der Kontur des Rollstuhls und der aktuellen Hindernissituation ab. Das Fahrkommando ist relevant, weil es die Geschwindigkeit und die Drehrichtung des Rollstuhls in der Zukunft beeinflussen wird, er also z.B. schneller wird oder seine Fahrrichtung wechselt.



**Bild 2** ROLLAND 4 (Xeno, OTTO BOCK [7])

Die Umgebung wird mit Hilfe der zwei am Rollstuhl montierten Laserscanner abgetastet. Diese sind an der Rückseite des Rollstuhls und vorne hinter den Fußstützen montiert. Sie messen die Distanzen zu Hindernissen in einer Höhe von etwa 12 cm. Damit ist klar, dass der Rollstuhl nur auf Hindernisse reagieren kann, die in dieser Höhe sichtbar sind, bzw. auch auf dieser Ebene ihre größte Ausdehnung haben. Aber auch in dieser Höhe können die Laserscanner nicht die gesamte Umgebung wahrnehmen, da ihr Öffnungswinkel beschränkt ist und Teile der Umgebung durch die Räder des Rollstuhls selbst verdeckt sind. Daher werden die Messungen in eine lokale Hindernis-Rasterkarte eingetragen, in der sich der Rollstuhl stets in der Mitte befindet. Anhand von Umdrehungsmessungen der Antriebsräder wird die Eigen-Bewegung des Rollstuhls ermittelt (Odometrie) und die Karte entsprechend verschoben. Dadurch kennt der Rollstuhl auch Hindernisse, die er aktuell gerade nicht wahrnehmen kann, aber früher schon einmal gemessen hat. Die Karte deckt einen Bereich von 7,5m x 7,5m um den Rollstuhl herum ab. Damit entspricht der

Mindestabstand zwischen der Kontur des Rollstuhls und dem Kartenrand in etwa dem doppelten Anhalteweg des Rollstuhls. Für den reinen Sicherheitsassistenten wäre auch eine kleinere Karte ausreichend gewesen, aber für die in Abschnitt 4 beschriebenen Mobilitätsassistenten ist die gewählte Größe erforderlich. Ein Ausschnitt aus der Hinderniskarte ist in Bild 4 oben links zu sehen.

Auf der Basis der aktuellen Radgeschwindigkeiten und dem aktuellen Fahrkommando wird eine Sicherheitszone innerhalb der lokalen Karte nach Hindernissen durchsucht. Falls diese Zone keine Hindernisse enthält, ist das aktuelle Fahrkommando sicher. Da die Form einer solchen Sicherheitszone (vgl. Bild 3) recht komplex ist, wurde eine größere Anzahl solcher Zonen im Voraus berechnet und tabelliert. Der Index in diese Tabelle ist die Richtung des Vektors, den man aus den Dimensionen *linke Radgeschwindigkeit* und *rechte Radgeschwindigkeit* bilden kann. Für jeden dieser Indizes ist eine Struktur abgelegt, die für jede Zelle der Karte angibt, wie schnell der Rollstuhl maximal fahren darf, damit er diese Zelle innerhalb seines Anhaltewegs nicht mehr erreicht. Übersteigt dieser Wert bei einer Zelle mit Hindernis die aktuelle Fahrtgeschwindigkeit, muss der Rollstuhl anhalten.



**Bild 3** Sicherheitszone bei Geradeausfahrt (Beispiel)

Der Sicherheitsassistent war ein Exponat der interaktiven Ausstellung *Computer.Medizin* im Heinz Nixdorf Museumsforum von Oktober 2006 bis Mai 2007. Die Besucher durften den Rollstuhl dabei selbst testen. Die Ausstellungsleitung schätzt, dass etwa jeder zehnte Besucher, also etwa 10.000 Personen, mit dem Rollstuhl gefahren sind. Kollisionen gab es nicht.

### 3 Eine Empirische Untersuchung

Wie steht es nun mit Nutzern, die bisher keinen elektrischen Rollstuhl gefahren haben? Inwieweit brauchen sie einen Sicherheitsassistenten? Nach Testfahrten in der Entwicklungsphase wurde kürzlich der Sicherheitsassistent in einer umfangreichen Studie in Kooperation mit der

Abteilung medizinische Psychologie der Universität Göttingen und der St. Mauritius Therapieklinik Meerbusch evaluiert. Aufgrund der speziellen physischen und kognitiven Einschränkungen potenzieller Rollstuhlfahrer ist eine solche Untersuchung sehr aufwendig und schwierig durchzuführen.

### 3.1 Aufbau der Untersuchung

10 Probanden mit unterschiedlichen physischen und kognitiven Defiziten nahmen an der Studie teil. Für die Untersuchung wurden Teilnehmer ausgesucht, die wegen unterschiedlicher Ursachen unter dem Ausfall eines Teils ihres Gesichtsfeldes (Hemianopsie) leiden. Individuelle Variationen ergaben sich darüber hinaus aus den zusätzlich bestehenden Erkrankungen, z.B. Hemiparesen, Antriebsstörungen sowie Neglect.

Die Untersuchung wurde in einem Cross-Over-Design durchgeführt, bei dem die Teilnehmer in zwei Gruppen eingeteilt sind. Diese beiden Gruppen unterscheiden sich hinsichtlich der Reihenfolge, in der sie mit und ohne Sicherheitsassistent trainiert und getestet wurden. Jeder Teilnehmer hatte somit zwei Testdurchläufe, in denen er einmal mit und einmal ohne Sicherheitsassistent (mit der entsprechenden Trainingssequenz) den Testparcours mit dem Rollstuhl befahren musste.

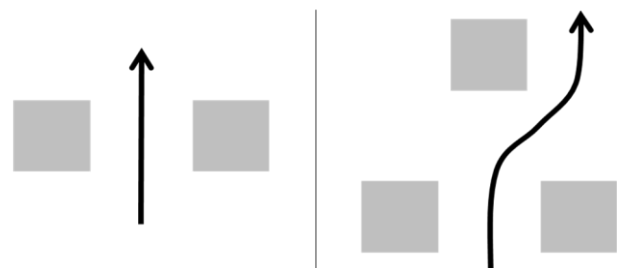
Vor jeder Testfahrt hatte jeder Teilnehmer 3 bis 5 Trainingsdurchläufe mit einer Dauer von 30 bis 45 Minuten. Die Übungseinheiten wurden an aufeinander folgenden Tagen durchgeführt. Im Anschluss an diese Trainingssequenz wurden die Probanden aufgefordert, den Rollstuhl durch einen Testparcours (8m × 14m) zu steuern. Der Testparcours hat eine Gesamtlänge von ca. 35m. Im Testparcours sind verschiedene Arten von Hindernissen wie Rechts-Links-Kombinationen, einzelne niedrige Hindernisse und sichtversperrende Wände aufgestellt. Die verwendeten Hindernisse variieren in der Höhe zwischen 25cm und 200cm. Die Breite der Hindernisse bewegte sich im Bereich von 5 bis 100cm. Außerdem wurde eine Rampe mit den Maßen 122 × 366 × 15cm (BLH) in der Mitte des Parcours aufgebaut, über die Probanden den Rollstuhl fahren mussten. Diese Hinderniskonfigurationen stellen kritische Situationen für einen Rollstuhlfahrer mit halbseitig eingeschränktem Gesichtsfeld dar. Der Parcours wurde symmetrisch angelegt, um für Probanden mit Gesichtsfeld-einschränkungen auf der rechten oder linken Seite die gleichen Bedingungen zu garantieren.

Da die Teilnehmer bisher keine Erfahrung mit der verwendeten Art von Rollstuhl hatten, wurden in den Trainingseinheiten der Umgang mit dem Rollstuhl und dem Verhalten des Rollstuhls mit und ohne Sicherheitsassistent im Rahmen ihrer kognitiven Fähigkeiten eingeübt. Unter Berücksichtigung der individuellen Fähigkeiten des jeweiligen Probanden wurden Trainingseinheiten mit steigender Schwierigkeit der Hinderniskonfiguration außerhalb des Testparcours durchgeführt. Anhand der Trainingsaufgaben sollten die Teilnehmer ein Gefühl entwickeln, wie der Rollstuhl um unterschiedliche Hindernisse oder durch enge Passagen unter Vermeidung von Hindernisberührungen gesteuert werden kann. Bei den Trainingseinheiten spielte

die Fahrgeschwindigkeit keine Rolle; die benötigte Zeit wird aber neben den begangenen Fahrfehlern und den Hilfestellungen bei der Beurteilung der Fahrleistung in den Testläufen berücksichtigt.

### 3.2 Empirische Erkenntnisse

Einige Probanden waren in ihren physischen und kognitiven Fähigkeiten durch den Sicherheitsassistenten *unterfordert*; der Sicherheitsassistent plant vor jedem Hindernis einen bestimmten Bremsweg ein, um die Sicherheit zu gewährleisten; dadurch ist das Fahrverhalten in engeren Passagen nicht flüssig. Dieser Eindruck wurde bei den beiden Testfahrten der jeweiligen Probanden bestätigt: die Dauer der Testfahrt mit Sicherheitsassistent war oft länger als der Durchgang ohne Sicherheitsassistent. Andererseits trägt er erheblich zur Sicherheit bei, wenn der körperliche Zustand des Probanden nachlässt (z.B. durch Müdigkeit, Aufregung oder Angst) oder der Proband kognitiv durch eine andere Aufgabe (z.B. Ablenkung, Unterhaltung, Wegfindung) überlastet ist. In Bild 4 sind zwei Hinderniskonfigurationen für das Training abgebildet. Bei der komplexeren Aufgabe (rechtes Bild) machten mehrere Probanden schon bei der Durchfahrt zwischen den ersten beiden Kartons Fehler, obwohl sie problemlos zwischen den Kartons fahren konnten, wenn die Aufgabe einfach war (linkes Bild). Dies deutet darauf hin, dass in einer beengten Räumlichkeit (wie in einer Wohnung) der Sicherheitsassistent besonders hilfreich ist, auch für die Benutzer, die sonst gut mit einem Rollstuhl umgehen können.



**Bild 4** Hinderniskonfigurationen für „Fahre zwischen den Kartons durch“ (links) bzw. „Fahre zwischen den ersten beiden Kartons durch, dann rechts am dritten Karton vorbei“ (rechts)

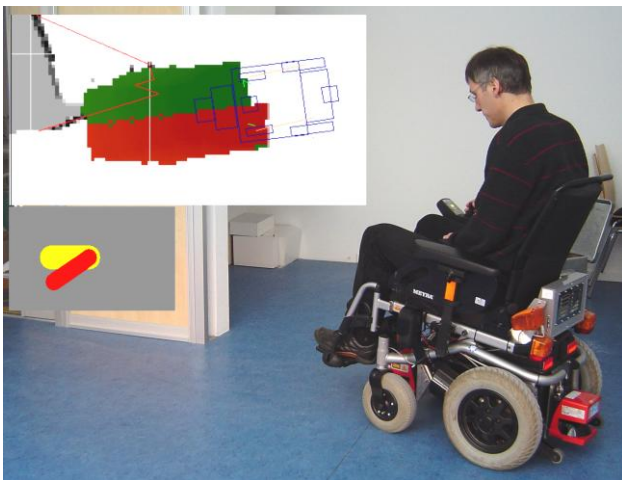
Derartige Verhaltensschwankungen konnten wir bei mehreren Probanden zu unterschiedlichen Tageszeiten beobachten. Daher ist ein *situationsabhängiges Zuschalten* des Sicherheitsassistenten für Nutzer, die mit dem Joystick einen elektrischen Rollstuhl steuern können, sinnvoll, um die Fahrsicherheit in den oben erwähnten Situationen zu gewährleisten, gleichzeitig aber die eigene Fahrfähigkeit der Patienten nicht zu beeinträchtigen. An einer automatischen Zuschaltung je nach Bewertung des Zustands mit einem Nutzer-Modell für dynamische Adaptation wird derzeit gearbeitet; hierzu werden verschiedene Vitalparameter durch biometrische Sensorik ausgewertet.

## 4 Mobilitätsassistenten

Der Sicherheitsassistent bildet die Basis für weitere Assistenten, die entweder dieselbe Technologie einsetzen oder den Sicherheitsassistenten als Garant für Kollisionsfreiheit verwenden.

### 4.1 Fahrassistent

Der Fahrassistent [1] ist eine Erweiterung des Sicherheitsassistenten. Statt vor Hindernissen einfach nur anzuhalten, weicht er ihnen aktiv aus und reduziert die Geschwindigkeit, anstatt sie gleich auf Null zu setzen. Damit der Benutzer dabei nicht die Kontrolle über den Rollstuhl verliert, wird das von ihm per Joystick gegebene Fahrkommando verwendet, um die Hindernissituation einzuschätzen. Hindernissen, die links von der vom Benutzer intendierten Bahn liegen, wird nach rechts ausgewichen und Hindernissen, die rechts davon liegen nach links. Dabei wird stets nur das in Fahrtrichtung am nächsten liegende Hindernis beachtet sowie alle weiteren Hindernisse, die nur geringfügig später erreicht würden. Befinden sich in Fahrtrichtung vor der Kontur des Rollstuhls sowohl links als auch rechts Hindernisse, wird gar nicht ausgewichen; die Fahrt wird verlangsamt und schließlich gestoppt. Dadurch kann der Benutzer z.B. gezielt an eine Wand heranzufahren. Hindernissen neben dem Rollstuhl wird auf jeden Fall ausgewichen; dadurch kann der Rollstuhl z.B. eine Türdurchfahrt passieren.



**Bild 5** Eingreifen des Fahrassistenten: Der Fahrer drückt den Joystick geradeaus (angedeutet durch den dicken Strich nach links); der Fahrassistent erkennt das Hindernis auf der rechten Seite (Sicherheitszone oben) und weicht nach links aus (dünner Strich).

Das eigentliche Ausweichen passiert auf Basis der schon beim Sicherheitsassistenten verwendeten Sicherheitszonen. Wenn ausgewichen wird, werden entsprechend der Entscheidung, ob nur nach links, nur nach rechts oder in beide Richtungen ausgewichen werden soll, mögliche Kurvenradien bzw. deren Sicherheitszonen geprüft und die Richtung mit der höchst möglichen Fahrtgeschwindigkeit ausgewählt. Diese Entscheidung wird, wie schon beim Sicher-

heitsassistenten, 30-mal pro Sekunde getroffen. Da früher in die Steuerung eingegriffen wird, sind die Sicherheitszonen hier größer, d.h. für längere Bremswege ausgelegt. Daher wird auch die in Abschnitt 2 bereits erwähnte ausgedehntere Kartengröße benötigt.

Beim Ausweichen merkt sich der Fahrassistent die Ausrichtung des Rollstuhls vor der Ausweichbewegung und stellt diese nach dem Passieren des Hindernisses wieder her, wenn der Benutzer den Joystick zwischenzeitlich nicht bewegt hat. Dadurch werden für den Benutzer überraschende Kursänderungen vermieden. Wir vermuten, dass die in Abschnitt 3.1 geschilderten Probleme nun nicht mehr auftreten werden.

Der Fahrassistent auf Basis eines Xeno (Bild 2) wurde auf dem Stand von OTTO BOCK HEALTHCARE auf der REHACARE 2008 gezeigt. Besucher durften mit dem Rollstuhl fahren und konnten mit dem 66 cm breiten Gefährt u.a. zwei 80 cm breite Türdurchgänge passieren.

### 4.2 Navigationsassistent

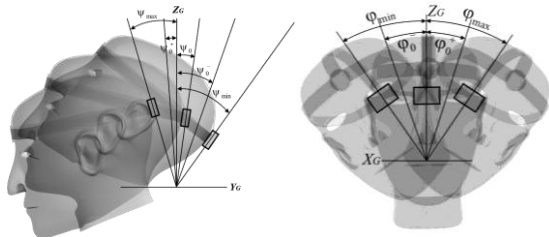
In der Entwicklung ist außerdem ein *Navigationsassistent*, der den Weg leitet oder automatisch fährt. Er eröffnet neue Mobilität durch vollautomatisches Fahren auf bekannten Routen, auch ggf. durch Zuschaltung bei Müdigkeit. Die Ausgrenzung von Gefahrenzonen auf den Routen (Treppen, Stufen, Verlassen eines Innenhofs) erhöht die Verkehrssicherheit. Die technische Basis bildet dabei eine metrische Lokalisierung, die auf dem *GMapping*-Ansatz beruht [9, 10]. Durch einmaliges Durchfahren der Umgebung wird eine metrische Karte aufgebaut, die im Anschluss manuell mit kollisionsfrei fahrbaren Routen annotiert wird. Auf Basis dieser Struktur kann der Benutzer eine Zielposition auswählen, zu der der Rollstuhl dann selbstständig fährt – alternativ gibt er die notwendigen Fahrhinweise, ähnlich einem PKW-Navigationssystem; der Benutzer steuert selbst. Während fest vorgegebene Routen die Kollisionsfreiheit mit der statischen Umgebung sicherstellen, garantiert sie der unterliegende Sicherheitsassistent für dynamische Hindernisse, wie z.B. Passanten.

### 4.3 Multimodale Interaktion

Neben der Steuerung mit dem werksseitig verbauten Joystick, kann ein Rollstuhl, der mit dem Sicherheits- oder Fahrassistenten ausgestattet ist, auch mit Sondersteuerungen gelenkt werden. Eine Eigenentwicklung ist dabei der Kopf-Joystick, der es dem Benutzer ermöglicht, einen Rollstuhl einzig durch Neigen des Kopfes zu steuern. Dabei wird der Kopf einfach in die Richtung geneigt, in die man sonst den Joystick gedrückt hätte (Bild 6). Geeignete Filter sorgen dafür, dass es dabei zu keinen unangenehmen Oszillationen kommt [5, 8].

Der Sicherheitsassistent ist hierbei ein Schutz, aber auch ein Trainer für den ungeübten Fahrer. Da jedes Eingreifen die Dauer der Fahrt verlängert und dann oft ein Rangieren erfordert, wird der Benutzer bestrebt sein, den Rollstuhl so zu steuern, dass Sicherheitsbremsungen vermieden werden. Der Fahrassistent hingegen unterstützt den Benutzer

des Kopf-Joysticks beim Rangieren auf engem Raum, so dass er lernen wird, in Kooperation mit dem Assistenten zu fahren. Dadurch kann der Fahrer deutlich entlastet werden.



**Bild 6** Der Kopf-Joystick wird an der Rückseite des Kopfes getragen; er ermöglicht, den Neigungswinkel (links) und den Rollwinkel (rechts) des Kopfes zu messen [5].

In Entwicklung ist ferner die Interaktion über gesprochene natürliche Sprache oder einen berührungsempfindlichen Bildschirm [3, 4]; sie bieten dem Rollstuhlfahrer natürliche Kanäle, um mit dem Rollstuhl zu kommunizieren, und ermöglichen es Nutzern, die aufgrund von motorischen Störungen keinen Joystick bedienen können, dennoch einen elektrischen Rollstuhl zu steuern. Die Steuerung des Rollstuhls wird durch die Integration der oben genannten Assistenten unterstützt. Der Navigationsassistent eröffnet die Möglichkeit, auf bekannten Routen automatisch zu fahren. Die Vereinbarung einer Route erfolgt durch natürliche Sprache oder mittels Touchscreen. Im Fall von Missverständnissen oder Fehlinterpretationen wird vom System ein Klärungsdialog generiert.

## 5 Ausblick

Darüber hinaus wird derzeit im Rahmen des EU-Projekts SHARE-it der INTELLIGENTWALKER entwickelt [11]; auf ihn wird die Technologie von ROLLAND übertragen. Hindernisvermeidung und Verkehrssicherheit sind hier für Sehbehinderte relevant; Senioren mit evtl. zunehmendem Verlust des Kurzzeitgedächtnisses werden sicher an ihr Ziel und zurück geleitet. Ferner agieren Mobilitätsassistenten wie ROLLAND oder der INTELLIGENTWALKER als „Mittler“ für die Interaktion des Nutzers mit einer intelligenten Umgebung; siehe hierzu [12].

## Dank

Diese Arbeit wurde teilweise durch die DFG im SFB/TR 8 *Spatial Cognition* – Teilprojekt I3-SharC sowie die EU im Projekt *SHARE-it* (FP6-045088) gefördert. Für die Planung und Durchführung der Evaluation bedanken wir uns besonders herzlich bei Frau Prof. Dr. von Steinbüchel, Herrn Schafmeister und Herrn Kirchberg aus der

Abteilung für Medizinische Psychologie und Medizinische Soziologie der Universität Göttingen, sowie bei der St. Mauritius Therapieklinik Meerbusch für die Bereitstellung der Räumlichkeit und die Auswahl der Probanden, ferner bei allen Probanden, ohne deren freiwilliges Mitmachen die Evaluation nicht möglich gewesen wäre. Ferner danken wir unseren Sponsoren und Kooperationspartnern OTTO BOCK HEALTHCARE [7] und MEYRA [6].

## Literatur

- [1] Lankenau, A., Röfer, T.: A Safe and Versatile Mobility Assistant. *IEEE Robotics and Automation Magazine*, 1, 2001
- [2] Mandel, C., Huebner, K., Vierhuff, T.: Towards an Autonomous Wheelchair: Cognitive Aspects in Service Robotics. *Proceedings of Towards Autonomous Robotic Systems (TAROS 2005)*, 2005
- [3] Shi, H., Tenbrink, T.: Telling Rolland Where to Go: HRI Dialogues on Route Navigation (Chapter 13). *Spatial Language and Dialogue*, Oxford University Press (erscheint demnächst)
- [4] Shi, H., Ross, R., Bateman, J.: Formalising Control in Robust Spoken Dialogue Systems. *Proceedings of Software Engineering and Formal Methods 2005*, IEEE, 2005
- [5] Mandel, C., Röfer, T., Frese, U.: Applying a 3DOF Orientation Tracker as a Human-Robot Interface for Autonomous Wheelchairs. *Proceedings of the IEEE 10<sup>th</sup> International Conference on Rehabilitation Robotics (ICORR 2007)*, 2007
- [6] <http://www.meyra.de/>
- [7] <http://www.ottobock.de/>
- [8] Mandel, C., Frese, U.: Comparison of Wheelchair User Interfaces for the Paralyzed: Head-Joystick vs. Verbal Path Selection from an offered Route-Set. *Proceedings of the 3rd European Conference on Mobile Robots (ECMR 2007)*, 2007
- [9] Grisetti, G., Stachniss, C., Burgard, W.: Improved Techniques for Grid Mapping with Rao-Blackwellized Particle Filters. *IEEE Transactions on Robotics*, 2006.
- [10] <http://www.openslam.org>
- [11] <http://www.ist-shareit.eu/shareit>
- [12] Krieg-Brückner, B., Gersdorf, B., Döhle, M., Schill, K.: Technik für Senioren in spe im Bremen Ambient Assisted Living Lab. 2. *Deutscher AAL-Kongress 2009*, VDE-Verlag Berlin-Offenbach (dieser Konferenzband), 2009