

Altern in Deutschland

Herausgegeben von:

Jürgen KOCKA (Berlin)
Ursula M. STAUDINGER (Bremen)

Band 6

NOVA ACTA LEOPOLDINA

Abhandlungen der Deutschen Akademie der Naturforscher Leopoldina

Herausgegeben vom Präsidium der Akademie

NEUE FOLGE

NUMMER 368

BAND 104

Altern und Technik

Herausgegeben von:

Ulman LINDENBERGER (Berlin)

Jürgen NEHMER (Kaiserslautern)

Elisabeth STEINHAGEN-THIESSEN (Berlin)

Julia A. M. DELIUS (Berlin)

und

Michael SCHELLENBACH (Berlin)

Mit 42 Abbildungen und 8 Tabellen



**Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina –
Nationale Akademie der Wissenschaften, Halle (Saale) 2011
Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH Stuttgart**

Redaktion: Dr. Michael KAASCH und Dr. Joachim KAASCH

**Die Schriftenreihe Nova Acta Leopoldina erscheint bei der Wissenschaftlichen Verlagsgesellschaft mbH, Stuttgart, Birkenwaldstraße 44, 70191 Stuttgart, Bundesrepublik Deutschland.
Jedes Heft ist einzeln käuflich!**

Die Schriftenreihe wird gefördert durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung sowie das Kultusministerium des Landes Sachsen-Anhalt.

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

Alle Rechte, auch die des auszugsweisen Nachdruckes, der fotomechanischen Wiedergabe und der Übersetzung, vorbehalten.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen und dgl. in diesem Heft berechtigt nicht zu der Annahme, dass solche Namen ohne weiteres von jedermann benutzt werden dürfen. Vielmehr handelt es sich häufig um gesetzlich geschützte eingetragene Warenzeichen, auch wenn sie nicht eigens als solche gekennzeichnet sind.

© 2011 Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina e. V. Nationale Akademie der Wissenschaften
06019 Halle (Saale), Postfach 11 05 43, Tel. + 49 3 45 4 72 39 34

Hausadresse: 06108 Halle (Saale), Emil-Abderhalden-Straße 37

Herausgeber: Präsidium der Deutschen Akademie der Naturforscher Leopoldina – Nationale Akademie der Wissenschaften

Printed in Germany 2011

Gesamtherstellung: Druckhaus Köthen GmbH

ISBN: 978-3-8047-2547-8

ISSN: 0369-5034

Gedruckt auf chlorfrei gebleichtem Papier, hergestellt aus Holz aus ökologisch kontrollierter Forstwirtschaft (FSC-Siegel zertifiziert).



Inhalt

KOCKA, Jürgen, und STAUDINGER, Ursula M.: Vorwort	7
---	---

Einführung

LINDENBERGER, Ulman, NEHMER, Jürgen, STEINHAGEN-THIESSEN, Elisabeth, DELIUS, Julia A. M., und SCHELLENBACH, Michael: Altern und Technologie: Freundschaft statt Feindschaft	11
---	----

Gesundes Altern

LINDENBERGER, Ulman, LÖVDÉN, Martin, SCHELLENBACH, Michael, LI, Shu-Chen, und KRÜGER, Antonio: Psychologische Kriterien für erfolgreiche Alterstechnologien aus Sicht der Lebensspannenkognition	17
SCHMIEDEK, Florian, BAUER, Colin, LÖVDÉN, Martin, BROSE, Annette, und LINDENBERGER, Ulman: Förderung kognitiver Aktivität im Alter: Internet-basierte Trainingsprogramme	35
SCHELLENBACH, Michael, LÖVDÉN, Martin, VERREL, Julius, KRÜGER, Antonio, und LINDENBERGER, Ulman: Entwicklung altersgerechter Fußgängernavigationssysteme	53

Prävention und Rehabilitation von Krankheit im Alter

NEHMER, Jürgen, BECKER, Martin, KLEINBERGER, Thomas, und PRÜCKNER, Stephan: Elektronische Notfallüberwachung: Sensorbasierte Erfassung und Prävention von kritischen Gesundheitszuständen	73
GÖVERCIN, Mehmet, MISSALA, Isabelle M., MARSCHOLLEK, Michael, und STEINHAGEN-THIESSEN, Elisabeth: Virtuelle Rehabilitation und Telerehabilitation der oberen Extremität: Ein geriatrischer Überblick.....	87

Trends: Altern in 20 Jahren

KRÜGER, Antonio, SCHMIDT, Albrecht, und MÜLLER, Jörg: Zukunftsperspektiven allgegenwärtiger Computer für ältere Menschen	113
CHANG, Chih-Wei, Ko, Li-Wei, LIN, Fu-Chang, SU, Tung-Ping, JUNG, Tzyy-Ping, LIN, Chin-Teng, und CHIOU, Jin-Chern: Überwachung von Schläfrigkeit mittels EEG-basierter MEMS-Biosensortechnologien	125

Beispiele aus Wirtschaft und Industrie

DE RUYTER, Boris, ZWARTKRUIS-PELGRIM, Elly, und AARTS, Emile: „Ambient Assisted Living“ im CareLab	147
KRIEG-BRÜCKNER, Bernd, RÖFER, Thomas, SHI, Hui, und GERSDORF, Bernd: Mobilitätsassistentz im „Bremen Ambient Assisted Living Lab“ (BAALL).....	157

Vorwort

Die Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina und die Deutsche Akademie für Technikwissenschaften acatech gründeten im Januar 2006 eine gemeinsame interdisziplinäre Arbeitsgruppe zum Thema „Chancen und Probleme einer alternden Gesellschaft. Die Welt der Arbeit und des lebenslangen Lernens“. Ihr Auftrag war es, im Verlauf von drei Jahren, auf der Grundlage der besten verfügbaren wissenschaftlichen Evidenz, öffentliche Empfehlungen zum Thema zu erarbeiten, die es erleichtern würden, die Chancen der im letzten Jahrhundert erheblich gestiegenen Lebenserwartung – die „gewonnenen Jahre“ – vernünftig zu nutzen und mit den Herausforderungen des demographischen Alterns klug umzugehen, insbesondere in Deutschland. Der Initiator der Arbeitsgruppe war Paul B. BALTES (†), langjähriger Direktor am Max-Planck-Institut für Bildungsforschung Berlin und Vizepräsident der Leopoldina. Der renommierte Psychologe begründete die Berliner Altersstudie (BASE) und war einer der bedeutendsten Altersforscher weltweit.

Zu der mit finanzieller Unterstützung der Jacobs Foundation Zürich arbeitenden Akademiengruppe Altern in Deutschland (www.altern-in-deutschland.de) – so zuletzt ihre Bezeichnung – gehörten als Mitglieder insgesamt 31 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus den folgenden Disziplinen: Medizin, Neurowissenschaft, Sportwissenschaft, Ökonomie, Psychologie, Geschichtswissenschaft, Rechtswissenschaft, Philosophie, Soziologie, Politikwissenschaft, Betriebswirtschaft, Geographie und den Technikwissenschaften. Einschlägige Erfahrungen wurden von mitarbeitenden Praktikern aus verschiedenen Lebensbereichen eingebracht. Jüngere Nachwuchswissenschaftler und -wissenschaftlerinnen arbeiteten mit, leisteten wichtige Beiträge und hatten Gelegenheit, ihre Qualifikation zu fördern. Der Sozialhistoriker Jürgen KOCKA war der Sprecher, die psychologische Altersforscherin Ursula M. STAUDINGER die Stellvertretende Sprecherin.

Die Akademiengruppe legte ihre Empfehlung unter dem Titel „Gewonnene Jahre“ im März 2009 der Öffentlichkeit vor. Eine englische Übersetzung erschien 2010 unter dem Titel „More Years, More Life. Recommendations of the Joint Academy Initiative of Aging“. Die Empfehlung ist das kurz und bündig formulierte Ergebnis einer dreijährigen Arbeit, zu der acht Tagungen gehörten. In diesen wurden die wissenschaftlichen Befunde gesichtet und die Elemente der Empfehlung entwickelt. An den Konferenzen nahmen neben den Mitgliedern der Gruppe jeweils weitere Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen als Referenten und Gäste teil. Die Konferenzen beschäftigten sich mit den Themen: „Altern, Arbeit und Betrieb“ (BACKES-GELLNER), „Körper, Geist, Gesundheit, Hirn“ (KOCHSIEK), „Produktivität, Wettbewerbsfähigkeit und Humankapital in alternden Gesellschaften“ (BÖRSCH-SUPAN, WAGNER), „Altern, Stadtentwicklung und Umwelt“ (HÜTTL, MÜLLER), „Bilder des Alterns im Wandel“ (EHMER, HÖFFE), „Altern, Bildung und lebenslanges Lernen“ (STAUDINGER),

„Altern, Zivilgesellschaft und Politik“ (KOCKA, KOHLI, STREECK), und „Altern, Technik, Produkte, Dienstleistungen“ (LINDENBERGER, NEHMER, STEINHAGEN-THIESSEN).

Die acht Tagungen wurden in ihrem Verlauf und ihren Ergebnissen in acht „Materialienbänden“ dokumentiert. Herausgegeben wurden sie jeweils von den Mitgliedern der Akademiengruppe, die für die Vorbereitung und Leitung der jeweiligen Tagung besonders verantwortlich waren.

Der folgende Band dokumentiert die Tagung, die zum Thema „Altern und Technik“ unter der Leitung von Jürgen NEHMER (Kaiserslautern), Ulman LINDENBERGER (Berlin) und Elisabeth STEINHAGEN-THIESSEN (Berlin) vom 29. bis zum 31. Mai 2008 in Berlin stattfand. Die Beiträge beleuchten aus psychologischer, medizinischer und ingenieurwissenschaftlicher Perspektive, wie Technik den Übergang vom mittleren zum höheren Erwachsenenalter erleichtern und die Alltagskompetenz im hohen Alter stärken kann. In gesonderten Beiträgen wird detailliert dargestellt, wie flexibel unterstützende Technik dazu beitragen kann, geistige Fähigkeiten zu trainieren, Alltagskompetenzen zu unterstützen und Vitalfunktionen zu überwachen. Schließlich wagt der Band eine Prognose zum technischen Wandel in den kommenden 20 Jahren und diskutiert dessen ökonomische und soziale Implikationen. Insgesamt wird deutlich, dass moderne Technik die Kosten des Gesundheitswesens und der sozialen Sicherung senken und Wachstumspotential erschließen kann.

Jürgen KOCKA
Ursula M. STAUDINGER
(im Dezember 2010)

Einführung

Altern und Technologie: Freundschaft statt Feindschaft

Ulman LINDENBERGER (Berlin), Jürgen NEHMER (Kaiserslautern),
Elisabeth STEINHAGEN-THIESSEN (Berlin), Julia A. M. DELIUS (Berlin)
und Michael SCHELLENBACH (Berlin)

1. Einleitung

Technologie als Freundin des Alterns zu betrachten mag eine überraschende Sichtweise sein. Die Annahme, dass technischer Fortschritt im Allgemeinen und moderne Informationstechnologie im Besonderen eher unangemessene Ansprüche an ältere Menschen stellen als sie zu unterstützen, ist weit verbreitet. Die Kapitel in diesem Band zeigen jedoch, dass neue Technologie tatsächlich wesentliche Beiträge dazu leisten kann, erfolgreicherer Altern zu ermöglichen.

Sensorische und kognitive Fähigkeiten wie Gehör, Sehfähigkeit, Gleichgewichtssinn, Aufmerksamkeit und Gedächtnis lassen im Laufe des Erwachsenenalters und im höheren Alter in wachsendem Maße nach. Einschränkungen körperlicher Beweglichkeit steigern das Risiko sozialer Isolierung. Moderne Technologie kann die Auswirkungen dieser Risiken und Verluste verhindern, verzögern oder ausgleichen, indem sie Alltagsfähigkeiten unterstützt und Vitalfunktionen überwacht. Sie kann dazu beitragen, dass ältere Menschen besser in der Lage sind, weiterhin ein unabhängiges Leben zu führen. Wir argumentieren, dass Technologie diesem Ziel am besten dient, wenn sie drei Kriterien möglichst gut gerecht wird: (1.) positive Ressourcenbilanz; (2.) hoher Individualisierungsgrad und (3.) Erhalt der Alltagskompetenz und Förderung von Entwicklungspotential. In Kapitel 1 dieses Bandes (LINDENBERGER et al.) werden diese Kriterien ausführlich erläutert.

Der Einsatz von Technologie kann die Nutzung vorhandener Ressourcen verbessern und so ihre Entwicklung über die Lebensspanne beeinflussen. Die wesentliche Aufgabe besteht darin, ein angemessenes Gleichgewicht zwischen Umweltunterstützung und selbst-initiiertes Verarbeiten zu erreichen (CRAIK 1983). Moderne Technologie, die die oben erwähnten Kriterien erfüllt, kann den Unterstützungsgrad individuell steuern und den Bedürfnissen des Nutzers entsprechend senken oder steigern. Auf diese Weise kann der Schwierigkeitsgrad der Alltagsbewältigung auf einem ausgewogenen Niveau zwischen kognitiver Unter- und Überforderung gehalten werden, das weitere kognitive Entwicklung im höheren Alter fördert.

Zurzeit entsteht bisweilen der Eindruck, dass ältere Menschen sich den Erfordernissen von Technologie anpassen müssen. Das Gegenteil ist jedoch sinnvoll und auch technisch machbar. Ältere Menschen sind Experten ihres eigenen Lebens und haben ein reiches Wissen über ihre persönlichen Präferenzen, Gewohn- und Eigenheiten. Manchmal fällt es ihnen jedoch schwer, dieses Wissen angemessen einzusetzen, zum Beispiel, wenn sie müde oder

abgelenkt sind oder mehrere Ziele gleichzeitig verfolgen. In solchen Situationen können flexibel unterstützende Technologien Hinweise geben, die den Nutzern helfen, ihre Ziele im Auge zu behalten und geplante Handlungen auszuführen.

2. Überblick

Die Kapitel dieses Bandes untersuchen die Beziehung zwischen Altern und Technologie aus vielen verschiedenen Perspektiven. Der Band ist entsprechend in fünf Teile aufgeteilt. Nach dieser ersten Einführung in das Thema folgt im zweiten Teil, *Gesundes Altern*, ein Beitrag zu den Kriterien eines erfolgversprechenden Einsatzes moderner Technologien im Alter (LINDENBERGER et al.). SCHMIEDEK et al. beschreiben dann ein computerbasiertes kognitives Trainingsprogramm, das bei einer großen, altersvergleichenden Studie zu intraindividuelle Variabilität und kognitiver Plastizität erfolgreich eingesetzt wurde. Objektive Messungen und selbstberichtete retrospektive Bewertungen zeigen, dass das Programm bei alten Menschen umsetzbar ist und gut angenommen wird. SCHELLENBACH et al. untersuchen wie verschiedene unterstützende Navigationstechnologien die Gangregelmäßigkeit und Navigationsleistung junger und älterer Erwachsenen beeinflussen. Die Autoren folgern, dass assistierende Navigationsgeräte bei der Unterstützung der Mobilität älterer Fußgänger vielversprechende Möglichkeiten bieten, wenn sie altersinduzierte Einschränkungen berücksichtigen.

Im folgenden Teil, *Prävention und Rehabilitation von Krankheit im Alter*, beschreiben NEHMER et al. elektronische Systeme zur Unterstützung von Menschen im Alltagsleben. Auf der Grundlage der Erfahrungen mit einem von ihnen entwickelten Notfallüberwachungssystem schlussfolgern sie, dass Technologie, die sogenannte ambiante Intelligenz einsetzt, selbstständiges Leben im Alter fördern kann. GÖVERCIN et al. geben anschließend eine Übersicht über klinische Studien zur Untersuchung der Wirksamkeit von virtueller Rehabilitation und Telerehabilitation bei der Wiederherstellung von Funktionen der oberen Extremitäten nach einem Schlaganfall. Beide Ansätze scheinen vielversprechend zu sein.

Im folgenden futuristischen Teil, *Trends: Altern in 20 Jahren*, berichten KRÜGER et al. von vernetzten und kontextsensitiven Computersystemen und Geräten, die vorausschauend die Bedürfnisse ihrer Nutzer erkennen und proaktiv Unterstützung bieten können. Die Autoren argumentieren, dass derartige, zukünftig wohl allgegenwärtige Computertechnologien in der Lage sind, Selbstständigkeit und Autonomie zu fördern. CHANG et al. beschreiben eine neue Pionieranwendung, ein Siliziumspitzen-Elektroden-Array auf der Grundlage von Mikro-Elektro-Mechanischen Systemen (MEMS), d. h. Trockenelektroden, die zur Erkennung von Schläfrigkeit in *Real-Life*-Situationen (z. B. beim Fahren) eingesetzt werden können. Solche Systeme könnten für ältere, häufiger von Müdigkeitsphasen betroffene Fahrer besonders hilfreich sein und Unfälle vermeiden.

Im abschließenden Teil, *Beispiele aus Wirtschaft und Industrie*, berichten DE RUYTER et al. über drei Projekte aus der Forschungsumwelt *CareLab* und diskutieren einige der Herausforderungen, die für den Erfolg unterstützender Technologien wesentlich sind. Zum Abschluss fassen KRIEG-BRÜCKNER et al. zusammen, wie zum Beispiel intelligente Mobilitätsassistenten wie der Rollstuhl *Rolland* und der Rollator *iWalker*, die im *Bremen Ambient Assisted Living Lab (BAAL)* entwickelt wurden, abnehmende körperliche oder kognitive Fähigkeiten ihrer Nutzer kompensieren können.

3. Abschließende Bemerkungen

Zusammengenommen liefern die Beiträge zu diesem Band gute Gründe dafür, dass moderne Technologie positive Auswirkungen auf alternde Menschen und Gesellschaften haben kann. Technische Innovationen für erfolgreiches Altern sind dabei auf Kooperation zwischen Informatikern, Psychologen, Ingenieuren, Innenausstattern, Architekten, Stadtplanern und Medizinern angewiesen. Sie eröffnen sowohl älteren Menschen als auch alternden Gesellschaften neue Chancen. Flexibel unterstützende Technologie kann die Balance zwischen Unterstützung und Herausforderung im Alter verbessern, Alltagsfähigkeiten steigern sowie soziale Teilhabe stärken und dadurch positive Auswirkungen auf Leistungsfähigkeit, Wohlbefinden und Selbstwert haben. Sie kann auch Kosten im Gesundheits- und sozialen Sicherungssystem senken und Wachstumspotentiale eröffnen, indem sie die Möglichkeiten der selbstständigen Lebensführung verbessert und ausbaut. Und nicht zuletzt wird der Erfindergeist der älter werdenden Nutzer selbst dazu beitragen, dass die Vorteile gegenüber den Nachteilen und Risiken überwiegen.

4. Danksagungen

Wir möchten allen Autoren für ihre Beiträge und allen Gutachtern für ihre hilfreichen Kommentare danken. Englische Fassungen der meisten Beiträge erschienen zuvor in einem Sonderheft der Zeitschrift *GeroPsych* (NEHMER et al. 2010). Für die Unterstützung bei der Entstehung des vorliegenden Bandes bedanken wir uns bei Dagmar GÜLOW, Dr. Katja PATZWALDT und Dr. Michael KAASCH.

Literatur

- CRAIK, F. I. M.: On the transfer of information from temporary to permanent memory. *Philosophical Transactions of the Royal Society B302*, 341–359 (1983)
- NEHMER, J., LINDENBERGER, U., and STEINHAGEN-THIESSEN, E. (Eds.): Aging and technology [Special issue]. *GeroPsych* 23(2) (2010)

Die Herausgeber

Prof. Dr. Ulman LINDENBERGER
Forschungsbereich Entwicklungspsychologie
Max-Planck-Institut für Bildungsforschung
Lentzeallee 94
14195 Berlin
Bundesrepublik Deutschland
Tel.: +49 30 82406572
Fax: +49 30 8249939
E-Mail: seklindenberger@mpib-berlin.mpg.de

Prof. Dr. Jürgen NEHMER
Technische Universität Kaiserslautern
FB Informatik
Postfach 3049
67653 Kaiserslautern
Bundesrepublik Deutschland
Tel.: +49 631 205 4020
Fax: +49 631 205 3289
E-Mail: nehmer@informatik.uni-kl.de

Prof. Dr. Elisabeth STEINHAGEN-THIESSEN
Forschungsgruppe Geriatrie der Charité
am Evangelischen Geriatriezentrum Berlin (EGZB)
Reinickendorfer Straße 61
13347 Berlin
Bundesrepublik Deutschland
Tel.: +49 30 4594 1901
Fax: +49 30 4594 1938
E-Mail: elisabeth.steinhagen-thiessen@charite.de

Dr. Julia A. M. DELIUS
Forschungsbereich Entwicklungspsychologie
Max-Planck-Institut für Bildungsforschung
Lentzeallee 94
14195 Berlin
Bundesrepublik Deutschland
Tel.: +49 30 8240 6290
Fax: +49 30 8249 939
E-Mail: delius@mpib-berlin.mpg.de

Dipl.-Inform. Michael SCHELLENBACH
Forschungsbereich Entwicklungspsychologie
Max-Planck-Institut für Bildungsforschung
Lentzeallee 94
14195 Berlin
Bundesrepublik Deutschland
Tel.: +49 30 8240 6296
Fax: +49 30 8249 939
E-Mail: schellenbach@mpib-berlin.mpg.de

Gesundes Altern

Psychologische Kriterien für erfolgreiche Alterstechnologien aus Sicht der Lebensspannenkognition¹

Ulman LINDENBERGER (Berlin), Martin LÖVDÉN (Berlin),
Michael SCHELLENBACH (Berlin), Shu-Chen LI (Berlin)
und Antonio KRÜGER (Saarbrücken)

Mit 3 Abbildungen

Zusammenfassung

Dieses Kapitel soll zeigen, wie Konzepte und Ergebnisse der Forschung zur Lebensspannenentwicklung von Kognition, Sensorik und Sensomotorik zu Design und Evaluation von flexibel unterstützender Technologie für alternde Menschen beitragen können. Wir nutzen ressourcenbasierte Konzeptionen erfolgreichen Alterns, um drei Kriterien zur Evaluation von unterstützender Technologie für das Alter abzuleiten: (a) Positive Ressourcenbilanz; (b) hoher Individualisierungsgrad und (c) Erhalt der Alltagskompetenz und Förderung von Entwicklungspotential. Wir schlagen zwei Strategien zur Einbindung dieser Kriterien in das Design technologischer Hilfsmittel und instrumentierter Umgebungen vor – eine, die auf den sensomotorischen Funktionsbereich, und eine andere, die auf den kognitiven Funktionsbereich abzielt. Durch eine kontinuierliche Anpassung der Balance zwischen „Umweltunterstützung“ und „selbst-initiiertes Verarbeiten“ (CRAIK 1983) kann flexibel unterstützende Technologie erfolgreiches Altern fördern. Darüber hinaus kann sie zuvor latente kognitive Ressourcen durch die Aktivierung von Entwicklungsreserven (Plastizität) anregen.

Abstract

The goal of this chapter is to show how concepts and findings from lifespan research on cognitive, sensory, and sensorimotor development can aid the design and evaluation of intelligent and assistive technology for aging individuals. Specifically, we use resource-based conceptions of successful aging to derive three principles for the evaluation of assistive technology in old age: (a) net resource release, or marginal benefit; (b) person specificity; and (c) the conjoint consideration of proximal and distal frames of evaluation. We propose two strategies, one targeting sensorimotor and the other cognitive functioning, to incorporate these criteria in technological design. By continuously adjusting the balance between “environmental support” and “self-initiated processing” (CRAIK 1983), intelligent assistive technology can promote successful aging. Furthermore, it may foster the generation of formerly latent cognitive resources by activating developmental reserves (plasticity).

1. Einleitung

Die Kulturgeschichte hat aus dem hohen Alter statt einer Ausnahmerecheinung einen normalen Teil des Lebens gemacht. Die menschliche Lebensspanne ist länger und besser vorhersagbar geworden (OEPPEL und VAUPEL 2002). Diese Erfolgsgeschichte verdankt sich vor allem der Verminderung, der Umgehung und der Verzögerung alterungsbedingter Verluste und Einschränkungen. Trotz dieser großen Fortschritte geht das Älterwerden aber immer

¹ Dieser Beitrag basiert auf einem früheren Artikel von LINDENBERGER (2007).

noch mit zunehmender körperlicher und geistiger Hinfälligkeit einher. Das „Vierte Lebensalter“, also in etwa der Lebensabschnitt jenseits von 85 Jahren, ist für die meisten, die es erreichen, eine Lebensphase mit schwerwiegenden kognitiven, sensorischen und motorischen Defiziten (BALTES und SMITH 2003). Die Schutzlosigkeit des hohen Alters fordert die Forschung und Innovationskraft jeder nachfolgenden Generation aufs Neue heraus.

Flexibel unterstützende Technologie ist ein aktueller und vielversprechender Forschungsgegenstand für die Zukunft des Alterns (z. B. KING 1999, MYNATT und ROGERS 2001, FISK und ROGERS 2002, CHARNESS und SCHAIK 2003, CZAJA und LEE 2003, KAUTZ et al. 2003, NEWELL et al. 2003, LoPRESTI et al. 2004, PEW und HEMEL 2004). In den letzten Jahren wurde die Aufmerksamkeit zunehmend auf Technologie gelenkt, die von menschlichem Verhalten lernt und hilft, es zu regulieren (z. B. MYNATT und ROGERS 2001, FISK und ROGERS 2002). Durch Nutzung dieser flexibel unterstützenden Technologie können alternde Menschen die Kontrolle über bestimmte Aspekte ihres Alltagslebens an ein Gerät abgeben und weiterhin über andere Aspekte direkte Kontrolle ausüben.

Das Umsetzen der Vision einer „Technologie für das Alter“ erfordert einen konzeptuellen Rahmen, der die sich verändernden Fähigkeiten und Einschränkungen alternder Menschen einbezieht (LINDENBERGER und LÖVDÉN 2006, siehe auch CZAJA und LEE 2003, FISK und ROGERS 2002). Um wirksam zu sein, muss flexibel unterstützende Technologie die Bedürfnisse, Angewohnheiten und Vorlieben der Nutzer erlernen und sich anpassen, vorzugsweise bevor wesentliche kognitive, sensorische und motorische Beeinträchtigungen eingesetzt haben. Deshalb sind Design und Evaluation von „human engineering“-Technologie aus einer verhaltenswissenschaftlichen Perspektive ebenso sehr eine psychologische wie eine technologische Aufgabe. Flexibel unterstützende Technologie muss durch technologische Möglichkeiten, psychologisches Wissen und alternde Menschen ko-konstruiert werden.

Unter dieser Voraussetzung konzentriert sich dieser Beitrag auf die Verhaltensgrundlagen von Alterstechnologie und nicht auf die Technologie selbst. Auf der Grundlage von Perspektiven der Ressourcenzuteilung und des -aufbaus beim erfolgreichen Altern werden wir drei psychologische Leitlinien für das Design und die Evaluation von intelligenter unterstützender Technologie vorschlagen. Wir werden dann wesentliche altersbedingte Verluste im kognitiven, sensorischen und motorischen Funktionsbereich unter besonderer Berücksichtigung ihrer kumulativen und interaktiven Auswirkungen auf das Alltagsleben zusammenfassen. Schließlich werden wir zwei Strategien vorschlagen, durch die Technologie den negativen Auswirkungen von kognitiven und sensomotorischen Beeinträchtigungen auf die Alltagskompetenz entgegenwirken kann.

2. Erfolgreiches Altern als Koordination von Selektion, Optimierung und Kompensation

Menschliches Verhalten entwickelt sich im Rahmen von Möglichkeiten, die aus den Wechselwirkungen zwischen Person und Umwelt entstehen. Diese Möglichkeiten lassen sich auch als *Ressourcen* charakterisieren. Personen unterscheiden sich in ihrem Zugang zu Ressourcen, und Ressourcen verändern sich im Laufe des Lebens hinsichtlich ihres Umfangs und ihrer Zusammensetzung. Im Gegensatz zu früheren Lebensphasen wird die Entwicklung im späten Erwachsenenalter durch eine Verschiebung in Richtung geringerer Ressourcengewinne und vermehrter Ressourcenverluste geprägt (z. B. BALTES 1987, 1997, BALTES

et al. 2006). Ressourcen wie sozialer Status, Einkommen und berufliches Wissen nehmen im späteren Erwachsenenalter oft noch zu, während andere Ressourcen wie körperliche Fitness, Gesundheit, Sinnesleistungen, die Fähigkeit zur Erledigung verschiedener gleichzeitiger Aufgaben sowie Hirnfunktionen abnehmen.

Trotz der Verschiebung der Ressourcenlage zugunsten der Verluste und zuungunsten der Gewinne kommen viele ältere Menschen offenkundig mit den Anforderungen ihres Alltags gut zurecht. Beim Vergleich von Individuen steigt die Heterogenität des Funktionsstatus mit dem Alter an. Ein beträchtlicher Anteil von Personen altert aber nach verschiedenen subjektiven und objektiven Kriterien, unter biologischen, kognitiven und sozialen Aspekten, erfolgreich (siehe FREUND und RIEDIGER 2003 für einen Überblick). Deshalb ist es eine Herausforderung, besser zu verstehen, *wie* Menschen wünschenswerte Funktionsniveaus in einer Lebensphase erreichen und aufrechterhalten, die durch eine Vielzahl objektiver und subjektiver Ressourcenverluste gekennzeichnet ist.

Psychologische Theorien der erfolgreichen Lebensspannenentwicklung und des Alterns versuchen, Person-Umwelt-Konstellationen zu identifizieren, die adaptive Funktionsweisen im Alter fördern (z. B. BALTES und BALTES 1990, CARSTENSEN et al. 1999, FREUND und BALTES 2000, RIEDIGER et al. 2006). Solche Modelle definieren erfolgreiche Entwicklung als kombinierte Gewinnmaximierung und Verlustminimierung. Diesen Theorien kann es nicht um die Minimierung von Verlusten und die Maximierung von Gewinnen im Sinne des Lösen einer mathematischen Gleichung gehen, denn das Leben als Aufgabe ist viel zu unklar definiert und vielfältig, als dass es eine eindeutige Lösung überhaupt geben, geschweige dass ein Betroffener oder ein Verhaltenswissenschaftler sie finden könnte. Es lassen sich aber allgemeine Mechanismen angeben, etwa im Sinne von Heuristiken (GIGERENZER 2000), die den erfolgreichen Einsatz von Ressourcen im Alter wahrscheinlicher machen.

In diesem Sinne haben Paul und Margret BALTES drei allgemeine Mechanismen der erfolgreichen Entwicklung und Alterns beschrieben: Selektion, Optimierung und Kompensation (engl. SOC; z. B. BALTES und BALTES 1990, siehe auch BÄCKMAN und DIXON 1992, zum Vergleich mit anderen Modellen siehe RIEDIGER et al. 2006). Da die Verfolgung aller potentiell möglichen Entwicklungsrichtungen die Ressourcenverfügbarkeit übertrifft, geht die SOC-Theorie davon aus, dass *Selektion* aus dem Pool vorhandener Alternativen einen der Hauptmechanismen der Entwicklungsregulation darstellt (vgl. WADDINGTON 1975). Das Modell unterscheidet zwei Selektionsformen, die verschiedene regulatorische Funktionen in der Entwicklung über die Lebensspanne erfüllen: *Elektive Selektion* tritt als Antwort auf neue Anforderungen oder Aufgaben auf, während *verlustbasierte Selektion* als Folge tatsächlicher oder vorausgesehener Ressourcenverluste einsetzt. Gezielte Investition von Ressourcen gibt Entwicklung ihre Richtung und ist eine Bedingung für Entwicklungsspezialisierung und für das Erreichen höherer Funktionsniveaus. *Optimierung* spiegelt den Aspekt des Gewinns in der Entwicklung wider und ist als Erwerbung, Verfeinerung und konzertierte Anwendung von Ressourcen in selektierten Funktionsbereichen zur Erringung höherer Funktionsniveaus definiert. Schließlich betrifft *Kompensation* die Regulation von Verlusten in der Entwicklung. Dabei geht es darum, ein erreichtes Funktionsniveau trotz Abnahme oder Verlust von zuvor vorhandenen Ressourcen zu erhalten. Es repräsentiert deshalb eine Alternative zur verlustbasierten Selektion, die eine Umgestaltung des Lebens als Reaktion auf den Verlust impliziert. Es wird davon ausgegangen, dass die Entwicklungsmechanismen der Selektion, Optimierung und Kompensation bei koordiniertem Einsatz im Alter dazu beitragen, dass ausreichend hohe Leistungsniveaus in einer zunehmend kleineren Anzahl von wesentlichen Funktionsbereichen erhalten bleiben.

Hier wollen wir Prinzipien für Design und Evaluation von Technologie für das Alter in Beziehung zu Selektion, Optimierung und Kompensation als allgemeine Mechanismen der erfolgreichen Entwicklung setzen. Im Folgenden werden drei Kriterien vorgestellt: (a) Positive Ressourcenbilanz, (b) hoher Individualisierungsgrad und (c) Erhalt der Alltagskompetenz und Förderung von Entwicklungspotential (siehe Abb. 1).

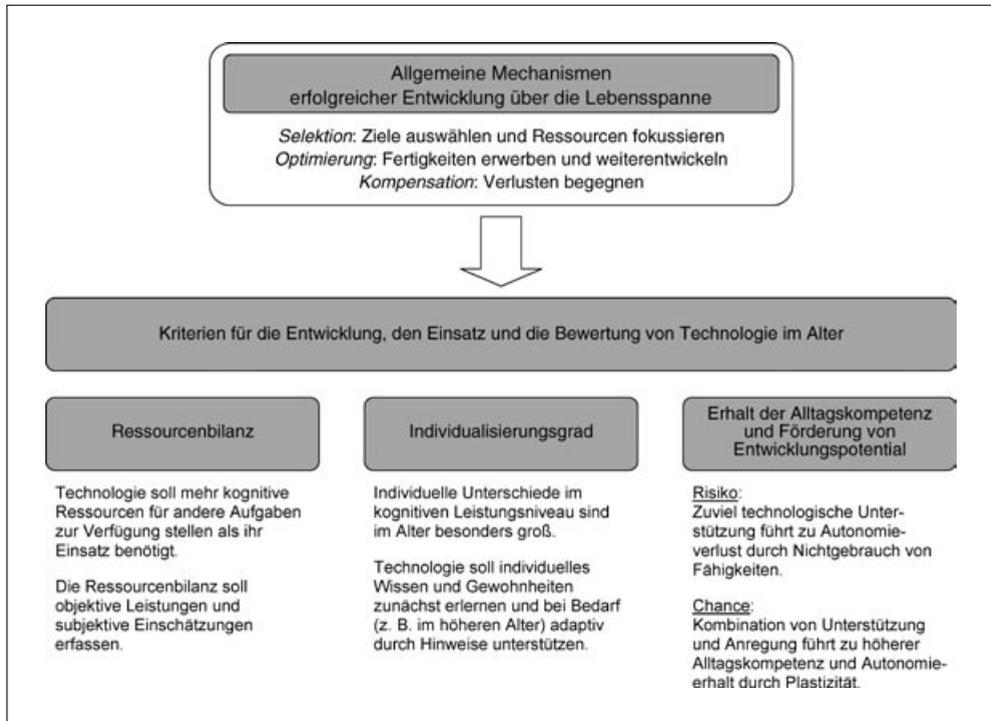


Abb. 1 Psychologische Kriterien für erfolgreiche Alterstechnologie

2.1 Positive Ressourcenbilanz

Die Anwendung technologischer Hilfsmittel erfordert in der Regel einen mehr oder minder großen Aufwand an kognitiven oder körperlichen Ressourcen. Daraus folgt, dass sich der Einsatz solcher Hilfsmittel nur dann lohnt, wenn dieser Aufwand geringer ist als der damit verbundene Nutzen (vgl. BACKMAN und DIXON 1992, DIXON und BÄCKMAN 1995, SCHÖNPLUG 1998). Wenn zum Beispiel die Verwendung eines Mobiltelefons als Terminkalender das Durchlesen einer komplizierten Gebrauchsanweisung erforderlich macht, dann ist die Ressourcenbilanz dieser Anwendung zumindest anfänglich negativ. Dies entspricht auch der Definition erfolgreichen Alterns hinsichtlich der Gewinnmaximierung und Verlustminimierung.

Objektive und subjektive Bewertungen der Ressourcenbilanz können voneinander abweichen. Beide sind von Belang, da die von älteren Menschen eingeschätzte Nützlichkeit den Gebrauch des Hilfsmittels stärker bestimmen wird als dessen objektiv nachweisbarer Nutzen (vgl. z. B. MELENHORST et al. 2006). Technologische Assistenzsysteme werden ihrem zentralen Ziel nicht gerecht, wenn ihre Nutzung nicht, zumindest langfristig, zu einer

sowohl subjektiv als auch objektiv feststellbaren positiven Veränderung der Ressourcenbilanz führt. Folglich muss untersucht werden, unter welchen Bedingungen Verhalten *mit* Hilfsmitteln weniger Ressourcen beansprucht als Verhalten *ohne* Hilfsmittel. Eine solche Evaluation muss sich auf einen breitgefächerten Satz objektiver und subjektiver Indikatoren stützen, die über die angepeilte Aktivität oder den Funktionsbereich hinausgehen. Dabei ist ebenso viel Wissen über Menschen als Akteure mit Zielen, Vorlieben und sozialen Erwartungen wie über die Technologie selbst erforderlich (vgl. PARK und SKURNIK 2004).

2.2 Hoher Individualisierungsgrad

Das zweite Kriterium bezieht sich auf Personenspezifität und -anpassungsfähigkeit. Ältere Personen unterscheiden sich sehr in Bezug auf kognitive, sensorische und motorische Funktionsniveaus (LI et al. 2001a, b, LINDENBERGER und OERTZEN 2006, vgl. NESSELROADE 1991). Ebenso treffen durchschnittliche Altersveränderungen nicht auf alle Mitglieder der alternden Bevölkerung zu. So erreichen einige Menschen im Alter von 80 Jahren in zentralen Bereichen der Alltagskompetenz wie Gedächtnis, Sehschärfe oder Gehör Funktionsniveaus, die dem Mittelwert 30 Jahre Jüngerer entsprechen (z. B. BALTES und LINDENBERGER 1997). Altersbezogene durchschnittliche Leistungswerte bieten also lediglich einen Ausgangspunkt für die Verwendung flexibel unterstützender Technologie. Jenseits solcher alterskorrelierten Erwartungswerte kommt es darauf an, dass sich die Technik auf die Besonderheiten und das Leistungsspektrum des einzelnen älteren Menschen einstellt (vgl. KAUTZ et al. 2003). So muss sich die Technologie nicht nur auf Unterschiede zwischen Personen einstellen, sondern muss auch die Verhaltensökologie und Umwelt des einzelnen Nutzers kennenlernen (siehe DHAMI et al. 2004), und zwar zu einem Zeitpunkt, bevor sie durch Behinderung und Hinfälligkeit gefährdet sind. Wenn sensorische, motorische und kognitive Beeinträchtigungen später in den Vordergrund getreten sind, kann das erworbene Wissen über Gewohnheiten und Lebensraum des Nutzers eingesetzt werden, um ihm zu helfen, seinen gewohnten Lebensstil so lange wie möglich aufrechtzuerhalten.

Die Forderung nach einem hohen Individualisierungsgrad unterstützender Technologie entspricht der Beobachtung, dass die konkreten Ausformungen von Selektion, Optimierung und Kompensation sowie deren Kombination von Person zu Person und je nach Lebensphase stark variieren, auch wenn es sich um Entwicklungsmechanismen breiter Anwendbarkeit handelt. Zum Beispiel variiert die Art und Anzahl der Funktionsbereiche, die Kompensation oder verlustbasierte Selektion in irgendeiner Form erfordern, unter Individuen und innerhalb von Individuen über die Zeit. In Anbetracht der deutlichen Vielfalt innerhalb der Altenpopulation in Bezug auf Verhaltenskompetenz und Lebensstil sowie der Veränderungen von Menschen im Altersverlauf, ist die individuelle Anpassung an den Nutzer eine wesentliche Vorbedingung für die Verbesserung der Ressourcenbilanz. Viele der gegenwärtig verfügbaren Geräte erfüllen diese Voraussetzung nicht, weil ihnen Anpassungsfähigkeit mangelt.

2.3 Erhalt der Alltagskompetenz und Förderung von Entwicklungspotential

Jede unterstützende Anwendung von Technologie muss innerhalb eines proximalen und distalen Bezugssystems beurteilt werden, sowohl nach zeitlichen als auch nach inhaltlichen Dimensionen. Es ist wahrscheinlich, dass der vorherige Einsatz der gleichen oder ähnlicher

Technologien die Ressourcenbilanz beeinflusst, die im Alter erzielt werden kann. Zum Beispiel wird die heutige Generation der Erwachsenen mittleren Alters mobile Kommunikationsgeräte im Alter von 80 anders nutzen, als es die heutigen 80-Jährigen derzeit tun.

Zudem können Nutzen und Risiken technologischer Hilfsmittel unterschiedlich ausfallen, je nachdem, ob ihre Wirkungen kurzfristig oder langfristig betrachtet werden. So kann der Einsatz mobiler Navigationssysteme wie GPS (*Global Positioning System*) im privaten Autoverkehr dazu führen, dass viele Personen ihren Zielort effizienter erreichen (d. h. schneller und mit geringerem kognitiven Aufwand) und sie die freiwerdenden kognitiven Ressourcen dazu nutzen, sich während der Fahrt zu unterhalten oder einem Hörbuch zu folgen. Diese Unterstützungsform kann aber auch langfristig schädlich sein, wenn sie den chronischen Nichtgebrauch von Navigations- und räumlichen Orientierungsfähigkeiten verursacht. Tatsächlich kann man in Anbetracht der Assoziationen zwischen der Größe der Hirnstrukturen, die räumliches Verhalten steuern, wie der hintere Teil des Hippocampus, und der Beschäftigung mit einer Umwelt mit hohen Wegfindungsanforderungen, wie sie die Londoner Innenstadt Taxifahrern stellt (MAGUIRE et al. 2000), spekulieren, ob der langfristige Verlass auf GPS-Geräte räumliche Navigationsfähigkeiten und Größe und Funktion relevanter Hirnstrukturen gefährdet. Wenn dies zuträfe, würden die kurzfristigen Vorteile des Einsatzes von Navigationshilfen durch schwerwiegende langfristige Verluste aufgehoben.

Der Einsatz von Technologie kann aber nicht nur die Nutzung bereits vorhandener Ressourcen optimieren, sondern latentes Entwicklungspotential freilegen und Entwicklungsreserven aktivieren. Wie im Falle von mentalen Strategien, etwa Erinnerungstechniken zum Erlernen und Merken von Wortlisten (z. B. BOWER 1970, ERICSSON 1985), hat Technologie das Potential, Leistungen durch externe Unterstützung bei gleichzeitiger Herausforderung durch die Aufgabenstellung zu verbessern. Wenn man dies berücksichtigt, ist flexibel unterstützende Technologie nicht mehr und nicht weniger als eine neue Stimme im ko-konstruktiven Dialog zwischen Kultur und Biologie, der menschliche Ontogenese ausmacht (z. B. LI und LINDENBERGER 2002, LI 2003, LINDENBERGER und LÖVDÉN 2006). Durch ihre besondere Kapazität zur Anpassung und Verhaltensregulation unterscheidet sich diese Technologie von anderen kulturellen Artefakten, indem sie das Potential bietet, die Komplexität des Lebens eines Individuums im Bereich eines optimalen Herausforderungsniveaus oder knapp unter dem maximal möglichen Schwierigkeitsgrad zu halten (siehe RIEDIGER et al. 2006). Behaviorale und neuronale Plastizität sind im Alter reduziert, aber nicht verloren (z. B. KLIIEGL et al. 1989, BALTES und KLIIEGL 1992, NYBERG et al. 2003), und die funktionelle Verschaltung der menschlichen Hirnrinde bleibt in jedem Alter zur kurzfristigen Anpassung an Erfahrungs- oder interne Milieuveränderungen fähig (PASCUAL-LEONE et al. 2005). Deshalb verspricht die Ausstattung von Personen mit optimal herausfordernden Umwelten in der Tat eine Aktivierung behavioraler und neuronaler Reserven.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Beurteilung der längerfristigen Konsequenzen flexibel unterstützender Technologie die Einbeziehung sowohl der Risiken als auch der Chancen erfordert (siehe Abb. 1). Auf der einen Seite kann die chronische Abhängigkeit von technischen Hilfsmitteln Ressourcen durch den protrahierten Nichtgebrauch von Fähigkeiten erschöpfen, Motivation unterminieren und zum Autonomieverlust führen. Auf der anderen Seite kann diese Technologie latentes Potential aktivieren, indem sie Unterstützung mit Herausforderungen verknüpft und so Motivation, gesellschaftliche Beteiligung und Gefühle der Autonomie steigert, mit positiven Auswirkungen auf kognitive Entwicklung im Alter (siehe LÖVDÉN et al. 2005a,b).

Während spezifische Bedürfnisse und Ansprüche einer wachsenden Gruppe alternder Menschen Ingenieure und die Industrie zur Herstellung technologisch unterstützter Umwelten anregt, werden diese selbst die Architektur des alternden Geistes und Gehirns in einem Maße beeinflussen, das wir zu diesem Zeitpunkt nicht kennen und verstehen können. Um Plastizität zu fördern und Nichtgebrauch zu vermeiden, müssen die Auswirkungen flexibel unterstützender Technologie auf Geist und Gehirn auf verschiedenen Zeitebenen und Dimensionen sorgfältig beobachtet und evaluiert werden. Es ist klar, dass die Einhaltung einer Balance zwischen „Umweltunterstützung“ und „selbst-initiiertes Verarbeiten“ eine entscheidende Aufgabe bei diesem Prozess darstellt (CRAIK 1983).

3. Alterstechnologie: Zwei Strategien

Die Befundlage verdeutlicht, dass sensorische und sensomotorische Funktionen wie Sehen, Hören und Haltungskontrolle mit dem Alter nachlassen und steigendes Investment von kognitiven Ressourcen erfordern (zur Übersicht siehe SCHÄFER et al. 2006). Gleichzeitig nehmen auch die relevanten kognitiven Ressourcen ab. Kombiniert ergeben diese Alterstrends wachsenden Bedarf an einer abnehmenden Ressource – das Dilemma des behavioralen Alterns (LINDENBERGER et al. 2000, SCHÄFER et al. 2006). Die vorliegende Analyse zeigt, dass die Abmilderung der nachteiligen Auswirkung dieses Dilemmas als Hauptzweck der Alterstechnologie gelten sollte.

Die von LINDENBERGER et al. (2000) vorgestellten Ergebnisse können zur Darstellung der zunehmenden Abhängigkeit der sensomotorischen Funktionsfähigkeit von Aufmerksamkeitskontrolle dienen. In dieser Studie erlernten und übten junge, mittelaltrige und ältere Erwachsenen eine Gedächtnistechnik, die es ihnen erlaubte, im Mittel etwa 10 bis 12 von 16 Worten in der richtigen Reihenfolge zu erinnern. Die Teilnehmer hörten sich alle Worte per Kopfhörer an (10 Sekunden pro Wort) und wurden dann gebeten, sie in der Reihenfolge wiederzugeben, in der sie sie gehört hatten. Nach dem Training manipulierten die Wissenschaftler die Bedingung, unter der die Teilnehmer die Worte lernten. Das Sitzen auf einem Stuhl oder Stillstehen beim Lernen wurde einer Bedingung gegenübergestellt, in der sie bei normaler Gehgeschwindigkeit auf zwei engen Spuren gehen mussten, während sie den Worten zuhörten. Abbildung 2 stellt den Verlust in der Gedächtnisleistung dar, wenn Teilnehmer auf der einfachen oder der komplexeren Spur liefen, im Vergleich zum Sitzen oder Stehen. Doppelaufgabenkosten, oder die Kosten des gleichzeitigen Gehens für Gedächtnisleitungen, nahmen mit dem Alter beträchtlich zu und waren auf der komplexeren Spur besonders hoch. Im Funktionsbereich des Gehens wurden ebenfalls altersabhängige Zunahmen der Doppelaufgabenkosten beobachtet. Eine wahrscheinliche Erklärung für diesen Befund ist die Tatsache, dass das Gehen mit zunehmendem Alter eine wachsende Menge kognitiver Ressourcen erfordert, die statt für die Gedächtnisaufgabe zur Überwachung der sensomotorischen Leistung eingesetzt werden müssen. Interessanterweise ist diese Tendenz schon bei Erwachsenen mittleren Alters vorhanden. Es ist noch hinzuzufügen, dass die in dieser Studie beobachteten Trends die Zusammenhänge in der Bevölkerung unterschätzen, weil die Gruppe der älteren Teilnehmer ungewöhnlich fit und gesund war.

Aufgrund dieser Befunde, die eine mit dem Alter zunehmende Interdependenz unter sensorischen, sensomotorischen und kognitiven Funktionen nahelegt, wollen wir zwei Interventionsstrategien vorschlagen, die dazu beitragen können, nachteilige Auswirkungen

auf die Alltagskompetenz im Alter abzuschwächen. Eine der beiden Strategien zielt auf den sensorisch/sensomotorischen und die andere auf den kognitiven Aspekt des Dilemmas ab. Besonders bei letzterem kann flexibel unterstützende Technologie eine besondere Rolle spielen.

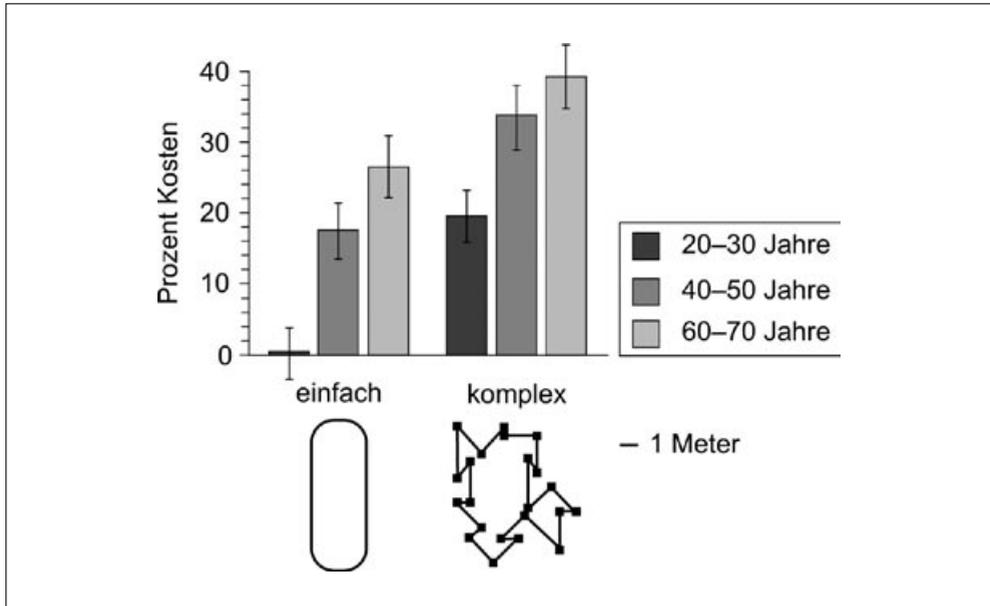


Abb. 2 Der Aufmerksamkeitsbedarf des Gehens nimmt im Laufe des Erwachsenenalters zu. Dargestellt sind die Auswirkungen des Gehens auf die Gedächtnisleistung. Die dargestellten Doppelaufgabenkosten beziehen sich auf die Abnahme der Gedächtnisleistung beim Gehen auf einer ovalen und einer unregelmäßigen Wegstrecke im Vergleich zur Gedächtnisleistung beim Sitzen und Stehen. Personen im mittleren und höheren Erwachsenenalter zeigen deutlich größere Doppelaufgabenkosten als junge Erwachsene. Der Grundriss der beiden Wegstrecken ist unter dem Säulendiagramm aufgetragen. Nach LINDENBERGER et al. 2000.

3.1 Die sensorisch/sensomotorische Strategie

Diese Strategie versucht, kognitive Ressourcen wie Aufmerksamkeit und Arbeitsgedächtnis durch eine Reduktion der kognitiven Beanspruchung sensorischer oder sensomotorischer Leistungsaspekte freizusetzen. Diese Strategie ist im Allgemeinen weniger schwer zu implementieren als die kognitive Strategie. Deshalb ziehen vergangene Designempfehlungen oft diesen Ansatz vor (z. B. HAWTHORN 2000). Typische Beispiele sind die Verringerung von Hintergrundgeräuschen sowie blendungsfreie, kontrastreiche und gut beleuchtete Arbeitsplätze. Derartige altersunterstützende Technologie entspricht oft allgemeinen aufgabengerechten Umwelten, gehorcht den allgemeinen Prinzipien „optimalen Designs“ und erfordert keine besonderen personen- oder aufgabenspezifische Anpassungsfähigkeiten. Andere technische Hilfsmittel, die wie Lesebrillen oder Gehhilfen auf sensorische und körperliche Funktionen abzielen, sind personenspezifisch, erfordern aber nach der Eingewöhnung relativ wenig Flexibilität ihrer Nutzer (auch wenn sie hin und wieder angepasst werden müssen).

Unterstützende Technologie, die auf die Sinne gerichtet ist, kann aber auch ziemlich komplex sein. Zum Beispiel erleben ältere Erwachsene den Einsatz von Hörgeräten mit verschiedenen nicht-automatisierten Verstärkungsmodi je nach auditorischem Umfeld als umständlich und tendieren dazu, sie nicht einzusetzen, auch wenn sie sie besitzen. Die Ressourcenbilanz dieser Geräte ist negativ, weil der potentielle Gewinn – Gehör, das weniger Aufmerksamkeit erfordert – durch die Ressourcenansprüche für die Nutzung des Hörgeräts selbst ausgestochen wird. Neuere Hörgeräte passen ihre Verstärkungsstrategie automatisch der auditorischen Szene an, ergeben deshalb eine positive Bilanz kognitiver Ressourcen und werden auch eher benutzt.

Grundformen sensorischer oder sensomotorischer Hilfen, die wenig kognitives Investment erfordern, können erstaunlich effektiv sein. In einer Studie projizierten wir labyrinthartige virtuelle Museen vor ein Laufband (LÖVDÉN et al. 2005b). Junge und ältere Männer wurden aufgefordert, beim Gehen auf dem Laufband eine Navigationsaufgabe in verschiedenen virtuellen Museen zu erfüllen. Die Aufgabe bestand darin, zweimal hintereinander ohne falsches Abbiegen den Weg vom Museumseingang zum Bistro zu finden. In der sensomotorisch unterstützten Bedingung durften sich die Teilnehmer an einem Geländer festhalten, während sie in der Bedingung ohne Unterstützung gebeten wurden, frei auf dem Laufband zu gehen.

Wie in Abbildung 3 zu sehen wurde die Navigationsleistung der jungen Erwachsenen nicht durch sensomotorische Unterstützung beeinflusst. Ältere Erwachsene zeigten deutlich bessere Lernleistungen, wenn sie sich an einem Geländer festhielten. Diese Ergebnisse zeigten, dass Unterstützung der Gangstabilität im Alter positive Auswirkungen auf räumliche Navigationsleistungen haben kann, und verweisen auf die enge Beziehung zwischen sensomotorischen und kognitiven Aspekten des Verhaltens im Alter. Bei älteren Erwachsenen verbessert die Laufunterstützung nicht nur das Gleichgewicht, sondern setzt darüber hinaus auch Aufmerksamkeitsressourcen frei, die dann in die Verarbeitung der Navigationsinformationen investiert werden können.

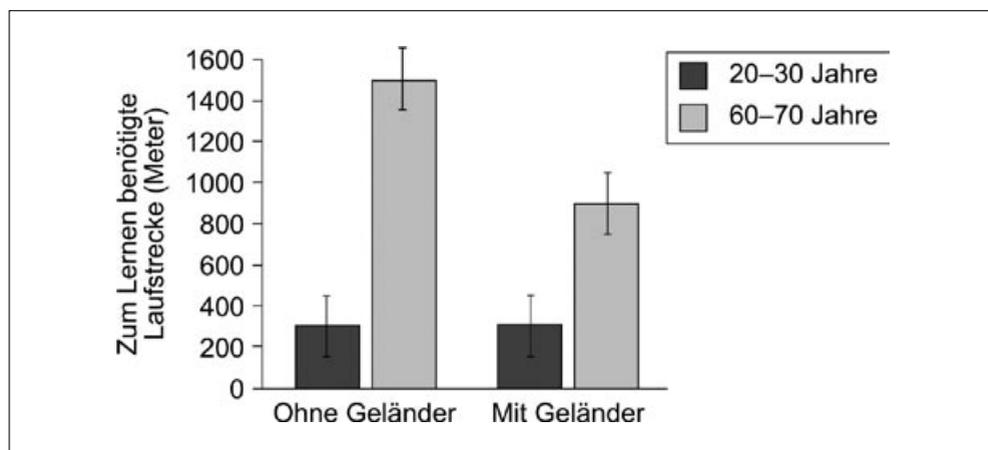


Abb. 3 Altersunterschiede in der Raumnavigation können durch sensomotorische Unterstützung verringert werden. Die Probanden bewegen sich auf einem Laufband durch ein virtuelles Labyrinth. Die Säulen zeigen die im Labyrinth zum Erlernen eines Wegs zurückgelegte Strecke. Das Stützen auf ein Geländer verbessert die Lernleistung der älteren Erwachsenen, aber nicht die der jüngeren Erwachsenen. Nach LÖVDÉN et al. 2005b.

3.2 Die kognitive Strategie

Während die sensorisch/sensomotorische Strategie ähnlich wie körperliches Fitnesstraining versucht, Leistungen im kognitiven Bereich zu steigern, indem die durch die Sinne und den Körper auferlegte Aufmerksamkeitslast reduziert wird, unternimmt die kognitive Strategie den Versuch, die Ansprüche auf kognitive Ressourcen auf genuin kognitivem Wege zu vermindern. Hier heben wir Forschung zu Expertise und Expertensystemen hervor (KRAMPE und BALTES 2003), vor allem in Bezug auf Gedächtnisleistungen (z. B. BOWER 1970, ERICSSON 1985, MÄNTYLÄ 1986). Offenbar hat diese Forschungsrichtung bisher einen geringen Einfluss auf die Entwicklung der Technologie für Ältere gehabt (siehe aber CHARNESS 1989).

Gegenwärtig entsteht bisweilen der Eindruck, dass ältere Erwachsene, und Anwender im Allgemeinen, ihre Denk- und Verhaltensweisen an die Erfordernisse der Technik anpassen sollen. Aus einer psychologischen und Entwicklungsperspektive, und wie schon andere betont haben (z. B. VANDERHEIDEN 2000, FISK und ROGERS 2002, NEWELL et al. 2003, PARADISE et al. 2004), ist das Gegenteil wünschenswert. Ingenieure und Psychologen sollten ältere Personen als „Experten ihres eigenen Lebens“ begreifen, als Personen, die ein reichhaltiges Wissen über ihre persönlichen Vorlieben, Gewohnheiten und Besonderheiten besitzen. In anderen Worten haben ältere Menschen sowohl explizit als auch implizit ein besonderes Wissen darüber, wie ihre Handlungen in Zeit und Raum organisiert sind. Zugleich fällt es ihnen bisweilen schwer, wie allen anderen Menschen auch, dieses Wissen an Ort und Stelle einzusetzen – etwa wenn sie müde sind, wenn sie abgelenkt werden, wenn mehrere Ziele gleichzeitig verfolgt werden sollen oder wenn ihre Sinne und ihr Körper die kognitiven Ressourcen aus den oben dargelegten Gründen auf sich ziehen. Der zentrale Gedanke der kognitiven Strategie besteht nun darin, äußere Hinweisreize („cues“) anzubieten, die Menschen darin unterstützen, ihre eigenen Ziele nicht aus den Augen zu verlieren und beabsichtigte Handlungen auch tatsächlich durchzuführen.

Seit langem ist bekannt, dass Hinweisreize zielgerichtetes Handeln effizient unterstützen (z. B. BOWER 1970). So belegt die Erfindung der Gedächtnistechniken in der Antike, wie wirksam Hinweisreize unser Denken und Handeln organisieren können. Dies wiederum belegt die allgegenwärtige Interaktion verschiedener Verknüpfungsmechanismen bei Lernen und Gedächtnis. In diesem Sinne stellt jeder gut organisierte Wissenskörper, besonders bei Verbindung mit einer Abfolge von externen Hinweisreizen, eine wirksame Hinweisstruktur dar (ERICSSON 1985). Aus diesem Grunde weisen Individuen bessere Gedächtnisleistungen in ihrem Expertisenbereich auf, sei es das Kartenspiel Bridge (z. B. CHARNESS 1979) oder verschiedene berufliche Spezialisierungen (z. B. KRAMPE und BALTES 2003).

Was bestimmt die Wirksamkeit eines externen Hinweises für die Aktivierung von Gedanken und Handlungen? Besonders wichtig sind zwei Eigenschaften: *Passung (compatibility)* und *Unterscheidbarkeit (distinctiveness)* (z. B. TULVING und THOMPSON 1973, MÄNTYLÄ 1986). Die Passung eines Hinweisreizes ist hoch, wenn er möglichst direkt auf Merkmale des zu aktivierenden Gedächtniseintrags oder der auszulösenden Handlung verweist. Zum Beispiel ist für Autofahrer die Passung des Stopp-Verkehrszeichens mit der auszulösenden Handlung groß, weil dieses Zeichen im Laufe des Lebens fest mit der Handlung des Anhaltens verknüpft wurde. Wegen unterschiedlicher Lerngeschichten kann die Passung anderer Reize von Person zu Person sehr verschieden sein.

Hinweisreize sollen aber nicht nur passen, sie sollen auch unterscheidbar sein, d. h., ein bestimmter Hinweisreiz sollte nur die gewünschte Handlung aktivieren und nicht zugleich

eine Vielzahl anderer konkurrierender Handlungen. Auch die Unterscheidbarkeit von Hinweisreizen variiert nach Person und Kontext (z. B. HUNT und EINSTEIN 1981). Ein aktuelles Beispiel sind die Klingeltöne von Mobiltelefonen; ein Klingeln, das sich vor kurzem noch gut von dem anderer Telefone unterschied, kann einige Tage später dazu führen, dass sich mehrere Personen irrtümlich veranlasst sehen, nach ihrem Handy zu greifen.

Wenn Personen sich ihre Hinweisreize selbst schaffen, sei es mit Absicht oder beiläufig durch die Spuren ihrer Handlungen, dann stehen die Chancen einer hohen Passung und einer hohen Unterscheidbarkeit gut, weil diese Hinweisreize ihrem Wissen und ihren Gewohnheiten genau entsprechen. So bat der finnische Psychologe MÄNTYLÄ (1986) junge Erwachsene, sich zu jedem einzelnen Wort, das ihnen auf einem Bildschirm dargeboten wurde, drei Wörter auszudenken, die gut zu diesem Wort passen. Die Probanden wussten nicht, dass sie sich später an das dargebotene Wort erinnern sollten. Zeigte man den Probanden am selben Tag jeweils die drei von ihnen selbst erzeugten Hinweiswörter und bat sie, sich ohne weitere Hilfe an das dargebotene Wort zu erinnern, so gelang ihnen dies in über 90% der Fälle. Im Durchschnitt erinnerte sich jeder einzelne Proband an 459 von 504 dargebotenen Wörtern. Eine Woche später lag die Erinnerungsleistung immerhin noch bei 327 Wörtern. Zeigte man den Probanden hingegen die Hinweiswörter, die sich andere Personen ausgedacht hatten, so waren die Erinnerungsleistungen deutlich geringer. Bei älteren Erwachsenen sind die mit derselben Methode beobachteten Erinnerungsleistungen zwar niedriger als bei jungen Erwachsenen, aber immer noch erstaunlich hoch (BÄCKMAN und MÄNTYLÄ 1988).

Psychologische Forschung hat also gezeigt, dass selbst erzeugte Hinweise viel effektiver die passenden Handlungen auslösen als alle anderen Hinweisreize. Dies ist nicht überraschend. Wenn Personen ihre eigenen Reize herstellen, entweder explizit oder als implizite Hinterlassenschaften erfolgreichen Verhaltens, entsprechen diese ihrem Wissen, ihren Gewohnheiten und Vorlieben und werden wahrscheinlich auf passende Weise verarbeitet. Solche Reize sollten also bessere Passung und Unterscheidbarkeit aufweisen als Reize, die von anderen erzeugt wurden.

Flexibel unterstützende Technologie sollte deshalb an der Wirksamkeit selbst erzeugter Hinweisreize ansetzen. Sie sollte die Gewohnheiten und Vorlieben ihrer Nutzer erlernen und anschließend bei Bedarf durch Hinweise unterstützen. Wir schlagen deshalb vor, dass flexibel unterstützende Technologie adaptive Hinweisstrukturen bieten sollte, die den alternden Menschen in Zeit und Raum orientieren. Die Hinweise sollten Eigenschaften in der Umgebung mit Handlungszielen des Nutzers verbinden. Sie sind nützlich, wenn sie die richtige Handlung zur richtigen Zeit anmahnen. Dazu sollten sie passend und unterscheidbar sein. Selbst erzeugte Hinweise stechen auf beiden Dimensionen hervor. Designer von Alternstechnologie sind aufgefordert, die Eigenschaften der unterstützenden Geräte auf die Bedürfnisse, Kompetenzen und Vorlieben alternder Menschen abzustimmen. Um sich diesem Ziel anzunähern, erfordern einige der gegenwärtig eingesetzten oder in Entwicklung befindlichen Systeme explizites Input und manuelle Umprogrammierung durch den Nutzer. Dies schränkt wiederum die positive Ressourcenbilanz beträchtlich ein, zumindest in den Anfangsphasen der Einrichtung.

Die Anpassung der Technologie an den einzelnen Anwender kann jedoch auch auf technologisch anspruchsvollere und psychologisch vielversprechendere Weise umgesetzt werden. Einfach ausgedrückt, kann das Gerät oder die instrumentierte Umgebung selbst beauftragt werden, die Gewohnheiten und Vorlieben des Nutzers zu erlernen. Wir stellen uns die Funktionsweise flexibler unterstützender Technologie als vielschichtigen und lebenslangen

Prozess der Individualisierung vor. Zunächst, wenn kein Wissen über den Anwender vorhanden ist, funktioniert das betreffende Gerät auf der Basis eines Standardmodells, z. B. für den „durchschnittlichen Anwender“. Explizite *Offline*-Information über individuelle kognitive, sensorische und sensomotorische Fähigkeiten können eingegeben werden, um diese vorgegebenen Parameter abzuändern. Darauf folgt eine ausgedehnte Phase der personenspezifischen Anpassung des Geräts, die es der flexibel unterstützenden Technologie erlaubt, die das Leben des Nutzers durchdringenden Regelmäßigkeiten und Bedingtheiten zu erlernen. Wie dies geschehen könnte, soll abschließend an einem Beispiel gezeigt werden.

4. Flexibel unterstützende Technologie im Alter: Ein fiktives Beispiel

Frau Müller, eine 90-jährige Witwe, lebt in ihren eigenen vier Wänden in einer Kleinstadt. Ihre Kernfamilie besteht aus zwei verheirateten Töchtern und deren Kindern. Frau Müller ist geistig rege und körperlich weitgehend gesund und möchte so lange wie möglich ihren eigenen Haushalt in ihrer eigenen Wohnung führen. Sie ist eine sehr gute Skatspielerin. Im letzten Jahr gewann sie bei einem Turnier den ersten Preis; der Pokal steht in ihrem Wohnzimmer.

Zu ihrem 90. Geburtstag erhält sie von einem ihrer Enkel ein elektronisches Gerät. Es sieht aus wie ein etwas zu groß geratenes Mobiltelefon, und es funktioniert auch wie ein Mobiltelefon. Frau Müller hat schon seit Jahren Mobiltelefone benutzt, und die Umstellung auf das neue Gerät bereitet ihr keine großen Schwierigkeiten. Als Mobiltelefon nimmt sie es immer mit, wenn sie ihre Wohnung verlässt. Neben seiner Eignung als Handy besitzt das Gerät zusätzliche Funktionen und Ausstattungsmerkmale. Das Display ist ungewöhnlich groß und gut ausgeleuchtet. Es verfügt über eine GPS-Funktion und kann im Freien gut geortet werden. Außerdem besitzt es einen Bewegungssensor, eine Funkschnittstelle und die Fähigkeit zum maschinellen Lernen. Wenn Frau Müller zu Hause ist, nimmt das Gerät Kontakt zu ihrem Festnetztelefon auf und registriert die Anrufe.

Anfänglich nutzt Frau Müller das Gerät nur als Mobiltelefon. Das Gerät erlernt im Laufe der Zeit die wiederkehrenden Muster im Alltag von Frau Müller. So entdeckt es, (a) dass Frau Müller ungefähr alle zwei Tage am Nachmittag ihre jüngere Tochter anruft; (b) dass sie die ältere Tochter täglich am frühen Morgen anruft; (c) dass sie einmal in der Woche, zumeist am Sonntag, das Grab ihres verstorbenen Mannes besucht; (d) dass sie jeden Samstag zum Friseur geht; (e) dass sie morgens spätestens um 9 Uhr das Gerät bewegt.

Ab dem 94. Lebensjahr treten bei Frau Müller kognitive Leistungseinbußen auf, die ihr im alltäglichen Leben Probleme bereiten. So vergisst sie öfter, was sie gerade vorhatte, und sie lässt sich leichter ablenken. Ihr Zeitgefühl und ihr räumliches Orientierungsvermögen lassen ebenfalls nach. Das Gerät übernimmt nun allmählich Hinweisfunktionen. „Tochter Anna anrufen!“ oder „Wie wäre es, zum Friseur zu gehen?“ – zunächst ist Frau Müller etwas irritiert, als ihr Handy damit beginnt, ihr solche Fragen zu stellen. Mit der Zeit gewöhnt sie sich jedoch an diese Hinweise und empfindet sie sogar als angenehm und entlastend, zumal sie bemerkt, wie sehr sie ihre Töchter mit ihrer Alltagskompetenz und Unabhängigkeit beeindruckend kann. Das Gerät bemerkt auch Veränderungen im Alltag von Frau Müller. Zum Beispiel besucht Frau Müller das Grab ihres verstorbenen Mannes nur noch alle zwei Wochen anstatt wöchentlich. Dabei nutzt sie mittlerweile den Navigationsassistenten, der sie von ihrer Wohnung zum Friedhof führt. Der Enkel, von dem sie das Gerät bekam und der Informatik studiert, hat diese zusätzlichen Funktionen nach und nach aktiviert.

Frau Müller hat sich auch angewöhnt, die Einkaufsfunktion des Geräts zu nutzen. Bevor sie das Haus verlässt, setzt sie sich an den Küchentisch und liest dem Gerät die Einkaufsliste vor. Die Läden der Kleinstadt sind mittlerweile mit einem Funknetz ausgestattet, und dem Gerät ist bekannt, welche Läden Frau Müller oft besucht. Das Gerät gleicht die Einkaufsliste mit dem Angebot der Läden ab und schlägt Frau Müller einen Einkaufsweg vor. Beim Einkaufen hilft ihr dann wieder der Navigationsassistent, der sie von einem Laden zum nächsten führt. Wenn Frau Müller einen Laden betritt, erscheinen die Bezeichnungen der Dinge, die sie dort kaufen wollte, auf dem Display des Geräts. Beim Bezahlen werden sie durch ein Funksignal der Kasse als erledigt gekennzeichnet und dann von der Einkaufsliste genommen.

Eines Morgens geht es Frau Müller nicht gut, und sie ist nicht imstande, ihr Bett zu verlassen. Das Gerät fängt an zu klingeln, weil es bereits 9:15 Uhr ist und es noch nicht bewegt wurde. Frau Müller kann es jedoch nicht erreichen. Um 9:30 Uhr alarmiert das Gerät den ärztlichen Notfalldienst, und ein Krankenwagen fährt Frau Müller rechtzeitig zur medizinischen Behandlung ins Krankenhaus.

Alle in diesem Gerät verwendeten technischen Komponenten sind bekannt und erprobt (KRÜGER et al. 2004, BAUS et al. 2005, STAHL et al. 2005). Das komplette Gerät gibt es aber unseres Wissens derzeit noch nicht.

5. Schlussbemerkung

In diesem Beitrag haben wir Technologie für das Alter aus der Perspektive der Lebensspannenpsychologie analysiert (z. B. BALTES et al. 2006, LINDENBERGER und LÖVDÉN 2006). Das Alter könnte die Lebensphase sein, in der „human engineering“-Technologien am meisten gebraucht werden. Ohne systematische Einbeziehung von Verhalten und menschlicher Handlungskompetenz übersieht technologisches Know-how das idiosynkratische Wissen und die Angewohnheiten alternder Menschen (z. B. MYNATT und ROGERS 2001). Einige Unzulänglichkeiten heutiger Technologie, die auf die Stärkung der Alltagskompetenz älterer Personen abzielt, spiegeln eher ungenügende Beachtung psychologischer Gesetzmäßigkeiten als technische Probleme wider. Der vorliegenden Analyse zufolge muss flexibel unterstützende Technologie in das Alltagsleben junger und mittelalttriger Erwachsener eingeführt werden, lange vor dem Auftreten sensorischer, sensomotorischer und kognitiver Beeinträchtigungen. Solche Technologie sollte nicht auf Behinderung und Pathologie fokussieren, sondern darauf eingestellt sein, erfolgreiche Lebensspannenentwicklung und Alterung zu fördern. Die Anwendung sollte Freude machen und ein Statussymbol darstellen. Wenn Arnold GEHLEN (1956) Recht hatte, als er Kultur als zweite Natur des Menschen beschrieb, sollte Technologie, ein historisch neuer Aspekt der Kultur, keine Ausnahme bilden.

Literatur

- BÄCKMAN, L., and DIXON, R. A.: Psychological compensation: A theoretical framework. *Psychological Bulletin* 112, 259–283 (1992)
- BÄCKMAN, L., and MÄNTYLÄ, T.: Effectiveness of self-generated cues in younger and older adults: The role of retention interval. *International Journal of Aging and Human Development* 26, 241–248 (1988)

- BALTES, P. B.: Theoretical propositions of life-span developmental psychology: On the dynamics between growth and decline. *Developmental Psychology* 23, 611–626 (1987)
- BALTES, P. B.: On the incomplete architecture of human ontogeny: Selection, optimization and compensation as foundation of developmental theory. *American Psychologist* 52, 366–380 (1997)
- BALTES, P. B., and BALTES, M. M.: Psychological perspectives on successful aging: The model of selective optimization with compensation. In: BALTES, P. B., and BALTES, M. M. (Eds.): *Successful Aging: Perspectives from the Behavioral Sciences*; pp. 1–34. New York: Cambridge University Press 1990
- BALTES, P. B., and KLIEGL, R.: Further testing of limits of cognitive plasticity: Negative age differences in a mnemonic skill are robust. *Developmental Psychology* 28, 121–125 (1992)
- BALTES, P. B., and LINDENBERGER, U.: Emergence of a powerful connection between sensory and cognitive functions across the adult life span: A new window to the study of cognitive aging? *Psychology and Aging* 12, 12–21 (1997)
- BALTES, P. B., LINDENBERGER, U., and STAUDINGER, U. M.: Lifespan theory in developmental psychology. In: LERNER, R. M. (Ed.): *Handbook of Child Psychology*. 6th ed.; pp. 569–664. New York: Wiley 2006
- BALTES, P. B., and SMITH, J.: New frontiers in the future of aging: From successful aging of the young old to the dilemmas of the fourth age. *Gerontology* 49, 123–135 (2003)
- BAUS, J., KRÜGER, A., and STAHL, C.: Resource-adaptive personal navigation. In: STOCK, O., and ZANCANARO, M. (Eds.): *Multimodal Intelligent Information Presentation*; pp. 71–93. Dordrecht, NL: Springer 2005
- BOWER, G. H.: Analysis of a mnemonic device. *American Scientist* 58, 496–510 (1970)
- CARSTENSEN, L. L., ISAACOWITZ, D. M., and CHARLES, S. T.: Taking time seriously: A theory of socioemotional selectivity. *American Psychologist* 54, 165–181 (1999)
- CHARNESS, N.: Components of skill in bridge. *Canadian Journal of Psychology* 33, 1–16 (1979)
- CHARNESS, N.: Age and expertise: Responding to Talland's challenge. In: POON, L., RUBIN, D. C., and WILSON, B. A. (Eds.): *Everyday Cognition in Adulthood and Late Life*; pp. 437–456. Cambridge, UK: Cambridge University Press 1989
- CHARNESS, N., and SCHAIK, K. W. (Eds.): *Impact of Technology on Successful Aging*. New York: Springer 2003
- CRAIK, F. I. M.: On the transfer of information from temporary to permanent memory. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B* 302, 341–359 (1983)
- CZAJA, S. J., and LEE, C. C.: Designing computer systems for older adults. In: JACKO, J. A., and SEARS, A. (Eds.): *The Human–Computer Interaction Handbook: Fundamentals, Evolving Technologies, and Emerging Applications*; pp. 413–427. Mahwah, NJ: Erlbaum 2003
- DHAMI, M. K., HERTWIG, R., and HOFFRAGE, U.: The role of representative design in an ecological approach to cognition. *Psychological Bulletin* 130, 959–988 (2004)
- DIXON, R. A., and BÄCKMAN, L. (Eds.): *Compensating for Psychological Deficits and Declines: Managing Losses and Promoting Gains*. Mahwah, NJ: Erlbaum 1995
- ERICSSON, K. A.: Memory skill. *Canadian Journal of Psychology* 39, 188–231 (1985)
- FISK, A. D., and ROGERS, W. A.: Psychology and aging: Enhancing the lives of an aging population. *Current Directions in Psychological Science* 11, 107–110 (2002)
- FREUND, A. M., and BALTES, P. B.: The orchestration of selection, optimization, and compensation: An action-theoretical conceptualization of a theory of developmental regulation. In: PERRIG, W. J., and GROB, A. (Eds.): *Control of Human Behavior, Mental Processes, and Consciousness*; pp. 35–58. Mahwah, NJ: Erlbaum 2000
- FREUND, A. M., and RIEDIGER, M.: Successful aging. In: LERNER, R. M., EASTERBROOKS, M. A., and MISTRY, J. (Eds.): *Handbook of Psychology*. Vol. 6, pp. 601–628. Hoboken, NJ: Wiley 2003
- GEHLEN, A.: *Urmensch und Spätkultur*. Bonn: Athenäum 1956
- GIGERENZER, G.: *Adaptive Thinking: Rationality in the Real World*. New York: Oxford University Press 2000
- HAWTHORN, D.: Possible implications of aging for interface designers. *Interacting with Computers* 12, 507–528 (2000)
- HUNT, R. R., and EINSTEIN, G. O.: Relational and item-specific information in memory. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior* 20, 497–514 (1981)
- KAUTZ, H., ETZIONI, O., FOX, D., and WELD, D.: *Foundations of Assisted Cognition Systems* (Technical Report CSE-02-AC-01). Seattle, WA: University of Washington, Department of Computer Science and Engineering 2003
- KING, T.: *Assistive Technology: Essential Human Factors*. Boston: Allyn & Bacon 1999
- KLIEGL, R., SMITH, J., and BALTES, P. B.: Testing-the-limits and the study of adult age differences in cognitive plasticity of a mnemonic skill. *Developmental Psychology* 25, 247–256 (1989)
- KRAMPE, R. T., and BALTES, P. B.: Intelligence as adaptive resource development and resource allocation: A new look through the lenses of SOC and expertise. In: STERNBERG, R. J., and GRIGORENKO, E. L. (Eds.): *Perspec-*

- tives on the Psychology of Abilities, Competencies, and Expertise; pp. 31–69. New York: Cambridge University Press 2003
- KRÜGER, A., BUTZ, A., MÜLLER, C., WASINGER, R., STEINBERG, K., and DIRSCHL, A.: The connected user interface: Realizing a personal situated navigation service. Proceedings of the International Conference on Intelligent User Interfaces (IUI 2004); pp. 161–168. New York: ACM Press 2004. doi: 10.1145/964442.964473
- LI, K. Z. H., and LINDENBERGER, U.: Relations between aging sensory/sensorimotor and cognitive functions. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews* 26, 777–783 (2002)
- LI, S.-C.: Biocultural orchestration of developmental plasticity across levels: The interplay of biology and culture in shaping the mind and behavior across the life span. *Psychological Bulletin* 129, 171–194 (2003)
- LI, S.-C., AGGEN, S., NESSELROADE, J. R., and BALTES, P. B.: Short-term fluctuations in elderly people's sensorimotor functioning predict text and spatial memory performance. *Gerontology* 47, 100–116 (2001 a)
- LI, S.-C., LINDENBERGER, U., and SIKSTRÖM, S.: Aging cognition: From neuromodulation to representation. *Trends in Cognitive Science* 5, 479–486 (2001 b)
- LINDENBERGER, U.: Technologie im Alter: Chancen aus Sicht der Verhaltenswissenschaften. In: GRUSS, P. (Ed.): *Die Zukunft des Alterns*. S. 220–239. München: C. H. Beck 2007
- LINDENBERGER, U., MARSISKE, M., and BALTES, P. B.: Memorizing while walking: Increase in dual-task costs from young adulthood to old age. *Psychology and Aging* 15, 417–436 (2000)
- LINDENBERGER, U., and LÖVDÉN, M.: Co-constructing human engineering technologies in old age: Lifespan psychology as a conceptual foundation. In: BALTES, P. B., REUTER-LORENZ, P. A., and RÖSLER, F. (Eds.): *Lifespan Development and the Brain: The Perspective of Biocultural Co-Constructivism*; pp. 350–375. New York: Cambridge University Press 2006
- LINDENBERGER, U., and OERTZEN, T. VON: Variability in cognitive aging: From taxonomy to theory. In: CRAIK, F. I. M., and BIALYSTOK, E. (Eds.): *Lifespan Cognition: Mechanisms of Change*; pp. 297–314. Oxford, UK: Oxford University Press 2006
- LOPRESTI, E. F., MIHAILIDIS, A., and KIRSCH, N.: Assistive technology for cognitive rehabilitation: State of the art. *Neuropsychological Rehabilitation* 14, 5–39 (2004)
- LÖVDÉN, M., GHISLETTA, P., and LINDENBERGER, U.: Social participation attenuates decline in perceptual speed in old and very old age. *Psychology and Aging* 20, 423–434 (2005 a)
- LÖVDÉN, M., SCHELLENBACH, M., GROSSMAN-HUTTER, B., KRÜGER, A., and LINDENBERGER, U.: Environmental topography and postural control demands shape aging-associated decrements in spatial navigation performance. *Psychology and Aging* 20, 683–694 (2005 b)
- MAGUIRE, E. A., GADIAN, D. G., JOHNSTRUDE, I. S., GOOD, C. D., ASHBURNER, J., FRACKOWIAK, R. S. J., and FRITH, C. D.: Navigation-related structural change in the hippocampi of taxi drivers. Proceedings of the National Academy of Sciences USA 97, 4398–4403 (2000)
- MÄNTYLÄ, T.: Optimizing cue effectiveness: Recall of 500 and 600 incidentally learned words. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition* 12, 66–71 (1986)
- MELENHORST, A.-S., ROGERS, W. A., and BOUWHUIS, D. G.: Older adults' motivated choice for technological innovation: Evidence for benefit-driven selectivity. *Psychology and Aging* 21, 190–195 (2006)
- MYNATT, E. D., and ROGERS, W. A.: Developing technology to support functional independence of older adults. *Ageing International* 27, 24–41 (2001)
- NESSSELROADE, J. R.: The warp and the woof of the developmental fabric. In: DOWNS, R. M., LIBEN, L. S., and PALERMO, D. S. (Eds.): *Visions of Aesthetics, the Environment and Development: The Legacy of Joachim Wohlwill*; pp. 213–240. Hillsdale, NJ: Erlbaum 1991
- NEWELL, A. F., CARMICHAEL, A., GREGOR, P., and ALM, N.: Information technology for cognitive support. In: JACKO, J. A., and SEARS, A. (Eds.): *The Human–Computer Interaction Handbook: Fundamentals, Evolving Technologies, and Emerging Applications*; pp. 464–481. Mahwah, NJ: Erlbaum 2003
- NYBERG, L., SANDBLOM, J., JONES, S., NEELY, A. S., PETERSSON, K. M., INGVAR, M. I., and BACKMAN, L.: Neural correlates of training-related memory improvement in adulthood and aging. Proceedings of the National Academy of Sciences USA 100, 13728–13733 (2003)
- OEPPE, J., and VAUPEL, J. W.: Demography. Broken limits to life expectancy. *Science* 296, 1029–1031 (2002)
- PARADISE, J., MYNATT, E. D., WILLIAMS, C., and GOLDTHWAITE, J.: Designing a cognitive aid for the home: A case-study approach. Proceedings of the 6th International ACM/SIGCAPH Conference on Assistive Technologies; pp. 140–146. New York: ACM Press 2004. doi: 10.1145/1028630.1028656
- PARK, D. C., and SKURNIK, I.: Aging, cognition, and patient errors in following medical instructions. In: BOGNER, M. S. (Ed.): *Misadventures in Health Care: Inside Stories*; pp. 165–181. Mahwah, NJ: Erlbaum 2004
- PASCUAL-LEONE, A., AMENDI, A., FREGNI, F., and MERABET, L. B.: The plastic human brain cortex. *Annual Reviews of Neuroscience* 28, 377–401 (2005)

- PEW, R., and HEMEL, S. V. (Eds.): *Technology for Adaptive Aging*. Washington, DC: National Academies Press 2004
- RIEDIGER, M., LI, S.-C., and LINDENBERGER, U.: Selection, optimization, and compensation (SOC) as developmental mechanisms of adaptive resource allocation: Review and preview. In BIRREN, J. E., and SCHAIK, K. W. (Eds.): *Handbook of the Psychology of Aging*. 6th ed., pp. 289–313. Amsterdam: Elsevier 2006
- SCHÄFER, S., HUXHOLD, O., and LINDENBERGER, U.: Healthy mind in healthy body? A review of sensorimotor-cognitive interdependencies in old age. *European Review of Aging and Physical Activity* 3, 45–54 (2006)
- SCHÖNPFUG, W.: Improving efficiency of action control through technical and social resources. In: KOFTA, M., WEARY, G., and SEDEK, G. (Eds.): *Personal Control in Action*; pp. 299–314. New York: Plenum Press 1998
- STAHL, C., BAUS, J., BRANDHERM, B., SCHMITZ, M., and SCHWARTZ, T.: Navigational- and shopping assistance on the basis of user interactions in intelligent environments. *Proceedings of the IEE International Workshop on Intelligent Environments (IE 2005)*. Colchester, UK: University of Essex 2005
- TULVING, E., and THOMPSON, D. M.: Encoding specificity and retrieval processes in episodic memory. *Psychological Review* 80, 352–373 (1973)
- VANDERHEIDEN, G.: Fundamental principles and priority setting for universal usability. *Proceedings of the Conference on Universal Usability*. pp. 32–37. Arlington, VA: ACM Press 2000. doi: 10.1145/355460.355469
- WADDINGTON, C. H.: *The Evolution of an Evolutionist*. Edinburgh: Edinburgh University Press 1975

Prof. Dr. Ulman LINDENBERGER
Forschungsbereich Entwicklungspsychologie
Max-Planck-Institut für Bildungsforschung
Lentzeallee 94
14195 Berlin
Bundesrepublik Deutschland
Tel.: +49 30 82406572
Fax: +49 30 8249939
E-Mail: seklindenberger@mpib-berlin.mpg.de

Dr. Martin LÖVDÉN²
Sofja-Kovalevskaja-Forschungsgruppe zur Plastizität von Gehirn
und Verhalten im jungen und alten Erwachsenenalter
Max-Planck-Institut für Bildungsforschung
Lentzeallee 94
14195 Berlin
Bundesrepublik Deutschland
Tel.: +49 30 82406216
Fax: +49 30 8249939
E-Mail: loevden@mpib-berlin.mpg.de

Dipl.-Inform. Michael SCHELLENBACH
Forschungsbereich Entwicklungspsychologie
Max-Planck-Institut für Bildungsforschung
Lentzeallee 94
14195 Berlin
Bundesrepublik Deutschland
Tel.: +49 30 82406296
Fax: +49 30 8249939
E-Mail: schellenbach@mpib-berlin.mpg.de

2 Auch Department of Psychology, Lund University, Sweden.

Prof. Dr. Shu-Chen LI
Forschungsbereich Entwicklungspsychologie
Max-Planck-Institut für Bildungsforschung
Lentzeallee 94
14195 Berlin
Bundesrepublik Deutschland
Tel.: +49 30 82406256
Fax: +49 30 8249939
E-Mail: shuchen@mpib-berlin.mpg.de

Prof. Dr. Antonio KRÜGER
Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz GmbH (DFKI)
Campus D3 2
Stuhlsatzenhausweg 3
66123 Saarbrücken
Bundesrepublik Deutschland
Tel.: +49 6 81 857755006
Fax: +49 6 81 857755020
E-Mail: antonio.krueger@dfki.de

Förderung kognitiver Aktivität im Alter: Internet-basierte Trainingsprogramme

Florian SCHMIEDEK (Berlin/Frankfurt am Main), Colin BAUER (Berlin),
Martin LÖVDÉN (Berlin/Lund), Annette BROSE (Berlin)
und Ulman LINDENBERGER (Berlin)

Mit 2 Abbildungen und 3 Tabellen

Zusammenfassung

Die Forschung hat gezeigt, dass Lebensstile mit ausgeprägter kognitiver Aktivität mit weniger starken Abnahmen kognitiver Fähigkeiten im Alter einhergehen. Neuere kognitive Interventionsstudien weisen auf positive Transfer-effekte auf untrainierte Aufgaben der gleichen Fähigkeit hin. Daher könnten computer-basierte kognitive Trainingsprogramme, die intensives und tägliches kognitives Üben ermöglichen, Senioren helfen, ihre kognitive Leistungsfähigkeit aufrechtzuerhalten oder zu verbessern. In diesem Beitrag wird die Zielsetzung und Umsetzung einer internet-basierten Trainingsumwelt mit vielen verschiedenen Aufgaben vorgestellt. Die Aufgaben beanspruchen die Wahrnehmungsgeschwindigkeit, das episodische und das Arbeitsgedächtnis im verbalen, numerischen und figural-räumlichen Inhaltsbereich. Die Trainingsumwelt wurde als plattformunabhängige internet-basierte Testsoftware implementiert und in der sogenannten COGITO-Studie eingesetzt, um die intraindividuelle Variabilität und Plastizität bei 101 jüngeren (20- bis 31-jährigen) und 103 älteren (65- bis 80-jährigen) Erwachsenen über durchschnittlich 100 tägliche einstündige Übungssitzungen hinweg festzustellen. Zusammen mit Selbsteinschätzungen zeigen die Beobachtungen dieser Studie, dass unsere Trainingssoftware einsetzbar ist und von den Nutzern gut angenommen wird. In Zukunft sollten der Einsatz adaptiver Algorithmen, detailliertere individuelle Rückmeldungen und die Etablierung einer internet-basierten Kommunikationsplattform für Anwender untersucht werden.

Abstract

Lifestyles with a high level of cognitive activity have been linked to weaker declines in cognitive abilities with aging, with some recent cognitive intervention studies suggesting positive transfer effects to untrained tests of the same ability. Hence, computer-based cognitive training programs that facilitate intense daily cognitive practice may help older adults to maintain and improve their cognitive functioning. In this chapter, we present the rationale for and implementation of an internet-based training environment that includes tasks to improve perceptual speed, episodic memory, and working memory from verbal, numerical, and figural-spatial content domains. The program is implemented as a platform-independent internet-based testing software. The program was used in the COGITO study to investigate intraindividual variability and plasticity in 101 younger (aged 20–31) and 103 older adults (aged 65–80) across an average of 100 daily practice sessions of around one hour each. Observations from this study and self-report evaluations after testing demonstrate the program's feasibility and acceptance among participants. Future research directions include the development of adaptive algorithms, more detailed individual feedback, and the establishment of an internet-based communication platform.

1. Die Plastizität der kognitiven Leistungsfähigkeit im höheren Alter

Das Nachlassen kognitiver Fähigkeiten im Laufe des Erwachsenenalters kann bei einer wachsenden Anzahl älterer Menschen zu Einschränkungen von Alltagsaktivitäten führen

und das selbstständige Leben gefährden. Jede Intervention, die kognitive Verluste umkehren oder zumindest verlangsamen könnte, hat daher ein großes Potential zur Verbesserung der Alltagskompetenz im Alter und zur Verzögerung von Pflegebedürftigkeit (KRAMER und WILLIS 2002). Entsprechend gibt es von wissenschaftlicher und kommerzieller Seite wachsendes Interesse, erfolgreiche Interventionen zur Verbesserung kognitiver Funktionen im höheren Alter zu entwickeln. Fast drei Jahrzehnte lang hat sich eine wichtige Forschungsrichtung mit Verhaltensplastizität durch kognitives Training beschäftigt. Frühe Ansätze beleuchteten Potentiale und Grenzen, durch Instruktionen und Trainings von Strategien Verbesserungen des episodischen Gedächtnisses und der fluiden Intelligenz zu erzielen. Obwohl diese Untersuchungen erfolgreich das Potential zur Leistungsverbesserung bis zum sehr hohen Alter zeigen, gelang es ihnen oft nicht, einen Transfer auf untrainierte Aufgaben nachzuweisen, bei denen die eingeübten Strategien nicht eingesetzt werden konnten (BALTES und LINDENBERGER 1988, VERHAEGHEN et al. 1992, BALL et al. 2002).

Neuere Ansätze können grob folgendermaßen kategorisiert werden: solche, die auf spezifische kognitive Funktionen mit vermuteter grundlegender Bedeutung für verschiedene kognitive Aktivitäten abzielen, und solche, die versuchen, mit einem breiteren Spektrum ausgewählter Aufgaben den großen Raum der kognitiven Fähigkeiten abzudecken. Die erste Ansatzgruppe umfasst Trainingsprogramme, die auf eine Verbesserung des Arbeitsgedächtnisses (z. B. KLINGBERG et al. 2002, DAHLIN et al. 2008, JAEGGI et al. 2008, KARBACH und KRAY 2009), der sensorischen Unterscheidungsfähigkeit (MAHNCKE et al. 2006) oder der visuellen Verarbeitungsgeschwindigkeit (BALL et al. 2007) abzielen. Einige dieser Ansätze brachten bereits vielversprechende Ergebnisse. Jedoch gibt es noch keine eindeutige empirische Evidenz zur Frage, ob diese Verfahren tatsächlich wesentliche Prozesse oder Mechanismen beeinflussen und damit zu einer Verbesserung des allgemeinen Niveaus der kognitiven Leistungsfähigkeit führen können.

Der zweiten Gruppe von Ansätzen liegen Befunde zu Grunde, dass Lebensstile mit einem hohen Niveau kognitiver Aktivität mit geringeren kognitiven Verlusten im Alter einhergehen (z. B. LÖVDÉN et al. 2005, GHISLETTA et al. 2006, HERTZOG et al. 2009). Sie sind dadurch charakterisiert, dass sie die kognitiven Komponenten aktiver Lebensstile durch Aufgaben anregen, welche verschiedene kognitive Fähigkeiten beanspruchen oder vielseitige Aktivierung in verschiedenen Hirnarealen auslösen (z. B. *BrainAge* von Nintendo, vgl. Website). Die meisten dieser Ansätze nutzen computerisierte Aufgaben, die Anwender über etliche Sitzungen üben können.

Dieser Beitrag sieht im Folgenden davon ab, vorhandene Trainingsprogramme zu evaluieren, und wendet sich dem Ziel zu, folgende Aspekte darzustellen:

- allgemeine Prinzipien der Programmentwicklung,
- Vorteile internet-basierter Ansätze,
- einige Ergebnisse einer großen Studie, die die Durchführbarkeit solcher internet-basierter kognitiver Trainingsprogramme veranschaulichen.

2. Prinzipien kognitiver Trainingsprogramme

Allgemein kann die Frage danach, wie eine Trainingssoftware konzipiert sein sollte, die für ältere Menschen geeignet ist, durch drei Prinzipien beantwortet werden, die LINDENBERGER et al. (2008, vgl. Kapitel 1 in diesem Band) als Vorgabe für erfolgreiche Alternstechnolo-

gien erläutern. Diese Autoren schlagen eine Evaluierung solcher Technologien unter Anwendung folgender Kriterien vor:

- (a) Positive Ressourcenbilanz,
- (b) hoher Individualisierungsgrad und
- (c) Erhalt der Alltagskompetenz und Förderung von Entwicklungspotential.

Das erste Prinzip einer positiven Ressourcenbilanz besagt, dass Technologie für ältere Menschen mehr kognitive Ressourcen freisetzen sollte, als für ihren Einsatz erforderlich sind. Dies trifft auf Trainingsprogramme in verschiedener Weise zu. Einerseits ist es gerade das Ziel von kognitiven Trainings, kognitive Leistungen herauszufordern. In diesem Sinne stellen kognitive Trainingsprogramme einen Sonderfall von Alternstechnologie dar, weil Ressourcen verbraucht und nicht freigesetzt werden. Der Einsatz kognitiver Ressourcen sollte jedoch unter experimenteller Kontrolle stehen; d. h., er sollte auf die Erfüllung der Aufgaben beschränkt sein und durch Parameter kontrolliert werden, die die Aufgabenschwierigkeit definieren. Dabei sollten die Aufgabeninstruktionen und die Softwarebedienung möglichst einfach sein, so dass die vorhandenen kognitiven Ressourcen so vollständig wie möglich in die Aufgabenausübung investiert werden können.

Beim zweiten Prinzip – ein hoher Individualisierungsgrad – geht es darum, dass Alternstechnologien spezifische Unterstützungsstrukturen bieten sollten, die dem Verhalten des Nutzers angepasst sind. Im Falle der kognitiven Trainingsprogramme bezieht es sich auf eine hohe Individualisierbarkeit von Anforderungen. In Anbetracht der enormen Unterschiede zwischen Menschen bezüglich ihrer vorhandenen kognitiven Ressourcen und ihrer plastischen Kapazität muss Trainingssoftware die Aufgabenschwierigkeit an den Fähigkeiten jedes Nutzers ausrichten können, am besten auf eine adaptive Weise, um sich intra-individuellen Veränderungen aufgrund zunehmender Übung sowie Leistungsfluktuationen anpassen zu können. Jede gestellte kognitive Aufgabe sollte jeden individuellen Teilnehmer zu jeder Zeit zu einem Zustand mentaler Aktivität herausfordern, der weit vom Standardzustand entfernt sein kann, aber noch zu bewältigen sein sollte. Dies ist deshalb wichtig, weil kognitive Systeme, die mühelos auf eine Anforderungsänderung reagieren können (d. h., die Aufgabe ist zu einfach), oder Systeme, die nicht in der Lage sind, auf veränderte Umwelthanforderungen zu antworten (d. h., die Aufgabe ist zu schwer), keine anpassungswürdige Herausforderung erfahren.

Das dritte Prinzip – Erhalt der Alltagskompetenz und Förderung von Entwicklungspotential – weist auf die Notwendigkeit hin, langfristige Vorteile sowie Risiken der Alternstechnologie zu evaluieren. Bei kognitiven Trainingsprogrammen sind andauernde Verbesserungen kognitiver Fähigkeiten ein langfristiges Ziel. Betont werden muss jedoch, dass die Frage, ob ein kognitives Trainingsprogramm das Versprechen langfristiger Verbesserungen in alltagsrelevanten kognitiven Fähigkeiten einlöst, nur empirisch mit Interventionsstudien beantwortet werden kann und bis jetzt nicht abschließend beantwortet worden ist (HERTZOG et al. 2009). Wenn keine derartigen Auswirkungen auf lebensnahe Bereiche festgestellt werden können, werden die Alternativkosten – dass die für das Training aufgewendete Zeit nicht für andere und hilfreichere Aktivitäten aufgebracht wurde – ein nicht zu vernachlässigendes Problem.

Auf einem spezifischeren Niveau können diese Prinzipien zusammen mit den empirischen Befunden aus kognitiven Trainingsinterventionen verwendet werden, um einige unwünschenswert erscheinende Charakteristiken kognitiver Trainingsprogramme zusammen-

zustellen. Zunächst halten wir es für nötig, dass die Förderung kognitiver Aktivität via Training computerisierter Aufgaben sowohl in die Tiefe als auch in die Breite gehen muss, um das Potential zur Verbesserung kognitiver Leistungsfähigkeit auf einer allgemeineren Ebene zu nutzen. Die Lösung der Aufgaben muss deshalb über viele Sitzungen hinweg herausfordernd bleiben. Daraus ergibt sich die Anforderung (a) einer großen, vorzugsweise unbegrenzten Anzahl von Items, deren Schwierigkeitsgrad kontrolliert ist, und (b) der Entwicklung adaptiver Algorithmen, die individuell passende Schwierigkeitsgrade festlegen.

Zweitens sollte das Training verschiedene Aufgaben umfassen. Ob diese eine oder mehrere kognitive Fähigkeiten ansprechen und welche es sein sollten, sind Fragen, die durch experimentelle Interventionsstudien beantwortet werden müssen. Es ist jedoch nötig, die angezielten Fähigkeiten mit verschiedenartigen Paradigmen und Aufgaben zu operationalisieren, um zu vermeiden, dass es beim Training nur um die Entwicklung der automatischen Anwendung von aufgabenspezifischen Strategien geht. Neben der Nutzung verschiedener Paradigmen können ähnliche Aufgaben verschiedenen Inhaltsmaterials verwendet werden, weil Strategien oft stark an Kontext und Inhalt gebunden sind.

Als drittes Merkmal ist es wichtig, sofortige Rückmeldung in das Trainingsprogramm zu integrieren, um den Nutzerbedürfnissen nach Feedback über ihren Trainingserfolg zu entsprechen und ihr Selbstkonzept durch eine Objektivierung ihres Fortschrittes zu stärken (siehe LACHMAN 2006). Feedback könnte auch für den gezielten Trainingseinsatz entscheidend sein: Erwünschtes Verhalten (z. B. große Einsatzbereitschaft) wird verstärkt, und unerwünschtes Verhalten (z. B. geringe Einsatzbereitschaft) kann erkannt und korrigiert werden (BUTLER und WINNE 1995).

3. Internet-basierte Technologie zur Förderung kognitiver Aktivität

Obwohl alle oben aufgeführten Prinzipien auch mit eigenständiger Software umgesetzt werden könnten, hat die Wahl eines internet-basierten Ansatzes zur Entwicklung von kognitiven Trainingsprogrammen große Vorteile. Er erlaubt die ständige Einführung neuer Aufgaben und Aufgabenfassungen, ohne dass immer wieder neue Programmversionen hochgeladen werden müssen. Für wissenschaftliche Zwecke erlaubt dieser Ansatz die Speicherung der Daten in einer zentralen Datenbank und ihre Nutzung zur Evaluation und Optimierung sowie zur laufenden Kontrolle der Wirksamkeit des Programms. Des Weiteren besteht das Potential, Webgemeinschaften zum Austausch über Trainingserfahrungen zu bilden. Ein möglicher Nachteil könnte sein, dass nicht jeder Internetzugang hat. Wir halten es aber für wahrscheinlich, dass in naher Zukunft die meisten älteren Personen mit einem Computer auch auf das Internet zugreifen können.

Hinsichtlich der Technologie gibt es verschiedene Wege, ein internet-basiertes Programm zu implementieren. Man kann zum Beispiel eine Website aufbauen, die alle notwendigen Komponenten wie Sitzungsgenerierung, Gemeinschaftsmerkmale und Aufgabendarbietung auf dem Bildschirm umfasst. Die Hauptvorteile eines solchen Ansatzes sind die Plattformunabhängigkeit durch die Realisierung als eine Webanwendung, Stabilität des visuellen Designs und die Einfachheit der Anwendung als Ergebnis eines vereinheitlichten Rahmens. Der Hauptnachteil ist der Mangel an Kontrolle über den Computer des Anwenders, vor allem über den Bildschirm, die Zeittaktung und Eingabegeräte. Dies kann durch Installation eines Programms auf dem lokalen Computer vermieden werden, das die Aufga-

ben auf dem Bildschirm darbietet. Eine besonders elegante Lösung ist der kombinierte Einsatz von *Java*, einer plattform-unabhängigen Programmiersprache, und der *Java-WebStart*-Technologie. In diesem Fall ist das *Java*-Programm nur auf der Website installiert, und *WebStart* aktualisiert die lokale Programmversion automatisch, wenn eine Modifikation erkannt wird. Auf diese Weise können die Vorteile einer internet-basierten Anwendung mit denjenigen einer lokalen Durchführung auf einem Anwendercomputer kombiniert werden.

4. Entwicklung einer kognitiven Trainingsumwelt: Die COGITO-Studie

Das zentrale Ziel der COGITO-Studie war die breite und multivariate Untersuchung von verschiedenen Ebenen intraindividuelle Variabilität in kognitiver Leistungsfähigkeit (LINDENBERGER et al. 2007). Es sollten die systematischen Beziehungen von Plastizität und Variabilität von Tag zu Tag in verschiedenen kognitiven Fähigkeiten sowie interindividuelle und altersassoziierte Unterschiede in diesen Beziehungen untersucht werden. Dies erforderte die Entwicklung einer Testumgebung, die einige der oben genannten Prinzipien erfüllte. Insbesondere war es nötig, den kognitiven Fähigkeitsraum breit abzudecken, Algorithmen zur automatisierten Generierung einer unbeschränkten Anzahl von Items für jede Aufgabe zu entwickeln, Aufgabenparameter zu kontrollieren, die ihren Schwierigkeitsgrad beeinflussen, diese Schwierigkeitsgrade zu individualisieren und Studienteilnehmern Feedback zu ihrer täglichen Leistung zu geben. Darüber hinaus wurde entschieden, die Testumgebung auf internet-basierter Technologie zu bauen, um in der Zukunft ein breit zugängliches kognitives Trainingsprogramm zur Verfügung stellen zu können.

4.1 Aufgabenentwicklung

In der COGITO-Studie versuchten wir, Aufgaben einzusetzen, die wichtige Bereiche des Fähigkeitsraums abdecken, der aus der Forschung zur menschlichen Kognition bekannt ist (für einen umfassenden Überblick siehe CARROLL 1993), und implementierten diese Aufgaben in verschiedenen Inhaltsmodalitäten. Außerdem entschieden wir uns, das Arbeitsgedächtnis einzubeziehen, weil es mit der fluiden Intelligenz eng verwandt ist (KANE et al. 2005, OBERAUER et al. 2005, SCHMIEDEK et al. 2009). Fluide Intelligenz ist eine Fähigkeit, die für alle möglichen Aktivitäten des Problemlösens im Alltag zentral ist. Zugleich ist es viel einfacher, zahlreiche Arbeitsgedächtnisaufgaben zu generieren als Items zur Messung der fluiden Intelligenz. Hinzu kommt, dass vielversprechende Ergebnisse aus Arbeitsgedächtnistrainings kürzlich von einigen Forschergruppen veröffentlicht wurden (KLINGBERG et al. 2005, DAHLIN et al. 2008, JÄGGI et al. 2008, KARBACH und KRAY 2009).

Bei der Aufgabenauswahl wurde eine Facettenstruktur angewandt, die Wahrnehmungsgeschwindigkeit, episodisches Gedächtnis und Arbeitsgedächtnis mit den Inhaltsbereichen verbalen, numerischen und figural-räumlichen Aufgabenmaterials kreuzklassifiziert (vgl. GUILFORD 1956, JÄGER 1982). Dies ergab 12 Aufgaben (pro Inhaltsbereich jeweils eine für Arbeitsgedächtnis, eine für episodisches Gedächtnis und zwei für Wahrnehmungsgeschwindigkeit; siehe Abb. 1). In Anbetracht der engen Beziehung zwischen interindividuellen Unterschieden im Arbeitsgedächtnis und der weitgefassten Fähigkeit der fluiden Intelligenz stellt diese Aufgabenauswahl eine umfassende Stichprobe aus dem kognitiven Fähigkeitsraum dar. Des Weiteren erlaubte dieser Aufgabensatz einen Wechsel zwischen komplexeren Aufgaben

zum episodischen und Arbeitsgedächtnis und einfacheren Geschwindigkeitsaufgaben und förderte die wiederholte Aufgabenbearbeitung, indem einbezogen wurde, dass verschiedene Menschen verschiedene Verarbeitungsprozesse und Inhaltsbereiche vorziehen.

	Verbal	Numerisch	Figural-Räumlich
Wahrnehmungsgeschwindigkeit	Vergleichsaufgaben		
	Wahlreaktionsaufgaben		
Episodisches Gedächtnis	Wortlisten	Zahl-Wort-Paare	Gegenstände merken
Arbeitsgedächtnis	Alpha Span	Memory Updating	3-Zurück

Abb. 1 Theoretische Facettenstruktur der täglich geübten Aufgaben in der COGITO-Studie

Für jede Aufgabe wurden umfangreiche Bemühungen angestellt, die Parameter zu steuern, die den Schwierigkeitsgrad bestimmen. Dies hatte zwei Gründe. Zunächst mussten Parameter über Sitzungen hinweg festgesetzt werden, um Leistungswerte zu erhalten, die über verschiedene Tage vergleichbar bleiben. Zum Beispiel wurden Wortlisten in der Aufgabe zum verbalen episodischen Gedächtnis so zusammengestellt, dass über Listen hinweg die Worthäufigkeit, Wortlänge, emotionale Valenz und Vorstellbarkeit kontrolliert waren. Auf diese Weise war es auch möglich, Teilnehmern am Ende jeder Sitzung ein valideres Feedback zu geben als bei zufälliger Auswahl der Wörter. Zweitens wurden einige der Parameter genutzt, um den Schwierigkeitsgrad an individuelle Fähigkeitsniveaus anzupassen. Dies wurde erreicht, indem die Darbietungszeiten bei Aufgaben zum episodischen und Arbeitsgedächtnis auf der Basis von Zeit-Genauigkeits-Funktionen eingestellt wurden (Kliegl et al. 1994). Diese wurden für jeden Teilnehmer in den Prätestsitzen so bestimmt, dass die Genauigkeitsniveaus über dem Zufall lagen, aber niedrig genug waren, starke Verbesserungen zu ermöglichen, ohne Deckeneffekte zu erzielen. Diese individualisierten Präsentationszeiten wurden über die 100 Sitzungen der Studie beibehalten, um individuelle Zeitreihen zu erhalten, die als Ganzes analysiert werden können (siehe Abb. 2). Zur Optimierung der Trainingsgewinne wird es nötig sein, die Individualisierung der Schwierigkeitsgrade so weiterzuentwickeln, dass sie sich dynamisch individuellen Verbesserungen anpassen und die kognitiven Anforderungen auf einem konstant hohen, aber erreichbaren Niveau halten.

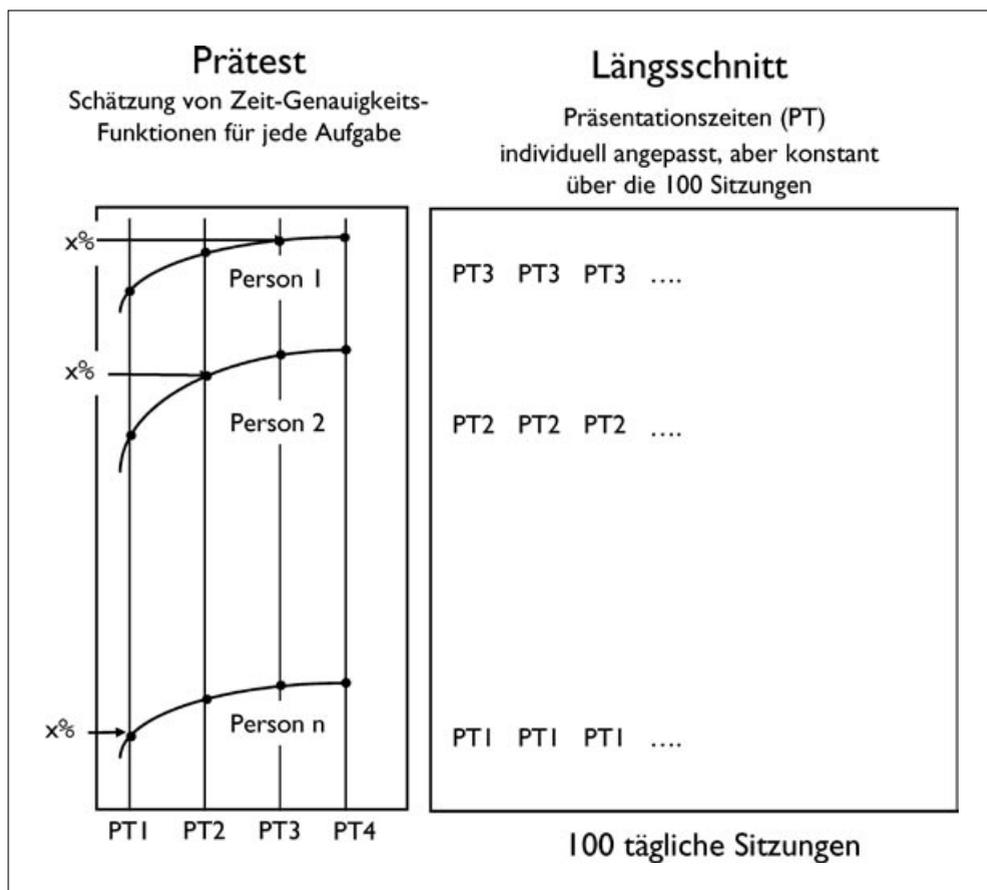


Abb. 2 Darstellung des Verfahrens zur Einstellung der individuellen Präsentationszeiten für die episodischen und Arbeitsgedächtnisaufgaben mit Hilfe von Zeit-Genauigkeits-Funktionen. Diese Funktionen wurden an die Prätestleistungen jedes Teilnehmers bei verschiedenen Präsentationszeiten angepasst. Die individuellen Präsentationszeiten wurden dann so ausgewählt, dass ein hoher, aber erreichbarer Schwierigkeitsgrad erreicht wurde.

4.2 Technische Umsetzung

Aus den bereits genannten Gründen bestand die Software aus zwei verschiedenen Komponenten, einer Website, die die Herstellung der Aufgaben für die Sitzungen übernahm, und einer *Java*-Applikation zur Darbietung der Reize auf dem Bildschirm. Die Website wurde mit dem frei verfügbaren, in *PHP* geschriebenen Content-Management-System (CMS) *e107* (Version 0.6175, siehe Website) eingerichtet. Wir erweiterten das CMS mit unseren eigenen Plug-ins zur Herstellung der Aufgaben und der entsprechenden Stimuli und zur Generierung von Sitzungen und zum Teilnehmermanagement. Die zweite Komponente war ein in *Java* (Sun Microsystems, Version 1.5) geschriebenes Programm, das die Sitzungen auf dem Bildschirm darbot. Das Programm wurde auf dem Anwendercomputer durch *Java WebStart* (Sun Microsystems) ausgeführt, einer Technologie, die *Java*-Applikationen von einer Website lädt und sie als lokale Programme umsetzt. Die beiden Komponenten kommunizierten durch

eine gemeinsame Datenbank, in der die Website die hergestellten Reize speicherte und von der das *Java*-Programm die täglichen Sitzungen und Reize laden sowie die Daten von den Teilnehmern speichern konnte. Die Datenbank wurde von einem *MySQL*-Server (Sun Microsystems, Version 4.1.8), einer frei verfügbaren „Open source“-Datenbank, betrieben.

4.3 Studiendesign, Durchführung und Stichprobe

Teilnehmer wurden durch Zeitungsanzeigen, Mund-zu-Mund-Werbung sowie durch Informationsblätter rekrutiert, welche in Universitätsgebäuden, Gemeindeorganisationen und lokalen Geschäften verteilt wurden. Die Anzeigen sprachen Personen an, die an der Übung von kognitiven Aufgaben an 4–6 Tagen pro Woche über eine Periode von sechs Monaten Interesse hatten. Honorare wurden erwähnt, aber keine Details über die Summe. Einige Schritte waren erforderlich, um in die Studie aufgenommen zu werden. Zunächst erhielten Interessenten bei Telefoninterviews Auskünfte über die Studie, und es wurde geprüft, ob sie die Anforderungen für die Teilnahme erfüllten, insbesondere in Bezug auf den zeitlichen Aufwand. Teilnahmekandidaten wurden dann zurückgerufen und zu einer einstündigen Einführungsgruppensitzung eingeladen, um mehr Information über die Studie zu erhalten. Dort wurden die allgemeinen Ziele der Studie erläutert und detaillierte Informationen zu den Leistungsanreizen gegeben. Der Zahlen-Symbol-Test und ein Fragebogen zu soziodemographischen Variablen wurden eingesetzt. Interessenten konnten sich am Ende dieser Sitzung für die Studie eintragen. Die Teilnehmer absolvierten dann 10 Tage lang den Prätest, der in Gruppensitzungen abgehalten wurde (je 2–2,5 Stunden). Er umfasste zahlreiche Selbstberichtsfragebogen und Verhaltenstests. Zum Teil glichen sie denjenigen in den täglichen Sitzungen, zum Teil handelte es sich aber auch um Aufgaben, mit denen Transfer festgestellt werden sollte. Während der längsschnittlichen Trainingsphase kamen die Teilnehmer jede Woche zu täglichen Sitzungen (1–1,5 Stunden) an bis zu sechs Wochentagen (einschließlich Samstagen). Die Teilnehmer arbeiteten dann, jeder für sich, in Räumen mit drei bis sechs Arbeitsplätzen die Aufgaben durch. Am Ende jeder Sitzung bekamen sie Rückmeldungen über ihre Leistung in allen Aufgaben, einschließlich der erzielten mittleren Genauigkeiten und Reaktionszeiten. Sie konnten auch Ausdrücke zum Mitnehmen bekommen.

Beim Posttest wurden erneut 10 Gruppensitzungen (je 1,5–2 Stunden) mit Wiederholungen der Prätestaufgaben und zusätzlichen Selbstberichtsfragebogen durchgeführt. Diese Posttest Sitzungen enthielten auch retrospektive Bewertungen der Studie und ihrer wahrgenommenen Wirksamkeit hinsichtlich Kriterien des alltäglichen Lebens. Ergebnisse zu diesen subjektiven Bewertungen stammen von insgesamt 204 Teilnehmern, die die längsschnittliche Phase der Studie absolvierten: 101 jüngere (51,5% Frauen; Alter: 20–31, $M = 25,6$, $SD = 2,7$) und 103 ältere (49,5% Frauen; Alter: 65–80, $M = 71,3$, $SD = 4,1$) Erwachsene, die im Mittel 101 Trainingssitzungen über eine mittlere Periode von 192 Tagen durchführten.

4.4 Aufgaben

4.4.1 Wahrnehmungsgeschwindigkeit: Wahlreaktionsaufgaben

Bei diesen Aufgaben sollten die Teilnehmer so schnell wie möglich entscheiden, ob Zahlen gerade oder ungerade, Buchstaben Konsonanten oder Vokale und Linienkombinationen

symmetrisch oder unsymmetrisch waren, indem sie auf die passende Taste (links oder rechts) auf einer Tastatur drückten. Alle drei Reaktionszeitaufgaben basierten auf dem gleichen Reizlayout: den sieben Linien der Nummer „8“ wie sie auf Taschenrechnern dargestellt wird. Die zu erkennenden Reize wurden mit einem Reiz maskiert, der diese „Taschenrechner-8“ mit in alle Richtungen weiterführenden Linien verband. Die möglichen Maskierungszeiten betragen 2, 4 oder 8 Bildschirmzyklen (24, 47 oder 94 ms). In Abhängigkeit von der Leistung im Prätest wurden zwei der Maskierungszeiten (eine schnelle und eine langsame Bedingung) für jeden Teilnehmer ausgewählt. Jeder Durchlauf bestand aus 40 Reizen, 20 in der schnellen und 20 in der langsamen Bedingung. Die Reize entstammten zufallsgesteuert zwei Antwortkategorien. Zwei Durchgänge der Reaktionszeitaufgaben waren Teil der täglichen Sitzungen.

4.4.2 Wahrnehmungsgeschwindigkeit: Vergleichsaufgaben

Bei der numerischen Vergleichsaufgabe erschienen zwei Reihen aus fünf Zahlen, verteilt auf beide Seiten des Bildschirms. Teilnehmer mussten so schnell wie möglich entscheiden, ob beide Reihen gleich oder unterschiedlich waren. Die verbale Version der Aufgabe entsprach der numerischen mit einer Reihe von fünf Konsonanten. In der figuralen Fassung erschienen zwei „Fribbles“¹, farbige, aus verschiedenen Teilen zusammengesetzte dreidimensionale Objekte, rechts und links auf dem Bildschirm. Teilnehmer sollten so schnell wie möglich entscheiden, ob sie gleich oder unterschiedlich waren. In jeder Sitzung wurden zwei Durchgänge mit 40 Items der verbalen, numerischen und figuralen Aufgaben durchgeführt.

4.4.3 Episodisches Gedächtnis: Wortlisten

Listen von 36 Substantiven wurden sequentiell auf dem Bildschirm präsentiert, mit Präsentationszeiten, die individuell auf der Basis der Prätestleistungen eingestellt wurden und 1000, 2000 oder 4000 ms betragen. Das Inter-Stimulus-Intervall (ISI) dauerte 1000 ms. Die Wortlisten wurden so zusammengestellt, dass die Worthäufigkeiten, und -längen, Emotionsvalenz und Vorstellbarkeit über die Listen hinweg ausgeglichen waren. Nach der Präsentation mussten die ersten drei Buchstaben des betreffenden Wortes korrekt auf der Tastatur eingegeben werden. In jeder Sitzung wurden zwei Durchgänge vorgenommen.

4.4.4 Episodisches Gedächtnis: Zahl-Wort-Paare

Listen von 12 zweiziffrigen Zahlen und Substantiven im Plural (z. B. „22 Hunde“) wurden nacheinander präsentiert. Auch hier wurden die Darbietungszeiten auf der Grundlage der Prätestleistung individuell eingestellt und betragen 1000, 2000 oder 4000 ms. Das ISI war 1000 ms. Nach der Präsentation wurden die Substantive in zufälliger Reihenfolge dargeboten, und es sollten die passenden Zahlen eingegeben werden. Wieder wurden zwei Durchgänge pro Sitzung vorgenommen.

1 Für die Abbildungen der „Fribbles“ ist Michael J. TARR, Carnegie Mellon University (<http://www.tarrlab.org/>), zu danken.

4.4.5 Episodisches Gedächtnis: Gegenstände merken

Sequenzen von 12 Farbfotos von Alltagsgegenständen wurden an verschiedenen Stellen eines 6×6 Gitters gezeigt, wiederum mit individuell aufgrund der Prätestleistung angepassten Präsentationszeiten. Die Darbietungszeiten betragen 1000, 2000 oder 4000 ms. Das ISI war 1000 ms. Nach der Darbietung erschienen die Gegenstände am unteren Bildrand und sollten durch Mausklicks in der richtigen Reihenfolge an die richtige Stelle gebracht werden. Zwei Durchgänge gehörten zu jeder Sitzung.

4.4.6 Arbeitsgedächtnis: „Alpha Span“

Zehn Konsonanten in Großbuchstaben wurden nacheinander mit einer Zahl darunter gezeigt. Für jeden Buchstaben mussten die Teilnehmer so schnell wie möglich entscheiden, ob die Zahl der alphabetischen Position des Buchstabens innerhalb der bis dahin gezeigten Buchstabenserie übereinstimmte. Fünf der zehn Items waren Zielreize. Auch hier wurde die Darbietungszeit individuell angepasst und betrug 750, 1500 und 3000 ms. Das ISI war 500 ms. In jeder Sitzung fanden acht Durchgänge statt.

4.4.7 Arbeitsgedächtnis: „Memory updating“

In jeder von vier horizontal nebeneinander angeordneten Zellen wurde einzelne Ziffern (von 0 bis 9) gleichzeitig 4000 ms lang gezeigt. Nach einem ISI von 500 ms wurde eine Sequenz von acht Aktualisierungsoperationen in einer zweiten Reihe darunter angezeigt. Es handelte sich um Additionen und Subtraktionen von -8 bis $+8$, die auf die gemerkten Ziffern der oberen Zellen angewendet werden sollten. Die aktualisierten Ergebnisse mussten erinnert werden. Wie zuvor wurde die Darbietungszeit für jede Aktualisierungsoperation individuell auf der Basis der Prätestleistung angepasst. Sie betrug 500, 1250 oder 2750 ms mit einem ISI von 250 ms. Am Ende jedes Durchlaufs mussten die vier Endergebnisse in die vier Zellen der oberen Reihe eingetragen werden. Alle Zwischen- und Endresultate befanden sich zwischen 0 und 9. Acht Durchgänge gehörten zum täglichen Programm.

4.4.8 Arbeitsgedächtnis: „3-Zurück“

Eine Sequenz von 39 schwarzen Punkten erschien an verschiedenen Stellen eines 4×4 -Gitters. Teilnehmer mussten auf jeden Punkt reagieren und feststellen, ob sie an der gleichen Stelle erschienen wie der Punkt jeweils drei Schritte zuvor. Die Punkte erschienen an zufälligen Positionen, mit der Einschränkung, dass (a) 12 Items Zielreize waren, (b) Punkte nicht zweimal hintereinander an der gleichen Stelle erschienen, (c) genau drei Items 2-, 4-, 5- oder 6-Zurück-Köder waren, also Items, die an der gleichen Stelle erschienen wie die Items 2, 4, 5 oder 6 Schritte zuvor. Auch hier waren die Präsentationszeiten individuell an die Prätestleistung angepasst und betragen 500, 1500 und 2500 ms bei einem ISI von 500 ms. Vier Durchgänge wurden bei jeder Sitzung durchgeführt.

5. Ergebnisse zur Durchführbarkeit der computerisierten Förderung kognitiver Aktivität

Im Folgenden werden einige Ergebnisse vorgestellt, die die Umsetzbarkeit des entwickelten Trainingsprogramms und seiner Annahme durch die Teilnehmer veranschaulichen.

5.1 Teilnahme- und Abschlussraten

Ein wichtiger Aspekt eines erfolgreichen kognitiven Trainingsprogramms besteht darin, dass es Interesse und Motivation der Teilnehmer so aufrechterhält, dass sie ausdauernd üben. Die Abschlussraten der COGITO-Studie erlauben hierzu eine Bewertung. Zunächst wird überblicksartig in Tabelle 1 dargestellt, wie viele Personen die Studie aus verschiedenen Gründen abbrachen. Diese Übersicht gliedert sich entsprechend der Studienabschnitte.

Insgesamt war der Ausfall gering und die Rate erfolgreicher Teilnehmer entsprechend hoch. Wenn man die Personen ausschließt, die verzogen sind oder krank wurden, waren es nur 15 Personen, die ihre Teilnahme während der längsschnittlichen Phase aus Gründen abbrachen, die als Mangel an Interesse oder Motivation interpretiert werden könnten. Dies entspricht einer Ausfallrate von 6,8% (15 von 219) für diejenigen, die die täglichen Sitzungen begonnen hatten.

Tab. 1 Häufigkeiten des Studienabbruchs der COGITO-Studie nach Studienphase und Ausfallsbegründung

	Studienphase				Gesamt
	Nach der Einführungssitzung	Während des Prätests	Nach dem Prättest	Während der täglichen Phase	
Krankheit	1	0	0	4	5
Verzogen	0	0	0	5	5
Mangelndes Interesse	1	2	1	1	5
Zeitmangel	2	4	1	4	11
Ausschluss wegen unzuverlässiger Teilnahme	0	1	0	2	3
Ausschluss aus individuellen Gründen	2	1	1	0	4
Teilnahmebeendigung aus unbekanntem Gründen	4	2	4	8	18
Gesamt	10	10	7	24	51

Es muss jedoch betont werden, dass die starken finanziellen Anreize für die Teilnahme an den täglichen Sitzungen, die von 7 EUR zu Beginn bis 11 EUR zum Schluss der Studie reichten, plus Studienabschlussbonus in Höhe von 100 bis 500 EUR (abhängig von der Teilnahmehäufigkeit), es schwierig machen, diese hohen Teilnehmeraten allein auf Zufriedenheit mit dem Trainingsprogramm zurückzuführen. Eine andere Beobachtung unterstützt

aber unseren allgemeinen Eindruck, dass viele der älteren Teilnehmer ein starkes intrinsisches Interesse an dem Training hatten. Nach Studienabschluss boten wir den Teilnehmern an, ohne finanzielle Aufwandsentschädigungen (außer Fahrtkostenerstattungen) zu weiteren Testsitzungen zu kommen. Eine beträchtliche Anzahl der älteren Teilnehmer kamen daraufhin regelmäßig zurück. Insgesamt nahmen 37 Ältere freiwillig im Mittel an 21,1 (Spanne: 1–76) weiteren Sitzungen teil.

5.2 Studienbewertung

Beim Posttest wurden die Teilnehmer gebeten, retrospektiv zu bewerten, wie sehr es ihnen gefallen hatte, bei der Studie mitzumachen. Tabelle 2 zeigt Bewertungen, wie viel Spaß die Teilnahme gemacht hatte und wie gerne die Teilnehmer zu den täglichen Sitzungen gekommen waren. Diese Bewertungen waren bei den Älteren hoch und stabil, während sie bei den Jüngeren im Rückblick auf den Anfang relativ hoch waren und dann abnahmen. Mixed-Model-Analysen zeigten, dass die Interaktionen von Altersgruppe und retrospektiver Veränderung in diesen Evaluationen für die beiden abhängigen Variablen signifikant waren [$F(1; 410) = 25,79, p < 0,05$ für *Spaß an Teilnahme* und $F(1; 406) = 24,39, p < 0,05$ für *gerne zu Sitzungen gekommen*]. Zusammen mit den Beurteilungen, ob sie Anderen die Studienteilnahme empfehlen würden oder selbst noch einmal teilnehmen würden, zeigen diese Ergebnisse, dass die allgemeine Beurteilung durch jüngere und ältere Teilnehmer sehr positiv war. Da viele Faktoren wie beispielsweise die finanzielle Entschädigung und der soziale Kontakt mit anderen Studienteilnehmern und den Mitarbeitern zu diesen Einschätzungen beigetragen haben könnten, ist jedoch zu betonen, dass wir die positiven Rückmeldungen nicht allein dem Trainingsprogramm zuschreiben können.

Tab. 2 Retrospektive Bewertungen der COGITO-Studie beim Posttest

	Jüngere		Ältere	
	<i>M</i> (95%-Konfidenzintervall)	<i>SD</i>	<i>M</i> (95%-Konfidenzintervall)	<i>SD</i>
„Wie sehr würden Sie insgesamt sagen, hat Ihnen die Studienteilnahme an der Studie ... Spaß gemacht?“ (0 = gar nicht, 7 = sehr stark)				
zu Beginn Ihrer Teilnahme	5,11 (4,90; 5,32)	1,07	5,51 (5,23; 5,79)	1,43
im Laufe Ihrer Teilnahme	4,07 (3,82; 4,32)	1,27	5,62 (5,36; 5,88)	1,33
gegen Ende Ihrer Teilnahme	3,62 (3,29; 3,95)	1,67	5,38 (5,10; 5,66)	1,44
„Wie sehr würden Sie insgesamt sagen, dass sie... gerne zu den Sitzungen gekommen sind?“ (0 = gar nicht, 7 = sehr)				
zu Beginn Ihrer Teilnahme	5,17 (4,94; 5,40)	1,18	5,74 (5,48; 6,00)	1,34
im Laufe Ihrer Teilnahme	3,81 (3,55; 4,07)	1,33	5,77 (5,53; 6,00)	1,19
gegen Ende Ihrer Teilnahme	3,63 (3,31; 3,96)	1,64	5,47 (5,18; 5,76)	1,49
„Würden Sie diese Studie empfehlen?“ (0 = gar nicht, 7 = sehr)				
	5,54 (5,30; 5,79)	1,23	6,12 (5,89; 6,34)	1,16
„Würden Sie sie noch einmal machen?“ (0 = auf keinen Fall, 7 = jederzeit)				
	5,94 (5,67; 6,21)	1,37	6,30 (6,08; 6,52)	1,14

5.3 Subjektive Beurteilung von Trainingseffekten

Beim Posttest sollten die Teilnehmer auch einschätzen, ob sie Veränderungen in verschiedenen Aspekten ihrer alltäglichen kognitiven Leistungsfähigkeit sowie ihres psychischen und physischen Wohlbefindens bemerkten. Tabelle 3 zeigt, dass die meisten Bewertungen bei Standardisierung für individuelle Unterschiede im Mittel signifikant positive Veränderungen mit großer Effektstärke aufwiesen. Obwohl solche Bewertungen im kognitiven Funktionsbereich nur als „weiche Kriterien“, ohne zwingende Beziehung zu objektiven Verbesserungen der alltäglichen kognitiven Leistungen, zu betrachten sind, ist es dennoch ein wichtiger und nicht trivialer Befund, dass Teilnehmer subjektiv beträchtliche positive Auswirkungen auf ihre mentale Fitness erlebten. Dies ist wichtig, weil die Mechanismen jedes erfolgreichen Trainingsprogramms zum Teil auch durch indirekte Effekte der Stärkung des Selbstkonzepts und der Kontrollüberzeugungen zustande kommen (DITTMANN-KOHLI et al. 1991). Die Untersuchung objektivierbarer Befunde mit anderen COGITO-Daten ist in Arbeit.

Tab. 3 Selbsteinschätzungen der Verbesserungen einiger Aspekte der kognitiven, psychologischen und physischen Funktionsfähigkeit beim Posttest

Item	M (95%-Konfidenzintervall)		SD		Effektgröße = M/SD	
	Jüngere	Ältere	Jüngere	Ältere	Jüngere	Ältere
Gedächtnis	1,09 (0,92; 1,26)	1,22 (1,08; 1,37)	0,86	0,75	1,26	1,62
Aufmerksamkeit	0,82 (0,65; 1,00)	1,29 (1,12; 1,46)	0,89	0,86	0,93	1,50
Alltagsdenken	0,68 (0,52; 0,85)	0,87 (0,71; 1,04)	0,84	0,84	0,82	1,04
Alltagsgedächtnis	0,98 (0,80; 1,16)	0,92 (0,77; 1,07)	0,92	0,76	1,07	1,21
Denkgeschwindigkeit	0,60 (0,45; 0,76)	0,93 (0,77; 1,10)	0,78	0,84	0,78	1,11
Mentale Fitness	0,83 (0,66; 1,00)	1,29 (1,10; 1,48)	0,86	0,98	0,97	1,32
Allgemeines Wohlbefinden	0,30 (0,11; 0,48)	1,17 (0,95; 1,38)	0,93	1,08	0,32	1,08
Lebenszufriedenheit	0,26 (0,12; 0,40)	1,13 (0,93; 1,32)	0,70	1,02	0,37	1,11
Körperliches Wohlbefinden	-0,12 (-0,24; 0,00)	0,62 (0,43; 0,81)	0,60	0,98	-0,20	0,63
Körperliche Fitness	-0,20 (-0,37; -0,03)	0,51 (0,34; 0,69)	0,86	0,92	-0,23	0,56

Anmerkung: Für jeden Aspekt wurden Teilnehmer gefragt: „Wie sehr hat Ihre Studienteilnahme ... beeinflusst?“. Der Neutralpunkt („unverändert“) der Skala (von -3 für die maximale Abnahme bis +3 für die maximale Steigerung) war 0. Deshalb bedeuten Konfidenzintervalle, die nicht 0 einschließen, Veränderungsbeurteilungen, die sich auf dem „ $p < 0,05$ “-Niveau signifikant von 0 unterscheiden. Effektgrößen wurden als standardisierte Mittelwertsabweichungen von null Veränderung berechnet.

6. Diskussion und Ausblick

In diesem Beitrag haben wir einige allgemeine und spezifische Kriterien für die Entwicklung von Software für computerisierte kognitive Trainingsprogramme dargestellt. In der COGITO-Studie wurden einige dieser Prinzipien realisiert. Die Studienabschlussraten und subjektiven Beurteilungen der Teilnehmer zeigen, dass ausführliche und regelmäßige Übungen mit unserem neuen Programm erreicht werden konnten und dass die Erfahrung – auch trotz des Anspruchs einiger der über 100 Sitzungen gestellten Aufgaben – im Allgemeinen für die Teilnehmer positiv war. Die positiven Beurteilungen nahmen im Laufe der Zeit bei den jüngeren Erwachsenen etwas ab, blieben aber für die Älteren relativ stabil. Darüber hinaus waren die selbstbeurteilten Veränderungen in der alltäglichen kognitiven Leistungsfähigkeit und im psychischen und physischen Wohlbefinden positiv. Obwohl diese Selbstkonzeptveränderungen nicht notwendigerweise direkt mit Verbesserungen der objektiven Leistungen einhergehen, könnten sie wichtige langfristige Auswirkungen auf die kognitive Leistungsfähigkeit haben (für eine Übersicht siehe HERTZOG et al. 2009). Zum Beispiel könnte ein kognitiv sicherer älterer Mensch mobiler sein und sich eher zutrauen, neue stimulierende und herausfordernde Aktivitäten auszuprobieren und dabei zu bleiben. Solch ein aktiver Lebensstil könnte wiederum zur Verringerung kognitiver Abnahmen führen (z. B. LÖVDÉN et al. 2005, GHISLETTA et al. 2006, HERTZOG et al. 2009).

Die objektive Wirksamkeit des Trainings, also die Frage danach, ob es kognitive Fähigkeiten verbessern kann, muss mit Analysen der Leistungen in einer weitgefassten Auswahl von untrainierten Transferaufgaben im Vergleich zu den Leistungen nicht trainierter Kontrollgruppen geprüft werden. Solche Analysen werden gegenwärtig für die COGITO-Studie durchgeführt. Auch wenn solche Effekte gezeigt werden sollten, werden die genauen Mechanismen jedoch schwer festzustellen sein, weil die Studienteilnahme nicht nur Aufgabenübung in 100 Sitzungen bedeutete. Für viele Teilnehmer könnten die Zunahme an sozialen Kontakten und Selbstwirksamkeitsstärkung sowie die bloße körperliche Aktivität des mehrfach wöchentlichen Wegs ins Labor zu den Trainingseffekten beigetragen haben. Es werden statistische Kontrollverfahren (LUSTIG et al. 2009), weitere Studien mit verschiedenen Kontroll- und Interventionsgruppen und der Einschluss von funktionellen und strukturellen Neuroimaging-Verfahren zu verschiedenen Zeitpunkten vor, während und nach der Intervention benötigt, um genauere Kenntnisse über die Mechanismen zu gewinnen, die kognitive Plastizität kontrollieren (MCARDLE und PRINDLE 2008).

Einschränkungen der vorgestellten Untersuchung bestehen darin, dass es sich bei der COGITO-Studie – trotz der nachgewiesenen Machbarkeit dieses web-basierten Trainingsprogramms – immer noch um eine Laborstudie mit standardisierter technischer Ausstattung und einer kontrollierten Testsituation handelte. Die Anwendung dieses oder eines ähnlichen Programms bei Nutzern zu Hause via Internet wird deshalb weitere technische Entwicklung und empirische Untersuchungen erfordern. Wenn die positiven Auswirkungen kognitiver Trainingsprogramme in zukünftigen Interventionsstudien demonstriert und bestätigt werden können, sehen wir jedoch besondere Vorteile im Aufbau solcher Programme auf internet-basierten Plattformen. Zu den Vorzügen internet-basierter Ansätze für Wissenschaftler, wie der Aufbau einer Datenbank zur Untersuchung der Wirksamkeit solcher Programme und auch die Einfügung untrainierter Transferaufgaben zu bestimmten Zeitpunkten, kommt hinzu, dass Internetplattformen auch die Möglichkeit in sich bergen, einige der potentiell förderlichen sozialen Aspekte von kognitiven Trainingsprogrammen zu integrieren. Vor

allem könnten ein Austausch mit anderen Teilnehmern über Leistungssteigerungen, erfolgreiche Strategien und Aufgabenvorlieben das Vergnügen und die Ausdauer der Teilnehmer steigern, und dieser motivationale Faktor das kognitive Training unterstützen.

Dank

Die COGITO-Studie wurden vom Max-Planck-Institut für Bildungsforschung, Berlin, dem Innovationsfonds des Präsidenten der Max-Planck-Gesellschaft, aus dem vom Bundesministerium für Bildung und Forschung gestifteten Sofja-Kovalevskaja-Preis, der Martin LÖVDÉN von der Alexander-von-Humboldt-Stiftung verliehen wurde, von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG; KFG 163) und dem Bundesministerium für Bildung und Forschung (CAI) finanziert.

Die Autoren und Autorinnen möchten folgenden Personen für ihren Einsatz bei der Durchführung der COGITO-Studie besonders danken: Christian CHICHERIO, Gabriele FAUST, Katja MÜLLER-HELLE, Birgit HAACK, Annette RENTZ-LÜHNING, Werner SCHOLTYSIK, Oliver WILHELM und Julia WOLFF sowie zahlreichen engagierten studentischen Hilfskräften.

Literatur

- BALL, K., BERCH, D. B., HELMERS, K. F., JOBE, J. B., LEVECK, M. D., MARSISKE, M., MORRIS, J. N., REBOK, G. W., SMITH, D. M., TENNSTEDT, S. L., UNVERZAGT, F. W., and WILLIS, S. L.: Effects of cognitive training interventions with older adults. *Journal of the American Medical Association* 288, 2271–2281 (2002)
- BALL, K., EDWARDS, J. D., and ROSS, L. A.: The impact of speed of processing training on cognitive and everyday functions. *Journal of Gerontology Psychological Sciences* 62B, P19–P31 (2007)
- BALTES, P. B., and LINDENBERGER, U.: On the range of cognitive plasticity in old age as a function of experience: 15 years of intervention research. *Behavior Therapy* 19, 283–300 (1988)
- BrainAge*: <http://www.brainage.com>
- BUTLER, D. L., and WINNE, P. H.: Feedback and self-regulated learning: A theoretical synthesis. *Review of Educational Research* 65, 245–281 (1995)
- CARROLL, J. B.: *Human Cognitive Abilities*. Cambridge, UK: Cambridge University Press 1993
- DAHLIN, E., STIGSDOTTER NEELY, A., LARSSON, A., BÄCKMAN, L., and NYBERG, L.: Transfer of learning after updating training mediated by the striatum. *Science* 320, 1510–1512 (2008)
- DIETMANN-KOHLI, F., LACHMAN, M. E., KLI EGL, R., and BALTES, P. B.: Effects of cognitive training and testing on intellectual efficacy beliefs in elderly adults. *Journal of Gerontology Psychological Sciences* 46, P162–P164 (1991)
- e107*: <http://e107.org>
- GHISLETTA, P., BICKEL, J.-F., and LÖVDÉN, M.: Does activity engagement protect against cognitive decline in old age? Methodological and analytical considerations. *Journal of Gerontology Psychological Sciences* 61, P253–P261 (2006)
- GUILFORD, J. P.: The structure of intellect. *Psychological Bulletin* 53, 267–293 (1956)
- HERTZOG, C., KRAMER, A. F., WILSON, R. S., and LINDENBERGER, U.: Enrichment effects on adult cognitive development: Can the functional capacity of older adults be preserved and enhanced? *Psychological Science in the Public Interest* 9, 1–65 (2009)
- JAEGGI, S. M., BUSCHKUEHL, M., JONIDES, J., and PERRIG, W. J.: Improving fluid intelligence with training on working memory. *Proceedings of the National Academy of Science USA* 105, 6829–6833 (2008)
- JÄGER, A. O.: Mehrmodale Klassifikation von Intelligenzleistungen. Experimentell kontrollierte Weiterentwicklung eines deskriptiven Intelligenzstrukturmodells. *Diagnostica* 28, 195–226 (1982)
- KANE, M. J., HAMBRICK, D. Z., and CONWAY, A. R. A.: Working memory capacity and fluid intelligence are strongly related constructs: Comment on Ackerman, Beier, and Boyle. *Psychological Bulletin* 131, 66–71 (2005)
- KARBACH, J., and KRAY, J.: How useful is executive control training? Age differences in near and far transfer of task-switching training. *Developmental Science* 2, 978–990 (2009)
- KLI EGL, R., MAYR, U., and KRAMPE, R. T.: Time-accuracy functions for determining process and person differences: An application to cognitive aging. *Cognitive Psychology* 26, 134–164 (1994)

- KLINGBERG, T., FERNELL, E., OLESEN, P., JOHNSON, M., GUSTAFSSON, P., DAHLSTRÖM, K., GILLBERG, C. G., FORSSBERG, H., and WESTERBERG, H.: Computerized training of working memory in children with ADHD: A randomized, controlled trial. *Journal of the American Academy of Child and Adolescent Psychiatry* 44, 177–186 (2005)
- KRAMER, A. F., and WILLIS, S. L.: Enhancing the cognitive vitality of older adults. *Current Directions in Psychological Science* 11, 173–177 (2002)
- LACHMAN, M. E.: Perceived control over aging-related declines: Adaptive beliefs and behaviors. *Current Directions in Psychological Science* 15, 282–286 (2006)
- LINDENBERGER, U., LI, S.-C., LÖVDÉN, M., and SCHMIEDEK, F.: The Center for Lifespan Psychology at the Max Planck Institute for Human Development: Overview of conceptual agenda and illustration of research activities. *International Journal of Psychology* 42, 229–242 (2007)
- LINDENBERGER, U., LÖVDÉN, M., SCHELLENBACH, M., LI, S.-C., and KRÜGER, A.: Psychological principles of successful aging technologies: A mini-review. *Gerontology* 54, 59–68 (2008)
- LÖVDÉN, M., GHISLETTA, P., and LINDENBERGER, U.: Social participation attenuates decline in perceptual speed in old and very old age. *Psychology and Aging* 20, 423–434 (2005)
- LUSTIG, C., SHAH, P., SEIDLER, R., and REUTER-LORENZ, P. A.: Aging, training, and the brain: A review and future directions. *Neuropsychology Review* 19, 504–522 (2009)
- MAHNCKE, H. W., CONNOR, B. B., APPELMAN, J., AHSANUDDIN, O. N., HARDY, J. L., WOOD, R. A., JOYCE, N. M., BONNISKE, T., ATKINS, S. M., and MERZENICH, M. M.: Memory enhancement in healthy older adults using a brain plasticity-based training program: A randomized, controlled study. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 103, 12523–12528 (2006)
- MCARDLE, J. J., and PRINDLE, J. J.: A latent change score analysis of a randomized clinical trial in reasoning training. *Psychology and Aging* 23, 702–719 (2008)
- NOACK, H., LÖVDÉN, M., SCHMIEDEK, F., and LINDENBERGER, U.: Cognitive plasticity in adulthood and old age: Gauging the generality of cognitive intervention effects. *Restorative Neurology and Neuroscience* 27, 435–453 (2009)
- OBERAUER, K., SCHULZE, R., WILHELM, O., and SUSS, H.-M.: Working memory and intelligence: Their correlation and their relation: Comment on Ackerman, Beier, and Boyle. *Psychological Bulletin* 131, 61–65 (2005)
- SCHMIEDEK, F., HILDEBRANDT, A., LÖVDÉN, M., WILHELM, O., and LINDENBERGER, U.: Complex span versus updating tasks of working memory: The gap is not that deep. *Journal of Experimental Psychology Learning, Memory, and Cognition* 35, 1089–1096 (2009)
- VERHAEGHEN, P., MARCOEN, A., and GOOSSENS, L.: Improving memory performance in the aged through mnemonic training: A meta-analytic study. *Psychology and Aging* 7, 242–251 (1992)

Prof. Dr. Florian SCHMIEDEK²
Deutsches Institut für Internationale Pädagogische Forschung (DIPF) Frankfurt am Main
Schloßstraße 29
60486 Frankfurt am Main
Bundesrepublik Deutschland
Tel.: +49 69 24708820
E-Mail: schmiedek@dipf.de

Dipl.-Inform. Colin BAUER²
Freie Universität Berlin
Institut für Informatik
Takustraße 9
14195 Berlin
Bundesrepublik Deutschland
E-Mail: colinos@zedat.fu-berlin.de

2 Auch Forschungsbereich Entwicklungspsychologie am Max-Planck-Institut für Bildungsforschung in Berlin.

Dr. Martin LÖVDÉN³

Sofja-Kovalevskaja-Forschungsgruppe zur Plastizität von Gehirn
und Verhalten im jungen und alten Erwachsenenalter

Max-Planck-Institut für Bildungsforschung

Lentzeallee 94

14195 Berlin

Bundesrepublik Deutschland

Tel.: +49 30 82406216

Fax: +49 30 8249939

E-Mail: loevden@mpib-berlin.mpg.de

Dr. Annette BROSE

Forschungsbereich Entwicklungspsychologie

Max-Planck-Institut für Bildungsforschung

Lentzeallee 94

14195 Berlin

Bundesrepublik Deutschland

Tel.: +49 30 82406367

Fax: +49 30 8249939

E-Mail: brose@mpib-berlin.mpg.de

Prof. Dr. Ulman LINDENBERGER

Forschungsbereich Entwicklungspsychologie

Max-Planck-Institut für Bildungsforschung

Lentzeallee 94

14195 Berlin

Bundesrepublik Deutschland

Tel.: +49 30 82406572

Fax: +49 30 8249939

E-Mail: seklindenberger@mpib-berlin.mpg.de

³ Auch Department of Psychology, Lund University, Sweden.

Entwicklung altersgerechter Fußgängernavigationssysteme

Michael SCHELLENBACH (Berlin/Münster), Martin LÖVDÉN (Berlin/Lund),
Julius VERREL (Berlin), Antonio KRÜGER (Saarbrücken) und
Ulman LINDENBERGER (Berlin)

Mit 5 Abbildungen und 1 Tabelle

Zusammenfassung

Mit zunehmendem Alter lassen die sensomotorische Funktionsfähigkeit, die Verarbeitung räumlicher Informationen und die Motivation zur Erkundung neuer Umgebungen nach und führen zu Beeinträchtigungen der räumlichen Navigationsfähigkeit. Wir untersuchten, wie sich assistierende Navigationstechnologien mit unterschiedlichen kognitiven Anforderungen auf die Gangunregelmäßigkeit und Navigationsleistung im jungen und älteren Erwachsenenalter auswirken. Wir nutzten dazu eine kontrollierte virtuelle Welt, die wir im Labor mit einem Laufband gekoppelt haben. Im Vergleich zu jungen Erwachsenen nahm die Navigationsleistung älterer Studienteilnehmer ab, wenn die Art der Navigationsunterstützung hohen kognitiven Einsatz erforderte. Ältere Menschen wiesen außerdem stärkere Gangunregelmäßigkeiten auf, und diese fielen bei höherer kognitiver Belastung umso höher aus. Assistierende Navigationstechnologien zur Unterstützung der Beweglichkeit älterer Fußgänger scheinen insbesondere dann vielversprechend, wenn die altersbedingten Zunahmen der kognitiven Anforderungen räumlicher Navigation und Haltungskontrolle einbezogen werden.

Abstract

With advancing adult age, sensorimotor functioning, spatial processing, and the motivation to explore new environments decline, leading to impaired spatial navigation skills. Using a controlled virtual-world laboratory equipped with a treadmill interface, we examined how assistive navigation technologies differing in cognitive demand affect walking regularity and navigation performance in younger and older adults. Relative to an assistive device with low cognitive demands, older, but not younger adults' navigation performance decreased with a cognitively more demanding device. Furthermore, older adults showed higher gait irregularity than younger adults, especially with the cognitively demanding device. We conclude that assistive navigation devices show promise in supporting older adults' pedestrian mobility if aging-induced increments in cognitive demands of spatial navigation and postural control are considered.

1. Einleitung

Obwohl in den letzten Jahren zunehmende Anstrengungen unternommen wurden, assistierende Technologien für die alternde Bevölkerung zu erweitern und zu verbessern (CHARNESS und SCHAE 2003, FISK et al. 2004, LoPRESTI et al. 2004), wurden technologische und psychologische Untersuchungen in diesem Kontext selten miteinander verbunden. Auf der Grundlage des Modells der Selektion, Optimierung und Kompensation zur erfolgreichen psychologischen Entwicklung (BALTES und BALTES 1980, RIEDIGER et al. 2006), bestimmten LINDENBERGER und Kollegen drei Kriterien für die Nutzung assistierender Technologie:

(a) Positive Ressourcenbilanz, (b) hoher Individualisierungsgrad und (c) Erhalt der Alltagskompetenz und Förderung von Entwicklungspotential (vgl. LINDENBERGER et al., in diesem Band; siehe auch LINDENBERGER und LÖVDÉN 2006, LINDENBERGER 2007, LINDENBERGER et al. 2008). In diesem Beitrag konzentrieren wir uns auf das Kriterium der positiven Ressourcenbilanz im Bereich der mobilen Navigationsunterstützung und nutzen es, um Implikationen für das Design und das Konzept mobiler assistierender Geräte zu bestimmen.

Die Nutzung assistierender Technologie erfordert im Allgemeinen die Investierung sensorisch/sensomotorischer und kognitiver Ressourcen. In diesem Fall unterstreicht das Konzept der positiven Ressourcenbilanz, dass der Gebrauch von assistierender Technologie nur adaptiv ist, wenn ihr Einsatz weniger Ressourcen verbraucht als freisetzt. Damit wird die Ressourcenbilanz durch die Entscheidung für assistierende Technologie positiv (vgl. DIXON und BÄCKMAN 1995). Um die Wahrscheinlichkeit von Ressourcengewinnen zu erhöhen, muss das Design assistierender Technologien Wissen über negative Entwicklungen im Alter, die über Zielaktivitäten (wie räumliche Navigation) hinausgehen, und ein breiteres Funktionsspektrum (wie sensomotorische und kognitive Funktionsfähigkeit) einbeziehen. Zur Veranschaulichung stelle man sich eine ältere Person vor, die eine große Stadt besucht und ein mobiles Fußgängernavigationsgerät verwendet, um ein bestimmtes Museum zu finden. Das System berechnet nicht nur die kürzeste Route zum Museum, sondern bietet auch Zusatzinformationen über die Stadt. Da die Person so mit der Verarbeitung der Weginformationen und der zusätzlichen Auskünfte beschäftigt ist, wird ihre Konzentration von der Beibehaltung des stabilen und sicheren Gleichgewichts beim Gehen abgelenkt – einer Aufgabe, von der man weiß, dass sie mit dem Alter zunehmende Aufmerksamkeitsressourcen erfordert (LINDENBERGER et al. 2000, LI et al. 2001, LÖVDÉN et al. 2005). In so einer Situation entzieht das mobile Navigationssystem möglicherweise dem Gehen Ressourcen, mit der Folge, dass die ältere Person einen Sturz riskiert.

Dennoch bieten solche Navigationshilfen eine vielversprechende Unterstützung bei den im Alter nachlassenden räumlichen Navigationsleistungen, wenn die kognitiven Anforderungen ihres Einsatzes nicht zu hoch sind. Die altersbedingten Verschlechterungen der Navigations- und verwandter Leistungen sind in der Tat deutlich (MOFFAT et al. 2001, LÖVDÉN et al. 2005). Im visuell-räumlichen Bereich treten altersbedingte Leistungsunterschiede sowohl bei Aufgaben zur mentalen Rotation und Visualisierung (SALTHOUSE und MITCHELL 1989) als auch bei Gedächtnisaufgaben zur Lokalisierung von Gegenständen auf (LIGHT und ZELINSKI 1983). Darüber hinaus sind die Unterschiede nach Alter bei diesen Aufgabentypen ausgeprägter als in vergleichbaren verbalen Aufgaben (JENKINS et al. 2000). Die Beurteilung der Fähigkeit, Routen zu erlernen, bestätigt erhebliche Defizite im Alter (LIPMAN 1991, MOFFAT et al. 2001, LÖVDÉN et al. 2005). Klare Einschränkungen treten auch bei Aufgaben auf, die räumliche Rückschlüsse zu Richtungsrelationen und Entfernungen zwischen Orten erfordern, wie sie in Supermärkten auftreten (KIRASIC 2000).

Korrelative Untersuchungen und Doppelaufgabenexperimente weisen auf altersbedingte Veränderungen der Kopplung zwischen Sensomotorik und Kognition hin (für eine Übersicht siehe SCHÄFER et al. 2006). Wenn kognitive und sensomotorische Aufgaben gleichzeitig ausgeführt werden, entstehen für Ältere in kognitiven (LI et al. 2001), sensomotorischen (HUXHOLD et al. 2006) oder beiden Funktionsbereichen zusammen (LINDENBERGER et al. 2000) höhere Doppelaufgabenkosten. Dementsprechend können Versuche, die kognitive Leistungsfähigkeit durch einfache Formen sensorischer oder sensomotorischer Unterstützung zu verbessern, überraschend effektiv sein. Ein Beispiel aus unserem Labor

veranschaulicht dies: LÖVDÉN und Kollegen (2005) projizierten labyrinthartige virtuelle Museen auf eine Projektionswand vor einem Laufband. Je 16 20- bis 30-jährige und 60- bis 70-jährige Männer wurden aufgefordert, beim Gehen auf dem Laufband eine Wegfindungsaufgabe in jedem dieser virtuellen Museen auszuführen. Sie sollten zweimal hintereinander fehlerlos (also ohne Richtungsfehler an Verzweigungen) den Weg vom Museumseingang zum Café finden. In einer Bedingung sensomotorischer Unterstützung durften die Teilnehmer sich an einem Geländer festhalten. In der Bedingung ohne Unterstützung sollten sie frei auf dem Laufband gehen. Die Navigationsleistung der jüngeren Teilnehmer wurde nicht durch die „Gehhilfe“ beeinflusst. Die älteren Teilnehmer benötigten hingegen wesentlich weniger Zeit und eine kürzere Laufstrecke zur Erlernung des Wegs durch das Museum, wenn sie beim Gehen das Geländer nutzten. Dieser Befund stützt die Annahme, dass ältere Menschen zunehmende Anteile kognitiver Ressourcen in sensomotorische Verhaltensaspekte investieren müssen. Nach dieser Interpretation verbessert eine Gehhilfe nicht nur die Kontrolle der Haltung, sondern setzt auch kognitive Ressourcen frei, die dann für die navigationsbezogene Informationsverarbeitung eingesetzt werden können (siehe auch LINDENBERGER et al. 2000, LI et al. 2001).

Die zentrale Annahme der vorliegenden Studie besteht darin, dass die auf Erleichterung der kognitiven Ressourcenlast abzielenden assistierenden Navigationsgeräte in ähnlicher Weise wie einfachere Formen sensomotorischer Unterstützung nicht nur die Wegfindung, sondern auch die Gangstabilität verbessern können – aber nur, wenn sie eine positive Ressourcenbilanz aufweisen. Wir prüften diese Annahme, indem wir die vorhergesagten kognitiven Anforderungen von Navigationshilfen niedrig und hoch einstellten und ihre Auswirkungen auf die Navigationsleistungen und das Gehverhalten in einer mit einem Laufband ausgestatteten virtuellen Realität (VR) im Labor beobachteten (SCHELLENBACH et al. 2007). Die Unterstützungsbedingung mit niedrigen Anforderungen wurde so umgesetzt, dass die Teilnehmer einer in die Umwelt projizierten roten Linie (*virtueller Führer*) folgen sollten (den Wegfindungslinien im Krankenhaus ähnlich). In der Unterstützungsbedingung mit hohen Anforderungen zeigten wir eine *Übersichtskarte* (wie einen Stadtplan) auf der Projektionswand. In der dritten Bedingung wurde *keine Unterstützung* gegeben.

Das VR-Labor erlaubt eine unmittelbare Integration der Navigationsunterstützung sowie eine genaue Analyse von Gangabläufen. Gangunregelmäßigkeit, die durch Hauptkomponentenanalyse individueller Gangmuster (VERREL et al. 2009) festgestellt wurde, stellte die wichtigste abhängige Gehverhaltensvariable dar. Dazu wurden mittels Hauptkomponentenanalyse kinematische Gangdaten in ein (regelmäßiges) Haupt- und ein (unregelmäßiges) Residualmuster aufgeteilt. Gangunregelmäßigkeit wurde durch die Residualvarianz quantifiziert, d. h. durch den relativen Anteil der Varianz im Residualmuster (vgl. VERREL et al. 2009). Um das Bild der Bewegungsabläufe der Teilnehmer zu vervollständigen, bestimmten wir als zweite abhängige Gehverhaltensvariable auch die Variabilität der Positionsverschiebungen (rechts–links, anterior–posterior) von Teilnehmern auf dem Laufband, die nicht Teil der Hauptkomponentenanalyse ist. Da dieser Ansatz zeitlich kontinuierliche Information zur Ganzkörperkoordination einbezieht, könnte er einen effizienteren und valideren Index für durch kognitive Belastung induzierte Veränderungen der Ganzkörperkoordination darstellen als Schrittmäße (siehe auch VERREL et al. 2009).

Der gut dokumentierten altersbedingten Abnahme von sensomotorischen und kognitiven Funktionen (LINDENBERGER und BALTES 1994, PARK et al. 2001, SPIRDUSO et al. 2005) und der engeren Kopplung dieser Funktionsbereiche im Alter (BALTES und LINDENBERGER

1997, LINDENBERGER et al. 2000, LÖVDÉN et al. 2005) entsprechend sollten sich bei älteren Teilnehmern beim Gehen größere Auswirkungen der Navigationshilfenmanipulation auf die Ganzkörperkoordination zeigen als bei jüngeren. Wir nahmen deshalb an, dass die Gangmuster der älteren Teilnehmer in der Bedingung mit *virtuellem Führer* (rote Linie) wegen der kognitiven Belastungsunterschiede regelmäßiger als in der Bedingung *ohne Unterstützung* sein sollten. In der Bedingung mit *Übersichtskarte* sollten sie aber wieder unregelmäßiger werden, weil die Nutzung der Karte mehr Ressourcen erfordern würde. Bei den jüngeren Männern erwarteten wir keine signifikanten Unterschiede der Gangregelmäßigkeit im Vergleich zwischen den Bedingungen. Ferner gingen wir davon aus, dass die Navigationsleistungen der beiden Altersgruppen in beiden Unterstützungsbedingungen besser sein sollten als in der Bedingung ohne Unterstützung. Damit sollte die positive Auswirkung von Navigationshilfen auf Navigationsleistungen nachgewiesen werden. Aufgrund der höheren kognitiven Anforderungen bei Nutzung der *Übersichtskarte* im Vergleich zum *virtuellen Führer* erwarteten wir, wie erwähnt, bei den älteren Männern bessere Leistungen, aber bei den jüngeren keine signifikanten Leistungsunterschiede.

2. Methoden

2.1 Teilnehmer

Je 18 jüngere ($M_{\text{Alter}} = 24,4$ Jahre; $SD_{\text{Alter}} = 1,9$ Jahre; Altersspanne: 21–28 Jahre) und ältere Männer ($M_{\text{Alter}} = 72,3$ Jahre; $SD_{\text{Alter}} = 3,0$ Jahre; 68–77 Jahre) wurden aus dem Teilnehmerpool des Max-Planck-Instituts für Bildungsforschung in Berlin rekrutiert. Wir schlossen Personen mit Erkrankungen oder Störungen aus, die bekanntermaßen Gleichgewicht und/oder Gang beeinträchtigen können (M. Parkinson, Diabetes, Gicht, schwere Rückenschmerzen, Gleichgewichtsstörungen, kardiovaskuläre Erkrankungen, Hüftprothesen sowie andere selbstberichtete Zustände, die das normale Gehen stören könnten). Alle Teilnehmer hatten normale oder korrigierte Werte der Sehschärfe und des Gehörs. Außerdem hatten alle schon zuvor ein Laufband verwendet. Die Altersgruppen unterschieden sich nicht in der Häufigkeit von vorhergehenden Stürzen. Alle Teilnehmer gaben vor dem Versuch ihre schriftliche Einverständniserklärung ab. Sie erhielten 60 EUR für die Teilnahme. Die Ethikkommission des Max-Planck-Instituts für Bildungsforschung stimmte der Studie zu.

Tabelle 1 enthält eine Übersicht über die typischen kognitiven Leistungen der Stichprobe: Tests der visuell-räumlichen Fähigkeit (mentale Rotation), der Wahrnehmungsgeschwindigkeit (Zahlen-Symbol-Test) und des verbalen Wissens (Wörter finden). Die Tests zur mentalen Rotation stammten von VANDENBERG und KUSE (1978) und wurden dieser Studie angepasst. Detaillierte Beschreibungen der anderen Tests finden sich bei LINDENBERGER und Kollegen (1993, siehe auch LÖVDÉN et al. 2004). Die beiden Tests zur mentalen Rotation wurden zu einem einzelnen Wert kombiniert und die Variablen zu T-Werten ($M = 50$; $SD = 10$) umskaliert. Tabelle 1 zeigt, dass jüngere Erwachsene im Vergleich zu den älteren bessere Leistungen in visuell-räumlichen Fähigkeiten und Wahrnehmungsgeschwindigkeit und schlechtere im Wortwissen aufweisen. Univariate einfache Varianzanalysen (ANOVAs) zwischen den Altersgruppen bestätigten diese Beobachtung für jeden Aspekt: visuell-räumliche Fähigkeiten, $F(1, 34) = 26,93$, $p < 0,001$; Wahrnehmungsgeschwindigkeit, $F(1, 34) = 24,62$, $p < 0,001$; und Wortwissen, $F(1, 34) = 10,68$, $p = 0,002$. Es wurde so-

mit das typische Entwicklungsmuster von altersbedingten Abnahmen der fluiden Fähigkeiten und Zunahmen (oder Aufrechterhaltung) der kristallisierten Fähigkeiten beobachtet (für einen Überblick siehe LÖVDÉN und LINDENBERGER 2005). Wir schließen daraus, dass die Stichprobe eine zufriedenstellende Annäherung an die Bevölkerungstrends kognitiver Leistungsfähigkeit darstellt.

Basale sensomotorische Funktionsfähigkeit wurde mit Gleichgewichtstests beurteilt, nämlich dem „Timed Up and Go“¹- (PODSIADLO und RICHARDSON 1991) und dem „Functional Reach“-Test² (DUNCAN et al. 1990). Die Mittelwerte und Standardabweichungen nach Altersgruppe sind in Tabelle 1 aufgeführt. Fast alle Teilnehmer erreichten die als bestmöglich betrachtete Gleichgewichtsleistung (<10 Sekunden im „Timed Up and Go“- und >25,4 cm im „Functional Reach“-Test). Nur ein älterer Mann brauchte für den „Timed Up and Go“-Test 14,4 s, ein anderer erreichte im Mittel nur 21,0 cm im „Functional Reach“-Test. Beide wurden deshalb dem zweiten von vier Gleichgewichtseinstufungen zugeteilt. Es hatte also keiner der Teilnehmer wesentliche Gleichgewichtseinschränkungen. Dies ist wahrscheinlich auf einen positiven Selektivitätseffekt für die ältere Gruppe zurückzuführen, der unseren Hypothesen entgegenwirkt.

Tab. 1 Kognitions- und Gleichgewichtsleistungen nach Altersgruppe

Variable	Jüngere		Ältere	
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
Visuell-räumliche Fähigkeiten	56,6	9,2	43,4	5,6
Wahrnehmungsgeschwindigkeit	56,4	9,3	43,6	5,8
Verbales Wissen	45,2	11,8	54,8	4,2
„Timed Up and Go“ (s)	6,9	1,4	8,8	1,9
„Functional Reach“ (cm)	41,2	6,4	35,7	6,5

Anmerkung: Visuell-räumliche Fähigkeiten – T-skaliertes Mittelwert der Leistungen in Tests der mentalen Rotation (VANDENBERG und KUSE 1978); Wahrnehmungsgeschwindigkeit – Zahlen-Symbol-Test; Verbales Wissen – Wörter finden.

2.2 Versuchsaufbau

Wir setzten ein Vicon-Bewegungsanalysesystem (Vicon MX Hardware und Vicon Nexus 1.1; Vicon Ltd, Oxford, England) mit 11 Kameras (MX13) ein. Die Aufnahme Frequenz zur Erfassung der Bewegungen der Gliedmaßen der Teilnehmer betrug 200 Hz. Reflektierende Marker wurden dem „Vicon-Plugin-Gait“-Modell entsprechend an die anatomisch relevanten Stellen auf der Haut befestigt.

- 1 Der Teilnehmer sitzt bequem auf einem Bürostuhl mit Armlehnen, der 3 m von einer Wand entfernt steht. Nach Aufforderung soll er aufstehen, einen Moment vor dem Stuhl stehen bleiben, zur Wand gehen, sich umdrehen, ohne die Wand zu berühren, zum Stuhl zurückgehen, sich erneut umdrehen und wieder auf den Stuhl setzen. Die Zeit wird gestoppt.
- 2 Der Teilnehmer steht seitlich an einer Wand, an der auf Schulterhöhe ein waagerechter Maßstab angebracht ist. Er wird aufgefordert, eine Faust zu machen und mit dem nach vorne ausgestreckten Arm soweit wie möglich nach vorne zu reichen, ohne das Gleichgewicht zu verlieren.

Die Daten wurden beim Gehen der Teilnehmer auf einem motorisierten Laufband (Woodway GmbH, Weil am Rhein) erfasst, dessen Lauflfläche (200 × 70 cm) sich auf Bodenniveau befand. Es gab kein Geländer. Aus Sicherheitsgründen wurde dem jeweiligen Teilnehmer ein an der Decke befestigter Sicherheitsgurt angelegt. Eine Projektionswand der Größe 200 cm × 270 cm wurde vor dem Laufband aufgestellt. Abbildung 1 stellt den Versuchsaufbau dar.

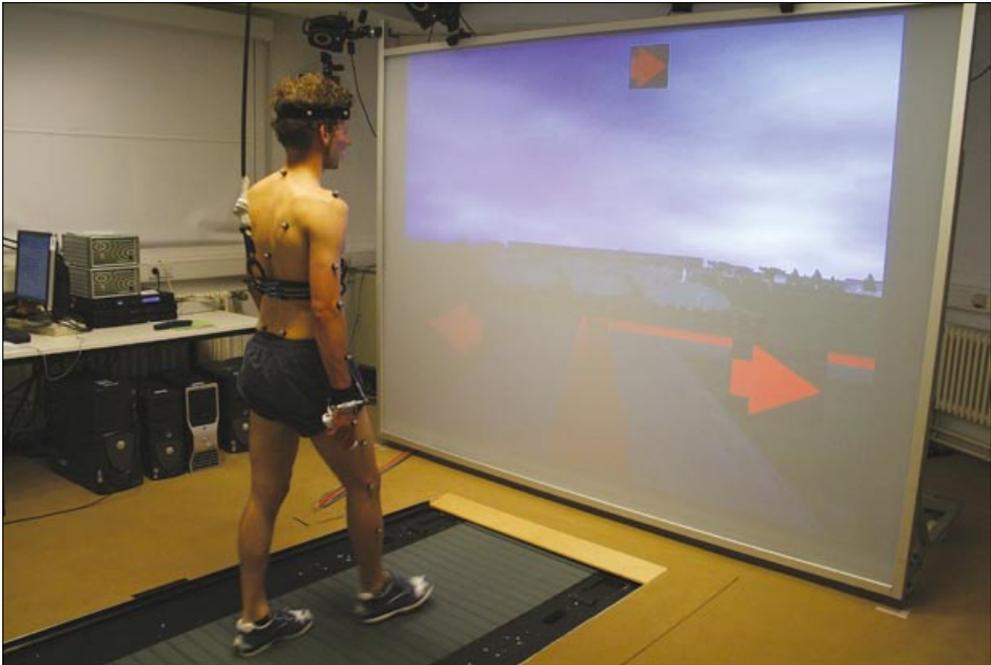


Abb. 1 Teilnehmer bei der Navigation durch einen der virtuellen Zoos mit Unterstützung durch den virtuellen Führer

Sechs labyrinthartige Topographien wurden zufällig mit folgenden Einschränkungen generiert:

- Auf der direkten Route vom Ausgangspunkt zum Ziel bestand jedes Labyrinth aus acht Entscheidungspunkten (d. h. Wegverzweigungen).
- Alle Verzweigungen boten zwei Alternativen.
- Die gleiche Entscheidung (rechts oder links) durfte auf einer direkten Route nur zweimal hintereinander vorkommen.
- Vom Ausgangspunkt bis zu einer Sackgasse enthielten alle Routen mindestens acht Verzweigungen.

Jedes Labyrinth war nach der Form einer *Blockbebauung* konstruiert (gerade Wege und 90°-Wendungen an Verzweigungen). Sechs virtuelle Zoos wurden hergestellt, die sechs verschiedenen labyrinthartigen Topographien entsprachen. Verschiedene Tiere wurden an jede erste, dritte und sechste Verzweigung der kürzesten Route zwischen Ausgangspunkt und Ziel gesetzt. Als weitere Landmarken im Zoo dienten sechs eindeutige (nur einmal vor-

2.3 Design und Durchführung

In dieser Untersuchung wurde ein 3 (Navigationshilfe) \times 2 (Altersgruppe) gemischtes Versuchsdesign eingesetzt. Die Stichprobengröße betrug 18 pro Altersgruppe; den Messwiederholungsfaktor bildete die Navigationshilfe. Drei verschiedene Bedingungen wurden durchgeführt (siehe Abb. 3): (A) *keine Unterstützung*, (B) ein *virtueller Führer* (rote Linie) und (C) eine *Übersichtskarte*. Die wesentlichen abhängigen Variablen waren Gangvariabilität und Navigationsleistung auf der Basis der abgelaufenen Strecke zum Ziel. Die Navigationshilfen wurden für jeden Teilnehmer verändert und jede Bedingung in zwei Labyrinth ausgeführt. Vor den Bedingungen mit dem virtuellen Führer und der Übersichtskarte wurden die Hilfen erklärt und die Teilnehmer aufgefordert, die in der virtuellen Umgebung gezeigten Hilfen bei der Wegfindungsaufgabe zu nutzen. In der Bedingung ohne Unterstützung mussten die Teilnehmer die Umgebung bei der Suche nach dem Ziel alleine erkunden. Das Experiment bestand aus drei Sitzungen mit zwei eintägigen Pausen. In der ersten Sitzung wurden die Teilnehmer nach dem Unterschreiben der Einwilligungserklärung befragt und einige Hintergrundinformationen erhoben. Sie führten dann den „Timed Up and Go“- und den „Functional Reach“-Test aus. Im zweiten Teil der Sitzung wurden sie an das Gehen auf dem Laufband gewöhnt. Die ihnen angenehme Geschwindigkeit für die experimentellen Sitzungen wurde ermittelt, indem verschiedene Gehgeschwindigkeiten eingestellt wurden. Anschließend erhöhte der Versuchsleiter die Geschwindigkeit kontinuierlich, bis der Teilnehmer seine bevorzugte Geschwindigkeit fand. Nach fünf und zehn Gehminuten konnte er die Geschwindigkeit nochmals ändern. In jeder der zwei folgenden Sitzungen wurden die Teilnehmer aufgefordert, zunächst fünf Minuten in ihrer bevorzugten Geschwindigkeit zu gehen, um sie wieder an den Versuchsaufbau zu gewöhnen. Danach navigierten sie unter allen drei Navigationshilfebedingungen in verschiedener Reihenfolge, um für tägliche Leistungsschwankungen und Gewöhnungseffekte zu kontrollieren. Vor jedem Durchlauf erklärte der Versuchsleiter die jeweilige Bedingung, und der Teilnehmer erhielt die Gelegenheit, die Hilfe im Übungszoo auszuprobieren. Der Versuchsleiter empfahl keine besondere Navigationsstrategie (z. B. durch Hinweis auf die Landmarken), sondern erläuterte die jeweilige Bedingung (z. B. die Bedeutung des virtuellen Führers). Sowohl vor den Test- als auch den Übungsdurchgängen wurde ein Plan der Umwelt mit Landmarken, Ausgangspunkt und Ziel (aber ohne Wege) 20 s lang gezeigt. Alle Pläne wurden statisch, aber in der richtigen Orientierung bezüglich der Startposition angezeigt.



Abb. 3 Die Perspektive des Nutzers beim Gehen auf dem Laufband (A) *ohne Unterstützung*, (B) mit *virtuellem Führer* (rote Linie) und (C) mit *Übersichtskarte*

2.4 Datenverarbeitung und statistische Analysen

2.4.1 Datenverarbeitung

Die kinematischen Daten von den unteren Extremitäten (von der Hüfte abwärts) wurden für jeden Durchgang und jeden Teilnehmer einzeln nach folgendem Verfahren verarbeitet und analysiert: In Anbetracht der großen Menge an Bewegungsdaten konzentrierten wir uns auf einen Teil der Wege zwischen der zweiten und fünften Verzweigung der individuellen Routen aus den jeweiligen Durchgängen. Auf diese Weise stellten wir sicher, dass die Bewegungsdaten der Teilnehmer ein vergleichbares Maß an motorischer und kognitiver Belastung beinhalteten. Wir entnahmen also die zwischen der zweiten und fünften Verzweigung entstandenen Bewegungsdaten (also drei von neun möglichen Phasen) und löschten die in den Verzweigungen verbrachte Zeit, um Aufnahmeartefakte aufgrund virtueller Drehungen zu vermeiden. Die Daten wurden als kartesische Koordinaten in einer Matrix von 5500×42 Dimensionen dargestellt (27,5 s mit einer Aufnahme Frequenz von 200 Hz; 3D-Koordinaten von 14 Markern). Nach Korrektur der Bewegungen relativ zum Laufband (z. B. aufgrund zeitlicher Verzögerung hinter der festgesetzten Geschwindigkeit) wurden die Daten einer Hauptkomponentenanalyse unterzogen, um sie in Haupt- und Residualkomponenten (regelmäßige und unregelmäßige Anteile) aufzuteilen (DAFFERTSHOFER et al. 2004). Diese Analyse wurde für die einzelnen Durchgänge separat durchgeführt. Unser Maß der Gangregelmäßigkeit stellte die *residuale Varianz* (RV) dar, die als relativer Anteil der Varianz am residualen Muster (als Prozent der Gesamtvarianz) definiert wurde. Niedrigere Werte weisen auf größere Gangregelmäßigkeit hin (vgl. VERREL et al. 2009). Außerdem wurden die Positionsverschiebungen der Teilnehmer auf dem Laufband in den Richtungen anterior–posterior und links–rechts bestimmt, indem die mittlere Position der Hüft- und Beinmarker berechnet wurde. Die Variabilität der Positionsverschiebungen (VPV) in den Richtungen anterior–posterior (VPV-1) und links–rechts (VPV-2) wurde als zweite Variable für Gangregelmäßigkeit eingesetzt. Niedrigere Werte weisen wieder auf größere Gangregelmäßigkeit hin. Im einzelnen verweisen niedrigere Werte im VPV-1 auf bessere Anpassung an die Gehgeschwindigkeit und niedrigere Werte im VPV-2 auf geringere Schwankungen oder eine herabgesetzte Notwendigkeit, das Gehen durch breitere Schritte zu stabilisieren.

Die Navigationsleistung wurde anhand der bis zum Ziel zurückgelegten Strecke berechnet. Der Vereinfachung halber normalisierten wir die Werte auf den kürzestmöglichen Weg vom Start zum Ziel. Wir berechneten auch den natürlichen Logarithmus, um eine annähernde Normalverteilung zu erreichen und die Variabilitätsunterschiede innerhalb der Bedingungen zu reduzieren, so dass ein Nullwert die beste Leistung indizierte.

2.4.2 Statistische Analysen

Navigationsleistungs- und Bewegungsdaten von beiden Durchläufen in jeder Bedingung wurden gemittelt. Die Navigationsleistungsdaten wurden 2 (jüngere/ältere Altersgruppe) \times 2 (Unterstützungsbedingung) ANOVAs unterzogen – unter Kontrastierung der Bedingungen *keine Unterstützung* und *virtueller Führer*, dann *virtueller Führer* und *Übersichtskarte* und schließlich *keine Unterstützung* und *Übersichtskarte*. Die Kontraste wurden mittels t-Tests für unabhängige Stichproben durchgeführt, bei denen die Gruppeneffekte für

jede Bedingung einzeln festgestellt wurden. Gepaarte t-Tests wurden eingesetzt, um Effekte der Bedingungen für die Altersgruppen einzeln zu beurteilen. Wir berechneten zudem Pearson-Korrelationen, um die potentielle Beziehung zwischen den Kognitions- und Gleichgewichtstests in der ersten Sitzung und der Navigationsleistung zu prüfen. Für Messwiederholungseffekte werden die multivariaten F-Werte angegeben. Das Alphaniveau betrug 0,05. Partielle quadrierte Eta-Werte wurden als Effektgröße berechnet.

Die Ganggüte (RV bzgl. der ersten vier Hauptkomponenten der PCA und VPV) wurde auf die gleiche Weise wie die Navigationsleistung analysiert. Zusätzlich wurde die Beziehung zwischen der Navigationsleistung und Ganggüte mit Pearson-Korrelationen untersucht.

3. Ergebnisse

3.1 Navigationsleistung

Bei der Betrachtung der normalisierten Wegstrecken zum Ziel zeigte sich, dass Ältere in der Bedingung ohne Unterstützung im Durchschnitt zweimal so weit gehen mussten wie die Jüngeren. Mittelwerte und Standardabweichungen für diese Variable sind in Abbildung 4 als Funktion der Altersgruppe und der Unterstützungsbedingung dargestellt. Abbildung 4 weist auch auf altersabhängige Unterschiede zugunsten der jüngeren Männer in den Bedingungen ohne Unterstützung und mit Übersichtskarte hin. Beide Gruppen erreichten die bestmögliche Leistung in der Bedingung mit virtuellem Führer. Die jüngeren Männer kamen in der Bedingung mit Übersichtskarte diesem Leistungsniveau nahe, während die Älteren die Karteninformation nicht im gleichen Maße nutzen konnten. Hervorzuheben ist jedoch, dass beide Gruppen von beiden Unterstützungsarten zu profitieren schienen.

Die $\text{Alter} \times \text{Unterstützung}$ ANOVA ergab Haupteffekte für Unterstützung (*virtueller Führer* versus *keine Unterstützung*: $F(1, 34) = 77,07, p < 0,05, \eta^2 = 0,69$; *Übersichtskarte* versus *keine Unterstützung*: $F(1, 34) = 16,40, p < 0,05, \eta^2 = 0,33$), für Alter ($F(1, 34) = 46,68, p < 0,05, \eta^2 = 0,58$) und für die Interaktion $\text{Alter} \times \text{Unterstützung}$ bei *virtueller Führer* versus *keine Unterstützung*, $F(1, 34) = 24,46, p < 0,05, \eta^2 = 0,42$. Darauf folgende t-Tests bestätigten die erste Beobachtung: der Haupteffekt der Altersgruppe war in den Bedingungen *keine Unterstützung*, $t(34) = -5,12, p < 0,001$, und *Übersichtskarte*, $t(34) = -4,38, p < 0,001$, signifikant, aber nicht beim *virtuellen Führer*, $t(34) = -1,84, p > 0,08$. Gepaarte Vergleiche der Bedingungen durch separate t-Tests für jede Altersgruppe ergaben eine positive Steigung zwischen *keine Unterstützung* und den anderen Bedingungen (Jüngere [*keine Unterstützung* versus *virtueller Führer*]: $t(17) = 6,494, p < 0,001$; [*keine Unterstützung* versus *Übersichtskarte*]: $t(17) = 6,836, p < 0,001$; Ältere [*keine Unterstützung* versus *virtueller Führer*]: $t(17) = 7,182, p < 0,001$; [*keine Unterstützung* versus *Übersichtskarte*]: $t(17) = 2,683, p = 0,016$). Nur bei den Älteren zeigte sich ein Abfall der Navigationsleistung von der Bedingung *virtueller Führer* zur Bedingung *Übersichtskarte* (Ältere: $t(17) = -4,297, p < 0,01$; Jüngere: $p > 0,16$).

Die Korrelationen zwischen den Kognitions- und Gleichgewichtstests und der Navigationsleistung in den drei Bedingungen unterschieden sich bei den jüngeren Männern nicht signifikant von 0 ($ps > 0,16$). Im Gegensatz dazu wurden bei den älteren Männern signifikante Zusammenhänge zwischen Testwerten und der Navigationsleistung in der Übersichts-

kartenbedingung beobachtet. Ältere, die in der Übersichtskartenbedingung besser navigierten, tendierten zu besseren Ergebnissen in Tests zur mentalen Rotation ($r = -0,57, p = 0,013$), im Zahlen-Symbol-Test ($r = -0,63, p = 0,005$) und im „Timed Up and Go“-Test ($r = 0,55, p = 0,019$).

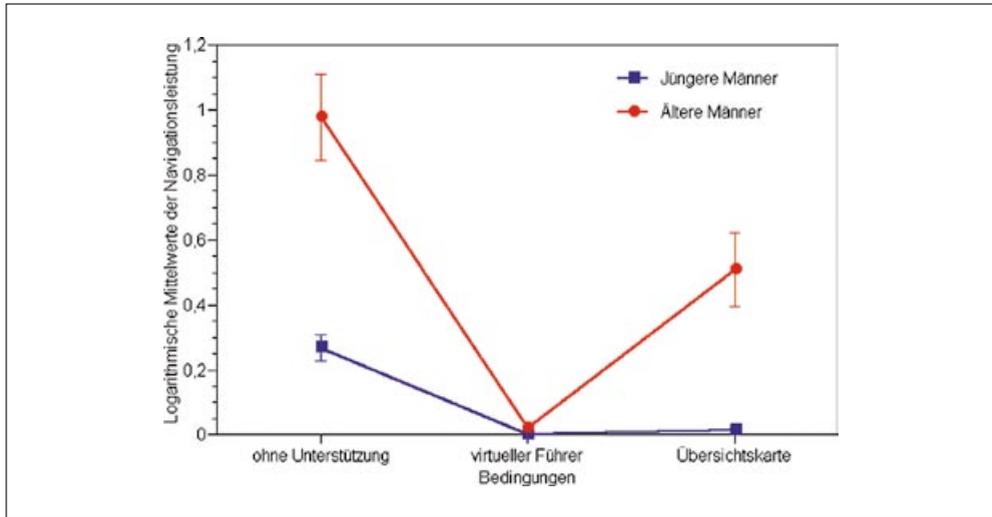


Abb. 4 Logarithmische Mittelwerte der Navigationsleistung nach Bedingung. Die Fehlerbalken stellen die Standardabweichungen des logarithmischen Mittelwertes dar.

3.2 Gangvariabilität

Die Gangvariabilität der Teilnehmer auf der Basis ihrer Positionsverschiebung auf dem Laufband (anterior–posterior, links–rechts) ist in Abbildung 5 dargestellt. Obwohl sich Niveauunterschiede zwischen den Altersgruppen für VPV in beide Richtungen (VPV-1: anterior–posterior; VPV-2: links–rechts) zeigen, zeigt Abbildung 5A, dass bedingungsabhängige Unterschiede der Gangregelmäßigkeit für die Älteren ausgeprägter sind. Statistische Tests bestätigten diesen Eindruck. Analysen der Hauptkomponentenwerte ergaben zumeist keine signifikanten Effekte und werden nicht im Detail berichtet.

Eine ANOVA Alter \times Unterstützung ergab Haupteffekte für Unterstützung (VPV-1 in virtueller Führer versus keine Unterstützung: $F(1, 33) = 24,85, p < 0,001, \eta^2 = 0,43$; VPV-2 in virtueller Führer versus keine Unterstützung: $F(1, 34) = 4,73, p < 0,05, \eta^2 = 0,12$; VPV-2 in Übersichtskarte versus keine Unterstützung: $F(1, 34) = 6,41, p < 0,05, \eta^2 = 0,16$) und für Alter (VPV-1: $F(1, 33) = 18,88, p < 0,05, \eta^2 = 0,36$; VPV-2: $F(1, 34) = 45,00, p < 0,05, \eta^2 = 0,57$) und eine Alter \times Unterstützung – Interaktion für VPV-1 in virtueller Führer versus Übersichtskarte (VPV-1: $F(1, 33) = 10,36, p < 0,003, \eta^2 = 0,24$).

Der t-Test für unabhängige Stichproben ergab signifikante Alterseffekte für RV in der Bedingung mit virtuellem Führer, $t(32) = -2,16, p = 0,039$, für VPV-1 in keine Unterstützung, $t(33) = -5,29, p < 0,001$, und Übersichtskarte, $t(34) = -3,33, p = 0,002$, sowie für VPV-2 in allen drei Bedingungen, $t(34) > -4,08, p < 0,001$.

Gepaarte t-Tests für jede Altersgruppe zwischen den Bedingungen ergaben bei den Älteren in VPS-1 mehr Variabilität in keine Unterstützung als mit virtuellem Führer,

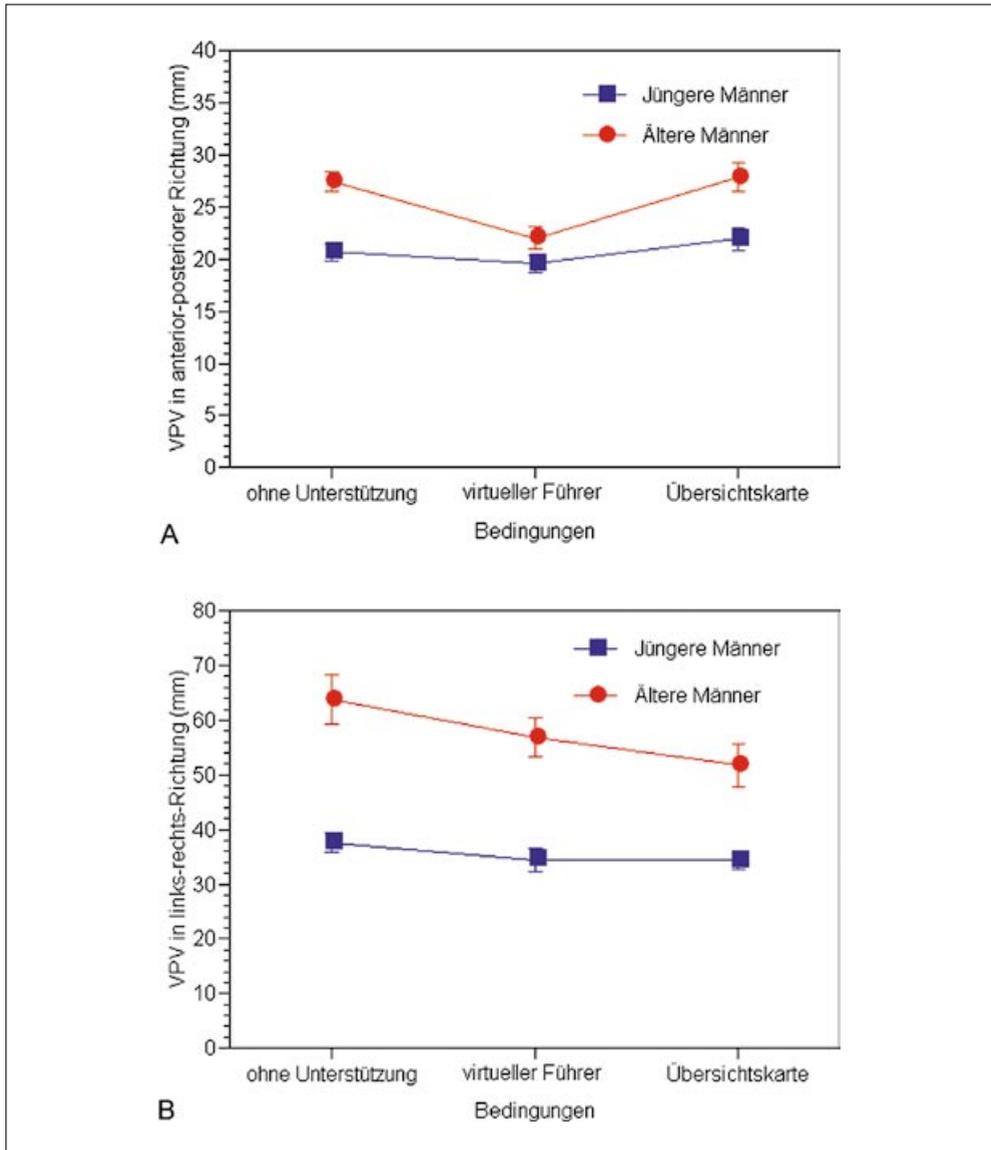


Abb. 5 Variabilität der Positionsverschiebung der Teilnehmer auf dem Laufband (VPV) in den Richtungen (A) anterior–posterior und (B) links–rechts als Funktion der Altersgruppe und der Navigationsbedingungen. Die Fehlerbalken stellen die Standardabweichung des Mittelwertes dar.

$t(17) = 5,158$, $p < 0,001$, und eine geringere Variabilität mit *virtuellem Führer* als mit *Übersichtskarte*, $t(17) = -3,757$, $p = 0,002$. Außerdem stellten wir bei den älteren Teilnehmern in VPV-2 mehr Variabilität in *keine Unterstützung* als mit *Übersichtskarte* fest, $t(17) = 2,131$, $p = 0,048$. Für alle anderen Kombinationen war $p > 0,05$.

Die Korrelationen zwischen Navigationsleistung und Gangvariabilität unterschieden sich nicht signifikant von 0.

4. Diskussion

Im Einklang mit bisherigen Befunden (z. B. LÖVDÉN et al. 2005) zeigte diese Studie altersbedingte Unterschiede in der Navigationsleistung mit und ohne Navigationshilfen auf. Wir beobachteten außerdem hypothesenkonform altersbedingte Unterschiede in den Auswirkungen der Nutzung von Navigationshilfen auf kognitive und sensomotorische Verhaltensaspekte. Während die Leistung in der Bedingung mit *virtuellem Führer* in beiden Altersgruppen optimal war, und insbesondere bei den Älteren deutlich besser war als in der Bedingung *ohne Unterstützung*, konnten nur die Jüngeren die *Übersichtskarte* zur Erlangung maximaler Leistung nutzen. Wir interpretieren dieses Befundmuster so, dass die Unterstützung durch den *virtuellen Führer* zu einem so gut wie vollständigem Ausfall der Navigationsanforderungen führt, weil es dem Verhaltensmuster entspricht, jemandem einfach zu folgen, so dass gar keine Routenverarbeitung mehr nötig ist. Ältere profitieren wegen der hohen Ansprüche, die Navigationsaufgaben an sie stellen, am meisten von dieser Art der Unterstützung.

Die Unterstützung durch eine *Übersichtskarte* verringerte die kognitiven Navigationsanforderungen zu einem geringeren Maße als der *virtuelle Führer*, vermutlich weil die Verarbeitung dieser Unterstützungsform visuell-räumliche Aufmerksamkeitsressourcen beansprucht. Eine solche Investierung von Ressourcen stellte für die meisten jüngeren Teilnehmer kein Problem dar, führte aber bei älteren Teilnehmern zu einem Ressourcenwettbewerb (siehe auch KIRASIC 2000). Passend zu dieser Interpretation stellten wir nur für Ältere eine positive Korrelation zwischen den Leistungen der mentalen Rotation, der Wahrnehmungsgeschwindigkeit und der Bedingung mit *Übersichtskarte* fest. Das Fehlen dieser Korrelation in der Bedingung *ohne Unterstützung* könnte teilweise darauf zurückzuführen sein, dass die Leistungen in mentaler Rotation und Wahrnehmungsgeschwindigkeit für die Verarbeitung der *Übersichtskarte* besonders relevant waren, und teilweise darauf, dass sich die Navigationsleistung in der Bedingung ohne Unterstützung an ihrer Untergrenze befand.

Interessanterweise fiel die Gangunregelmäßigkeit älterer Menschen durch Positionsverschiebung in anterior–posteriorer Richtung in den Bedingungen *keine Unterstützung* und mit *Übersichtskarte* stärker aus als bei der Bedingung *virtueller Führer*. Diese Befunde stehen mit früheren Studien im Einklang, die zeigten, dass kognitive Anforderungen auch sensomotorisches Verhalten wie das Gehen beeinträchtigen können (LÖVDÉN et al. 2008, VERREL et al. 2009). Sie verweisen darauf, dass beim Design von assistierenden Navigationshilfen auch Auswirkungen auf den Funktionsbereich der Gangstabilität einbezogen werden sollten. Diese durch eine Navigationshilfe ausgelöste Abnahme in der Positionsvariabilität könnte für ältere Menschen mit erhöhtem Sturzrisiko im Alltag relevant sein.

Die höhere Gangunregelmäßigkeit in der Bedingung mit *Übersichtskarte* zeigt, dass kognitiv anspruchsvolle Unterstützung – wie bei der Navigation ohne Unterstützung (LÖVDÉN et al. 2005) – Aufmerksamkeitsressourcen von der Aufrechterhaltung eines stabilen Gangmusters abziehen und so die posturale Stabilität (Haltungskontrolle) gefährden. Zukünftige Studien sollten das Design von Navigationshilfen mit minimalen kognitiven Anforderungen für Ältere anstreben. Darüber hinaus sollte die Evaluation von Navigationsgeräten für Fußgänger Gangmessungen einbeziehen, um mögliche Nebenwirkungen beim Einsatz kognitiv anspruchsvollerer Geräte auf Stabilität festzustellen.

Entgegen unseren Hypothesen war die Gangunregelmäßigkeit älterer Teilnehmer in Links-rechts-Richtung mit *Übersichtskarte* am geringsten ausgeprägt. Dies kann durch den

experimentellen Aufbau erklärt werden, weil die *Übersichtskarte* in der virtuellen Umgebung präsentiert wurde und möglicherweise als „Fixationspunkt“ fungierte. Außerdem mussten die Teilnehmer in dieser Bedingung die Umgebung nicht so explorieren wie in der Bedingung ohne Unterstützung. Weitere Experimente sollten dies berücksichtigen, indem Übersichtskarten auf mobilen Geräten oder nicht ständig präsentiert werden.

In Anbetracht der Bedeutung von vestibulären und propriozeptiven Reizen für die Entwicklung und Konsolidierung räumlicher Repräsentationen (z. B. STACKMAN et al. 2002, WALLER et al. 2004) stellt das für diese Studie entwickelte Untersuchungsverfahren gegenüber der klassischen Messung in einer virtuellen Welt einen Fortschritt dar. Gleichzeitig birgt dieses Verfahren einige Einschränkungen. So wird normales Gehen nicht optimal nachgeahmt, weil Änderungen der Gehgeschwindigkeit von Moment zu Moment durch die festgesetzte Laufbandgeschwindigkeit außerhalb der Kontrolle der Teilnehmer liegen. Außerdem sind die Initiierungen einer Richtungsänderung in der virtuellen Umgebung (per Knopfdruck) offensichtlich nicht natürlich. Hinzu kommt, dass körpereigene Informationen eingeschränkt sind: Verschiedene Bewegungen und Rotationen in der virtuellen Umgebung, die eine spezifische optische Wahrnehmung ergeben, stimmen nicht mit der tatsächlich konstanten Bewegungsrichtung im Raum überein. Diese Einschränkungen werden jedoch durch die Vorteile experimenteller Kontrolle und Messgenauigkeit, die einem Versuchsaufbau zur Erforschung von Navigationsverhalten eigen sind, aufgewogen. Zukünftige Untersuchungen sollten aber im Feld erfolgen, um die vorliegenden Befunde zu validieren.

5. Schlussfolgerungen: Designrichtlinien für Fußgängernavigationshilfen

Assistierende Navigationstechnologien sind vielversprechend für die Unterstützung von älteren Menschen in der Doppelaufgabensituation des Gehens und Navigierens. Wenn sie den reduzierten Aufmerksamkeitsressourcen und dem zunehmenden Zusammenspiel zwischen sensomotorischer und kognitiver Funktionsfähigkeit Rechnung tragen, können solche Hilfen bei einem optimalen Design sowohl die Navigationsleistung als auch die Gangregelmäßigkeit verbessern. Wenn ihre Nutzung jedoch die eingeschränkten kognitiven Ressourcen überstrapaziert, bleiben die Vorteile auf der Strecke, sogar soweit, dass die Kosten und nachteiligen Nebenwirkungen überwiegen können. Unsere Befunde unterstreichen daher, dass eine Einbeziehung des Kriteriums der positiven Ressourcenbilanz bei Design und Evaluation assistierender Technologien wesentlich ist (LINDENBERGER et al. in diesem Band, vgl. LINDENBERGER et al. 2008).

Die Ergebnisse veranschaulichen auch die Notwendigkeit der Bewertung der Auswirkungen mobiler assistierender Geräte auf Verhaltensbereiche (z. B. Sensomotorik), die außerhalb des direkt beeinflussten Verhaltens (z. B. Navigation) liegen. Ein zukünftiges Design von Navigationshilfen für Fußgänger kann unserer Ansicht nach von diesen Befunden profitieren. Zum Beispiel gehen Fußgänger normalerweise beim Navigieren, so dass ein Hilfsgerät nicht effizient sein kann, wenn der Nutzer anhalten muss, um die Unterstützung des Systems in Anspruch zu nehmen. Mobile Navigationshilfen sollten deshalb vielleicht verschiedene Informationsebenen bieten, mit unterschiedlichen kognitiven Ansprüchen für das Gehen und Stehen. So könnte eine Karte für einen stehenden Nutzer wegen der größeren Menge an Information angemessen sein, während eine reduzierte Darstellung von Routeninformationen beim Gehen passender wäre. Heutzutage sind mobile Geräte häufig

mit Beschleunigungsmessern ausgestattet. Diese können als Sensoren zur Erkennung des Bewegungsstatus des Nutzers eingesetzt werden (z. B. BIEBER und PETER 2008, KOMNINOS et al. 2008). Wir schlagen vor, dass die von KRÜGER et al. (2004) vorgestellten verfügbaren ressourcenadaptiven Navigationshilfen um eine Erkennung des Gangstatus des Nutzers erweitert werden. Beim Gehen sollte das System den Nutzer nur mit der nötigen Routeninformation in Egoperspektive versorgen und dann beim Stehen auf eine Übersichtsansicht der Umgebung umschalten. Durch ein vielfältiges Angebot von Informationsformaten können Fußgängernavigationssysteme ein Gleichgewicht zwischen Umweltunterstützung und selbst-initiiertes Verarbeiten erreichen und so ein breites Spektrum an individuellen Unterschieden in kognitiven und sensomotorischen Fähigkeiten berücksichtigen.

Dank

Diese Untersuchung wurde im Rahmen des Projektes „Zusammenspiel von sensomotorischer und kognitiver Funktionsfähigkeit“ (*Sensorimotor-Cognitive Couplings Project*) am Forschungsbereich Entwicklungspsychologie des Max-Planck-Instituts für Bildungsforschung in Berlin durchgeführt. Wir möchten unseren studentischen Hilfskräften (vor allem Petra BISTROSCH, Djamilia MALEIKA, Nicole MALIK, Katrin SAUCK und Antje ULLRICH) und Gabriele FAUST für ihre Hilfe bei der Datenerhebung und -vorbereitung danken.

Literatur

- BALTES, P. B., and BALTES, M. M.: Plasticity and variability in psychological aging: Methodological and theoretical issues. In: GURSKI, G. E. (Ed.): *Determining the Effects of Aging on the Central Nervous System*; pp. 41–66. Berlin: Schering 1980
- BALTES, P. B., and LINDENBERGER, U.: Emergence of a powerful connection between sensory and cognitive functions across the adult life span: A new window to the study of cognitive aging? *Psychology and Aging* 12, 12–21 (1997). doi: 10.1037/0882-7974.12.1.12
- BIEBER, G., and PETER, C.: Using physical activity for user behavior analysis. *Proceedings of the 1st International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments*. New York: ACM 2008. doi: 10.1145/1389586.1389692
- CHARNESS, N., and SCHAIK, K. W.: *Impact of Technology on Successful Aging*. New York: Springer 2003
- DAFFERTSHOFER, A., LAMOTH, C. J. C., MEIJER, O. G., and BEEK, P. J.: PCA in studying coordination and variability: A tutorial. *Clinical Biomechanics* 19, 415–428 (2004). doi: 10.1016/j.clinbiomech.2004.01.005
- DIXON, R. A., and BÄCKMAN, L.: Concepts of compensation: Integrated, differentiated, and Janus-faced. In: DIXON, R. A., and BÄCKMAN, L. (Eds.): *Compensating for Psychological Deficits and Declines: Managing Losses and Promoting Gains*; pp. 3–19. Mahwah, NJ: Erlbaum 1995.
- DUNCAN, P. W., WEINER, D. K., CHANDLER, J., and STUDENSKI, S.: Functional reach: A new clinical measure of balance. *Journal of Gerontology: Medical Sciences* 45, M192–M197 (1990)
- FISK, A. D., ROGERS, W. A., CHARNESS, N., CZAJA, S. J., and SHARIT, J.: *Designing for Older Adults: Principles and Creative Human Factors Approaches*. Boca Raton, FL: CRC Press 2004
- HUXHOLD, O., LI, S.-C., SCHMIEDEK, F., and LINDENBERGER, U.: Dual-tasking postural control: Aging and the effects of cognitive demand in conjunction with focus of attention. *Brain Research Bulletin* 69, 294–305 (2006). doi: 10.1016/j.brainresbull.2006.01.002
- JENKINS, L., MYERSON, J., JOERDING, J. A., and HALE, S.: Converging evidence that visuospatial cognition is more age-sensitive than verbal cognition. *Psychology and Aging* 15, 157–175 (2000). doi: 10.1037/0882-7974.15.1.157
- KIRASIC, K. C.: Age differences in adults' spatial abilities, learning environmental layout, and wayfinding behavior. *Spatial Cognition and Computation* 2, 117–134 (2000). doi: 10.1023/A:1011445624332
- KOMNINOS, A., WALLACE, R., and BARRIE, P.: Mobile empathy: Putting the mobile device in its user's shoes. *Proceedings of the 5th Nordic Conference on Human-Computer Interaction: Building Bridges*. New York: ACM 2008. doi: 10.1145/1463160.1463225

- KRÜGER, A., BUTZ, A., MÜLLER, C., STAHL, C., WASINGER, R., STEINBERG, K.-E., and DIRSCHL, A.: The connected user interface: Realizing a personal situated navigation service. Proceedings of the 9th International Conference on Intelligent User Interfaces. New York: ACM 2004. doi: 10.1145/964442.964473
- LI, K. Z. H., LINDENBERGER, U., FREUND, A. M., and BALTES, P. B.: Walking while memorizing: Age-related differences in compensatory behavior. *Psychological Science* 12, 230–237 (2001). doi: 10.1111/1467-9280.00341
- LIGHT, L. L., and ZELINSKI, E. M.: Memory for spatial information in young and old adults. *Developmental Psychology* 19, 901–906 (1983)
- LINDENBERGER, U.: Technologie im Alter: Chancen aus Sicht der Verhaltenswissenschaften. In: GRUSS, P. (Ed.): *Die Zukunft des Alterns*. S. 221–239. München: C. H. Beck 2007
- LINDENBERGER, U., and BALTES, P. B.: Sensory functioning and intelligence in old age: A strong connection. *Psychology and Aging* 9, 339–355 (1994). doi: 10.1037/0882-7974.9.3.339
- LINDENBERGER, U., and LÖVDÉN, M.: Co-constructing human engineering technologies in old age: Lifespan psychology as a conceptual foundation. In: BALTES, P. B., REUTER-LORENZ, P. A., and RÖSLER, F. (Eds.): *Lifespan Development and the Brain: The Perspective of Biocultural Co-Constructivism*; pp. 350–375. New York: Cambridge University Press 2006. doi: 10.1017/CBO9780511499722.018
- LINDENBERGER, U., LÖVDÉN, M., SCHELLENBACH, M., LI, S.-C., and KRÜGER, A.: Psychological principles of successful aging technologies: A critical review. *Gerontology* 54, 59–68 (2008). doi: 10.1159/000116114
- LINDENBERGER, U., MARSISKE, M., and BALTES, P. B.: Memorizing while walking: Increase in dual-task costs from young adulthood to old age. *Psychology and Aging* 15, 417–436 (2000). doi: 10.1037/0882-7974.15.3.417
- LINDENBERGER, U., MAYR, U., and KLIÉGL, R.: Speed and intelligence in old age. *Psychology and Aging* 8, 207–220 (1993). doi: 10.1037/0882-7974.8.2.207
- LIPMAN, P. D.: Age and exposure differences in acquisition of route information. *Psychology and Aging* 6, 128–133 (1991). doi: 10.1037/0882-7974.6.1.128
- LOPRESTI, E. F., MIHAILIDIS, A., and KIRSCH, N.: Assistive technology for cognitive rehabilitation: State of the art. *Neuropsychological Rehabilitation* 14, 5–39 (2004). doi: 10.1080/09602010343000101
- LÖVDÉN, M., GHISLETTA, P., and LINDENBERGER, U.: Cognition in the Berlin Aging Study (BASE): The first 10 years. *Aging, Neuropsychology, and Cognition* 11, 104–133 (2004). doi: 10.1080/13825580490510982
- LÖVDÉN, M., and LINDENBERGER, U.: Development of intellectual abilities in old age: From age gradients to individuals. In: WILHELM, O., and ENGLE, R. W. (Eds.): *Handbook of Understanding and Measuring Intelligence*; pp. 203–221. Thousand Oaks, CA: Sage 2005
- LÖVDÉN, M., SCHÄFER, S., POHLMAYER, A. E., and LINDENBERGER, U.: Walking variability and working memory load in aging: A dual-process account relating cognitive control to motor control performance. *Journals of Gerontology: Psychological Sciences* 63, P121–P128 (2008)
- LÖVDÉN, M., SCHELLENBACH, M., GROSSMAN-HUTTER, B., KRÜGER, A., and LINDENBERGER, U.: Environmental topography and postural control demands shape aging-associated decrements in spatial navigation performance. *Psychology and Aging* 20, 683–694 (2005). doi: 10.1037/0882-7974.20.4.683
- MOFFAT, S. D., ZONDERMAN, A. B., and RESNICK, S. M.: Age differences in spatial memory in a virtual environment navigation task. *Neurobiology of Aging* 22, 787–796 (2001). doi: 10.1016/S0197-4580(01)00251-2
- PARK, H., COLLINS, D. R., and TURVEY, M. T.: Dissociation of muscular and spatial constraints on patterns of interlimb coordination. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* 27, 32–47 (2001). doi: 10.1037/0096-1523.27.1.32
- PODSIADLO, D., and RICHARDSON, S.: The Timed Up and Go: A test of basic functional mobility for frail elderly persons. *Journal of the American Geriatrics Society* 39, 142–148 (1991)
- RIEDIGER, M., LI, S.-C., and LINDENBERGER, U.: Selection, optimization, and compensation (SOC) as developmental mechanisms of adaptive resource allocations: Review and preview. In: BIRREN, J. E., and SCHAIK, K. W. (Eds.): *Handbook of the Psychology of Aging*. 6th ed., pp. 289–313. Amsterdam: Elsevier 2006. doi: 10.1016/B978-012101264-9/50016-1
- SALTHOUSE, T. A., and MITCHELL, D. R. D.: Structural and operational capacities in integrative spatial ability. *Psychology and Aging* 4, 18–25 (1989). doi: 10.1037/0882-7974.4.1.18
- SCHÄFER, S., HUXHOLD, O., and LINDENBERGER, U.: Healthy mind in healthy body? A review of sensorimotor-cognitive interdependencies in old age. *European Review of Aging and Physical Activity* 3, 45–54 (2006). doi: 10.1007/s11556-006-0007-5
- SCHELLENBACH, M., KRÜGER, A., LÖVDÉN, M., and LINDENBERGER, U.: A laboratory evaluation framework for pedestrian navigation devices. Proceedings of the 4th International Conference on Mobile Technology, Applications, and Systems and the 1st International Symposium on Computer Human Interaction in Mobile Technology. New York: ACM 2007. doi: 10.1145/1378063.1378143

- SPIRDUSO, W. W., FRANCIS, K., EAKIN, T., and STANFORD, C.: Quantification of manual force control and tremor. *Journal of Motor Behavior* 37, 197–210 (2005). doi: 10.3200/JMBR.37.3.197-210
- STACKMAN, R. W., CLARK, A. S., and TAUBE, J. S.: Hippocampal spatial representations require vestibular input. *Hippocampus* 12, 291–303 (2002). doi: 10.1002/hipo.1112
- VANDENBERG, S. G., and KUSE, A. R.: Mental rotations, a group test of 3-dimensional spatial visualization. *Perceptual and Motor Skills* 47, 599–604 (1978)
- VERREL, J., LÖVDÉN, M., SCHELLENBACH, M., SCHAEFER, S., and LINDENBERGER, U.: Interacting effects of cognitive load and adult age on the regularity of whole-body motion during treadmill walking. *Psychology and Aging* 24, 75–81 (2009). doi: 10.1037/a0014272
- WALLER, D., LOOMIS, J. M., and HAUN, D. B. M.: Body-based senses enhance knowledge of directions in large-scale environments. *Psychonomic Bulletin & Review* 11, 157–163 (2004)

Dipl.-Inform. Michael SCHELLENBACH³
Forschungsbereich Entwicklungspsychologie
Max-Planck-Institut für Bildungsforschung
Lentzeallee 94
14195 Berlin
Bundesrepublik Deutschland
Tel.: +49 30 82406296
Fax: +49 30 8249939
E-Mail: schellenbach@mpib-berlin.mpg.de

Dr. Martin LÖVDÉN⁴
Forschungsbereich Entwicklungspsychologie
Max-Planck-Institut für Bildungsforschung
Lentzeallee 94
14195 Berlin
Bundesrepublik Deutschland
Tel.: +49 30 82406216
Fax: +49 30 8249939
E-Mail: loevden@mpib-berlin.mpg.de

Dr. Julius VERREL
Forschungsbereich Entwicklungspsychologie
Max-Planck-Institut für Bildungsforschung
Lentzeallee 94
14195 Berlin
Bundesrepublik Deutschland
Tel.: +49 30 82406410
Fax: +49 30 8249939
E-Mail: verrel@mpib-berlin.mpg.de

Prof. Dr. Antonio KRÜGER
DFKI GmbH
Campus D3 2
Stuhlsatzenhausweg 3
66123 Saarbrücken
Bundesrepublik Deutschland
Tel.: +49 681 857755006
Fax: +49 681 857755020
E-Mail: antonio.krueger@dfki.de

Prof. Dr. Ulman LINDENBERGER
Forschungsbereich Entwicklungspsychologie
Max-Planck-Institut für Bildungsforschung
Lentzeallee 94
14195 Berlin
Bundesrepublik Deutschland
Tel.: +49 30 82406572
Fax: +49 30 8249939
E-Mail: seklindenberger@mpib-berlin.mpg.de

³ Auch Institut für Geoinformatik, Westfälische Wilhelms-Universität Münster.

⁴ Auch Department of Psychology, Lund University, Sweden.

Prävention und Rehabilitation von Krankheit im Alter

Elektronische Notfallüberwachung: Sensorbasierte Erfassung und Prävention von kritischen Gesundheitszuständen

Jürgen NEHMER, Martin BECKER, Thomas KLEINBERGER
und Stephan PRÜCKNER (Kaiserslautern)

Mit 4 Abbildungen

Zusammenfassung

In den nächsten Jahrzehnten werden Staaten wie Deutschland zunehmenden sozialen und finanziellen Herausforderungen im Zusammenhang mit unseren alternden Gesellschaften begegnen. Das Risiko altersassoziierter Erkrankungen wie Diabetes, arterielle Hypertonie, Herzerkrankungen, maligne Erkrankungen, neurologische Erkrankungen (Parkinsonsche Krankheit, Demenz, multiple Sklerose), Osteoporose usw. steigt mit zunehmendem Alter drastisch an. Das Auftreten solcher Krankheiten in Kombination mit einem allgemeinen Nachlassen kognitiver, sensorischer und motorischer Fähigkeiten führt bei älteren Menschen häufig zum Verlust des selbstbestimmten und unabhängigen Lebens. Die Unterbringung in Pflegeheimen stellt einen tiefen Einschnitt in die Lebensqualität dar und verursacht enorme Kosten für die Gesundheits- und Sozialsysteme.

Anstatt diesen Weg weiterzuverfolgen, sollte sich die Gesellschaft ernsthaft bemühen, Menschen so lange wie möglich ein selbstbestimmtes und unabhängiges Leben in ihren eigenen vier Wänden zu ermöglichen. Elektronische Lebensassistenzsysteme auf der Grundlage von ambienter Intelligenz haben das Potential, ein unabhängiges Leben trotz altersbedingter Behinderungen zu fördern. Elektronische Lebensassistenzsysteme können ein breites Spektrum von Alltagsaktivitäten, wie z. B. die Haushaltsführung, Essen und Trinken, Medikation, soziale Interaktion usw. unterstützen. Von besonderer Bedeutung beim Erhalt der Autonomie ist die sichere Erfassung und potentielle Verhinderung von kritischen Gesundheitszuständen durch elektronische Notfallüberwachung. In diesem Beitrag wird die Architektur und Anwendung eines Notfallüberwachungssystems beschrieben, das im Rahmen des Projektes EMERGE der Europäischen Union (EU) entwickelt wurde.

Abstract

In the next decades, countries like Germany will face increasing social and financial challenges related to the phenomenon of our aging societies. The risk of age-related diseases such as diabetes, arterial hypertension, cardiac disease, cancer, Parkinson's disease, dementia (including Alzheimer's disease), multiple sclerosis, osteoporosis, etc. rises dramatically with increasing age. The incidence of such diseases in combination with the general loss of cognitive, sensory, and motor capabilities very often results in the loss of a self-determined, independent life for elderly people. The continuation of life in nursing homes represents a turning point for quality of life and creates enormous costs for health care systems.

Instead of pursuing this direction further, society should undertake serious efforts to promote a self-determined, independent life for people in their own homes for as long as possible. Electronic life assistance systems based on ambient intelligence technology have the potential to maintain independent living in the presence of age-related disabilities, thereby promoting "aging in place." Electronic life assistance systems may help in a broad range of daily life activities, such as housekeeping, eating and drinking, medication, social interaction, etc. Of utmost relevance for an independent life is the safe detection and potential prevention of health-related critical states by Electronic Emergency Safeguards (in short: Emergency Safeguards). In this paper, the architecture and principal operation of an Emergency Safeguard system developed in the European Union (EU) project EMERGE is described.

1. Einleitung

Die mittlere Lebenserwartung nimmt besonders in hoch entwickelten Staaten weiterhin zu. Es wird erwartet, dass weltweit die Anzahl der über 65-Jährigen von 357 Millionen im Jahr 1990 auf 761 Millionen Menschen im Jahr 2025 ansteigen wird (COHEN 2003). Mit zunehmendem Alter wächst das Risiko typischer altersbedingter Erkrankungen. Gleichzeitig kommt es zum Verlust kognitiver, sensorischer und motorischer Fähigkeiten. Deshalb wird die Zahl älterer Menschen, die gezwungen sind, ihr Leben in einem Pflegeheim fortzusetzen, rasch ansteigen. Nach Schätzungen des *Statistischen Bundesamtes* (2003) leben derzeit 1,5 Millionen Menschen in Deutschland im Pflegeheim. Diese Zahl wird sich bis 2020 verdoppeln. Es wird erwartet, dass das teure öffentliche Gesundheitssystem Deutschlands, das einen wesentlichen Anteil der Kosten für Pflegeheimaufenthalte übernimmt, schon bald schwerwiegende finanzielle Probleme haben wird.

Es überrascht nicht, dass das Phänomen der alternden Gesellschaften Politiker, öffentliche Institutionen, Gesundheits- und Pflegeeinrichtungen in ganz Europa zwingt, nach Lösungen zu suchen, die es älteren Menschen ermöglicht, lange ein selbstbestimmtes Leben mit einer akzeptablen Lebensqualität zu führen und die enormen, durch die Institutionalisierung in Pflegeeinrichtungen verursachten Kosten zu senken.

Elektronische Lebensassistenzsysteme stellen einen vielversprechenden Ansatz dar (DISHMAN 2004). Europäische und deutsche Geldgeber haben für die Forschung auf diesem Gebiet beträchtliche Mittel bereitgestellt. Dieser Beitrag berichtet über Ergebnisse des EU-Projektes EMERGE, das im Februar 2007 begann (PRÜCKNER et al. 2008, vgl. *EMERGE-Website*¹). Es zielt darauf ab, ein Systemkonzept zur Erfassung und Prävention von häuslichen Notfällen zu entwickeln und zu validieren.

In Abschnitt 2 geben wir eine Übersicht gegenwärtiger medizinischer Notfalldienste in Deutschland. In Abschnitt 3 stellen wir unser Systemkonzept für elektronische Notfallüberwachung in häuslichen Umgebungen auf der Basis von ambienter Intelligenz vor. Wir präsentieren dann in Abschnitt 4 ein den Gesundheitszustand des Menschen reflektierendes Vitalitätsmodell und seine Approximierung als Grundlage für Notfallerfassung und -prävention. Die allgemeine Systemarchitektur wird in Abschnitt 5 skizziert. Es folgt eine Diskussion vergleichbarer Ansätze, bevor im letzten Abschnitt offene Fragen und ethische Aspekte beleuchtet werden.

2. Gegenwärtige Erfahrungen in medizinischen Notfalldiensten

Aufgrund fundamentaler demographischer und gesellschaftlicher Veränderungen müssen die medizinischen Notfalldienste auf eine zunehmende Anzahl geriatrischer Notfälle reagieren (PRÜCKNER et al. 2008). Im Jahr 2005 waren 5,9 Millionen Menschen in Deutschland über 65 Jahre alt (19% der Bevölkerung), und es wird erwartet, dass diese Zahl bis 2050 auf 22,9 Millionen (33%) ansteigen wird (*Bundesministerium für Jugend, Familie, Senioren und Gesundheit [BMJFSG]* 2005). In deutschen Städten sind bereits über 40% aller Patienten, mit denen die präklinischen Notfalldienste Kontakt haben, über 70-jährig. Wegen des hohen Anteils alleinstehender älterer Menschen (46% unter den 75- bis 79-Jährigen, 60%

¹ Die URLs der zitierten Websites sind im Literaturverzeichnis aufgeführt.

unter den über 80-Jährigen), wird die adäquate Versorgung dieser Bevölkerungsgruppe zunehmend relevant (BMJFSG 2005).

GURLEY et al. (1996) analysierten Notfalleinsätze ($n = 10402$) im kalifornischen San Francisco und betrachteten Alleinlebende, die zu Hause hilflos oder tot aufgefunden wurden ($n = 387$, 3,7%). Das mittlere Alter dieser Menschen war 73 Jahre. Nur 11 % der Notfallmelder waren Familienmitglieder. 23 % der Betroffenen konnten nur noch tot aufgefunden werden. Unter den lebend angetroffenen Personen wurden 62 % in ein Krankenhaus aufgenommen, von denen 52 % auf einer Intensivstation behandelt werden mussten. Nur 62 % der Überlebenden konnten zu einem selbstständigen Leben zurückkehren. In den Fällen, in denen die Phase der Hilflosigkeit mehr als 72 Stunden gedauert hatte, betrug die Sterblichkeit 67%. Laut dieser Studie waren die häufigsten Ursachen der Hilflosigkeit in abnehmender Reihenfolge: Unfähigkeit aufzustehen, Person tot aufgefunden, Person nicht ansprechbar, veränderter geistiger Zustand, Stürze, Kurzatmigkeit oder Thoraxschmerz und zerebrovaskuläre Ereignisse wie z.B. Schlaganfälle. Der zugehörige Leitartikel von CAMPION (1996, S. 1738) folgte: „[...] Hilflosigkeit ist ein echter medizinischer Notfall. Er ist so verbreitet, dass er wahrscheinlich einem unserer eigenen Familienmitglieder passieren wird, oder sogar uns selbst, wenn es uns nur gelingt, alt genug zu werden.“

Für das Design und die Implementierung von Notfallerefassungs- und Präventionstechnologie ist es erforderlich, detaillierte Information über medizinische und soziale Umstände sowie das Umfeld der in medizinische Notfallsituationen geratenen Menschen zu erhalten (PRÜCKNER et al. 2008). Die bei präklinischen Notfallinterventionen auftretenden praktischen Probleme und die zentrale Rolle von Kontextfaktoren wie soziale Isolation, eingeschränkte geistige Fähigkeiten und der resultierenden Hilfsbedürftigkeit wurden im Rahmen des EMERGE-Projektes in einer epidemiologischen Studie untersucht. In der prospektiven Fragebogenstudie wurden die Daten durch die Notärzte erhoben, die vor Ort für die Notfallbehandlung verantwortlich waren. Es zeigte sich, dass ältere Menschen die größte Gruppe bildeten, die Notärzte in der präklinischen Versorgung in Anspruch nehmen (vgl. Abb. 1).

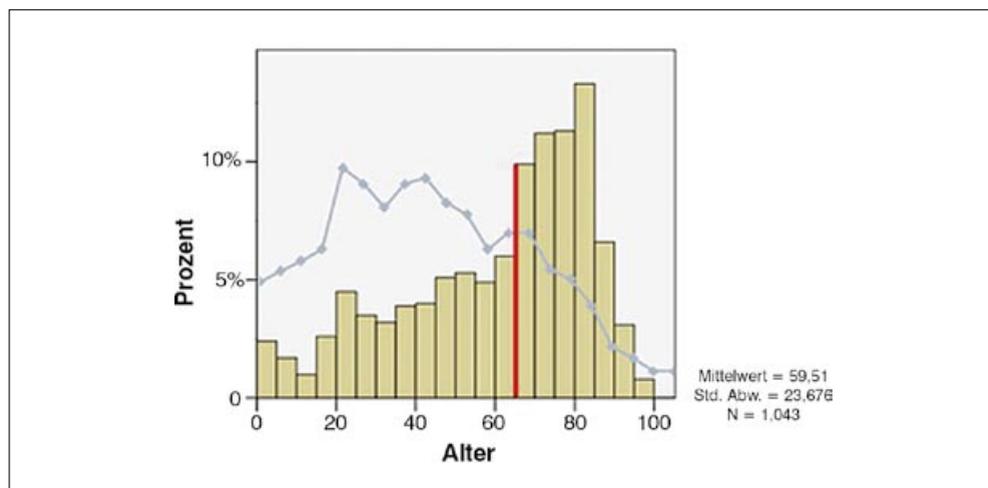


Abb. 1 Altersverteilung der Einwohner von Kaiserslautern, die Notfalleinsätze des Westpfalz-Klinikums ausgelöst haben

Laut unserer Studie ist die Gruppe der über 65-jährigen Patienten im Vergleich zu jüngeren Patienten durch einen hohen Anteil von Personen gekennzeichnet, die an chronischen (94% versus 55%) und multiplen Erkrankungen (61% versus 14%) leiden. Außerdem sind Allgemein- und Ernährungszustand bei älteren Notfallpatienten erheblich beeinträchtigt. Das Sturzrisiko nimmt im Alter massiv zu und erreicht bei einem Alter von 80 seinen Höhepunkt (RUBINSTEIN 2006). Die meisten Stürze haben medizinische Hintergründe, und sind eher nicht auf Hindernisse zurückzuführen. Bei mehr als 29% der über 65-Jährigen betrug die Zeit zwischen Notfallereignis und Alarm beim Notfalldienst mehr als eine Stunde; bei einigen Patienten lag das Ereignis mehr als 24 Stunden zurück.

Nur ein kleiner Anteil der Notrufe wurde von den Betroffenen selbst getätigt. Die Notfalldienste wurden meistens von anderen Personen kontaktiert. Fehlalarme waren bei sozial isolierten Personen viel häufiger, und Notfälle mit schweren Folgen bis hin zum Todeseintritt traten häufiger bei alleinstehenden Personen auf (LUIZ et al. 2002). Hausnotrufsysteme werden selten genutzt, und wir konnten nachweisen, dass Patienten vor allem in lebensbedrohlichen Notsituationen nicht in der Lage waren, ein Hausnotrufsystem zu betätigen.

Unterstützende Technologien („Assisted Living“) mit ambienter Intelligenz könnten ältere Menschen befähigen, länger ein sicheres und selbstbestimmtes Leben zu führen. Die Integration der durch diese Technologien bereitgestellten zusätzlichen Informationen in die existierenden Abläufe der medizinischen Not- und Rettungsdienste ist die logistische Voraussetzung für die Etablierung einer sozialmedizinischen Unterstützung, die auf die Bedürfnisse einer alternden Gesellschaft zugeschnitten ist.

3. Konzeptuelle Überlegungen zur elektronischen Notfallüberwachung

Elektronische Notfallüberwachung zielt auf die Früherkennung und die Abwehr von kritischen Gesundheitszuständen, die ohne adäquate Reaktion zu Notfällen führen könnten, sowie auf die sichere Erfassung und Meldung von plötzlichen Notfällen wie Stürzen. Notfallüberwachung ist nach NEHMER und ROMBACH (2008) ein Spezialgebiet innerhalb der Anwendungsdomäne „Assisted Living“.

Abbildung 2 gibt einen allgemeinen Überblick über unsere Systemphilosophie zur elektronischen Notfallüberwachung in häuslichen Umgebungen, das auf ambienter Intelligenz basiert (MATTERN 2004, BECKER et al. 2006). Das System ist in der Lage, seine Umgebung mittels eines Sensornetzes zu erfassen (MATTERN und RÖMER 2003, RÖMER und MATTERN 2004, FLEISCH und MATTERN 2005, MATTERN 2007) und verarbeitet die erfasste Kontextinformation proaktiv (ROTHERMEL et al. 2008), d. h. die Notwendigkeit manueller Intervention entfällt. Die erforderlichen Kontextinformationen sind vorwiegend Verhaltensdaten der assistierten Person. Es existieren prinzipiell drei Methoden, solche Daten zu erfassen: (a) Instrumentierung der Personen mit Sensoren (z. B. Körpersensoren), (b) Instrumentierung der Umgebung, in der sie lebt (z. B. ihrer Wohnung), mit Sensoren und (c) eine Kombination beider Methoden.

Unter Berücksichtigung der abnehmenden kognitiven Fähigkeiten und technischen Fertigkeiten älterer Menschen entschieden wir uns für die dritte Alternative, jedoch mit dem klaren Ziel, die Instrumentierung der Person auf ein Minimum zu beschränken. Um elementare Vitaldaten wie Puls, Blutdruck oder Körpertemperatur zu erfassen, sind nach wie vor tragbare Körpersensoren erforderlich. In naher Zukunft werden hierfür alternativ implantierbare Chips zur Verfügung stehen (PENTLAND 2004).

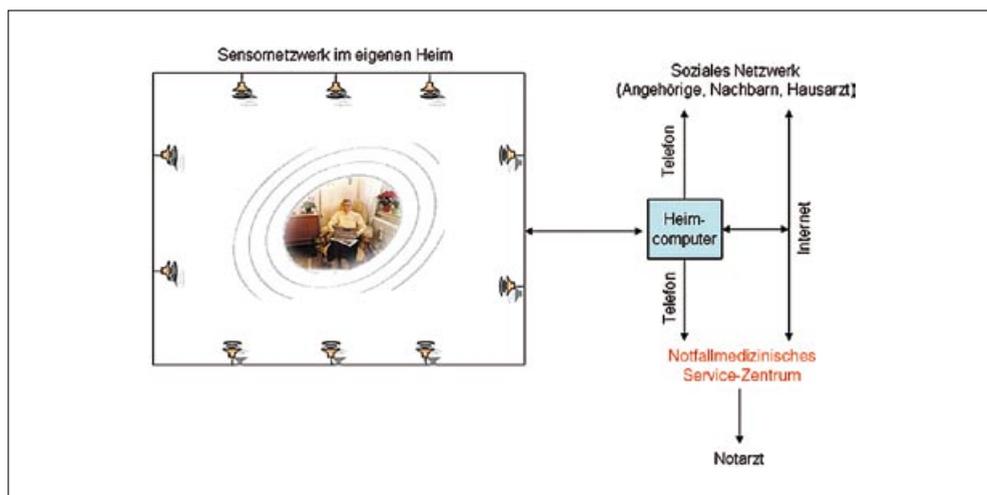


Abb. 2 Systemkonzept für eine elektronische Notfallüberwachung aus Sensornetzwerken, einer Schnittstelle, und einem zentralen, mit dem Telefonnetz und Internet vernetzten Heimcomputer

Die erfassten Verhaltensdaten der Person werden an einen zentralen Computer in der Wohnung übertragen, der die Daten interpretiert und entsprechende Aktionen einleitet. Im Fall einer erkannten kritischen Situation oder eines Notfalls wird die folgende Aktionssequenz durchlaufen:

- Die Person wird möglichst durch Ansprache kontaktiert und zu einer Reaktion aufgefordert. Zum Beispiel könnte das System die Person daran erinnern zu trinken und dann auf diese Handlung warten. Wenn sie wie erwartet reagiert, also trinkt, beendet das System die Notfallbehandlung und kehrt zum Beobachtungsmodus zurück.
- Wenn die Person nach einer Aufforderung nicht wie erwartet reagiert, geht das System zunächst von einem potentiellen Notfall aus und versucht, je nach Beurteilung der Situation, einen Angehörigen des sozialen Netzwerkes der Person oder den Hausarzt zu erreichen.
- Wenn dieser Versuch misslingt, wird eine Notfallzentrale alarmiert. Der dortige Disponent kann sich via Internet in das Haussystem der betroffenen Person einwählen, kann mit Hilfe eines privilegierten Zugriffes auf eine Kamera in dem Zimmer, in dem der Notfall aufgetreten ist, Einsicht nehmen, und kann versuchen, mit der Person audiovisuell zu kommunizieren.
- Wenn der Disponent die Situation mit Hilfe dieser Maßnahmen nicht innerhalb der durch die Bearbeitungsprozesse definierten Reaktionszeiten lösen kann, sendet er wie üblich einen Rettungswagen und/oder einen Notarzt zur Wohnung.

Im durch die Europäische Union geförderten Projekt *EMERGE* (Website) arbeiten wir mit den medizinischen Notdiensten der Stadt Kaiserslautern zusammen, um in Zukunft solche modernen „Assisted Living“-Lösungen in Feldtests zu erproben und die Arbeitsflüsse der integrierten Leitstellen, der Feuerwehren und der medizinischen Rettungsdienste entsprechend zu modernisieren.

4. Vitalitätsmodell des Menschen und seine Approximierung

Ein funktionierendes Notfallerkennungs- und -präventionssystem muss sich, um eine hohe Erfassungsrate von kritischen Gesundheitszuständen zu gewährleisten, auf ein solides Modell stützen, das wie in Abbildung 3 dargestellt den aktuellen funktionalen Gesundheitszustand der beobachteten Person angemessen widerspiegelt (NEHMER et al. 2006).

Der funktionale Gesundheitszustand wird durch eine komplex zeitabhängige Funktion f_t repräsentiert, die zu jedem Zeitpunkt einen Vitalitätswert h liefert. Drei horizontale Linien stellen Schwellenwerte mit spezifischer Bedeutung dar. Die Horizontale $h = a$ bedeutet perfekte Vitalität. Die Horizontale $h = b$ ergibt sich durch Subtraktion der vorhandenen spezifischen Beeinträchtigungen der Person von Linie a . Die Horizontale $h = c$ markiert die Grenze zwischen unkritischen und kritischen Gesundheitszuständen. Der Punkt, an dem die Funktion f_t Linie c kreuzt (Totalausfall einer Vitalität), und der Punkt, an dem die Kurve die Abszisse ($h = 0$) kreuzt, stecken ein kritisches Fenster ab. Die Hauptaufgabe der Notfallprävention besteht darin, den Eintritt in das kritische Fenster zu erkennen und adäquate Maßnahmen zu ergreifen, um den Notfall zu verhindern. Wenn diese Maßnahmen erfolgreich sind, bewegt sich die Kurve nach einer gewissen Zeit wieder aus dem kritischen Fenster heraus. Wenn jedoch alle Notfallpräventionsmaßnahmen versagen, sollte das System dies zuverlässig erkennen und eine adäquate Notfallbehandlung veranlassen.

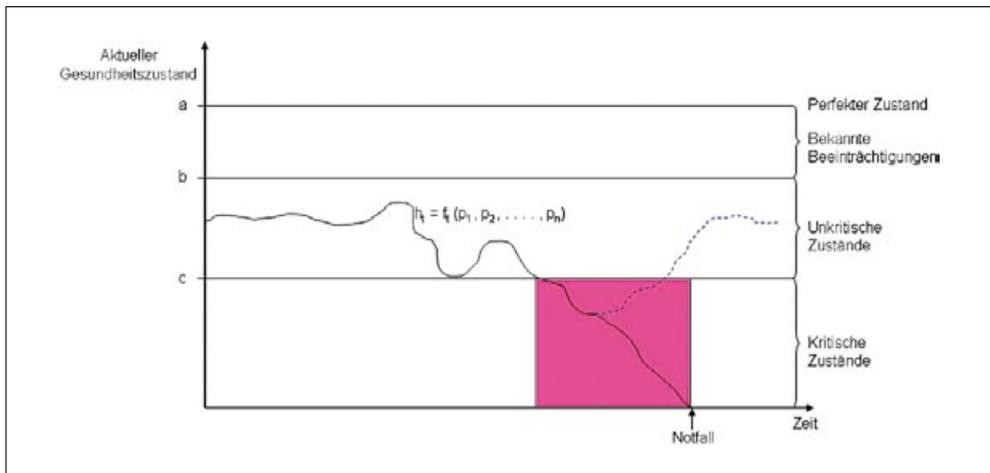


Abb. 3 Vitalitätsmodell des Menschen: Veränderungen des Gesundheitszustandes

Leider kann die Funktion f_t nicht präzise mathematisch definiert werden. Eine Approximierung wird durch den folgenden abstrakten Algorithmus angegeben:

*Vitalität V {Verhaltensbeobachtung der Person im Zeitfenster Δt ;
Komposition von Situationen aus der Personenspur;
Situationsevaluation und -bewertung;
wenn Situation = kritischer Gesundheitszustand,
Initiierung angemessener Maßnahmen}*

Dieser Algorithmus basiert auf der dauerhaften Verfolgung und Aufnahme des Verhaltens der Person durch ein Sensornetzwerk. Die Personenspur, die als Sequenz von Sensorereignissen gebildet wird, wird periodisch inspiziert und führt zu einer Komposition von *Situationen*. Diese erfassen relevante Gesundheitszustände in einer symbolischen Repräsentation und werden mit einem Datensatz von kritischen Fallindikatoren verglichen, die in einem medizinischen Wissensmodell gespeichert sind. Wenn dieser Vergleich einen kritischen Zustand oder einen Notfall signalisiert, veranlasst das System angemessene Maßnahmen zur Prävention des Notfalls oder alarmiert, wie oben beschrieben, das soziale Netzwerk der Person oder den Notdienst.

5. Eine offene Systemarchitektur für die elektronische Notfallüberwachung

Die durch EMERGE gebotene allgemeine Systemfunktionalität kann in einen Satz von Wissensmodellen („Knowledge Models“) mit fünf funktionellen Schichten zerlegt werden (vgl. Abb. 4). Die Modelle umfassen:

- ein *Informationsmodell*, das die Repräsentation und Semantik der Information, die erfasst, aggregiert und erschlossen wird, beschreibt,
- ein *Nutzermodell*, das nutzerabhängige Information, Präferenzen und nutzerspezifische Charakteristiken von Tätigkeiten und Fähigkeiten erfasst,
- ein *Umgebungsmodell*, das eine integrierte Sicht der Umgebung des Nutzers sowie der darin existierenden Objekte und eine Beschreibung der Hardware-Infrastruktur des Systems, vor allem der eingesetzten Sensorsysteme, erzeugt, und
- das *Vitalitätsmodell des Menschen*, das medizinisches Expertenwissen über die Zusammenhänge medizinischer Parameter, wesentliche Daten zu menschlichen Aktivitäten und Informationen zum Verhalten, die aus den Umgebungs- und Nutzermodellen gespeist werden, modelliert.

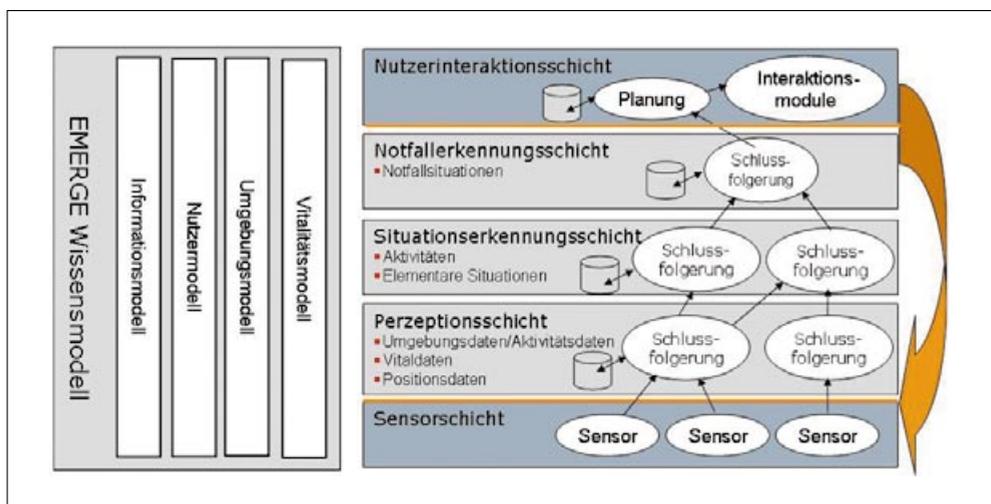


Abb. 4 Mehrschichtige Systemarchitektur mit den wesentlichen Komponenten und ihren Interaktionen

Das durch diese Modelle erfasste Wissen wird von Servicekomponenten benötigt, die zu folgenden Schichten des Systems gehören:

- Die *Sensorschicht* erfasst den Menschen und seine Umgebung und stellt periodisch oder spontan numerische Daten bereit. Aktivitätsinformationen beinhalten Gerätenutzung, Bewegung, Lokalisierungsinformation von Menschen und Objekten sowie Vitalparameter und Umgebungsinformationen (wie Temperatur und Lichtverhältnisse) als primäre Datenquellen.
- Die *Perzeptionsschicht* verbessert durch Sensorfusionsalgorithmen die Qualität des Signals und transformiert die numerischen Datenwerte (Lokalisierung, Aktivität, Zustand und Vitaldaten) in symbolische Werte, die in ein homogenes Weltmodell integriert werden. Darüber hinaus werden Bereiche von besonderem Interesse aufgrund des momentanen Aufenthaltsortes der überwachten Person identifiziert.
- Die *Situationserkennungsschicht* erfasst durch multimodale Datenfusions- und Schlussfolgerungsalgorithmen kontinuierlich komplexe Situationen auf der Basis von Aktivitäten und der gegenwärtigen Situation des Nutzers. Mittels dieser Datenfusion können Inputsignale niedriger Qualität zu einem Output hoher Qualität aggregiert werden. Unter den Bestandteilen dieser Schicht ist ein Anwesenheitsdetektor (*PresenceDetector*), der feststellt, ob niemand, eine Person oder mehrere Personen sich im beobachteten Raum aufhalten; ein Sturzdetektor (*FallDetector*); ein Bewegungslosigkeitsdetektor (*MotionlessnessDetector*); ein Vitaldatenmonitor; ein Aktivitätsaggregator (*ActivityAggregator*), der Aktivitäten des täglichen Lebens („Activities of Daily Living“, ADL) erfasst; und ein Trenddetektor (*TrendDetector*), der erkannte Situationen über die Zeit (Tage, Wochen, Monate) aggregiert und langfristige Trends ermittelt.
- Die *Notfallerkennungsschicht* analysiert und beurteilt die erfassten Situationen auf der Grundlage des menschlichen Kapazitätsmodells als normal, verdächtig oder kritisch. Sie beinhaltet zwei wesentliche Komponenten: (a) einen Detektor für akute Notfälle (plötzlicher Sturz, Bewegungslosigkeit oder kritische Vitaldaten) und (b) einen Detektor für langfristige Trendvorhersagen (z. B. in Bezug auf Bewegung). Um die Präzision und Wiederverwendung zu steigern, müssen in diese Komponenten sich wiederholende Muster und nutzerspezifische Vorbedingungen einbezogen werden. In diesem Stadium werden Entscheidungsunterstützung und das Auslösen von aktiver Hilfe im Notfall und bei Abweichungen vom „normalen“ Verhalten geboten.
- Die *Nutzerinteraktionsschicht* schließt die Planung, Disposition und Ausführung von Anwender–System- und System–System-Interaktionen ab.

Die Informationen der Dienste auf niedrigerer Ebene werden aggregiert, kombiniert und als Verarbeitungsergebnisse den höheren Ebenen bereitgestellt. Dies führt zu einer schrittweisen Datenabstrahierung, mit der die inhärente Komplexität der umfangreichen Mengen gesammelter Sensorendaten beherrscht wird. Um eine offene und flexible Struktur des EMERGE-Systems zu gewährleisten, findet der Informationsfluss unter den Komponenten nicht über direkte Schnittstellen zwischen den einzelnen Komponenten statt. Stattdessen verfolgen wir einen Informationsvermittlungsansatz („Information Brokering“), bei dem sich die verschiedenen Komponenten bei einem sogenannten Kontextmanager anmelden, um Kontextinformation zu veröffentlichen und zu beziehen. Dieser Ansatz erlaubt es, mit geringem Aufwand neue Sensoren, Aggregatoren oder Assistenzenkomponenten hinzuzufü-

gen. Des Weiteren können wir so Szenarien im System aufnehmen und wieder verwenden und besitzen damit ein leistungsfähiges Hilfsmittel zur Verbesserung der Erkennung von Situationen.

6. Ähnliche Forschungsarbeiten

Die Arbeit an elektronischen Notfallüberwachungssystemen läuft inzwischen seit über 40 Jahren. Heute verfügbare Notfallüberwachungstechnologie kann in drei Gruppen unterteilt werden: Unterstützung durch (a) manuelle Auslösung von Notrufen, (b) automatische Notfallerkennung und -meldung und (c) ferngesteuerte Gesundheitsüberwachung. Nur selten wird im Notfall automatische Hilfe vor Ort (z. B. durch Roboter) angeboten.

6.1 Manuelles Auslösen von Notrufen

Die meisten derartigen Systeme werden von Hilfsorganisationen wie dem Deutschen Roten Kreuz (DRK) angeboten und betrieben. Manuelle Notrufsysteme bestehen üblicherweise aus zwei Komponenten: (a) einem kleinem Gerät (z. B. ein Notrufknopf), das der Nutzer zur manuellen Auslösung eines Notrufes und Initiierung sofortiger sprachlicher Kommunikation bei sich trägt, und (b) einer Basisstation, die an das öffentliche Telefonnetz angeschlossen ist. Viele Anbieter offerieren zusätzlich einen „Zeitalarm“, der automatisch einen Notruf auslöst, wenn eine bestimmte Zeit (meistens 24 Stunden) ohne Kontakt zwischen Nutzer und System verstrichen ist.

6.2 Automatische Notfallerkennung und -meldung

Die meisten automatischen Notfalldetektoren dienen der Erkennung von plötzlichen Stürzen. Es handelt sich um kleine Geräte, die um die Taille oder an der Brust getragen werden. Um das Falschmeldungsrisiko zu reduzieren, setzen sie einen zweistufigen Erfassungsmechanismus ein: Ein Beschleunigungsmesser erfasst Stöße, die über eine definierte Schwelle hinausgehen, und ein Neigungsmesser bestimmt die Lage des Nutzers. Im Falle mentaler Einschränkungen informieren Bewegungsmelder mitwohnende Pfleger oder Verwandte, die wissen wollen, ob ihr Angehöriger einen Bereich betritt, der für ihn risikoreich sein könnte. Alternative Lösungen zur Sturzerkennung mit Sensoren in der Umgebung (ohne tragbares Gerät) basieren auf druckempfindlichen Matten (z. B. *Vorwerk Thinking Carpet*, Website), auf Videotechnologie oder 3D-Positionsbestimmung (z. B. *Ubisense*, Website).

6.3 Fernüberwachung des Gesundheitszustandes

Viele Patienten mit chronischen Erkrankungen verwenden zu Hause Geräte zur Messung von Vitaldaten. Die meisten messen Blutdruck, Blutzucker, Gewicht oder Körperfettgehalt. Patienten mit chronischen Lungenerkrankungen verwenden Geräte, die ihre Lungenfunktion (z. B. respiratorischen Peak-Flow) oder Sauerstoffsättigung (Pulsoximetrie) messen und protokollieren. Alle Messvorgänge (Aktivierung, Messung und Ergebnisinterpretation) müssen in der Regel per Hand vom Nutzer selbst erledigt werden. Bei der Fernüberwachung des Gesundheitszustandes werden die Messungen zunächst drahtlos

an eine Basisstation zu Hause gesendet und anschließend mittels Datentransfer über Telefon oder Internet an ein Beobachtungszentrum weitergeleitet, wo sie von medizinischen Experten ausgewertet werden. Fernüberwachung des Gesundheitszustandes ist noch nicht weit verbreitet. Deshalb sind die eingesetzten Sensoren noch umständlich zu handhaben.

6.4 Überblick unterstützender Alterstechnologie

Gute Überblicke über die gegenwärtig verfügbare unterstützende Technologie in der Altersversorgung geben MISKELLY (2001), *Frost & Sullivan* (2005) in der Studie zu „European Remote Patient Monitoring Markets“, MADLER et al. (2005) und eine laufende Studie für die Europäische Kommission zu ICT für selbstständiges Leben im Alter (*ICT for Independent Living for Elderly*, Website). Der Artikel von DISHMAN (2004) bietet eine hervorragende Einführung in elektronische Unterstützungssysteme in Wohnungen für ältere und hilfsbedürftige Menschen und deren Potential für die alternde Gesellschaft.

Während der traditionelle geriatrische Ansatz meist darin besteht, ADLs durch das Pflegepersonal manuell erfassen zu lassen oder Individuen via Fragebogen zu befragen, und diese Information anschließend auszuwerten, um adäquate Hilfs- oder Pflegeprogramme für die Betroffenen zu bestimmen (KANE und KANE 1981, LAWTON 1988, FILLENBAUM 2001), zielen neuere Ansätze darauf ab, eine automatisierte Notfallerkennung und -meldung auf der Grundlage von Verhaltensüberwachungssystemen („Automatic Behavioral Monitoring Systems“, ABMS) zu realisieren (GLASCOCK und KUTZICK 2006). ABMS überwachen die Umgebung mittels Sensoren (ambient Technologie) und nicht die Individuen selbst. Sie kombinieren technische Merkmale von „Smart Homes“ (mit Automationstechnologie) und Telemedizin (insbesondere physiologische Prozesstelemetrie; vgl. KUTZIK und GLASCOCK 2004, GLASCOCK und KUTZICK 2007).

Zur automatisierten Auswertung von ADL-Messungen in verhaltensbasierten Überwachungsansätzen können bewährte Methoden zur langfristigen Trendanalyse aus der Wirtschaftsmathematik oder Signalverarbeitung eingesetzt werden. HAIGH und Kollegen (2003) beschreiben verschiedene Ansätze der Notfallerkennung mit passiver Überwachungstechnologie. Bislang werden jedoch Trendanalysen zur Erfassung kritischen Verhaltens selten eingesetzt. Im Bereich des unterstützten Wohnens mit ambienter Technologie („Ambient Assisted Living“) müssen wir mit neuen Herausforderungen wie dem Umgang mit Lücken in der Datenerfassung, Ungenauigkeiten bei den gemessenen Werten, riesigen Mengen an Rohdaten von Sensoren (z. B. kurzfristig auf einer täglichen Basis und langfristig auf einer wöchentlichen oder sogar monatlichen Basis) sowie auch mit unterschiedlichen Qualitäten der berechneten Trends umgehen. Hinzu kommt, dass eine enorme Vielfalt von Schlussfolgerungsansätzen aus dem Forschungsbereich der künstlichen Intelligenz zur Auswertung der Messungen eingesetzt werden kann, um Trendanalysen auf der Basis von ungenauen und unvollständigen Daten durchzuführen. WILSON (2005) gibt eine gute Übersicht verschiedener Ansätze.

Im Folgenden stellen wir einen kurzen Überblick über am Markt verfügbare Produkte und aktuelle Forschungsaktivitäten auf dem Gebiet des „Assisted Living“ zusammen. Eine umfassendere Darstellung findet sich in der Studie des *Bundesministeriums für Bildung und Forschung* (BMBF 2005) zur Situation der medizinischen Technologie in Deutschland.

6.4.1 Produkte zur technischen Unterstützung des Wohnens

Heute gängige Produkte auf dem Gebiet des „Ambient Assisted Living“ sind mobile Telefone für ältere Menschen, die Notruffunktionen und Positionsbestimmung des Nutzers vereinen (z. B. *Vitaphone*, Website), Hausnotrufsysteme (z. B. *DRK-Hausnotruf*, Website), oder allgemeine Aktivitätserfassungsgeräte (z. B. *IST Vivago* oder *Sophia*, Websites). Diese kommerziell erhältlichen Systeme haben die Gemeinsamkeit, dass sie für Einzelpersonen bezahlbar sind (typischerweise betragen die monatlichen Gebühren für Ausstattung und Dienste weniger als 50 EUR). Eine weitere Gemeinsamkeit besteht darin, dass keines dieser Systeme Verhaltensanalysen auf der Basis von ADLs unterstützt. Einige wenige Produkte bieten eine zusätzliche Erkennung allgemeiner oder spezifischer Aktivitäten, aber keine ADL-Erfassung. Beispiele sind:

- eNeighbor von *Healthsense* (Website), das mit einer Vielzahl drahtloser Sensoren eine breite Spanne von Aktivitäten grob erfasst;
- Como von *GrandCare Systems* (Website), das ein allgemeines Aktivitätsniveau mit diskreten Sensoren (Bewegung, Tür, Temperatur usw.) feststellt; und
- *QuietCare* (Website), das Daten zur Aufwachzeit, Essensvorbereitung, Medikamenteneinnahme und nächtlichem Aufsuchen des Badezimmers aufzeichnet.

6.4.2 Forschungsprogramme

Da der Markt für elektronische Notfallüberwachungssysteme derzeit sehr geräteorientiert ist, legen Staaten der Europäischen Union und die Europäische Union selbst Forschungsprogramme auf, um die Entwicklung neuer ganzheitlicher Lösungen im Bereich des technisch unterstützten Wohnens mit ambienter Technologie zu fördern und zu forcieren. Die Ergebnisse einiger innovativer Projekte sind bereits veröffentlicht (vgl. *TeleHealth* 2007), z. B.:

- *Complete Ambient Assisted Living Experiment (CAALYX)*, Website),
- *Towards the Establishment of a European eHealth Research Area (eHealth ERA)*, Website);
- *Emergency Monitoring and Prevention (EMERGE)*, Website);
- *Heartfaid* (Website), eine wissenschaftsbasierte Plattform von Diensten, die medizinisch-klinische Unterstützung im Umgang mit Herzinsuffizienz bei älteren Menschen bietet;
- *MyHeart* (Website), bekämpft kardiovaskuläre Erkrankungen durch Förderung eines präventiven Lebensstils und Früherkennung;
- *Old People's E-Services at home (OLDES)*, Website);
- *Telemedicine Alliance* (Website, siehe auch *TMA-Bridge* 2005).

6.4.3 Forschungsinstitutionen der Industrie

Schließlich wurden in den letzten Jahren einige Institutionen zur Förderung der Interoperabilität von eHealth-Produkten und -Anwendungen der Industrie durch einheitliche Plattformen, Modelle und Schnittstellen gegründet, z. B.:

- *Continua Health Alliance* (Website), eine weltweite Gruppierung von Technologie-, Pflege- und Fitnessfirmen, die sich der Etablierung eines Ökosystems verknüpfter persönlicher Gesundheits- und Fitnessprodukte und -dienste widmet;

- *Quality of Life Technology Center* (Website), ein ingenieurwissenschaftliches Forschungszentrum der *National Science Foundation* in den USA; und
- *Center for Future Health* (Website) an der *University of Rochester*, USA.

Weitere Möglichkeiten der technologischen Unterstützung von Menschen in einer alternden Gesellschaft mit „Ambient Assisted Living“-Ansätzen werden von LINDENBERGER (2007) vorgestellt (siehe auch Kapitel 1 in diesem Band).

7. Schlussfolgerungen

Notfallüberwachungssysteme haben ein großes Potential, älteren Menschen mit altersbedingten Einschränkungen ein längeres selbstbestimmtes Leben zu ermöglichen und damit ihre Lebensqualität beträchtlich zu verbessern. Der Weg ist allerdings noch weit, bis aus den heutigen experimentellen Prototypen zuverlässige kostengünstige Systeme werden. Die großen Herausforderungen sind:

- ein zuverlässiger und wartungsfreier Betrieb, der alle kritischen Situationen einschließlich der Notfälle erkennt und Fehlalarme vermeidet;
- die Fähigkeit des Systems, persönliche Einschränkungen der beobachteten Person zu lernen und sich entsprechend anzupassen; und
- proaktiver, anleitungs-, und interventionsfreier Betrieb des Systems.

Große langfristige Feldstudien sind erforderlich, um diese gewünschten Systemeigenschaften zu erreichen. Es müssen überzeugende Geschäftspläne entwickelt werden, um die Industrie, Krankenversicherungen, Dienstleister und mögliche Kunden dazu zu bringen, in diese neue Technologie zu investieren.

Gleichzeitig ist es wichtig festzustellen, dass elektronische Lebensassistenzsysteme niemals soziale Strukturen ersetzen, sondern sie ergänzen und sogar helfen sollen, soziale Interaktionen zu erleichtern und dadurch Isolierung zu vermeiden. Die Beibehaltung gesellschaftlicher Integration bleibt für die Aufrechterhaltung der Gesundheit und der Lebensqualität im Alter entscheidend.

Literatur

- BECKER, M., WERKMAN, E., ANASTASOPOULOS, M., and KLEINBERGER, T.: Approaching ambient intelligence home care systems. In: International Conference on Pervasive Computing Technologies for Healthcare; pp. 1–10. IEEE Conference Proceedings 2006. doi:10.1109/PCTHEALTH.2006.361656
- Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF): Studie zur Situation der Medizintechnik in Deutschland im internationalen Vergleich. Bonn: BMBF 2005
- Bundesministerium für Familie, Senioren, Frauen und Jugend (BMFSFJ): Fünfter Bericht zur Lage der älteren Generation in der Bundesrepublik Deutschland. Berlin: BMFSFJ 2005
- CAALYX: <http://www.caalyx.eu>
- CAMPION, E. W.: Home alone and in danger. *New England Journal of Medicine* 334, 1738–1739 (1996)
- Center for Future Health, University of Rochester: <http://www.centerforfuturehealth.org>
- COHEN, J. E.: Human population: The next half century. *Science* 14/11, 1172–1175 (2003)
- Continua Health Alliance: <http://www.continuaalliance.org>
- DISHMAN, E.: Inventing wellness systems for aging in place. *Computer* 37/5, 34–41 (2004)
- DRK-Hausnotruf: <http://www.drk-hausnotruf.net>
- eHealth ERA: <http://www.ehealth-era.org>

- EMERGE*: <http://www.emerge-project.eu>
- FILLENBAUM, G.: Multidimensional functional assessment: Overview. In: MEZEY, M. D. (Ed.): *The Encyclopedia of Elder Care*; pp. 438–440. New York: Springer 2001
- FLEISCH, E., und MATTERN, F. (Ed.): *Das Internet der Dinge: Ubiquitous Computing und RFID in der Praxis*. Berlin: Springer 2005
- Frost & Sullivan*: *European Remote Patient Monitoring Markets*, B519-56. 2005
- GLASCOCK, A. P., and KUTZIK, D. M.: The impact of behavioral monitoring technology on the provision of health care in the home. *Journal of Universal Computer Science* 12, 59–79 (2006)
- GLASCOCK, A. P., and KUTZIK, D. M.: Automated behavioral monitoring. In: KEIJER, U., and SANDSTRÖM, G. (Eds.): *Smart Homes and User Values*; pp. 83–106. Gateshead, UK: Urban International Press 2007
- GrandCare Systems*: <http://www.grandcare.com>
- GURLEY, R. J., LUM, N., SANDE, M., LO, B., and KATZ, M. H.: Persons found in their homes helpless or dead. *New England Journal of Medicine* 334, 1710–1716 (1996)
- HAIGH, K. Z., KIFF, L. M., MEYERS, J., GURALNIK, V., KRICHBAUM, K., PHELPS, J., PLOCHER, T., and TOMS, D.: *The Independent LifeStyle Assistant (I.L.S.A.)*. Technical Report ACS-P03-023. Minneapolis, MN: Honeywell Laboratories 2003
- Healthsense*: <http://www.healthsense.com>
- Heartfaid*: <http://www.heartfaid.org/>
- ICT for Independent Living for Elderly*: <http://www.ict-ile.eu>
- IST Vivago*: <http://www.istsec.fi>
- KANE, R. A., and KANE, R. L.: *Assessing the Elderly: A Practical Guide to Measurement*; pp. 25–67. Lexington, MA: Lexington Books 1981
- KUTZIK, D. M., and GLASCOCK, A. P.: Monitoring household behavior to enhance safety and well-being. In: BURDICK, D., and KWON, S. (Eds.): *Gerontechnology: Research and Practice in Technology and Aging*; pp. 132–144. New York: Springer 2004
- LAWTON, M. P.: Scales to measure competence in everyday activities. *Psychopharmacological Bulletin* 24, 609–610 (1988)
- LINDENBERGER, U.: Technologie im Alter: Chancen aus Sicht der Verhaltenswissenschaften. In: GRUSS, P. (Ed.): *Die Zukunft des Alterns*. S. 221–239. München: Beck 2007
- LUIZ, T., HUBER, T., ELLINGER, K., und MADLER, C.: Reanimation oder Todesfeststellung im Notarzttdienst: Welche Umstände definieren das individuelle Schicksal? *Intensivmedizin und Notfallmedizin*. 39/5, 437–447 (2002)
- MADLER, C., JAUCH, K.-W., WERDAN, K., SIEGRIST, J., und PAJONK, F. G. (Eds.): *Das NAW Buch: Akutmedizin der ersten 24 Stunden*. Amsterdam: Elsevier 2005
- MATTERN, F. (Ed.): *Die Informatisierung des Alltags: Leben in smarten Umgebungen*. Berlin: Springer 2007
- MATTERN, F., und RÖMER, K.: Drahtlose Sensornetze. *Informatik-Spektrum* 26, 191–194 (2003)
- MATTERN, F.: Ambient intelligence. In: BULLINGER, H.-J. (Ed.): *Trendbarometer Technik*. S. 18–19. München: Hanser-Verlag 2004
- MISKELLY, F. G.: Assistive technology in elderly care. *Age and Ageing* 30, 455–458 (2001)
- MyHeart*: <http://www.hitech-projects.com/euprojects/myheart>
- NEHMER, J., KARSHMER, A., BECKER, M., and LAMM, R.: Living assistance systems: An ambient intelligence approach. In: *Proceedings of the 28th International Conference on Software Engineering*. pp. 43–50. New York: ACM 2006. doi:10.1145/1134285.1134293
- NEHMER, J., and ROMBACH, D.: Aml-based indoor emergency detection and avoidance. *IT Information Technology I*, 51–58 (2008)
- OLDES*: <http://www.oldes.eu>
- PENTLAND, A.: Healthwear: Medical technology becomes wearable. *IEEE Computer* 37/5, 42–49 (2004)
- PRÜCKNER, S., LUIZ, T., STEINBACH-NORDMANN, S., NEHMER, J., DANNER, K., und MADLER, C.: Notfallmedizin – Medizin für eine alternde Gesellschaft: Ein Beitrag zum Kontext von Notarzteinsätzen bei alten Menschen. *Der Anaesthetist* 57, 391–396 (2008)
- PRÜCKNER, S., MADLER, C., BEYER, D., BERGER, M., KLEINBERGER, T., und BECKER, M.: Das EU-Projekt EMERGE: Emergency monitoring and prevention. In: *Proceedings of Ambient Assisted Living 1*. Deutscher Kongress. S. 167–171. Berlin: VDE Verlag 2008
- Quality of Life Technology Center*: <http://www.qolt.org>
- QuietCare*: <http://www.quitecare.com>
- RÖMER, K., and MATTERN, F.: The design space of wireless sensor networks. *IEEE Wireless Communications* 11/6, 54–61 (2004)

- ROTHERMEL, K., BAUER, M., und BECKER, C.: Digitale Weltmodelle – Grundlage kontextbezogener Systeme. In: MATTERN, F. (Ed.): Total vernetzt: Szenarien einer informatisierten Welt. S. 123–141. Berlin: Springer 2003
- RUBINSTEIN, L. Z.: Falls in older people: Epidemiology, risk factors and strategies for prevention. *Age and Ageing* 35 (Suppl. 2), 37–41 (2006)
- SHAH, M. N., GLUSHAK, C., KARRISON, T. G., MULLIKEN, R., WALTER, L., FRIEDMANN, P. D., HAYLEY, D. C., and CHIN, M. H.: Predictors of emergency medical services utilization by elders. *Academic Emergency Medicine* 10, 52–58 (2003)
- Sophia*: <http://www.sophia-nrw.de>
- Statistisches Bundesamt Wiesbaden*: DESTATIS: Bevölkerung Deutschlands bis 2050. http://www.destatis.de/presse/deutsch/pk/2003/Bevoelkerung_2050 (2003)
- TeleHealth 2007*: Telemedicine and innovative technologies for chronic disease management. Conference report. Brussels: European Commission. http://ec.europa.eu/information_society/events/telehealth_2007
- Telemedicine Alliance*: http://www.esa.int/SPECIALS/Telemedicine_Alliance
- Ubisense*: <http://www.ubisense.net>
- Vitaphone*: <http://www.vitaphone.de>
- Vorwerk Thinking Carpet*: http://www.vorwerk-teppich.de/thinking_carpet.html
- WILSON, D. H.: Assistive Intelligent Environments for Automatic Health Monitoring. PhD Thesis, Robotics Institute, Carnegie Mellon University 2005. http://www-old.ri.cmu.edu/pubs/pub_5139.html

Prof. Dr. Jürgen NEHMER
Technische Universität Kaiserslautern
FB Informatik
Postfach 3049
67653 Kaiserslautern
Bundesrepublik Deutschland
Tel.: +49 631 205 4020
Fax: +49 631 205 3289
E-Mail: nehmer@informatik.uni-kl.de

Dr. Martin BECKER
Fraunhofer-Institut für Experimentelles Software Engineering IESE
Fraunhofer-Platz 1
67663 Kaiserslautern
Bundesrepublik Deutschland
Tel.: +49 631 68002246
Fax: +49 631 680092246
E-Mail: martin.becker@iese.fraunhofer.de

Dr. Thomas KLEINBERGER
Fraunhofer-Institut für Experimentelles Software Engineering IESE
Fraunhofer-Platz 1
67663 Kaiserslautern
Bundesrepublik Deutschland
Tel.: +49 631 68002288
Fax: +49 631 680092288
E-Mail: thomas.kleinberger@iese.fraunhofer.de

Dr. Stephan PRÜCKNER
Institut für Anästhesiologie und Notfallmedizin II
Westpfalz-Klinikum GmbH
Hellmut-Hartert-Straße 1
67655 Kaiserslautern
Bundesrepublik Deutschland
Tel.: +49 631 203 1030
Fax: +49 631 203 1922
E-Mail: stephan.prueckner@med.uni-muenchen.de

Virtuelle Rehabilitation und Telerehabilitation der oberen Extremität: Ein geriatrischer Überblick

Mehmet GÖVERCIN (Berlin), Isabelle M. MISSALA (Berlin), Michael MARSCHOLLEK (Hannover) und Elisabeth STEINHAGEN-THIESSEN (Berlin)

Mit 1 Abbildung und 2 Tabellen

Zusammenfassung

Telerehabilitation und virtuelle Rehabilitation der oberen Extremitäten sind vielversprechende neue Ansätze bei der Behandlung der Halbseitenlähmung nach einem Hirninfarkt. Bisher ist über die Anwendbarkeit und Effektivität dieser Ansätze bei älteren Menschen wenig bekannt. Dieser Beitrag gibt einen systematischen Überblick über klinische Studien zur Durchführbarkeit von virtueller Rehabilitation (VR) und Telerehabilitation (TR) und zu ihren Auswirkungen auf die sensorische, motorische und funktionelle Wiederherstellung der oberen Extremität. Darüber hinaus werden neue Technologien und ihre Nützlichkeit für ältere Menschen diskutiert. Wir führten zunächst eine Literaturrecherche in der PubMed-Datenbank mit den Suchbegriffen „virtual rehabilitation“, „telerehabilitation“, „upper limb“ und „stroke“ durch. Ein- und Ausschlusskriterien wurden ebenso definiert wie Kriterien für die methodische Qualität der untersuchten Studien. Die gefundenen Arbeiten wurden von zwei unabhängigen Geriatern bewertet und diskutiert.

Aufgrund der Ein- und Ausschlusskriterien wurden 41 von 116 Publikationen für die weitere Bewertung ausgewählt, von denen ein Großteil in den Jahren 2004 bis 2008 veröffentlicht wurden. Es handelte sich um 32 Pilotstudien oder experimentelle Untersuchungen, 2 randomisierte und kontrollierte klinische Studien („randomized controlled trials“, RCTs) und 7 Übersichtsarbeiten. VR stand im Mittelpunkt von 27 Pilotstudien und einem RCT, während 7 Pilotstudien und ein RCT TR untersuchten. Die am häufigsten eingesetzten Assessments zur Erfassung der Rehabilitationseffizienz waren der Fugl-Meyer-, der *Box-and-Block-Test* und der *Action-Research-Arm-Test*. Einen positiven Zusammenhang zwischen Rehabilitationserfolg und VR oder TR stellten 27 der Artikel dar. Ein Experiment hatte kein Ergebnis, zwei Studien hatten diagnostische Ansätze, und nur eine Studie konnte keinen Nutzen der VR nachweisen. Ein RCT zur VR mit 81 Teilnehmern ergab keine signifikanten Unterschiede, ein weiterer RCT mit 10 Teilnehmern zeigte positive Ergebnisse im Vergleich zur Kontrollgruppe. Auch ältere und zu Hause lebende Menschen könnten von VR und TR profitieren. Die Wirksamkeit wurde für immersive VR-Ansätze im Vergleich zur Kontrollgruppe nachgewiesen. Für nicht-immersive VR konnte bisher keine Wirksamkeit nachgewiesen werden. Aus Ergebnissen unkontrollierter Studien gibt es jedoch Hinweise auf die Effektivität nicht-immersiver VR, die weiterer Untersuchungen bedürfen. Zusammenfassend kann auf der Basis der Untersuchungsergebnisse von einer nicht eindeutigen, jedoch tendenziell positiven Empfehlung für den Einsatz von VR und TR zur Rehabilitation von Funktionsbeeinträchtigungen der oberen Extremität nach einem Hirninfarkt gesprochen werden.

Abstract

Although virtual rehabilitation and telerehabilitation represent promising therapeutic approaches for dealing with upper limb dysfunction in the elderly, little is known about their usability and effectiveness within this age group. This paper provides an overview of clinical trials intended to investigate the feasibility and effects of virtual rehabilitation (VR) and telerehabilitation (TR) on sensory, motor, and functional recovery for the upper limb. We also discuss new technologies and consider their usefulness for elderly people. We conducted a literature search via PubMed using the search terms “virtual rehabilitation,” “telerehabilitation,” “upper limb,” and

“stroke.” Inclusion and exclusion criteria were defined as well as criteria for methodological quality. All publications, including current and past literature reviews, were reviewed and discussed by two independent geriatricians.

Forty-one out of 116 publications were selected for further review based on the inclusion and exclusion criteria; most of these were published between 2004 and 2008. Thirty-two described pilot trials or experimentally designed investigations, 2 covered randomized controlled clinical trials (RCTs), and 7 were reviews. Twenty-four of the pilot trials and 1 of the RCTs focussed on VR technology, with 7 of the pilot trials and 1 of the RCTs focussing on TR. The most frequently occurring outcome measures were Fugl-Meyer, Box and Block, Action Research Arm Tests and usability questionnaires. Twenty-seven of the published papers showed positive results for VR or TR in outcome measurements. One experiment did not lead to a specific outcome, 2 were diagnostic approaches, and only 1 of the pilot trials did not show any benefit of VR or TR. One RCT with $n = 81$ showed no significant difference in outcome measures for VR, and 1 RCT with $n = 10$ showed positive results for clinical outcomes compared to the control group. Elderly people could also profit from VR and TR approaches. Immersive VR approaches were shown to be effective in comparison with no treatment or therapy being provided. While non-immersive VR was not shown to be effective, evidence from non-controlled trials showed that non-immersive VR may be effective in comparison to standard care. VR and TR approaches are feasible for the rehabilitation of people with disabilities of the upper limb.

1. Einleitung

1.1 Rehabilitation der oberen Extremität durch virtuelle Realität und Telekommunikation

Rehabilitation durch virtuelle Realität (VR) beschreibt eine unterstützende Gesundheitstechnologie, die der Wiedererlernung von durch Unfall oder Krankheit verlorenen motorischen oder kognitiven Fähigkeiten durch eine virtuelle, aber interaktive Umwelt dient (HOLDEN 2005, RIVA 2005, SVEISTRUP 2004). Ein Ziel der VR-Technologien ist die Verkürzung der Zeit bis zur Wiedererlernung von verlorenen Fähigkeiten durch das Angebot eines intensiveren Trainings mit höherer Übungshäufigkeit (MERIANS et al. 2006). Ein wesentlicher Gesichtspunkt für das Wiedererlernen ist die Motivation der Betroffenen, die für die Compliance während des (lebens-)langen Wiedererlernungsprozesses entscheidend ist (HOLDEN 2005). VR eröffnet neue Möglichkeiten für die Gestaltung motivationaler Konzepte für die virtuelle Therapie. Neue audio-visuelle Feedbackmechanismen können die Patientencompliance und auf diese Weise die therapeutische Wirksamkeit verbessern. Ein für das Alter wichtiger Aspekt ist die Möglichkeit des Patienten, jederzeit in seiner häuslichen Umgebung zu trainieren. Gleichzeitig können Therapeuten in der Aufrechterhaltung ihrer therapeutischen Erfolge unterstützt werden. Als diagnostisches Werkzeug kann VR neue Wege zur Beurteilung von verschiedenen Beeinträchtigungen wie Neglekt oder von motorischer und sensorischer Funktionsfähigkeit nach einem Schlaganfall eröffnen. Dies ist nicht nur für den Therapeuten, sondern auch für den Patienten als Rückmeldung seines Trainingsfortschritts wichtig. AUGUST et al. (2006) analysierten neuronale Mechanismen der VR-Therapie. Sie beobachteten VR-basierte Handübungen in der funktionellen Magnetresonanztomographie (fMRT) und stellten dabei vermehrte neuronale Aktivierungen sowohl in primären als auch in sekundären motorischen Arealen fest. Des Weiteren scheint eine verbesserte motorische Genesung in VR mit kortikaler Reorganisation und Aktivierung von Spiegelneuronen einherzugehen (JANG et al. 2005, KREISEL et al. 2007).

Telerehabilitation (TR) beschreibt rehabilitative Gesundheitsdienstleistungen, die mit Hilfe von Informations- und Kommunikationstechnologien zur Überwindung langer Entfernungen zwischen Patienten und Gesundheitspersonal dienen, wodurch Zeit und Pflegeres-

sources gespart werden sollen (ROSEN 2004, HOLDEN 2005). Die Integration von TR- und VR-Technologien eröffnet neue Wege der Diagnostik und Therapie auch für entlegener wohnende Betroffene. Die Reproduzierbarkeit von virtuellen Trainingseffekten in wirklichen Lebenssituationen stellt die Grundlage für den Einsatz von VR-Technologien als therapeutischen Ansatz in der Rehabilitationsmedizin dar (TODOROV et al. 1997, ROSE et al. 2000, JAFFE et al. 2004,). Für die Effektivität und Effizienz des Einsatzes von VR oder TR in der häuslichen Umgebung älterer, kognitiv beeinträchtigter Personen existieren nur ungenügende Daten.

1.2 Schlaganfall als führende Ursache von Fehlfunktionen der oberen Extremität

Der Schlaganfall ist die häufigste Erkrankung, die zu einer chronischen Behinderung des Armes bei älteren Menschen führt (WOLFE 2000). Mehr als 80% der Schlaganfallpatienten erleiden einen einseitigen sensomotorischen Ausfall (WADE et al. 1983, JØRGENSEN et al. 1999). Obwohl häufig eingesetzt, zeigen auch etablierte Therapieansätze wie das Bobath-Konzept (auch *Neurodevelopmental Treatment*) oder Propriozeptive Neuromuskuläre Fazilitation (PNF) widersprüchliche Ergebnisse ohne klaren Vorteil für den Patienten (LORD und HALL 1986, BASMAJIAN et al. 1987, WAGENAAR et al. 1990,). Einige positive Ergebnisse können zum Nutzen von *Impairment-Oriented Training* (PLATZ et al. 2005) und Elektrostimulations-therapie (BARKER et al. 2008) sowie *Constraint-Induced-Movement-Therapie* (= Taubsches Training, TAUB et al. 1993, siehe WOLF et al. 2008) nachgewiesen werden. Obwohl intensive Rehabilitationsmaßnahmen nach einem Schlaganfall – auch nach der akuten Phase – von Nutzen sind (KWAKKEL et al. 1999), findet die ambulante Rehabilitation derzeit in Deutschland und anderen Industrieländern über eine zu kurze Zeit statt (LEGG et al. 2007). Außerdem scheint das Wiedererlernen der Funktionen der oberen Gliedmaße hinter dem der unteren Extremität zurückzustehen (GOWLAND et al. 1993). Es erlangen zwar nur 5–30% der Patienten nach einem Schlaganfall wieder die volle Funktionsfähigkeit der unteren Extremität und 25–37% volle Funktionsfähigkeit der oberen, andererseits erlernen 70–95% der Betroffenen wieder das Gehen. Ältere Menschen mit einer chronischen Hemiparese (Halbseitenlähmung) können auch mehrere Jahre nach dem Schlaganfall noch von einer rehabilitativen Behandlung profitieren (MERIANS et al. 2006, CAREY et al. 2007). Das Wiedererlernen von Fähigkeiten nach einem Schlaganfall ist nicht nur für jüngere Personen möglich. JACK et al. (2001) wiesen in einer kleinen Studienpopulation von drei Personen nach, dass sich auch bei hochbetagten Patienten positive Auswirkungen eines VR-Trainings zeigen können.

Diese Übersicht zielt darauf ab, folgende Fragen zu beantworten:

- Welches sind die wesentlichen Interventionsansätze, und welches die häufigsten Methoden zur Evaluation der Effektivität von VR and TR?
- Sind VR- oder TR-Interventionen zur Rehabilitation der oberen Extremität nach Hirninfarkt bei älteren Menschen zu Hause durchführbar und wirksam? Welches sind die wesentlichen Anwendungsbarrieren?

2. Datenanalyse

Wir führten eine Literaturrecherche in der PubMed-Datenbank (1950 bis August 2008) mit zwei unabhängigen Wissenschaftlern durch und setzten die Suchbegriffe „virtual rehabilitation“, „telerehabilitation“, „upper limb“ und „stroke“ ein. Die Suchergebnisse können

über den Erstautor dieses Beitrags angefordert werden. Alle *Abstracts* wurden durch zwei unabhängige Geriater (Erst- und Zweitautor) geprüft, um zu entscheiden, ob sie den Ein- und Ausschlusskriterien entsprachen. Im Falle uneinheitlicher Beurteilung wurde eine Entscheidung nach mündlicher Diskussion getroffen. Die Einschlusskriterien waren: (a) klinische Untersuchungen oder Studien zu dem Einsatz von VR oder TR, (b) Personen mit einer Behinderungen der oberen Extremität, (c) englisch- oder deutschsprachige Artikel. Ausschlusskriterien waren (a) VR oder TR bei Patienten ohne Armdysfunktion, (b) Behandlung von Behinderungen der unteren Extremität, (c) radiologische Interventionen, (d) roboter-assistierte Therapie.

Die Einzelheiten aller aufgefundenen Artikel wurden nach Autor, Publikationsjahr, Art der Studienpopulation einschließlich der Altersspanne, Stichprobengröße, Untersuchungs- oder Interventionsdauer, Beschreibung des Interventionsansatzes, Ergebnisindikatoren und Ergebnissen sortiert. Den Direktiven der „Good Clinical Practice“ (GCP) entsprechend, evaluierten wir folgende Qualitätskriterien klinischer Studien im VR- und TR-Bereich: Zustimmung eines Gutachterkomitees (Ethikkommission), der Nachweis einer schriftlichen Einverständniserklärung aller Studienteilnehmer, eine Datenüberwachung (Monitoring), Vorhandensein vordefinierter Ein- und Ausschlusskriterien und ein prospektives Studiendesign. Wir setzten voraus, dass ein positives Votum einer Ethikkommission eine Überprüfung der Einhaltung der GCP-Richtlinien zur Durchführung einer klinischen Studie einschloss. Außerdem kontrollierten wir die Beschreibung begleitender Therapien, die die Ergebnisindikatoren beeinflussen konnten, sowie Eigenschaften der Studienpopulation hinsichtlich der wichtigsten prognostischen Faktoren (vgl. Tab. 2 im Anhang). RCTs wurden auf der Grundlage von Standardkriterien beurteilt: (a) Durchführung von Pilotstudien und (verblindeten) Randomisierungsprozeduren, (b) Verfahren zur Verblindung von Probanden und Studienpersonal, (c) grundlegende statistische Analysemethoden und (d) vordefinierte Forschungshypothesen mit einer ausreichenden Anzahl von Studienteilnehmern zur Hypothesenprüfung.

3. Ergebnisse

3.1 Eigenschaften der Studien

Die PubMed-Literaturrecherche ergab 116 Treffer (vgl. Abb. 1). Durch Anwendung der Ein- und Ausschlusskriterien im Konsensus wurden 41 der 116 Publikationen zur weiteren Analyse ausgewählt. Zwei Artikel beschrieben randomisierte und kontrollierte Studien (RCTs). In 32 Fällen ging es um Pilotstudien einschließlich Kohorten- und Fall-Kontroll-Studien, und in 7 Fällen waren es Übersichtsarbeiten über VR oder TR der oberen Extremität. Eine Zusammenfassung der Datenanalyse wird in Tabelle 1 dargestellt. Vier Pilotuntersuchungen legten ihren Schwerpunkt auf die Beurteilung und Rehabilitation von Wahrnehmungsstörungen, die anderen auf die motorische Rehabilitation und Anwendbarkeitsaspekte. Die Entwicklung eines VR-Systems stand im Mittelpunkt von 27 Pilotstudien und 1 RCT (insgesamt 28). Sieben Pilotstudien und ein RCT bezogen sich auf TR (insgesamt 8), und sieben Treffer konnten als Übersichtsarbeiten definiert werden. Obwohl die Literaturrecherche in Fachzeitschriften erfolgte, die seit 1965 veröffentlicht und gelistet werden, erschienen nur 3 von 41 ausgewählten Artikeln vor 2002. Ein RCT wurde 2004 und der andere 2008 veröffentlicht.

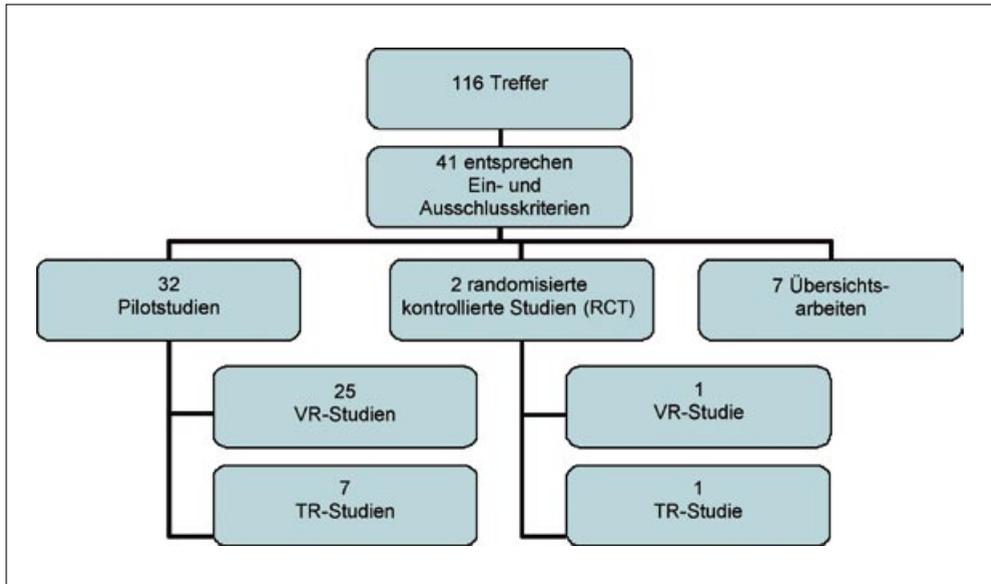


Abb. 1 Übersicht der gefundenen Publikationen: In nur zwei Fällen handelt es sich um randomisierte und kontrollierte Studien (RCTs) und in sieben Fällen um Übersichtsarbeiten

Tab. 1 Häufigkeit und Anzahl der Teilnehmer an Studien zu VR- oder TR-Systemen und -Anwendungen. Die meisten Studienteilnehmer wurden mit *Home Care Activity Desk* (HCAD) in einer randomisierten kontrollierten Studie untersucht. Bei den am häufigsten in Studien eingesetzten Systemen handelte es sich um Datenhandschuhe.

Interventionsmethode	VR/TR	Pilotstudien	RCT	Teilnehmeranzahl
HCAD	TR		1	81
Datenhandschuhsystem/Rutgers Master	VR/TR	9		60
VR-Spiele	VR	5	1	35
PC-Training zu Hause	TR	4		33
Head-Mounted Display (HMD)	VR	2		25
VR-Straßenüberquerungssystem	VR	2		21
VR-Einkaufen	VR	1		20
3D-haptische Welt	VR	3		18
CAREN	VR	1		15
HoWARD	VR	1		13
AutoCITE	VR	1		7

HCAD – Home Care Activity Desk, CAREN – Computer Assisted Rehabilitation Environment (computer-assistierte Rehabilitationsumgebung), HoWARD – Hand-Wrist Assisting Robotic Device (TAKAHASHI et al. 2005), AutoCITE – Automated Constraint-Induced Therapy Extension

Schlaganfalleffekte wurden in 32 der 41 Studien mit insgesamt 296 Patienten (aggregiert) untersucht. Unter den Pilotstudien behandelten 9 chronische Fälle, 1 akute Fälle und 18 eine heterogene Gruppe von Patienten mit Schlaganfall. Die nach einem Schlaganfall verstrichene Zeit bis zur Aufnahme in eine Studie („time to trial inclusion“ oder TTI), die den Rehabilitationserfolg beeinflussen kann, war sehr unterschiedlich. In vielen Studien wiesen die Studienpopulationen eine hohe TTI-Varianz auf. Beispielsweise betrug in einer Untersuchung die Differenz zwischen der kürzesten und längsten TTI zweier Probanden nach einem Schlaganfall über 20 Jahre. Eine Zusammenfassung der Studienpopulationen und ihrer Merkmale findet sich in Tabelle 2 im Anhang. Im Gegensatz zum Schlaganfall wird multiple Sklerose (MS) vor allem bei jüngeren Personen diagnostiziert. Wie bei Patienten mit Schlaganfall können MS-Patienten durch Fehlfunktion der oberen Extremität in den Aktivitäten des täglichen Lebens eingeschränkt sein und einen erhöhten Pflegebedarf haben. Wir fanden je eine Pilotstudie und ein RCT, die sich mit Dysfunktionen des Armes aufgrund von MS beschäftigten. Aber auch innerhalb der Studienpopulation der Schlaganfallpatienten gab es enorme interindividuelle Unterschiede bei den Baseline-Charakteristika. Die über alle Pilotstudien zusammengefasste Altersspanne betrug 13 bis 88 Jahre, für die RCTs 19 bis 79 Jahre.

3.2 *Verwendete Evaluationsmethoden zur Bestimmung des Rehabilitationserfolges*

Die am häufigsten (in 18 Studien) verwendete Evaluationsmethodik war der Fugl-Meyer-Test (FUGL-MEYER et al. 1975), der für die sensomotorische Beurteilung der oberen Extremität nach Hirninfarkt herangezogen wurde. Der *Box-and-Block-Test* (BBT)¹ wurde in vier Studien eingesetzt und ist eine Methode zur Beurteilung der Funktion und Feinmotorik der oberen Extremität (DESROSIERS et al. 1994). Zwei Forschergruppen verwendeten den *Action-Research-Arm-Test* (ARAT), früher als Test für die Funktion der oberen Extremität (*Upper Extremity Function Test*, UEFT) bezeichnet, der ebenfalls eine Evaluation der motorischen Funktion im Arm erlaubt (CARROLL 1965). In vier Artikeln wurde der *Wolf-Motor-Function-Test* (WMFT) eingesetzt, eine Methode zur Messung der Leistungsfähigkeit und der (gelenkspezifischen) Beweglichkeit der oberen Extremitäten (WOLF et al. 2001). Die Funktionsprüfung der hemiparetischen oberen Extremitäten (*Functional Test of Hemiparetic Upper Extremity*, FTHUE) und der *Stroke Impact Scale* (SIS) wurden beide weniger häufig als die anderen verwendet (DUNCAN et al. 1999, WILSON et al. 1984).

4. Diskussion

4.1 *Welches sind die wesentlichen Interventionsansätze?*

Eine detaillierte Beschreibung und Diskussion von Interventionsansätzen aus dem Bereich der virtuellen Rehabilitation findet sich in dem Übersichtsartikel von HOLDEN et al. (2005). Die in dieser Untersuchung am häufigsten eingesetzten VR-Systeme waren kombinierte visuelle und haptische Geräte. Durch Halten eines haptischen Gerätes können Anwender taktile Rückmeldungen aus einer virtuellen Umgebung erhalten. Die Handverfolgung

¹ Siehe auch Abkürzungsliste im Anhang.

(Tracking) erlaubt es ihnen, beide Hände zur Interaktion mit einer virtuellen Szene einzusetzen. Dies wird oft für die Bewegung dreidimensionaler Objekte und für das Greifen nach virtuellen Gegenständen verwendet. Um eine realistische Umgebung zu erzeugen, werden haptische Geräte oft mit *Shutter*-Brillen oder großen Bildschirmen kombiniert. Diese Technik wird am häufigsten bei der Untersuchung der Wiedererlangung motorischer Fähigkeiten nach einem Schlaganfall eingesetzt. Ein prototypisches Beispiel solch eines Systems wurde an der *Rutgers University* entwickelt und besteht aus einem Datenhandschuhsystem, das von einer Klinik aus die Fernbeobachtung eines sensorbasierten Rehabilitationsprogramms zu Hause erlaubte (ADAMOVICH et al. 2004). Haptische Geräte können wie bei IREX auch mit Videokamerasystemen kombiniert werden. Die Videokamera hält die Ganzkörperbewegungen des Patienten fest. Die Bilder werden digital konvertiert und auf einen großen Bildschirm projiziert. Der Patient kann dann seine eigenen Körperbewegungen in Echtzeit verfolgen, so dass sie in die virtuelle Umgebung eintauchen (immersive VR). Eines der am ausführlichsten evaluierten VR-Systeme für die obere Gliedmaße ist der *Home Care Activity Desk* (HCAD). Dieses System wurde in einem RCT mit 81 Teilnehmern eingesetzt. HCAD besteht aus einem tragbaren TR-Gerät, das Patienten die Rehabilitation ihres Armes zu Hause erlaubt. Das System beobachtet die vom Probanden durchgeführten Übungen und sendet die erhobenen Daten an die Klinik. Darüber hinaus birgt HCAD die Möglichkeit einer direkten (persönlichen) therapeutischen Intervention. Das System wurde an Patienten mit Schlaganfall, MS und traumatischer Hirnverletzung erprobt. Interessante neue Ansätze implementieren zudem spielerische Ansätze in das therapeutische Konzept. Solch ein Ansatz wurde von FLYNN und Kollegen (2007) zur Rehabilitation eines 76-jährigen Patienten mit Schlaganfall verfolgt. Durch Erfassung von Körperbewegungen mit einer EyeToy-Kamera (Sony, siehe Website) konnte das System dem Anwender ein visuelles Feedback zu seinen Bewegungen geben. Die Vorteile bestanden in den geringen Anschaffungskosten sowie positiven Ergebnissen zur Machbarkeit, Motivation und Verfügbarkeit.

4.2 Sind VR- oder TR-Interventionen zur Rehabilitation von Armdysfunktionen bei älteren Menschen zu Hause durchführbar und wirksam?

JANG und Kollegen (2005) wiesen die Wirksamkeit von VR in der Rehabilitation motorischer Defizite bei Patienten mit Schlaganfällen nach. Dieser RCT wies bei 10 chronischen Schlaganfallpatienten im Vergleich mit 10 Patienten ohne Therapie auf dem Evidenzlevel Ib die Wirksamkeit des VR-Systems IREX durch den *Box-and-Block*-Test, den Fugl-Meyer-Test und den WMFT nach. Bei Betrachtung „nicht-immersiver“ VR fanden PIRON et al. (2003) zwar messbare Vorteile, aber keine signifikanten Unterschiede im Fugl-Meyer-Test und im *Functional Independence Measure* (FIM) bei Personen, die VR versus konventionelle Therapie erhielten. Ein RCT, der kombinierte VR und TR versus konventionelle Behandlung einsetzte, wurde von HUIJGEN und Mitarbeitern (2008) durchgeführt. Bei 81 Patienten mit traumatischer Hirnverletzung oder MS war die VR/TR-Kombination einer konventionellen Therapie im ARAT und *Nine Hole Peg Test* (NHPT) nicht überlegen. Es konnte gezeigt werden, dass das HCAD-Training zu Hause gut durchführbar war und unter bestimmten Gesundheitsbedingungen sogar die Pflegeeffizienz verbessern konnte. Wir können vom Evidenzlevel Ib für eine gleich hohe Wirksamkeit von VR und konventioneller Therapie ausgehen.

Es gibt keinen RCT, der eine Interventionsgruppe mit nicht-immersiver VR mit einer Kontrollgruppe ohne Therapie vergleicht. Ein guter Literaturüberblick wurde 2007 von HENDERSON und Kollegen veröffentlicht, in dem die Wirksamkeit von immersiven und nicht-immersiven VR-Systemen mit konventioneller Therapie oder keiner Therapie bei Patienten nach Hirninfarkt verglichen wurde. Die Zusammenfassung ergab, dass immersive VR bei der Rehabilitation des Armes nach Hirninfarkt gegenüber einer Kontrollgruppe ohne Therapie im Vorteil ist. Die Ergebnisse der verfügbaren Studien mit Prä-/Post-Design waren beim Vergleich von immersiver VR und gängiger Behandlung und von nicht-immersiver VR versus gängiger Behandlung oder therapieloser Kontrollgruppe widersprüchlich. HENDERSON und Kollegen (2007) stellten bei einer Studie minderer Qualität eine Evidenz auf dem Level IIb für die Wirksamkeit von nicht-immersiver VR versus konventioneller Behandlung fest. Inzwischen konnte der RCT von HUIJGEN et al. (2008) zeigen, dass eine nicht-immersive VR/TR-Kombination mit dem HCAD-System keine Wirksamkeitsvorteile gegenüber konventioneller Therapie hat, wenn man ARAT und NHPT betrachtet. Wegen der in diesen Studien eingesetzten verschiedenen Interventionen sind die Ergebnisse nicht gut vergleichbar, obwohl die Systeme als „nicht-immersive“ VR bezeichnet werden können.

4.3 Einsetzbarkeit von VR- oder TR-Systemen für die Rehabilitation von Funktionsbeeinträchtigungen der oberen Extremität älterer Menschen

Die Ergebnisse für die Einsetzbarkeit der im vorliegenden Überblick analysierten VR-Systeme sind allgemein als „akzeptabel bis gut“ zusammenfassbar. Es sollte jedoch darauf hingewiesen werden, dass in den meisten Publikationen nicht validierte Erhebungsinstrumente eingesetzt wurden. Die beste Datenlage findet sich für die von HUIJGEN et al. (2008) beschriebene VR/TR-Kombination (HCAD). Die Anwenderzufriedenheit wurde mit einer visuellen Analogskala erhoben, die nach den Aspekten Akzeptanz, Ästhetik, Anwenderfreundlichkeit, Schwierigkeit, Eignung und Gesamteindruck gegliedert war. Patienten und Therapeuten wurden aufgefordert, Bewertungen von „sehr schlecht“ bis „hervorragend“ abzugeben. Insgesamt waren beide Personengruppen mit der HCAD-Intervention zufrieden. Nur die Ästhetik und die Aufgabenschwierigkeit wurden als weniger zufriedenstellend beurteilt.

Einige der in dieser Arbeit geprüften Studien untersuchten explizit ältere Menschen (z.B. BROEREN et al. 2008, FLYNN et al., 2007, JACK et al. 2001). Diese Gruppe (Über-65-Jährige) wies entgegen der üblichen Ansicht eine hohe Akzeptanz und Motivation für den Einsatz von VR- und TR-Systemen auf. Es gab keine Untersuchung, die Unterschiede in der VR- und TR-Machbarkeit zwischen Älteren und Jüngeren zeigte. Jedoch sollte berücksichtigt werden, dass es keine kontrollierten Studien in diesem Überblick gab, die diese Frage auch gezielt untersucht haben. In Bezug auf die VR-Akzeptanz bei älteren Menschen sollten „Nebenwirkungen“ wie „Cybersickness“ erwähnt werden. Die Symptome können Schweißausbrüche, Übelkeit, Kopfschmerzen, Desorientiertheit und Gleichgewichtsstörungen sein (CROSBIE et al. 2006, WHITNEY et al. 2006). Ein wesentliches Problem immersiver VR-Systeme ist die Verzögerung zwischen Körperbewegungen und der Präsentation des entsprechenden Bildes auf dem Bildschirm (z.B. über ein Head-Mounted Display, HMD), die zu einer asynchronen vestibular-motorischen Reaktion führt. „Cybersickness“ schränkt potenziell die Anwendbarkeit immersiver VR ein, besonders für ältere Menschen

zu Hause. Wir können zusammenfassen, dass sich viele VR-Ansätze zur Rehabilitation von Dysfunktionen der oberen Extremität bei Älteren in einem klinischen (oder Labor-) und teilweise sogar im häuslichen Setting eignen, wobei das beste Ergebnis vom HCAD-System mit dem Evidenzlevel Ib erreicht wurde.

5. Schlussfolgerungen

Fehlfunktionen des Armes sind oft eine Folge eines Schlaganfalls, eines ischämischen Hirninfarkts oder hämorrhagischen Insults mit kontralateraler Halbseitenlähmung in Form einer Hemiparese oder Hemiplegie. Seltener Ursachen sind Armfrakturen nach einem Sturz oder verschiedene neurologische Erkrankungen wie Morbus Parkinson oder MS. Die Dysfunktion einer oberen Gliedmaße führt oft zu Einschränkungen der Fähigkeit, alltägliche Aktivitäten auszuführen, sowie zu einer verminderten Lebensqualität. Der Grad des Pflegebedarfs der Betroffenen reicht von Hilfe durch Nachbarn bis zur Aufnahme in ein Pflegeheim. Die motorische Wiederherstellung des Armes dient auch noch Jahre nach dem Schlaganfall der Wiederaufnahme von Alltagsaktivitäten, erfordert aber einen „langen Atem“ in der Therapie, nicht nur des Patienten. Der Hauptgrund für die eingeschränkte ambulante Rehabilitation besteht in den hohen Kosten intensiver und nachhaltiger Maßnahmen. Gegenwärtig findet eine Armrehabilitation meistens mit einer zu geringen Häufigkeit (2–3-mal pro Woche) und über einen zu kurzen Zeitraum (meistens einige Wochen bis Monate) statt. Nachlassen der kognitiven Fähigkeiten, besonders nach einem Schlaganfall, verschlimmert häufig die Situation, so dass die Aufnahme in ein Pflegeheim oft der einzige Ausweg ist. Informations- und Kommunikationstechnologien, vor allem VR und TR, könnten im nächsten Jahrzehnt wesentliche Auswirkungen auf die Gesundheitsversorgung haben, besonders in der häuslichen Schlaganfallrehabilitation. Aktuelle Ansätze wie HCAD zeigen, dass TR und kombinierte VR/TR-Ansätze für Patienten und Therapeuten machbar sind. Hinsichtlich der Wirksamkeit gibt es Evidenz für die Rehabilitation motorischer Defizite bei Patienten mit Schlaganfall versus Kontrollgruppe ohne Therapie. Es gibt auch schon einige Ergebnisse aus Studien mit einem Prä-/Post-Design, die einen Vorteil immersiver VR gegenüber der üblichen Versorgung nachweisen konnten. Es hat sich herausgestellt, dass nicht-immersive VR- und TR-Strategien für ältere Menschen geeigneter sind als immersive. Zusammenfassend sind VR- und TR-Ansätze umsetzbar, aber nicht klar wirksam in der Rehabilitation von Funktionsdefiziten der oberen Extremität. Wir empfehlen deshalb die Durchführung kontrollierter Studien mit einem prospektiven Studiendesign und den Einsatz validierter Assessmentverfahren wie WMFT oder Fugl-Meyer, FIM und „Quality of Life“ (Lebensqualität). Es sollte auch eine umfassende ökonomische Evaluation des Interventionsansatzes erfolgen, um die Kosteneffektivität zu prüfen und die Implementierung neuer Ansätze im Gesundheitswesen zu fördern.

Im letzten Jahrzehnt sind Informations- und Kommunikationstechnologien im Alltag gebräuchlicher geworden. Viele ältere Menschen nutzen das Internet und haben mobile Geräte zur Kommunikation. Dies bietet wesentlich bessere Voraussetzungen für den Einsatz von TR- oder kombinierten VR/TR-Ansätzen als noch vor zehn Jahren. Große immersive und kostenintensive Geräte wurden durch kleine intelligente und kostengünstige Komponenten verdrängt und fördern die Handhabung. Daraus ergeben sich neue Möglichkeiten für klinische Studien und Geschäftsmodelle in diesem Gebiet. Rehabilitationssysteme können

leicht außerhalb voll- oder teilstationärer Institutionen bei Patienten zu Hause installiert und dadurch länger gebraucht werden. Dies sollte wiederum eine umfangreichere Basis für Untersuchungen zur Evaluierung der langfristigen Wirksamkeit neuer Ansätze mit angemessenen *Follow-up*-Untersuchungen schaffen. Aufgrund aktueller Innovationen in der Sensortechnologie werden mehr und mehr preiswerte sowie leistungsfähigere Systeme auf den Markt kommen (Nintendo Wii, Microsoft Kinect, siehe Websites), die auch für Rehabilitations- und Präventionsansätze interessant sein können.

Literatur

- ADAMOVICH, S. V., MERIANS, A. S., BOIAN, R., TREMAINE, M., BURDEA, G. S., RECCE, M., and POIZNER, H.: A virtual reality based exercise system for hand rehabilitation post-stroke: Transfer to function. Conference Proceedings Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society 2, 4936–4369 (2004). doi:10.1109/IEMBS.2004.1404364
- ANSUINI, C., PIERNO, A. C., LUSHER, D., and CASTIELLO, U.: Virtual reality applications for the remapping of space in neglect patients. *Restorative Neurology and Neuroscience* 24, 431–441 (2006)
- AUGUST, K., LEWIS, J. A., CHANDAR, G., MERIANS, A., BISWAL, B., and ADAMOVICH, S.: FMRI analysis of neural mechanisms underlying rehabilitation in virtual reality: Activating secondary motor areas. Conference Proceedings Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society 1, 3692–3695 (2006). doi:10.1109/IEMBS.2006.260144
- BAHEUX, K., YOSHIZAWA, M., TANAKA, A., SEKI, K., and HANDA, Y.: Diagnosis and rehabilitation of hemispatial neglect patients with virtual reality technology. *Technology and Health Care* 13, 245–260 (2005)
- BARKER, R. N., BRAUER, S. G., and CARSON, R. G.: Training of reaching in stroke survivors with severe and chronic upper limb paresis using a novel nonrobotic device: A randomized clinical trial. *Stroke* 39, 1800–1807 (2008). doi:10.1161/STROKEAHA.107.498485
- BASMAJIAN, J. V., GOWLAND, C. A., FINLAYSON, M. A., HALL, A. L., SWANSON, L. R., STRATFORD, P. W., TROTTER, J. E., and BRANDSTATER, M. E.: Stroke treatment: Comparison of integrated behavioral-physical therapy vs traditional physical therapy programs. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation* 68, 267–272 (1987)
- BERG, K., WOOD-DAUPHINEE, S., WILLIAMS, J. I., and MAKI, B.: Measuring balance in the elderly: Validation of an instrument. *Canadian Journal of Public Health* 2, S7–11 (1992)
- BROEREN, J., CLAESON, L., GOUDE, D., RYDMARK, M., and SUNNERHAGEN, K. S.: Virtual rehabilitation in an activity centre for community-dwelling persons with stroke: The possibilities of 3-dimensional computer games. *Cerebrovascular Diseases* 26, 289–296 (2008)
- BROEREN, J., RYDMARK, M., BJORKDAHL, A., and SUNNERHAGEN, K. S.: Assessment and training in a 3-dimensional virtual environment with haptics: A report on 5 cases of motor rehabilitation in the chronic stage after stroke. *Neurorehabilitation and Neural Repair* 21, 180–189 (2007a)
- BROEREN, J., SAMUELSSON, H., STIBRANT-SUNNERHAGEN, K., BLOMSTRAND, C., and RYDMARK, M.: Neglect assessment as an application of virtual reality. *Acta Neurologica Scandinavica* 116, 157–163 (2007b)
- CAREY, J. R., DURFEE, W. K., BHATT, E., NAGPAL, A., WEINSTEIN, S. A., ANDERSON, K. M., and LEWIS, S. M.: Comparison of finger tracking versus simple movement training via telerehabilitation to alter hand function and cortical reorganization after stroke. *Neurorehabilitation and Neural Repair* 21, 216–232 (2007)
- CARROLL, D.: A quantitative test of upper extremity function. *Journal of Chronic Diseases* 18, 479–491 (1965)
- CROSBIE, J. H., LENNON, S., MCNEILL, M. D., and McDONOUGH, S. M.: Virtual reality in the rehabilitation of the upper limb after stroke: The user's perspective. *Cyberpsychology and Behavior* 9, 137–141 (2006)
- DEMERS, L., LAMBROU-WEISS, R., and SKA, B.: The Quebec User Evaluation of Satisfaction with assistive technology (QUEST 2.0): An overview and recent progress. *Technology and Disability* 14, 101–105 (2002)
- DESROSIERS, J., BRAVO, G., HEBERT, R., DUTIL, E., and MERCIER, L.: Validation of the Box and Block Test as a measure of dexterity of elderly people: Reliability, validity, and norms studies. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation* 75, 751–755 (1994)
- DEUTSCH, J. E., LEWIS, J. A., and BURDEA, G.: Technical and patient performance using a virtual reality-integrated telerehabilitation system: Preliminary finding. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering* 15, 30–35 (2007). doi:10.1109/TNSRE.2007.891384

- DEUTSCH, J. E., MERIANS, A. S., ADAMOVICH, S., POIZNER, H., and BURDEA, G. C.: Development and application of virtual reality technology to improve hand use and gait of individuals post-stroke. *Restorative Neurology and Neuroscience* 22, 371–386 (2004)
- DUNCAN, P. W., WALLACE, D., LAI, S. M., JOHNSON, D., EMBRETSON, S., and LASTER, L. J.: The Stroke Impact Scale version 2.0: Evaluation of reliability, validity, and sensitivity to change. *Stroke* 30, 2131–2140 (1999)
- EDMANS, J. A., GLADMAN, J. R., COBB, S., SUNDERLAND, A., PRIDMORE, T., HILTON, D., and WALKER, M. F.: Validity of a virtual environment for stroke rehabilitation. *Stroke* 37, 2770–2775 (2006)
- Eyetoy*: <http://www.eyetoy.com>
- FISCHER, H. C., STUBBLEFIELD, K., KLINE, T., LUO, X., KENYON, R. V., and KAMPER, D. G.: Hand rehabilitation following stroke: A pilot study of assisted finger extension training in a virtual environment. *Topics in Stroke Rehabilitation* 14, 1–12 (2007)
- FLYNN, S., PALMA, P., and BENDER, A.: Feasibility of using the Sony PlayStation 2 gaming platform for an individual poststroke: A case report. *Journal of Neurologic Physical Therapy* 31, 180–189 (2007)
- FUGL-MEYER, A. R., JAASKO, L., LEYMAN, I., OLSSON, S., and STEGLIND, S.: The post-stroke hemiplegic patient: 1. A method for evaluation of physical performance. *Scandinavian Journal of Rehabilitation Medicine* 7, 13–31 (1975)
- GAGGIOLI, A., MENEGHINI, A., MORGANTI, F., ALCANIZ, M., and RIVA, G.: A strategy for computer-assisted mental practice in stroke rehabilitation. *Neurorehabilitation and Neural Repair* 20, 503–507 (2006).
- GOWLAND, C., STRATFORD, P., WARD, M., MORELAND, J., TORRESIN, W., VAN HULLENAAR, S., SANFORD, J., BARRECA, S., VANSPELL, B., and PLEWS, N.: Measuring physical impairment and disability with the Chedoke-McMaster Stroke Assessment. *Stroke* 24, 58–63 (1993)
- GRANGER, V., HAMILTON, B. B., KEITH, R. A., ZIELESNY, M., and SHERWIN, F. S.: Advances in functional assessment for medical rehabilitation. *Topics in Geriatric Rehabilitation* 1, 59–74 (1986)
- HEATHERTON, T. F., and POLIVY, J.: Development and validity of a scale for measuring state self-esteem. *Journal of Personality and Social Psychology* 60, 895–910 (1991)
- HENDERSON, A., KORNER-BITENSKY, N., and LEVIN, M.: Virtual reality in stroke rehabilitation: A systematic review of its effectiveness for upper limb motor recovery. *Topics in Stroke Rehabilitation* 14, 52–61 (2007)
- HILTON, D., COBB, S., PRIDMORE, T., and GLADMAN, J.: Virtual reality and stroke rehabilitation: A tangible interface to an every day task. Proceedings of the 4th International Conference on Disability Virtual Reality and Associated Technologies. Veszprém, Hungary; pp. 63–70. 2002. <http://www.icdvrat.reading.ac.uk/2002/>
- HOLDEN, M. K.: Virtual environments for motor rehabilitation: Review. *Cyberpsychology and Behavior* 8, 187–211; discussion 212–219 (2005)
- HOLDEN, M. K., DYAR, T. A., and DAYAN-CIMADORO, L.: Telerehabilitation using a virtual environment improves upper extremity function in patients with stroke. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering* 15, 36–42 (2007). doi:10.1109/IWVR.2006.1707541
- HUIJGEN, B. C. H., VOLLENBROEK-HUTTEN, M. M. R., ZAMPOLINI, M., OPISSO, E., BERNABEU, M., VAN NIEUWENHOVEN, J., ILSBROUKX, S., MAGNI, R., GIACOMOZZI, C., MARCELLARI, V., SCATTAREGGIA MARCHESE, S., and HERMENS, H. J.: Feasibility of a home-based telerehabilitation system compared to usual care: Arm/hand function in patients with stroke, traumatic brain injury and multiple sclerosis. *Journal of Telemedicine and Telecare* 14, 249–256 (2008)
- JACK, D., BOIAN, R., MERIANS, A. S., TREMAINE, M., BURDEA, G. C., ADAMOVICH, S. V., RECCE, M., and POIZNER, H.: Virtual reality-enhanced stroke rehabilitation. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering* 9, 308–318 (2001). doi:10.1109/7333.948460
- JAFFE, D. L., BROWN, D. A., PIERSON-CAREY, C. D., BUCKLEY, E. L., and LEW, H. L.: Stepping over obstacles to improve walking in individuals with poststroke hemiplegia. *Journal of Rehabilitation Research and Development* 41, 283–292 (2004)
- JANG, S. H., SUNG, S. H., HALLETT, M., CHO, Y. W., PARK, C.-M., CHO, S.-H., LEE, H.-Y., and KIM, T.-H.: Cortical reorganization and associated functional motor recovery after virtual reality in patients with chronic stroke: An experimenter-blind preliminary study. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation* 86, 2218–2223 (2005). doi:10.1016/j.apmr.2005.04.015
- JEBSEN, R. H., TAYLOR, N., TRIESCHMANN, R. B., TROTTER, M. J., and HOWARD, L. A.: An objective and standardized test of hand function. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation* 50, 311–319 (1969)
- JØRGENSEN, H. S., NAKAYAMA, H., RAASCHOU, H. O., and OLSEN, T. S.: Stroke: Neurologic and functional recovery. The Copenhagen Stroke Study. *Physical Medicine and Rehabilitation Clinics of North America* 10, 887–906 (1999)
- KANG, Y. J., KU, J., HAN, K., KIM, S. I., YU, T. W., LEE, J. H., and PARK, C. I.: Development and clinical trial of virtual reality-based cognitive assessment in people with stroke: Preliminary study. *Cyberpsychology and Behavior* 11, 329–339 (2008)

- KATZ, N., RING, H., NAVEH, Y., KIZONY, R., FEINTUCH, U., and WEISS, P. L.: Interactive virtual environment training for safe street crossing of right hemisphere stroke patients with unilateral spatial neglect. *Disability and Rehabilitation* 27, 1235–1243 (2005)
- KATZ, S., FORD, A. B., MOSKOWITZ, R. W., JACKSON, B. A., and JAFFE, M. W.: Studies of illness in the aged. The index of ADL: A standardized measure of biological and psychosocial function. *Journal of the American Medical Association* 185, 914–919 (1963)
- KENNEDY, R. S., LANE, N. E., BERBAUM, K. S., and LILIENTHAL, M. G.: Simulator sickness questionnaire: An enhanced method for quantifying simulator sickness. *International Journal of Aviation Psychology* 3, 203–220 (1993)
- KIM, J., KIM, K., KIM, D. Y., CHANG, W. H., PARK, C. I., OHN, S. H., HAN, K., KU, J., NAM, S. W., KIM, I. Y., and KIM, S. I.: Virtual environment training system for rehabilitation of stroke patients with unilateral neglect: crossing the virtual street. *Cyberpsychology and Behavior* 10, 7–15 (2007)
- KIZONY, R., RAZ, L., KATZ, N., WEINGARDEN, H., and WEISS, P. L. T.: Video-capture virtual reality system for patients with paraplegic spinal cord injury. *Journal of Rehabilitation Research and Development* 42, 595–609 (2005)
- KREISEL, S. H., HENNERICI, M. G., and BÄZNER, H.: Pathophysiology of stroke rehabilitation: The natural course of clinical recovery, use-dependent plasticity and rehabilitative outcome. *Cerebrovascular Diseases* 23, 243–255 (2007). doi:10.1159/000098323
- KUTTUVA, M., BOIAN, R., MERIANS, A., BURDEA, G., BOUZIT, M., LEWIS, J., and FENSTERHEIM, D.: The Rutgers Arm, a rehabilitation system in virtual reality: A pilot study. *Cyberpsychology and Behavior* 9, 148–151 (2006)
- KWAKKEL, G., WAGENAAR, R. C., TWISK, J. W., LANKHORST, G. J., and KOETSIER, J. C.: Intensity of leg and arm training after primary middle-cerebral-artery stroke: A randomised trial. *Lancet* 354/9174, 191–196 (1999). doi:10.1016/S0140-6736(98)09477-X
- LAI, J. C., WOO, J., HUI, E., and CHAN, W. M.: Telerehabilitation: A new model for community-based stroke rehabilitation. *Journal of Telemedicine and Telecare* 10, 199–205 (2004)
- LAWTON M. P., and BRODY, E. M.: Assessment of older people: Self-maintaining and instrumental activities of daily living. *The Gerontologist* 9, 179–186 (1969)
- LEGG, L., DRUMMOND, A., LEONARDI-BEE, J., GLADMAN, J. R. F., CORR, S., DONKERVORT, M., EDMANS, J., GILBERTSON, L., JONGBLOED, L., LOGAN, P., SACKLEY, C., WALKER, M., and LANGHORNE, P.: Occupational therapy for patients with problems in personal activities of daily living after stroke: Systematic review of randomised trials. *British Medical Journal* 335/7626, 922 (2007). doi:10.1136/bmj.39343.466863.55
- LEOCANI, L., COMI, E., ANNOVAZZI, P., ROVARIS, M., ROSSI, P., CURSI, M., COMOLA, M., MARTINELLI, V., and COMI, G.: Impaired short-term motor learning in multiple sclerosis: Evidence from virtual reality. *Neurorehabilitation and Neural Repair* 21, 273–278 (2007)
- LORD, J. P., and HALL, K.: Neuromuscular reeducation versus traditional programs for stroke rehabilitation. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation* 67, 88–91 (1986)
- LUM, P. S., USWATTE, G., TAUB, E., HARDIN, P., and MARK, V. W.: A telerehabilitation approach to delivery of constraint-induced movement therapy. *Journal of Rehabilitation Research and Development* 43, 391–400 (2006)
- LUO, X., KLINE, T., FISCHER, H., STUBBLEFIELD, K., KENYON, R., and KAMPER, D.: Integration of augmented reality and assistive devices for post-stroke hand opening rehabilitation. *Engineering in Medicine and Biology Society. 28th Annual International Conference* 7, 6855–6858 (2005). doi:10.1109/IEMBS.2005.1616080
- MAHURIN, R. K., DEBETTIGNIES, B. J., and PIROZZOLO, F. J.: Structured assessment of independent living skills: Preliminary report of a performance measure of functional abilities in dementia. *Journal of Gerontology* 46, 58–66 (1991)
- MATHIOWETZ, V., VOLLAND, G., KASHMAN, N., and WEBER, K.: Adult norms for the Box and Block Test of manual dexterity. *American Journal of Occupational Therapy* 39, 386–391 (1985)
- MERIANS, A. S., POIZNER, H., BOIAN, R., BURDEA, G., and ADAMOVICH, S.: Sensorimotor training in a virtual reality environment: Does it improve functional recovery poststroke? *Neurorehabilitation and Neural Repair* 20, 252–267 (2006)
- Microsoft Kinect: <http://www.xbox.com/de-de/kinect>
- Nintendo Wii: <http://www.nintendo.de>
- PARTINGTON, J. E., and LEITER, R. G.: Partington's Pathway Test. *The Psychological Service Center Bulletin* 1, 9–20 (1949)
- PENTA, M., THONNARD, J.-L., and TESIO, L.: ABILHAND: A Rasch-built measure of manual ability. *Archives of Physical and Medical Rehabilitation* 79, 1038–1042 (1998)
- PIRON, L., TUROLLA, A., TONIN, P., PICCIONE, F., LAIN, L., and DAM, M.: Satisfaction with care in post-stroke patients undergoing a telerehabilitation programme at home. *Journal of Telemedicine and Telecare* 14, 257–260 (2008)

- PIRON, L., TONIN, P., ATZORI, A. M., ZUCCONI, C., MASSARO, C., TRIVELLO, E., and DAM, M.: The augmented-feedback rehabilitation technique facilitates the arm motor recovery in patients after a recent stroke. *Studies in Health Technology and Informatics* 94, 265–267 (2003)
- PLATZ, T., EICKHOF, C., VAN KAICK, S., ENGEL, U., PINKOWSKI, C., KALOK, S., and PAUSE, M.: Impairment-oriented training or Bobath therapy for severe arm paresis after stroke: A single-blind, multicentre randomized controlled trial. *Clinical Rehabilitation* 19, 714–724 (2005). doi:10.1191/0269215505cr904oa
- PubMed: <http://www.pubmed.gov>
- REINKENSMAYER, D. J., PANG, C. T., NESSLER, C. A., and PAINTER, C. C.: Web-based telerehabilitation for the upper extremity after stroke. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering* 10, 102–108 (2002). doi:10.1109/TNSRE.2002.1031978
- RIVA, G.: Virtual reality in psychotherapy: Review. *Cyberpsychology and Behavior* 8, 220–230; discussion 231–240 (2005). doi:10.1089/cpb.2005.8.220
- ROSE, F. D., ATTREE, E. A., BROOKS, B. M., PARSLow, D. M., PENN, P. R., and AMBIHAIPAHAN, N.: Training in virtual environments: transfer to real world tasks and equivalence to real task training. *Ergonomics* 43, 494–511 (2000)
- ROSEN, M. J.: Telerehabilitation. *Telemedicine Journal and E-Health* 10, 115–117 (2004)
- RYDMARK, M., BROEREN, J., and PASCHER, R.: Stroke rehabilitation at home using virtual reality, haptics and telemedicine. *Studies in Health Technology and Informatics* 85, 434–437 (2002)
- SMITH, R.: Validation and reliability of the Elderly Mobility Scale. *Physiotherapy* 80, 744–747 (1994)
- STEWART, J. C., YEH, S. C., JUNG, Y., YOON, H., WHITFORD, M., CHEN, S. Y., LI, L., McLAUGHLIN, M., RIZZO, A., and WINSTEIN, C. J.: Intervention to enhance skilled arm and hand movements after stroke: A feasibility study using a new virtual reality system. *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation* 4, 21 (2007). doi:10.1186/1743-0003-4-21
- SUBRAMANIAN, S., KNAUT, L. A., BEAUDOIN, C., McFADYEN, B. J., FELDMAN, A. G., and LEVIN, M. F.: Virtual reality environments for post-stroke arm rehabilitation. *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation* 4, 20 (2007). doi:10.1186/1743-0003-4-20
- SVEISTRUP, H.: Motor rehabilitation using virtual reality. *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation* 1, 10 (2004). doi:10.1186/1743-0003-1-10
- TAKAHASHI, C. D., DER-YEGHIAIAN, L., LE, V. H., and CRAMER, S. C.: A robotic device for hand motor therapy after stroke. Proceedings of the 9th International Conference on Rehabilitation Robotics; pp. 17–20. 2005. doi:10.1109/ICORR.2005.1501041
- TAUB, E., MILLER, N. E., NOVACK, T. A., COOK, E. W., FLEMING, W. C., NEPOMUCENO, C. S., CONNELL, J. S., and CRAGO, J. E.: Technique to improve chronic motor deficit after stroke. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation* 74, 347–354 (1993)
- TODOROV, E., SHADMEHR, R., and BIZZI, E.: Augmented feedback presented in a virtual environment accelerates learning of a difficult motor task. *Journal of Motor Behavior* 29, 147–158 (1997)
- VIAU, A., FELDMAN, A. G., McFADYEN, B. J., and LEVIN, M. F.: Reaching in reality and virtual reality: A comparison of movement kinematics in healthy subjects and in adults with hemiparesis. *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation* 1, 11 (2004). doi:10.1186/1743-0003-1-11
- WADE, D. T., LANGTON-HEWER, R., WOOD, V. A., SKILBECK, C. E., and ISMAIL, H. M.: The hemiplegic arm after stroke: Measurement and recovery. *Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry* 46, 521–524 (1983)
- WAGENAAR, R. C., MEIJER, O. G., VAN WIERINGEN, P. C., KUIK, D. J., HAZENBERG, G. J., LINDEBOOM, J., WICHERS, F., and RIJSWIJK, H.: The functional recovery of stroke: A comparison between neuro-developmental treatment and the Brunnstrom method. *Scandinavian Journal of Rehabilitation Medicine* 22, 1–8 (1990)
- WARE, J. E., and SHERBOURNE, C. D.: The MOS 36-item short-form health survey (SF-36). *Medical Care* 30, 473–483 (1992)
- WHITNEY, S. L., SPARTO, P. J., HODGES, L. F., BABU, S. V., FURMAN, J. M., and REDFERN, M. S.: Responses to a virtual reality grocery store in persons with and without vestibular dysfunction. *Cyberpsychology and Behavior* 9, 152–156 (2006). doi:10.1089/cpb.2006.9.152
- WILSON, D. J., BAKER, L. L., and CRADDOCK, J. A.: Functional test for the hemiparetic upper extremity. *American Journal of Occupational Therapy* 38, 159–164 (1984)
- WITMER, B. G., and SINGER, M. J.: Measuring presence in virtual environments: A presence questionnaire. *Presence* 7, 225–240 (1998)
- WOLF, S. L., CATLIN, P. A., ELLIS, M., ARCHER, A. L., MORGAN, B., and PIACENTINO, A.: Assessing Wolf Motor Function Test as outcome measure for research in patients after stroke. *Stroke* 32, 1635–1639 (2001)
- WOLF, S. L., WINSTEIN, C. J., MILLER, J. P., THOMPSON, P. A., TAUB, E., USWATTE, G., MORRIS, D., BLANTON, S., NICHOLS-LARSEN, D., and CLARK, P. C.: Retention of upper limb function in stroke survivors who have re-

ceived constraint-induced movement therapy: The EXCITE randomised trial. *Lancet Neurology* 7, 33–40 (2008). doi:10.1016/S1474-4422(07)70294-6

WOLFE, C. D. A.: The impact of stroke. *British Medical Bulletin* 56, 275–286 (2000)

YESAVAGE, J. A., BRINK, T. L., ROSE, T. L., LUM, O., HUANG, V., ADEY, M. B., and LEIRER, V. O.: Development and validation of a geriatric depression screening scale: A preliminary report. *Journal of Psychiatric Research* 17, 37–49 (1983)

Mehmet GÖVERCIN

Forschungsgruppe Geriatrie der Charité
am Evangelischen Geriatriezentrum Berlin (EGZB)

Reinickendorfer Straße 61

13347 Berlin

Bundesrepublik Deutschland

Tel.: +49 30 45055 31 27

Fax: +49 30 450755 31 27

E-Mail: mehmet.govercin@charite.de

Isabelle M. MISSALA

Forschungsgruppe Geriatrie der Charité
am Evangelischen Geriatriezentrum Berlin (EGZB)

Reinickendorfer Straße 61

13347 Berlin

Bundesrepublik Deutschland

Tel.: +49 30 45055 33 45

Fax: +49 30 45055 39 47

E-Mail: isabelle.missala@charite.de

Prof. Dr. Dr. Michael MARSCHOLLEK

Peter L. Reichertz Institut für Medizinische Informatik

Carl-Neuberg-Straße 1

30625 Hannover

Bundesrepublik Deutschland

Tel.: +49 511 5325295

Fax: +49 531 5324621

E-Mail: michael.marschollek@plri.de

Prof. Dr. Elisabeth STEINHAGEN-THIESSEN

Forschungsgruppe Geriatrie der Charité

am Evangelischen Geriatriezentrum Berlin (EGZB)

Reinickendorfer Straße 61

13347 Berlin

Bundesrepublik Deutschland

Tel.: +49 30 4594 1901

Fax: +49 30 4594 1938

E-Mail: elisabeth.steinhagen-thiessen@charite.de

Anhang

Abkürzungen

ABILHAND	Maß manueller Fähigkeiten (PENTA et al. 1998)
ADL	Activities of Daily Living (KATZ et al. 1963)
ARAT	Action Research Arm Test (CARROLL 1956)
AutoCITE	Automated Constraint-Induced Therapy Extension
BBS	Berg Balance Scale (BERG et al. 1992)
BBT	Box and Block Test (MATHIOWETZ et al. 1985)
CAREN	Computer Assisted Rehabilitation Environment (computer-assistierte Rehabilitationsumgebung)
EAK	Einschluss- und Ausschlusskriterien
EK	Ethikkommission
EMS	Elderly Mobility Scale (SMITH 1994)
FIM	Functional Independence Measure (GRANGER et al. 1986)
FTHUE	Functional Test of Hemiparetic Upper Extremity (WILSON et al. 1984)
GDS	Geriatric Depression Scale (YESAVAGE et al. 1983)
HMD	Head-Mounted Display
HoWARD	Hand-Wrist Assisting Robotic Device (TAKAHASHI et al. 2005)
IADL	Instrumental Activities of Daily Living (LAWTON and BRODY 1969)
ITQ	Immersive Tendencies Questionnaire (WITMER and SINGER 1998)
JTT	Jebson Taylor Test (JEBSEN et al. 1969)
MAL	Motor Activity Log (TAUB et al. 1993)
MMSE	Mini-Mental State Examination
MS	Multiple Sklerose
n.b.	Nicht beurteilbar
NHPT	Nine Hole Peg Test (MATHIOWETZ et al. 1985)
PS	Prospektives Studiendesign
QUEST	Quebec User Evaluation of Satisfaction with Assistive Technology (DEMERS et al. 2002)
RCT	Randomized controlled trial (Randomisierte und kontrollierte Studie)
SAILS	Structured Assessment of Independent Living Skills (MAHURIN et al. 1991)
SF-36	Short Form 36, Gesundheitssurvey (WARE und SHERBOURNE 1992)
SIS	Stroke Impact Scale (DUNCAN et al. 1999)
SSES	State Self-Esteem Scale (HEATHERTON and POLIVY 1991)
SSQ	Simulator Sickness Questionnaire (KENNEDY et al. 2003)
TMT-B	Trail Making Test Teil B (PARTINGTON and LEITER 1949)
TR	Telerehabilitation
TSFQ	Task Specific Feedback Questionnaire (KIZONY et al. 2005)
TTI	Time to trial inclusion
VR	Virtuelle Rehabilitation
WMFT	Wolf Motor Function Test (WOLF et al. 2001)

Tab. 2 Zusammenfassung der 32 ausgewählten Publikationen, die ein Pilot- oder experimentelles Design zur Evaluierung von VR- oder TR-Systemen einsetzen.

Referenz	Studien-population	n	Alter	Dauer (Wochen)	Intervention	Ergebnis-indikatoren	EK	EAK	PS	Typ	Gleichzeitige Therapien
ANSUINI et al. 2006	Schlaganfall und visueller Neglekt	6	68–73	Stunden	VR-Datenhandschuhsystem, 3 Sitzungen mit motorischen und sensorischen Aufgaben	Verbesserungen sensorischer motorischer Funktionen des Frontoparietals	Ja	Ja	Nein	Pilot	Keine
BAHEAUX et al. 2005	Schlaganfall und Gesunde	11	25–78	n. b.	VR 3D-haptische Welt mit Blickbewegungsverfolgung	Keine klinische Indikatoren, Systementwicklung	Nein	Nein	Nein	Experimentell	n. b.
BROEREN et al. 2008	Chronische Fälle, 66 Monate nach dem Schlaganfall	11	47–85	4	VR-Training mit herausfordernden Spielen außerhalb des Krankenhauses	Anwendbarkeit; verbesserte Motorik in BBT, keine Veränderung in ABILHAND, TMT-B	Ja	Ja	Ja	Pilot	n. b.
BROEREN et al. 2007a	Chronische Fälle, 9–68 Monate nach dem Schlaganfall	5	53–63	5	Interaktion mit 3D-Objekten in VR durch haptisches Gerät und Shutter-Brille	Verbesserungen des Geschwindigkeits- und Handwegsquotienten, 1 Patient mit ADL-Verbesserungen	Ja	Ja	Ja	Pilot, Fall-Kontroll-Studie	Fortlaufende Rehabilita-tion
BROEREN et al. 2007b	4 Schlaganfälle der rechten Hemisphäre mit Neglekt, 4 ohne Neglekt, 8 Gesunde	16	44–63	n. b.	Bewertung des Neglekts durch 3D VR-Umgebung mit Shutter-Brille und haptischem Stift	Neglekterkennung ist durch eine VR-Aufgabe möglich	Ja	Ja	Ja	Pilot, Kohortenstudie	Klinische oder ambulante Rehabilitation

Tab. 2 (Fortsetzung)

Referenz	Studienpopulation	n	Alter	Dauer (Wochen)	Intervention	Ergebnisindikatoren	EK	EAK	PS	Typ	Gleichzeitige Therapien
CAREY et al. 2007	Chronische Fälle, 13–84 Monate nach dem Schlaganfall	20	49–85	2	TR, computergeführtes Tracking-Training zu Hause	Keine klare Vorteile des Trackings gegenüber Zufallsbewegungen	Ja	Ja	Ja	Pilot	n. b.
CROSBIE et al. 2006	Chronische Fälle, 6 Tage – 20 Jahre nach dem Schlaganfall	10	25–83	1	Ergreifung von Objekten in einer virtuellen Umwelt via HMD	VR-System war für die Mehrheit akzeptabel (ITQ and TSFQ Fragebogen)	Ja	Ja	Ja	Pilot	n. b.
DEUTSCH et al. 2004	1–4 Jahre nach Schlaganfall	8	n. b.	3	VR-System mit CyberGlove, Rutgers Master Glove	Abnahme der zur Durchführung von JTT- und NHPT-Aufgaben mit der betroffenen Hand benötigten Zeit	Nein	Ja	Ja	Experimentell	Nur VR-Training
DEUTSCH et al. 2007	3–6 Jahre nach Schlaganfall	3	n. b.	9 Tage	VR-System mit CyberGlove, Rutgers Master Glove	Verbesserung des JTT und Ausmaß der Bewegung, Geschwindigkeit, Fraktionierung, Kraft	Nein	Ja	Ja	Experimentell	VR- und Realitätskomponente des Trainings
EDMANS et al. 2006	Akuter Schlaganfall	50	69	n. b.	Herstellung eines heißen Getränks in Wirklichkeit und in virtueller Umgebung mit Laptop-Touchscreen und Stift	VR bei Schlaganfall anwendbar; reelle und virtuelle Performanz korreliert mit dem Alter, Barthel-, ADL- und MMSE-Werten sowie visuell-räumlicher Wahrnehmung	Nein	Ja	Ja	Pilot	n. b.

Tab. 2 (Fortsetzung)

Referenz	Studienpopulation	n	Alter	Dauer (Wochen)	Intervention	Ergebnisindikatoren	EK	EAK	PS	Typ	Gleichzeitige Therapien
FISCHER et al. 2007	Schlaganfall	15	32–88	6	VR-Assistiertes motorisches Training der Handfunktion mit 2 verschiedenen Orthesen und Kontrolle	Nach Training signifikante Abnahme der Zeit zur Durchführung von WMFT, Zunahme für BBT und Fugl-Meyer-Test, keine signifikante Änderung von FTHUE, allgemeine Akzeptanz des Systems	Ja	Ja	Ja	Pilot	n. b.
FLYNN et al. 2007	2 Jahre nach Schlaganfall	1	76	20 einstündige Sitzungen	Sony PlayStation 2 Spielplattform	Verbesserung in dynamischen Gangindex, Verbesserungstrends im Fugl-Meyer-Test, BBS, FIM, Gerät gut anwendbar	Nein	Nein	Nein	Experimentell	n. b.
GAGGIOLI et al. 2006	13 Monate nach Schlaganfall	1	46	8	Visualisierungstechnologie zur Anleitung mentaler Übung bei Schlaganfallsrehabilitation	Leichte Interaktion mit dem Prototypen (QUEST); Fugl-Meyer- und ARAT-Werte nahmen zu (zu Hause nur moderat)	Nein	Nein	Nein	Experimentell	Übliche Physiotherapie
HILTON et al. 2002	Nach Schlaganfall	7	n. b.	n. b.	VR, anfassbare Benutzerschnittstelle mit Kaffeekochaktivität (Alltagsaufgabe)	Hohe Anwenderzufriedenheit	Nein	Nein	Ja	Experimentell	n. b.

Tab. 2 (Fortsetzung)

Referenz	Studien-population	n	Alter	Dauer (Wochen)	Intervention	Ergebnis-indikatoren	EK	EAK	PS	Typ	Gleichzeitige Therapien
HOLDEN 2005	1,5–3,5 Jahre nach Schlaganfall	2	76	8 (zweimal pro Woche)	Verfolgung echter Bewegungen nach Training der gleichen Aufgabe in VR	Nach dem Training Verfolgsfehler echter Bewegungen um 50 % reduziert; keine signifikanten Veränderungen von Fugl-Meyer- und SAILS-Werten	Ja	Ja	Ja	Pilot	Keine
HOLDEN et al. 2007	>6 Monate nach Schlaganfall	11	56,7	6	TR mit interaktiver VR, Behandlung zu Hause, therapeutisches Feedback via Videokonferenz	Nach VR Verbesserungen der Armfunktion laut Fugl-Meyer- und WMFT	Nein	Ja	Ja	Pilot	Keine
KANG et al. 2008	2–48 Monate nach Schlaganfall	20	39–67	n. b.	VR, Einkaufs-simulation; Computer-navigation/-interaktion, Gedächtnis, Aufmerksamkeit und exekutive Fähigkeiten	Signifikante Leistungsunterschiede, VR-System für kognitive Beurteilung von Patienten mit Schlaganfall, SSQ	Nein	Ja	Ja	Pilot	n. b.
KATZ et al. 2005	Schlaganfall in der rechten Hemisphäre	19	n. b.	4	11 Patienten: Computer-desktop-basierte VR zum Training von Straßenüberquerung; 8 Kontrollen: Computer-basierte "Visual scanning"-Aufgaben	VR-Gruppe erzielte gleiche Ergebnisse in Maßen des einseitigen Neglekts wie Kontrollgruppe und verbesserte sich im VR-Test	n. b.				

Tab. 2 (Fortsetzung)

Referenz	Studienpopulation	n	Alter	Dauer (Wochen)	Intervention	Ergebnisindikatoren	EK	EAK	PS	Typ	Gleichzeitige Therapien
KIM et al. 2007	Einsseitige Hirnverletzung mit Neglekt	10	13–68	n. b., 60 Durchgänge	VR-Trainings-system, Straßenüberquerung	VR-System ist beim Training einseitigen Neglekts effektiv, kein spezifischer Indikator	Nein	Nein	Nein	Pilot	n. b.
KUTTUVA et al. 2006	17 Monate nach Schlaganfall	1	56	5	Ruigers Arm, neues VR-System zur Rehabilitation des Arms mit TR-Kapazität	Verbesserungen der motorischen Kontrolle des Arms und der Beweglichkeit der Schulter (Fugl-Meyer-Wert)	Nein	Nein	Nein	Experimentell	n. b.
LAI et al. 2004	Schlaganfall	19	69,5	8	TR-System mit Vorträgen, Übungen und psychosozialer Unterstützung via Videokonferenzen	Signifikante Verbesserungen in BBS, SSES, SF-36 Fragebogen, außerdem: Schlaganfallwissenstest GDS, EMS und IADL	Nein	Nein	Ja	Pilot	n. b.
LEOCANI et al. 2007	Patienten mit multipler Sklerose (MS) und gesunde Kontrollen	12	n. b.	n. b.	VR, motorischer Tracking-Test mit Arm	Mit VR festgestellte Beeinträchtigung des kurzfristigen motorischen Lernens bei MS-Patienten, kein spezifischer Indikator	Ja	Ja	Ja	Pilot	n. b.

Tab. 2 (Fortsetzung)

Referenz	Studienpopulation	n	Alter	Dauer (Wochen)	Intervention	Ergebnisindikatoren	EK	EAK	PS	Typ	Gleichzeitige Therapien
LUM et al. 2006	> 12 Monate nach Schlaganfall	7	42,2	2	TR, AutoCITE, z.B. Durchführung von ADL	Signifikante Verbesserungen in WMFT, MAL und JTT nach Behandlung, Supervision durch Therapeuten via Telekonferenzen und PC-Daten	Nein	Ja	Ja	Experimentell	n. b.
Luo et al. 2005	Nach Schlaganfall	3	n. b.	6	VR	BBT und FTHUE	Nein	Nein	Ja	Experimentell	n. b.
MERIANs et al. 2006	> 12 Monate nach Schlaganfall	8	46–81	2 (13 Tage)	Training der gelähmten Hand mit interaktiven Computerspielen mit CyberGlove und einem Rutgers Master II-ND haptischen Handschuh	Verbesserung der Fraktionierung von Finger-, Daumenbewegungsspanne in Fugl-Meyer und JTT	Nein	Nein	Nein	Pilot	Keine
PIRON et al. 2008	10 Monate nach Schlaganfall	10	59	n. b.	Assistierte VR	Tele-VR-Gruppe verbesserte sich signifikant in Fugl-Meyer von 51,2 % auf 56,6 %, VR-Verbesserung nicht signifikant von 49,4 % auf 56 %	Ja	Nein	Ja	Pilot	n. b.

Tab. 2 (Fortsetzung)

Referenz	Studienpopulation	n	Alter	Dauer (Wochen)	Intervention	Ergebnisindikatoren	EK	EAK	PS	Typ	Gleichzeitige Therapien
REINKENS-MEYER et al. 2002	12 Monate nach Schlaganfall	1	54	12	Java-Therapiesystem	Verbesserung zu 2 von 7 auf der Chedoke-McMaster Upper Extremity Scale (durch verbesserte Beugung und Streckung im Ellbogen), aber keine FTHUE-Verbesserung	Nein	Nein	Ja	Experimentell	n. b.
RYDMARK et al. 2002	6–12 Wochen nach Schlaganfall	3	45	n. b.	VR, Phantom Haptic Device (haptisches Phantomgerät)	VR-System hat Potential als Beurteilungs- und Trainingsgerät, Personen mit BBT-Werten > 43 können das System nicht bedienen	Nein	Ja	Ja	Experimentell	n. b.
STEWART et al. 2007	Nach Schlaganfall	2	73–88	3	VR, Bewegung des Arms, 4 VR-Spiele: Greifen, Ballschießen, Drehen, Kneifen	VR-System erlaubt individuell zugeschnittene Übungsprogression, Indikatoren: Fugl-Meyer, FTHUE, BBT, SIS	Nein	Ja	Ja	Experimentell	n. b.

Tab. 2 (Fortsetzung)

Referenz	Studienpopulation	n	Alter	Dauer (Wochen)	Intervention	Ergebnisindikatoren	EK	EAK	PS	Typ	Gleichzeitige Therapien
SUBRAMANIAN et al. 2007	Nach Schlaganfall, Hemiparese	15	n. b.	72 Durchläufe	CAREN: Experimentelles Setup mit HMD, Optotrak Motion Capture System (Augenbewegungsmessung) und CyberGlove	Vergleich zwischen virtueller und echter Umgebung in Bezug auf motorische Leistung und Bewegungen zu Zielen: System kann als Trainingsumgebung verwendet werden	Nein	Nein	Ja	Experimentell	Physische Umgebung
VIAU et al. 2004	47,7 Monate nach Schlaganfall	7	48	6 Durchläufe	VR, 2D-Computerbildschirm und haptische Krafrückmeldung von einem virtuellen Ball, zwei fast identische Aufgaben in der physischen und einer virtuellen Umgebung	Gesunde und kranke Personen setzten ähnliche Bewegungsstrategien in den beiden realen Bedingungen ein, wertvolles Studieninstrument für Greif-, Streck- und Stellbewegungen, keine spezifische Indikatoren	Ja	Ja	Ja	Pilot	Physische Umgebung: Analyse des Streckens nach dem Ball, des Ergreifens, Transports und Lassens des Balls

Anmerkungen: EK = Ethikkommission; EAK = Ein- und Ausschlusskriterien; PS = Prospektives Studiendesign; siehe Liste der Abkürzungen zur Erläuterung.

Trends: Altern in 20 Jahren

Zukunftsperspektiven allgegenwärtiger Computer für ältere Menschen

Antonio KRÜGER (Saarbrücken), Albrecht SCHMIDT (Essen)
und Jörg MÜLLER (Berlin)

Mit 1 Abbildung

Zusammenfassung

Das Paradigma des „Ubiquitous Computing“ beschreibt die Entwicklung, dass Datenverarbeitung, drahtlose Kommunikation, Sensorik und Aktorik zunehmend in unsere Alltagswelt verwoben sind. Technologische Fortschritte erlauben die Einarbeitung von vernetzten und kontextbewussten Computersystemen in Geräte, Räume, Alltagsgegenstände und Kleidungsstücke. Die Zukunftsvision besteht darin, dass solche intelligenten Räume und Artefakte Kontexte und Aktivitäten der Nutzer erkennen, ihre Bedürfnisse antizipieren und proaktive Unterstützung bieten. Oft werden Gesundheitsversorgung und betreutes Wohnen wegen der klaren ökonomischen und sozialen Vorteile als primäre Anwendungsgebiete für solche Technologien betrachtet. Anwendungsbeispiele sind persönliche Navigationssysteme, proaktives Mobiliar, mobile Unterstützungsgeräte, Notfallerkennungssysteme (z. B. bei Stürzen), implizite Aktivitätsbeurteilung, Kommunikationshilfsmittel und kollaborative Pflegesysteme. „Old Age Ubiquitous Computing“ (allgegenwärtige Computer für ältere Menschen) hat das Potential, die Zeitspanne des selbständigen Lebens von Individuen und Gruppen auch im höheren Alter zu verlängern. Die Gebrauchstauglichkeit und Nutzerfreundlichkeit technischer Anwendungen sind für ihren Erfolg entscheidend. Mit dem technologischen Fortschritt sehen wir weitere Szenarien voraus, in denen leistungsstärkere Geräte auf und in den menschlichen Körper integriert werden. Beispiele rangieren von intelligenten Lesebrillen, die dem Nutzer Artikel vorlesen können, bis zu Implantaten, die Wahrnehmungs-, kognitive und motorische Fähigkeiten des Menschen verbessern können.

Abstract

Ubiquitous computing describes the trend that processing, wireless communication, sensing, and actuation are becoming more and more interwoven with our world. Advances in technology allow the integration of networked and context-aware computer systems into devices, environments, everyday objects, and garments. The vision is that such smart environments and artifacts perceive the users' context and activity, anticipate their needs, and act to provide proactive support. Often health care and assisted independent living are seen as the first application domains for those technologies, as it seems that there is a clear benefit from an economic as well as social perspective. Application examples include personal navigation systems, proactive furniture, mobile assistance devices, emergency detection devices (e. g., falls), implicit activity assessment, communication tools, and collaborative care systems. Old Age Ubiquitous Computing has the potential to increase the time span of independent living for individuals and groups, even in advanced age. The usability and ease of use of technological deployments are essential factors for their success. As technology progresses we can foresee further scenarios where more powerful computing devices become integrated onto and into the human body. Examples range from smart reading glasses, which can read articles to the user, to body implants that increase human perceptive, cognitive, and motor capabilities.

1. Einleitung

Mit seiner Vision der in Gegenstände und menschliche Umwelten eingebetteten Datenverarbeitung und Sensorik wird „ubiquitous computing“ immer mehr zu einem Teil unseres Alltags. Meistens zielt technischer Fortschritt eher auf jüngere Generationen und spricht ihre Bereitschaft an, früher Nutzer („early adopters“) sein zu wollen. Es scheint eine verbreitete Annahme zu geben, dass Technologie erst dann für ältere Anwender angemessen ist, wenn sie ein sehr ausgereiftes und stabiles Stadium erreicht hat.

Ein prominentes Beispiel für eine solche Technologie ist das Mobiltelefon – die neusten Versionen werden für jüngere Menschen entworfen und hergestellt, die vielleicht eher bereit sind, mit neuer Technik zu experimentieren und anfängliche Designfehler und technische Ausrutscher zu verzeihen. Als vor mehr als 20 Jahren „ubiquitous computing“ bzw. „calm computing“ (in der Umgebung verschwindende, unauffällige Computer) von den Pionieren des Feldes (WEISER 1991) als Vision postuliert wurde, wäre ein Mobiltelefon wegen des umfangreichen Bedarfs an direkter Aufmerksamkeit und expliziter Interaktion nicht als ein Beispiel einer solchen Technologie betrachtet worden. Heutzutage haben sich diese Geräte deutlich in einigen relevanten technologischen Dimensionen verbessert: sie sind klein und leicht, besitzen leistungsstarke Batterien, bieten Internetzugang, sind mit verschiedenen Sensoren (z. B. Kamera, elektronischer Kompass, Beschleunigungsmesser und GPS¹) und mit Funktechnologien ausgestattet (z. B. Bluetooth), die es dem Gerät erlauben, mit externen Sensoren verbunden zu sein, die entweder auf dem Körper des Nutzers angebracht oder in die Umgebung eingebettet sind. Offensichtlich sind jüngere Nutzer die Zielgruppe dieser Systeme, vor allem weil der Einsatz dieser mobilen Systeme viel Aufmerksamkeit und direkte Interaktionen erfordert, um die Vielfalt der angebotenen Funktionen und Dienste abzurufen. Ältere Nutzer haben Schwierigkeiten, einerseits mit den hohen Aufmerksamkeitsanforderungen und andererseits mit der Vielfalt der angebotenen Funktionalitäten mobiler Geräte umzugehen. In der Tat missachten diese Aspekte die Kerngedanken des „calm computing“, eines Konzepts, das eng mit der Idee des allgegenwärtigen Computers zusammenhängt. Diese fordert, dass die Aufmerksamkeit des Nutzers nicht durch die Computermaschinerie abgelenkt und der Großteil der Datenverarbeitung in den Hintergrund gerückt werden sollte. Das Ziel ist, dass die meisten Informationen nur die periphere Aufmerksamkeit der Nutzer beanspruchen und nur, wenn wirklich nötig, größere Aufmerksamkeitsanteile binden. Der erhöhte Umfang von Sensoren auf einem mobilen Gerät wie dem Handy erlaubt es jedoch bereits, bestimmte Datenverarbeitungsaufgaben ohne Belastung des Nutzers in den Hintergrund zu verlagern. So werden beispielsweise GPS-Koordinaten automatisch genutzt, um aufgenommene Fotos zu annotieren; GPS-Verläufe können zur Analyse von sportlichen Aktivitäten verwendet werden (z. B. durch automatisches Hochladen auf eine Website); Beschleunigungsmesser können Schritte oder Kalorienverbrennung registrieren; Kamera und Mikrofone können benutzt werden, um die gegenwärtige Situation eines Nutzers festzustellen (z. B. ob er sich in einer Sitzung befindet oder draußen unterwegs ist).

Die Instrumentenausstattung von Nutzern oder ihrer Geräte ist nicht der einzige technologische Weg, Hilfeleistungen in verschiedenen Situationen anzubieten. Umgebungen können mit Sensoren wie Kameras, Mikrofonen, Druckmessern oder Bewegungsmeldern bestückt

1 Global Positioning System.

werden, die die Anwesenheit des Nutzers und relevante Situationen feststellen können. Anstatt sich auf eine mobile Komponente zu verlassen, können Geräte in der Umgebung verwendet werden, um nützliche Information bereitzustellen. So können beispielsweise Hinweise über Projektoren in der Umgebung direkt in die unmittelbare Nähe des Nutzers gegeben werden. Im Falle eines Demenzpatienten, der bei einer Alltagsaktivität nicht weiter weiß (z. B. beim Kaffeekochen), könnte ein projizierter Hinweis als Erinnerung an den nächsten Schritt dienen.

In diesem Beitrag möchten wir ein Schlaglicht auf die vielversprechendsten technischen Entwicklungen zur Verbesserung der Lebensqualität älterer Menschen werfen, sowohl in Bezug auf tragbare Geräte als auch auf instrumentierte Räume. Diese Technologien bieten Sicherheitsnetze sowie physische und kognitive Unterstützung bei der Durchführung von Alltagsaktivitäten und erlauben so ihren Anwendern, ihr Leben über längere Zeit unabhängiger zu meistern. Wir argumentieren, dass zum erfolgreichen Einsatz dieser Möglichkeiten die technologische Forschung mit methodologischen Ansätzen in den Sozial- und Verhaltenswissenschaften einhergehen muss.

2. Technologische Grundlagen für erfolgreiches Altern

„Ubiquitous computing“ beschreibt im Grunde die Verlagerung von Computern vom Schreibtisch in die Umgebung, in Kleidung, Geräte und Gegenstände. Allgegenwärtige Datenverarbeitung („pervasive and ubiquitous computing“) bezieht sich nicht auf eine einzelne Technologie, sondern beschreibt eher die Tendenz der Verflechtung von Datenverarbeitung, Kommunikations- und Interaktionstechnologien in unsere Alltagswelten. Datenverarbeitung und Kommunikationstechnologien sind zentrale Bestandteile vieler Lebensbereiche geworden, auch wenn es den Betroffenen gar nicht so bewusst ist. Das Mobiltelefon ist ein markantes Beispiel. Über die letzten 10 Jahren ist es allgegenwärtig geworden, und sein Gebrauch hat das Verhalten der Menschen stark beeinflusst (PALEN 2002, GESER 2004). Bei Betrachtung der gegenwärtigen technologischen Entwicklungen ist es offensichtlich, dass immer mehr Technologien in unseren Alltag eindringen und ihn verändern werden. Gerade für eine alternde Bevölkerung eröffnet dies viele neue Möglichkeiten. Im Folgenden werden wir einige der grundlegenden technologischen Entwicklungen vorstellen und sie mit dem Altern in Beziehung setzen.

2.1 Der Technologie sind keine Grenzen gesetzt

Bis vor kurzem gab es zahlreiche technologische Grenzen, die die Implementierung von vielen Anwendungen einschränkten: Für die Aufnahme jedes gesprochenen Wortes war der Speicher zu klein; für eine ärztliche Konsultation aus der Ferne war die Netzwerkbandbreite zu klein, so dass Audio- und Videoqualität schlecht waren; kontinuierliche Messung von physiologischen Parametern erforderte zu große und schwere Sensorik und zu viel Datenverarbeitung, um in Kleider und Unterwäsche integriert zu werden; und die Anbringung von drahtlosen Sensoren auf jeder Blisterverpackung eines Medikaments war wegen der Größe und Kosten nicht machbar. Aus technischer Perspektive betrachtet, werden viele dieser Einschränkungen sehr bald gegenstandslos sein.

Hingegen ist für das System- und Anwendungsdesign zu erwarten, dass klassische Grenzen eine kleinere Rolle spielen und Erneuerungen als selbstverständlich gelten werden. So

werden Hochleistungsdatenverarbeitung, schnelle und zuverlässige Kommunikation sowie integrierte Sensorik eher Basistechnologien als Alleinstellungsmerkmale sein. Aus unserer Perspektive sehen wir voraus, dass das Design – insbesondere dasjenige der Benutzeroberfläche – und allgemeine Nutzungserfahrungen mit der Reifung der Basistechnologien eine größere Rolle spielen werden. Deshalb ist es für die Herstellung von Technologien, die einer alternden Bevölkerung helfen und sie unterstützen sollen, wesentlich, das ganze System aus Anwendern, Kontext und Technologie zu betrachten (SHNEIDERMAN 2002).

2.2 Allgegenwärtiger und preisgünstiger Kommunikationszugang

In entwickelten Regionen gibt es bereits überall Breitbandnetz Zugänge, zum Beispiel via UMTS²- und 3G³-Netzwerken. In bevölkerten Gegenden erlaubt mobiler drahtloser Zugang, der Daten- und Sprachkommunikation zulässt, eine große Vielfalt von Diensten. Die Integration drahtloser Verbindungen in viele elektronische Geräte ist vorauszusehen, und viele Anwendungen werden erforscht und entwickelt. Die Spannweite reicht von spezifischen Endgeräten (z.B. drahtlose digitale Bilderrahmen), mit Freunden und Familie vernetzen Weckern, Spiegeln, die Zusatzinformationen einlesen, bis zu drahtlosen Überwachungskameras, die Fernzugriffe auf audiovisuelle Information erlauben. Die Allgegenwärtigkeit des Zugangs sowie die gleichzeitige Erfassung und Bereitstellung multimedialer Daten werden ein weites Feld neuer Anwendungserfahrungen eröffnen.

Kommunikationsbedürfnisse, insbesondere älterer Menschen, müssen mit neuen Geräten besser bedient werden. Früher erforderten die Aufnahme eines Digitalfotos und der Versand an eine andere Person vielseitige Computerkenntnisse. Mit neuen Technologien (z.B. Mobiltelefone und damit verbundene digitale Bilderrahmen) steht diese Kommunikationsmethode auch Menschen ohne besondere Computerkenntnissen zur Verfügung. Der Vergleich zwischen dem Versand einer E-Mail mit einem Foto im Anhang und sofortigem Erscheinen eines gerade aufgenommenen Fotos im digitalen Bilderrahmen eines geliebten Menschen verdeutlicht diese neue Nutzererfahrung. Telekommunikation wird viele neue Facetten gewinnen, so könnte beispielsweise das Hochnehmen des Rahmens mit einem neuen Foto zu einer automatischen Dankesbotschaft an den Absender führen (CHANG et al. 2001). Mit diesen Mitteln werden neue Kommunikationswege für eine große Öffentlichkeit zur Verfügung stehen und dabei ohne Zusatzaufwand mehr „Verbundenheit“ hergestellt. Natürlich hat aber die Einführung neuer Technologien und Interaktionswege immer auch negative Begleiterscheinungen. Wie kann man zum Beispiel verhindern, dass ältere Nutzer des oben genannten Bilderrahmens sofortige Antworten erwarten, und wie können Designer solcher Systeme sicherstellen, dass sie nicht zu viel Aufmerksamkeit binden?

2.3 Bitte kein Handbuch – sofortige Anwendbarkeit mit uneingeschränkter Funktionalität

Besonders von in Geräten eingebauten Computern wird erwartet, dass sie ohne besondere Schulung benutzbar sind. Nutzer erwarten, dass die ursprüngliche Funktionalität eines Gegenstands, eines Artefakts oder Geräts nicht durch zusätzliche digitale Funktionalität kompromittiert wird. Telefone, Kameras, Bilderrahmen, Waschmaschinen und E-Books sind

2 Universal Mobile Telecommunications System.

3 Mobilfunkstandard der dritten Generation.

Beispiele ziemlich komplexer Computersysteme. Mit Blick in die Zukunft könnten sogar Alltagsgegenstände wie Zeitungen, Geld und Schlüssel durch elektronische Entsprechungen ersetzt werden. Um sicherzustellen, dass ein breites Personenspektrum diese Technik benutzen kann, ist eine intuitive Interaktion entscheidend, da die meisten erwarten, dass sie so ein Gerät sofort ohne Einführung einsetzen können – so wie sie bisher ihr ganzes Leben lang Zeitungen, Schlüssel und Bücher verwendet haben.

Die Idee des Appliance-Computings, wie es von NORMAN (1998) vorgeschlagen wurde, legt Einfachheit als den entscheidenden Faktor nahe – bei Betrachtung der gegenwärtig angebotenen Produkte scheint das jedoch selten der Fall zu sein. Die Herausforderung besteht darin, die große Variation unter Anwendern (in Hinblick auf eine riesige Alters-, Bildungs- und Erwartungsbandbreite) mit zunehmender Alltagskomplexität durch technologische Allgegenwärtigkeit in Einklang zu bringen. Beim Design für ältere Nutzer ist es wesentlich, sie in alle Entwurfsphasen einzubeziehen. Aus unserer Erfahrung empfehlen wir eine nutzerzentrierte Designstrategie, bei der Technologie Innovation antreiben kann, aber die tatsächliche Zielgruppe den erzielten Mehrwert steuert und definiert.

2.4 Neue Modalitäten erleichtern Interaktionen

Für viele Menschen, besonders ältere Anwender, ist elektronische Datenverarbeitung unmittelbar mit der Vorstellung eines traditionellen PCs verknüpft. Interaktionen werden fast immer mit der Nutzung einer Maus mit Tastatur zur Eingabe und mit visueller Präsentation auf einem Bildschirm gleichgesetzt. Gegenwärtige Ansätze bei der Mensch-Computer-Interaktion, wie implizite Interaktion (SCHMIDT 2000), haptische und taktile Interfaces (BREWSTER und BROWN 2004), räumliches Audio, affektives Computing (PICARD 2003), greifbare Interaktion (ISHII und ULLMER 1997), tragbare und eingebettete Schnittstellen, überlagern die klassische Idee der Mensch-Computer-Interaktion und bieten älteren Menschen interessante Perspektiven. Es ist wichtig anzuerkennen, dass Menschen mehrere Sinne besitzen und weitere Output-Modalitäten wie taktile, olfaktorische und affektive Kanäle uns erlauben, völlig neue Nutzererfahrungen herzustellen.

Darüber hinaus sehen wir einen Trend, dass immer mehr rechnergesteuerte Aktuatoren verfügbar werden. Szenarien, in denen die Umwelt völlig verändert werden kann, um ein gewisses Setting herzustellen, gibt es bereits in sogenannten „smart buildings“ (intelligenten Gebäuden). Ein Raum, dessen Funktion zwischen Büro und Wohnzimmer umgeschaltet werden kann, Roboterumwelten und Möbel, die ihre Form verändern, um bestimmte Aufgaben zu ermöglichen, sowie Zimmer, die ihr Aussehen verändern (z. B. Wandfarbe, Beleuchtung und Bilder) – all dies ist machbar und kann dazu beitragen, neue Wohnräume herzustellen, die die Unabhängigkeit ihrer Bewohner stärken.

Mit Fortschritten in der Sensortechnologie könnten wir interaktive Systeme herstellen, die Optionen expliziter und impliziter Interaktion anbieten. Explizite Interaktion bezieht sich auf Input, der auf einen Computer oder eine Anwendung zielt. Implizite Interaktion ist im Gegensatz dazu eine vom System registrierte Handlung, die Menschen bei der Erledigung einer Aufgabe ausführen und die nicht primär an den Computer gerichtet wurde. Implizite Interaktion ist nicht an eine bestimmte Modalität gebunden, es kann sich um die Bewegung eines Menschen, um Kontext- und Aktivitätsinformation oder um Absichten eines Nutzers handeln. Ein einfaches Beispiel ist ein Bildschirm, der immer die Präsentation in der richtigen Orientierung zeigt. Dazu wird ein Sensor eingesetzt, der die Art, in der das Ge-

rät gehalten wird, feststellt und die Medienpräsentation richtig orientiert (bereits in Kameras und Mobiltelefonen implementiert). In einem allgemeineren Sinne ist implizite Interaktion eine Schlüsseltechnologie zur Aktivitätserfassung und zur impliziten Annotation von Medien. Hier stellen Sensoren fest, wie Medien verwendet werden, und diese Information wird zu ihrer Präsentation eingesetzt.

Leichte Anwendbarkeit ist nicht gleichbedeutend damit, dass bei der Nutzung wenig Aufwand erforderlich ist. Käufliche Beispiele solcher Schnittstellen, die ein gewisses Niveau an körperlicher Bewegung erfordern, sind der *Nintendo Wii Controller* und das *Sony EyeToy*. Das dahinterstehende Konzept besteht in der Herstellung einer interessanteren Nutzererfahrung durch Körperbewegungen und damit eines reichhaltigeren physischen Erlebnisses. In der Forschung sind diese Ideen vorangetrieben worden – Beispiele „anstrengender“ Nutzerschnittstellen haben in der Tat gezeigt, dass die Nutzererfahrung und die soziale Verbundenheit in Mehrspieleranwendungen besser werden (MUELLER et al. 2003). Die Eröffnung von Möglichkeiten und Motivation zur körperlichen Bewegung ist besonders für die Entwicklung von Nutzerschnittstellen für Ältere ein wichtiges Konzept, die Umsetzung muss jedoch gezielt auf diese spezifische Anwendergruppe gerichtet werden.

3. Design und Forschungsmethoden für allgegenwärtige Alterstechnologie

Auf der Basis der starken Integration von Datenverarbeitungstechnologien, die in den beiden vorhergehenden Abschnitten dargestellt wurde, sind die Funktionen, die Nutzerschnittstellen und das Aussehen von Alterstechnologie von entscheidender Bedeutung. Während es offensichtlich scheint, dass allgegenwärtige Datenverarbeitungstechnologien Methoden erfordern, die sich eher an klassischem Design orientieren (wie das Design von physischen Gegenständen), müssen neben den physischen auch digitale Eigenschaften beachtet werden. Die Erfordernisse der Kombination von physischen und digitalen Eigenschaften haben in den letzten zehn Jahren zur Entwicklung des „Interaktionsdesigns“ geführt. Die nächste Anwendungsgeneration wird jedoch nicht nur aus einem physischen und einem digitalen Anteil bestehen, wie sie von einem Interaktionsdesigner entworfen wurden. Stattdessen werden diese Geräte und Umgebungen dazu fähig sein, sich an ihre Umwelt *anzupassen* und wichtige Tatsachen über ihre Anwender zu *lernen*. Solche Gegenstände und Dienste sind nicht mehr statisch und können nicht beim Design ausreichend festgelegt werden. So ist ein neuer Zugang zum Entwurf von Assistenzsystemen erforderlich, einschließlich des Einsatzes längsschnittlicher Anwendungen, die den Gebrauch und Missbrauch von Systemen über einen längeren Zeitraum analysieren. Dies scheint noch wesentlicher, wenn es um Alterstechnologien geht, die auf die Kompensation abnehmender kognitiver und körperlicher Fähigkeiten ihrer Nutzer abzielen. Die meisten dieser Fähigkeiten sind hoch individuell ausgeprägt sowohl hinsichtlich ihres Inhalts als auch ihres Unterstützungsbedarfs. Möglicherweise werden nur die Technologien erfolgreich sein, die frühzeitig in das Umfeld des Nutzers eingebaut wurden – bevor die Hilfsbedürftigkeit einsetzt. So muss beispielsweise in eine Wohnung installierte Technik, die darauf abzielt, Anwender bei der erfolgreichen Meisterung der Aktivitäten des täglichen Lebens („Activities of Daily Living“, ADL) zu überwachen, die Routinen und Angewohnheiten des Nutzers kennen. Diese Routinen wurden nicht über Monate, sondern über Jahre entwickelt. Assistierende Technologie muss also Nutzer über einen so langen Zeitraum begleiten. Dies hat große Auswirkungen

auf den Designprozess, weil es zum Installationszeitpunkt unklar ist, wie die Anwendung nach 40-jähriger Nutzung aussehen wird. Forschung, Entwicklung und Design müssen weiter Hand in Hand gehen, auch wenn die Technologie schon im Umfeld des Anwenders installiert ist, Daten sammelt und (zunächst nur wenige) nützliche Dienste leistet.

Forschungsmethoden für Alterstechnologie

Wir schlagen Forschung anhand eines installierten Systems („deployment-based research“) vor (siehe Abb. 1), um den oben erwähnten Schwierigkeiten der längsschnittlichen Systemevolution zu begegnen. Diese Forschung zielt darauf ab, Einsichten zur Nutzung und technischen Umsetzung zu gewinnen.

Der Ansatz nutzt einen hochfrequenten Zyklus, in dem theoretische Überlegungen und Einsichten aus den empirischen Beobachtungen eingesetzt werden, um die eingesetzten Systeme zur Überprüfung der Theorien weiterzuentwickeln. Diese Systeme stellen dann einen neuen Kontext zur Beobachtung von Nutzerverhalten her und führen auf diese Weise zu neuen Einsichten, Entdeckungen und Verfeinerungen theoretischen Wissens. Die eingesetzten Systeme nehmen einen Platz im Kontinuum zwischen Technologieerprobungen („technology probes“, HUTCHINSON et al. 2003, GRAHAM et al. 2007) und traditionellen Feldprototypen ein (d. h. Arbeitsprototypen, die im Feld oder *in situ* erprobt werden). Sie unterstützen eine Hauptfunktionalität und setzen Protokollierung als wesentliche Datengenerierungsmethode ein. Es ist ihr Ziel, langfristige Nutzerbedürfnisse sowie Anpassung der Technologie durch Nutzer festzustellen. Wir schlagen einen iterativen, nutzerzentrierten und designbasierten Ansatz für jede Anwendung vor, wobei die Beobachtung und Einbeziehung von Nutzern dem Zweck des traditionellen nutzerzentrierten Designs und gleichzeitig als Quelle für weitere theoretische Analyse dient. Um echten Nutzen zu erreichen, müssen die Systeme realen oder neu entstehenden Bedürfnissen entsprechen und es vermeiden, Aktivitäten zu stören, die normalerweise am Ort des Systemeinsatzes durchgeführt werden, – sondern möglicherweise sogar diese Aktivitäten produktiv einbeziehen. Um die empirischen Daten zu erhalten, die als Teil des reflexiven Prozesses nötig sind, sollten vielfältige, zumeist ethnographische Methoden (BERNARD 2002) auf einem Kontinuum von informell zu formell und qualitativ zu quantitativ eingesetzt werden. Induktive Analysemethoden wie *Grounded Theory* (GLASER und STRAUSS 1967) werden dann verwendet, um die Daten zu kodieren, Kategorien zu bilden, sie zu sortieren und Theorien zu entwickeln. Ein wesentlicher Aspekt unseres Ansatzes besteht in der Einhaltung der Grundsätze vorhandener Techniken („technology probes“ und ethnographischer Methoden), um Evaluierungen in einem „real-world“-Einsatz bei niedrigen Kosten durchzuführen, während traditionelle Anwendbarkeitsstudien erst im späteren Designverlauf diese Prioritäten setzen.

Um diesen Ansatz zu illustrieren, stellen wir im Folgenden kurz drei eingesetzte Systeme vor. Obwohl diese Systeme nicht im direkten Zusammenhang mit Alterstechnologie stehen, also nicht gezielt für ältere Menschen entworfen wurden, glauben wir, dass sie als Testfälle für anwendungsbasierte Forschung zu Alterstechnologien dienen können.

Beim iDisplays-System (MÜLLER et al. 2009a) handelt es sich um eine Sammlung von öffentlichen Bildschirmen, die in den Gängen der Universität Münster installiert sind. Mitglieder des Lehrkörpers können über eine Webanwendung Informationen eingeben, und

beachten, dass alle drei Systeme, obwohl sie Forschungsprototypen sind, tatsächlichen Mehrwert für die Benutzer bieten mussten, um Daten zur Benutzerinteraktion erheben zu können. Aus der Warte des Anwenders sind sie nicht Forschungsinstrumente, sondern nützliche Hilfsmittel und haben sich so auch jenseits der Forschungsziele bewährt.

4. Design erfolgreicher Alterstechnologien

Das Design von Alterstechnologien stellt eine Herausforderung dar. Wie in den vorhergehenden Abschnitten beschrieben, kann man davon ausgehen, dass es nicht nur einen langfristigen Einsatz erfordert, sondern auch Systeme, die von ihren Nutzern lernen und sich schließlich an ihre Verhaltensweisen anpassen. Da diese Systeme entworfen werden, um Verluste oder Einschränkungen kognitiver Fähigkeiten zu kompensieren, ist es wichtig, die wesentlichen, dem erfolgreichen Altern zugrundeliegenden psychologischen Kriterien zu beachten. Auf der Grundlage der Theorien von BALTES und BALTES (1990; vgl. RIEDIGER et al. 2006) ergeben sich drei Evaluationskriterien, die auch als Designrichtlinien für Alterstechnologie interpretiert werden können: *Positive Ressourcenbilanz*, *hoher Individualisierungsgrad* und *Erhalt der Alltagskompetenz und Förderung von Entwicklungspotential* (siehe LINDENBERGER et al., in diesem Band; vgl. LINDENBERGER et al. 2008). Positive Ressourcenbilanz beschreibt die Tatsache, dass jede Technologie wiederum Ressourcen bindet, oft in Bezug auf benötigte Aufmerksamkeit oder Zeit, die investiert werden muss, um die Anwendung des Systems zu erlernen. Daraus erwächst die Gefahr, dass die Bedienung der Technologie mehr Ressourcen erfordert, als sie potentiell freisetzen kann. Deshalb muss das Design assistierender Technologie eine positive Ressourcenbilanz sicherstellen. Das zweite Kriterium eines hohen Individualisierungsgrads erinnert an die hohe Variabilität des kognitiven Verlusts unter Individuen. Alterstechnologie muss sich also an eine Einzelperson anpassen, möglicherweise über eine lange Zeit hinweg. Das dritte Kriterium des Alltagskompetenzerhalts und der Entwicklungspotentialförderung geht auf das allgemeine Problem ein, das auftritt, sobald Prothetik (körperlicher oder kognitiver Art) eingesetzt wird: die Gefahr der Nichtbenutzung bestimmter Fähigkeiten und des daraus folgenden steileren Niedergangs spezifischer oder gar allgemeiner Fähigkeiten. Das Ergebnis ist eine starke Abhängigkeit des Individuums von der betreffenden assistierenden Technologie.

Alle drei psychologischen Kriterien haben technologische Gegenstücke und können durch allgegenwärtige Technologien implementiert werden. Die Ressourcenbilanz muss ständig durch assistierende Technologie beobachtet werden. In Bezug auf das Beispiel eines Systems, das die täglichen Aktivitäten des Benutzers lernt, muss es die Auswirkungen seiner Hilfestellungen registrieren. Dies kann durch ein Sensorenetzwerk (z. B. Kameras) erreicht werden, das die Reaktion und den Erfolg einer Hilfeleistung evaluiert. Das System muss dazu mit einem Modell der vom Nutzer eingesetzten kognitiven Ressourcen ausgestattet sein und prüfen, wie diese durch das Verhalten des Systems aktiviert werden können. Dies erlaubt eine kontinuierliche Beurteilung der Ressourcenbilanz. Ein hoher Individualisierungsgrad kann durch fortgeschrittene Nutzermodellierungstechnologien erreicht werden („user modeling“, KOBISA 2007), die sowohl die Repräsentation der relevanten Nutzervariablen als auch die adäquaten Antworten des Systems auf einen gegebenen Kontext einbeziehen. Beide Domänen können auch zur Unterstützung des dritten Evaluationskriteriums bei-

tragen, indem sie historische Daten zu Nutzerverhalten und Systemverwendung auswerten, um zunehmende Nichtbenutzung von Fähigkeiten zu erkennen. Um diesen Effekten entgegenzuwirken, sollte das System bestimmte Hilfen aussetzen oder die Anzahl der gegebenen Hinweise reduzieren, um die Nutzung gewisser kognitiver Ressourcen zu aktivieren.

5. Zusammenfassung und Schlussfolgerung

In diesem Beitrag haben wir allgegenwärtige elektronische Datenverarbeitungstechnologie und ihre Entwicklung dargestellt und beschrieben, wie sie das Design von Technologien zur Unterstützung erfolgreichen Alterns beeinflussen kann. Wir haben die anwendungsorientierte Forschungsmethodologie als einen Weg präsentiert, theoretische Einsichten in Interaktionsmodelle mit allgegenwärtiger Alterstechnologie einzubringen sowie Prototypen ständig durch Technologieeinsatz in echten Settings zu verbessern. Wir haben auch argumentiert, dass die Kollaboration zwischen Informatik und Sozial- und Verhaltenswissenschaften von entscheidender Bedeutung für das bessere Verständnis der Ressourcenbilanz ist, die mit der Einführung solcher Technologien betrachtet werden muss. Ebenso sind wir überzeugt, dass die besonderen Erfordernisse kognitiv assistierender Technologie den frühen und langfristigen Technologieeinsatz verlangen. Dies wird eine Herausforderung sein, besonders wenn eine eingesetzte Technologie Nutzer über Jahrzehnte begleiten muss. Ein besonderer Schwerpunkt wird sich auf die Daten und die Repräsentationen beziehen, die bei den Interaktionen zwischen Nutzern und dem System erhoben werden. Hier besteht die Herausforderung vor allem darin, das System zu befähigen, Daten noch viele Jahre nach ihrer Aufnahme sinnvoll zu interpretieren. Letzten Endes ist es unser Streben, Technologien zu entwickeln, die mit den Nutzern wachsen, von ihnen lebenslang lernen und ihnen ermöglichen, das mit dem Alter einhergehende Nachlassen ihrer kognitiven Fähigkeiten zu kompensieren.

Literatur

- BALTES, P. B., and BALTES, M. M.: Psychological perspectives on successful aging: The model of selective optimization with compensation. In: BALTES, P. B., and BALTES, M. M. (Eds.): *Successful Aging: Perspectives from the Behavioral Sciences*; pp. 1–34. New York: Cambridge University Press 1990
- BERNARD, H. R.: *Research Methods in Anthropology: Qualitative and Quantitative Approaches*. 3rd ed. Walnut Creek, CA: AltaMira Press 2002
- BREWSTER, S., and BROWN, L. M.: Tactons: Structured tactile messages for non-visual information display. *Proceedings of the Fifth Conference on Australasian User Interface*; pp. 15–23. Darlinghurst, Australia: Australian Computer Society 2004
- CHANG, A., RESNER, B., KOERNER, B., WANG, X., and ISHII, H.: LumiTouch: An emotional communication device. In: *CHI '01 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*; pp. 313–314. New York: ACM 2001. doi: 10.1145/634067.634252
- GESER, H.: Towards a sociological theory of the mobile phone. In: *Sociology in Switzerland: Sociology of the Mobile Phone*. Online publication, University of Zurich, March 2004 (Release 3.0). http://socio.ch/mobile/t_geser1.htm
- GLASER, B. G., and STRAUSS, A. L.: *The Discovery of Grounded Theory: Strategies for Qualitative Research*. Chicago: Aldine 1967 (2008 edition)
- GRAHAM, C., ROUNCEFIELD, M., GIBBS, M., VETERE, F., and CHEVERST, K.: How probes work. In: *OZCHI '07: Proceedings of the 19th Australasian Conference on Computer-Human Interaction: Entertaining User Interfaces*; pp. 29–37. New York: ACM 2007. doi: 10.1145/1324892.1324899

- HUTCHINSON, H., MACKAY, W. E., WESTERLUND, B., BEDERSON, B. B., DRUIN, A., PLAISANT, C., BEAUDOUIN-LAFON, M., CONVERSY, S., EVANS, H., HANSEN, H., ROUSSEL, N., and EIDERBÄCK, B.: Technology probes: Inspiring design for and with families. Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems; pp. 17–24. New York: ACM 2003. doi: 10.1145/642611.642616
- ISHII, H., and ULLMER, B.: Tangible bits: Towards seamless interfaces between people, bits and atoms. Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems; pp. 234–241. New York: ACM 1997. doi:10.1145/258549.258715
- KOBSA, A.: Generic user modelling systems. In: BRUSILOVSKY, P., KOBSA, A., and NEJDL, W. (Eds.): *The Adaptive Web: Methods and Strategies of Web Personalization*; pp. 136–154. Berlin: Springer 2007
- LINDENBERGER, U., LÖVDÉN, M., SCHELLENBACH, M., LI, S.-C., and KRÜGER, A.: Psychological principles of successful aging technologies: A mini-review. *Gerontology* 54, 59–68 (2008)
- MUELLER, F., AGAMANOLIS, S., and PICARD, R.: Exertion interfaces: Sports over a distance for social bonding and fun. Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems; pp. 561–568. New York: ACM 2003. doi: 10.1145/642611.642709
- MÜLLER, J., CHEVERST, K., FITTON, D., TAYLOR, N., PACZKOWSKI, O., and KRÜGER, A.: Experiences of supporting local and remote mobile phone interaction in situated public display deployments. *International Journal of Mobile Human Computer Interaction* 1, 1–21 (2009a)
- MÜLLER, J., JENTSCH, M., KRAY, C., and KRÜGER, A.: Exploring factors that influence the combined use of mobile devices and public displays for pedestrian navigation. Proceedings of the 5th Nordic Conference on Human-Computer Interaction: Building Bridges; pp. 308–317. New York: ACM 2009b. doi: 10.1145/1463160.1463194
- MÜLLER, J., PACZKOWSKI, O., and KRÜGER, A.: Situated public news and reminder displays. In: SCHIELE, B., DEY, A. K., GELLERSEN, H., RUYTER, B. DE, TSHELIGI, M., WICHERT, R., AARTS, E., and BUCHMANN, A. (Eds.): *Ambient Intelligence*; pp. 248–265. Berlin: Springer 2008
- Nintendo Wii Controller*: <http://wiportal.nintendo-europe.com>
- NORMAN, D. A.: *The Invisible Computer*. Cambridge, MA: MIT Press 1998
- PALEN, L.: Mobile telephony in a connected life. *Communications of the ACM* 45, 78–82 (2002). doi: 10.1145/504729.504732
- PICARD, R. W.: Affective computing: Challenges. *International Journal of Mobile Human Computer Interaction* 59, 55–64 (2003). doi: 10.1016/S1071-5819(03)00052-1
- RIEDIGER, M., LI, S.-C., and LINDENBERGER, U.: Selection, optimization, and compensation (SOC) as developmental mechanisms of adaptive resource allocation: Review and preview. In: BIRREN, J. E., and SCHAIK, K. W. (Eds.): *Handbook of the Psychology of Aging*. 6th ed., pp. 289–313. Amsterdam: Elsevier 2006
- SCHMIDT, A.: Implicit human computer interaction through context. *Personal Technologies* 4, 191–199 (2000)
- SHNEIDERMAN, B.: *Leonardo's Laptop: Human Needs and the New Computing Technologies*. Cambridge, MA: MIT Press 2002
- Sony EyeToy*: <http://www.eyetoy.com>
- TAYLOR, N., CHEVERST, K., FITTON, D., RACE, N. J. P., ROUNCFIELD, M., and GRAHAM, C.: Probing communities: Study of a village photo display. Proceedings of the 19th Australasian Conference on Computer-Human Interaction: Entertaining User Interfaces; pp. 17–24. New York: ACM 2007. doi: 10.1145/1324892.1324896
- WEISER, M.: The computer for the 21st century. *Scientific American* 265/3, 94–104 (1991)

Prof. Dr. Antonio KRÜGER
Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz GmbH (DFKI)
Campus D3 2
Stuhlsatzenhausweg 3
66123 Saarbrücken
Bundesrepublik Deutschland
Tel.: +49 681 85775 5006
Fax: +49 681 85775 5020
E-Mail: antonio.krueger@dfki.de

Antonio Krüger, Albrecht Schmidt und Jörg Müller

Prof. Dr. Albrecht SCHMIDT
Universität Duisburg-Essen, Campus Essen
Pervasive Computing und User Interface Engineering
Fachbereich Wirtschaftswissenschaften
Schützenbahn 70
45117 Essen
Bundesrepublik Deutschland
Tel.: +49 201 1834170
Fax: +49 201 1834176
E-Mail: albrecht.schmidt@icb.uni-due.de

Dr. Jörg MÜLLER
Quality and Usability Lab
Deutsche Telekom Laboratories
Technische Universität Berlin
Ernst-Reuter-Platz 7
10587 Berlin
Bundesrepublik Deutschland
Tel.: +49 308 35358215
E-Mail: hans-joerg.mueller@telekom.de

Überwachung von Schläfrigkeit mittels EEG-basierter MEMS-Biosensortechnologien

Chih-Wei CHANG (Hsinchu), Li-Wei KO (Hsinchu),
Fu-Chang LIN (Hsinchu), Tung-Ping SU (Taipei),
Tzyy-Ping JUNG (San Diego), Chin-Teng LIN (Hsinchu)
und Jin-Chern CHIOU (Hsinchu/Taichung)

Mit 14 Abbildungen und 2 Tabellen

Zusammenfassung

Elektroenzephalographie (EEG) wird verbreitet zur Beobachtung von kognitiven Zuständen, insbesondere von Schlafstadien eingesetzt, weil Informationen in EEG-Aufnahmen Veränderungen des Wachheitsgrades widerspiegeln. Es bestehen jedoch beträchtliche Hindernisse beim praktischen Einsatz von EEG-basierten Beobachtungssystemen, weil ihre Genauigkeit stark von EEG-Aufnahmen hoher Qualität abhängen. Solche Aufnahmen zu erzielen und aufrechtzuerhalten ist in der Praxis meist schwierig. In dieser Studie wurde ein Siliziumspitzen-Elektroden-Array auf der Grundlage von Mikro-Elektro-Mechanischen Systemen (MEMS), also Trockenelektroden, hergestellt und charakterisiert, um EEG-Monitoring ohne Einsatz von leitfähiger Paste oder Vorbehandlung der Kopfhaut zu ermöglichen. Ein Mikroverfahren mit isotrop/anisotrop reaktiver Ionenätzung und induktiv gekoppeltem Plasma (RIE-ICP) wurde entwickelt, um die nadelartigen Mikrosonden herzustellen. Diese sind in der Lage, das *Stratum corneum* der Haut zu durchstechen, und haben bessere elektrische Leitfähigkeitskennwerte. Dieser Beitrag berichtet von einer Versuchsreihe zur Bestimmung der elektrischen Eigenschaften der Trockenelektroden und von Evaluierungen kontinuierlicher EEG-Aufnahmen. Die Befunde zeigen, dass Trockenelektroden gegenüber konventionellen Feuchtelektroden bessere Elektroden-Haut-Impedanz sowie Signalstärken und -größen aufweisen. Darüber hinaus entwickelten wir zum Nachweis der potentiellen Nutzbarkeit der MEMS-Elektroden in Anwendungsumfeldern auch ein EEG-basiertes Monitoring-System. Dieses beruht auf dem Trockenelektroden-Array, einer Leistungsspektrumsschätzung, einer Hauptkomponentenanalyse des EEG-Signals und auf multivariater linearer Regression. Es soll die Schläfrigkeit von Autofahrern in einem dynamischen Fahr-simulator (in virtueller Realität) beurteilen. Ältere Menschen könnten von dieser Technologie besonders profitieren, da sie häufiger als jüngere Menschen im Tagesablauf von Ermüdungs- und Erschöpfungsphasen betroffen sind, die Vorstufen des Schlafes darstellen und hier mit dem Sammelbegriff „Schläfrigkeit“ bezeichnet werden. Vor diesem Hintergrund hat die Studie, die in diesem Beitrag beschrieben wird, die praktische Tauglichkeit eines Systems zur Beobachtung des kognitiven Status, insbesondere von Schläfrigkeitsgraden, nachgewiesen.

Abstract

Electroencephalography (EEG) has been widely adopted to monitor changes in cognitive states, particularly stages of sleep, as EEG recordings contain a wealth of information that reflects changes in alertness and sleepiness. However, substantial restrictions for the practical use of EEG-based monitoring systems still exist because the accuracy of such systems heavily relies on the availability of high-quality EEG acquisition, which is usually difficult, if possible at all, to achieve or maintain in operational environments. In this study, a silicon spiked electrode array was developed based on Micro-Electro-Mechanical Systems (MEMS), namely dry electrodes, which were fabricated and characterized to bring EEG monitoring to operational workplaces without the need for conductive paste or scalp preparation. An isotropic/anisotropic reactive ion etching with inductive coupled plasma (RIE-ICP) micromachining fabrication process was developed to manufacture the needle-like micro probes that are able to pierce the *stratum corneum* of the skin, thus obtaining superior electrical conduction characteristics. This article reports on a series of characterization tests and evaluations of continuous EEG recordings. Our re-

sults suggest that the dry electrodes show advantages in electrode-skin interface impedance, signal intensity, and size compared to conventional (wet) electrodes. In addition, we also developed an EEG-based drowsiness estimation system that consists of a dry-electrode array, power spectrum estimation, Principal Component Analysis (PCA)-based EEG signal analysis, and multivariate linear regression in order to estimate drivers' drowsiness levels in a VR-based dynamic driving simulator, thus demonstrating potential applications of the MEMS electrodes in operational environments. Older people may benefit from this technology because they are more often affected by periods of tiredness and fatigue during the day than younger people. These phases represent pre-stages of sleep and are covered by the general term "drowsiness" in the following. This article describes a drowsiness monitoring system that has proven its practical relevance in many experiments.

1. Einleitung

Elektroenzephalographische (EEG) Signale bestehen aus der Differenz zwischen elektrischen Potentialen, die durch die Aufsummierung gradierter postsynaptischer Potentiale von Pyramidenzellen zustande kommen. Diese verursachen elektrische Dipole zwischen dem Soma (Zellkörper des Neurons) und den apikalen Dendriten (neuronale Verzweigungen) (TEPLAN 2002). Biopotentialelektroden zur EEG-Messung transformieren die Biosignale vom Hautgewebe zum Verstärkerschaltkreis. Biopotentialelektroden sollten deshalb zur Propagierung von Signalen ohne Abschwächung oder Verrauschen eine niedrige Elektroden-Haut-Impedanz haben (MILLER und HARRISON 1974).

Wenn Elektroden auf die Stirnhaut gesetzt werden, entsteht eine Schnittstelle zwischen Elektrode und Haut. Es können anatomisch drei Hautschichten differenziert werden: Epidermis, Dermis und subkutane Schicht. Die Epidermis besteht aus zwei Schichten: *Stratum corneum* (SC) und *Stratum germinativum* (SG). Das SC besteht aus abgestorbenen Zellen und isoliert deshalb elektrisch. Das SG besteht dagegen aus lebenden Zellen und ist deshalb elektrisch leitend. In der *Dermis* befinden sich die Blutgefäße und Nervenendigungen (SPENCE 1990).

Um die Isolierungseigenschaften des SC zu überwinden, muss die Haut beim Standardeinsatz von Feuchtelektroden immer vorbereitet (Abrieb des SC) und ein Elektrolytgel verwendet werden. Falsche Hautvorbehandlung kann Hautreizungen, Schmerzen oder sogar Entzündungen verursachen. Die Verwendung des Elektrolytgel ist unangenehm und unbequem; es kann Jucken, Hautrötungen und -schwellungen auslösen, wenn EEG-Messungen über eine längere Zeit durchgeführt werden. Außerdem nimmt die Leitfähigkeit des Elektrolytgel allmählich durch Härtung ab, was zu Verlusten der Datenqualität führt.

Die in diesem Beitrag beschriebene Trockenelektrode durchsticht das SC, um die elektrisch leitfähige Gewebeschicht SG zu erreichen, ohne die Dermis zu verletzen und dadurch Schmerzen oder Blutungen zu verursachen. Da die Trockenelektrode damit die hohe Impedanz des SC umgeht, sind eine Vorbehandlung der Haut und der Einsatz von Elektrolytgel nicht nötig. Zu beachten ist, dass die Dicke der Epidermis je nach Ethnie und Hautpartie zwischen 0,05 mm und 1,5 mm rangiert. Die Dicke des SC und des SG beträgt jeweils etwa 10–15 µm bzw. 50–100 µm (SPENCE 1990). Um also das SC zu durchstechen und das SG zu penetrieren, muss die Sonde länger als 20 µm sein und eine scharfe Spitze haben, die eine Schädigung des Gewebes minimiert. Um Rauschen an der Elektroden-Elektrolyt-Schnittstelle zu vermeiden, werden die Sonden mit Titan/Platin für hohe Leitfähigkeit und biomedizinische Kapazität beschichtet. Es wurden für Vergleiche drei Typen von Trockenelektroden-Arrays aus 20 × 20 Sonden in den Größen 4 mm × 4 mm,

3 mm × 3 mm und 2 mm × 2 mm hergestellt. Wegen Einschränkungen unserer derzeitigen MEMS-Technologie sind diese Sonden etwa 250 µm lang und nicht in der Lage, menschliche Haare zu durchdringen und das *SG* oder gar das *SC* zu erreichen. Die Elastizität von Haaren macht es auch schwierig, die Trockenelektroden am behaarten Schädel zu fixieren. Deshalb wurden die Elektroden in dieser Studie an haarlosen Stellen wie *Fp1* und *Fp2* platziert.

Um die Leistungen der Trockenelektroden unter realistischen Bedingungen zu evaluieren, entwarfen wir ein Experiment, das hohe Konzentration der Teilnehmer erforderte. Dabei wurde ihre Schläfrigkeit anhand der mit den Trockenelektroden gemessenen EEG-Signale kontinuierlich bewertet.

Dieser Beitrag ist wie folgt aufgebaut. Abschnitt 2 berichtet, wie die Trockenelektroden hergestellt werden. Darauf folgt die Beschreibung der durchgeführten Tests: In Abschnitt 3.1 geht es um ihre elektrischen Eigenschaften und in Abschnitt 3.2 um ihre Fähigkeit, EEG-Daten bei einer realistischen Fahraufgabe zu erfassen. Wir untersuchten den Einsatz dieser Elektroden in einem EEG-basierten Schläfrigkeits-Monitoring-System als Beispiel einer realistischen Anwendung. Das System umfasst eine Fahrumwelt in virtueller Realität (VR), eine Fahrsimulationskabine, eine dynamische Stewart-Bewegungsplattform mit sechs Freiheitsgraden, eine EEG-Leistungsspektrumsschätzung, Hauptkomponentenanalyse und ein lineares Regressionsmodell. Abschließend bieten wir in Abschnitt 4 einen Ausblick auf die Relevanz dieses Systems für alternde Gesellschaften.

2. Die Herstellung von Trockenelektroden

Um nadelartige Sonden auf einer Siliziumscheibe mit hohem Aspektverhältnis herzustellen, wurde ein Mikroverfahren entwickelt, das aus einer isotropen und anisotropem reaktiven Ionenätzung mit induktiv gekoppeltem Plasma (RIE-ICP) und einer Galvanisierungstechnik besteht (vgl. Abb. 1). Dazu wurde ein dicker Photoresistfilm als Ätzungsmaske für die zylindrischen Sonden mit Punkten markiert. Da die Ätzungselektivität zwischen Silizium und Photoresist etwa 1 bis 60 beträgt, wurde Photoresist mit 6 µm Dicke als Hartmaske für das zweistufige isotrop/anisotrope Ätzverfahren gewählt.

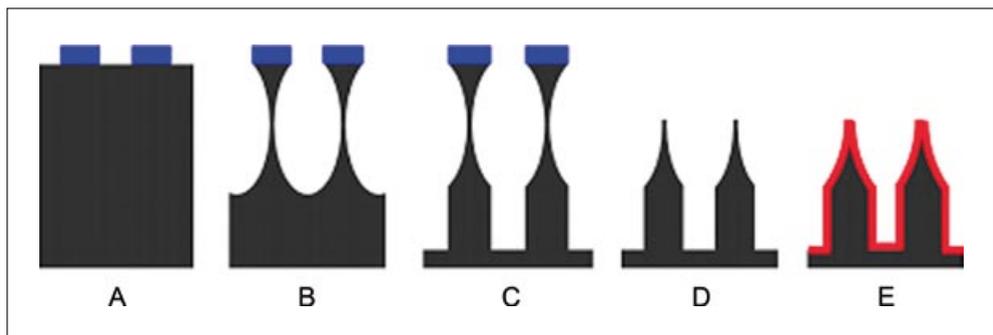


Abb. 1 Herstellungsverfahren: (A) Markierung des Photoresist als Ätzungsmaske; (B) isotrope Ätzung für die Sondenspitze; (C) anisotrope Ätzung für den Sondenschaft; (D) Lösung der Hartmaske von der Sondenspitze; (E) Beschichtung der Sonden mit Titan/Platin mit der DC-Sputter-Technologie

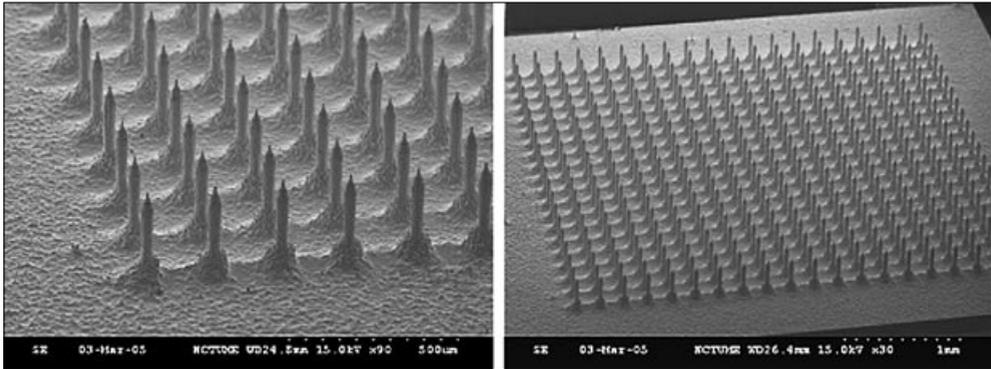


Abb. 2 Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme der hergestellten Trockenelektroden

Nach Abschluss der isotropen Ätzung für die Sondenspitze nahmen wir die anisotrope Ätzung vor, damit ein Schaft mit hohem Aspektverhältnis hergestellt werden konnte. Es folgte dann ein Nassätzverfahren, um die Hartmaske an der Sondenspitze zu lösen. Für die elektrische Leitfähigkeit wurden die Sonden unter Anwendung von DC-Sputter-Technologie mit Titan/Platin beschichtet. Die aus der Siliziumscheibe ausgeschnittenen Trockenelektroden wurden danach mit Hilfe von Silberklebstoff auf flexiblen gedruckten Leiterplatten befestigt. Abbildung 2 zeigt die rasterelektronenmikroskopischen Aufnahmen der Trockenelektrode. Jede Trockenelektrode besteht aus einem 20×20 Mikrosonden-Array, und jede Sonde ist etwa $250 \mu\text{m}$ lang und $35 \mu\text{m}$ dick. Die Verdickung an der Basis der Sonde auf etwa $50 \mu\text{m}$ Höhe ist auf die isotrope Ätzungsform in der zweiten Herstellungsphase zurückzuführen. Die effektive Penetrationslänge der Sonde beträgt entsprechend etwa $200 \mu\text{m}$.

3. Prüfung der Trockenelektroden

Wir nahmen die Prüfung der Trockenelektroden in zwei Stufen vor: Zuerst prüften wir sie *in vivo*, dann untersuchten wir ihre Einsetzbarkeit in einer realistischen „real-world“-Umgebung.

3.1 Elektrische Eigenschaften der Trockenelektroden

Um die Elektroden-Haut-Impedanz zu charakterisieren, wurden zwei Elektroden mit 4 cm Abstand nebeneinander auf die Stirn gesetzt. Ein von GRISS et al. (2001) vorgeschlagener Schaltkreis wurde zur Messung der Elektroden-Haut-Elektroden-Impedanz eingesetzt, unter Vermeidung des Risikos, die Versuchsperson bei den Biopotentialaufnahmen zu verletzen (WEBSTER 1998). Insgesamt wurden 19 Tests durchgeführt (vgl. Tab. 1), die aus 5 verschiedenen Testabläufen zur Beurteilung von 5 verschiedenen Elektrodentypen bestanden. Es handelte sich um zwei mit Silberchlorid (AgCl) und Gold (Au) beschichtete Standardfeuchtelektroden mit 1 cm Durchmesser sowie drei Trockenelektroden der Größen $4 \text{ mm} \times 4 \text{ mm}$, $3 \text{ mm} \times 3 \text{ mm}$ bzw. $2 \text{ mm} \times 2 \text{ mm}$.

Tab. 1 Testabläufe für die Messung der *Electrode-Skin-Electrode Impedance* (ESEI)

Messreihe	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Versuchsperson	1	1	1	2	2	2	3	3	3	4	4	4	4	4	5	5	5	5	5
Typ	a	c	b	a	c	b	f	a	c	f	a	c	d	e	f	a	c	d	e

a = AgCl ohne Hautvorbehandlung

b = AgCl mit Hautvorbehandlung

c = 4 mm × 4 mm ohne Hautvorbehandlung

d = 3 mm × 3 mm ohne Hautvorbehandlung

e = 2 mm × 2 mm ohne Hautvorbehandlung

f = Au ohne Hautvorbehandlung

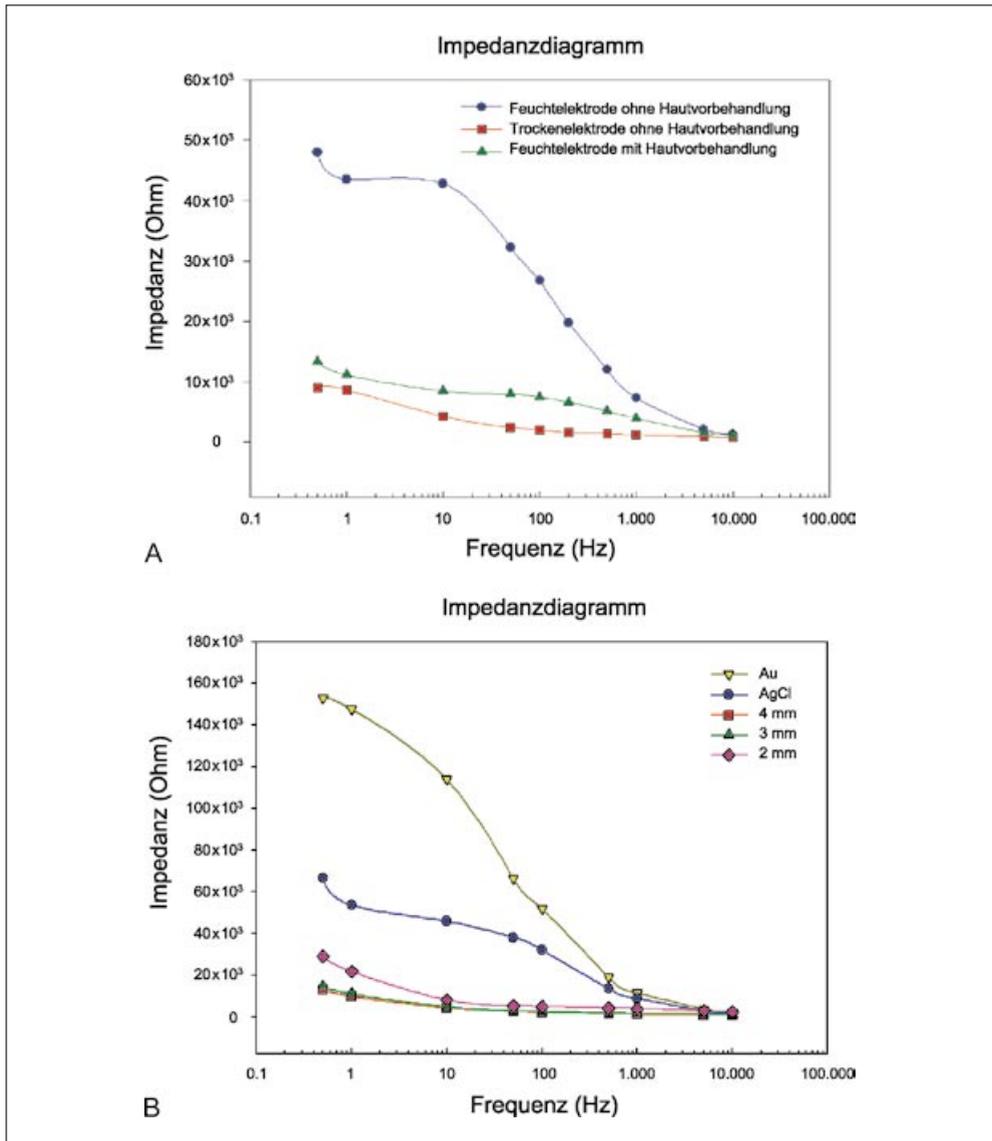


Abb. 3 Vergleich der Impedanzspektren der Biopotentialelektroden: (A) 4 mm × 4 mm und AgCl-Elektrode; (B) Au, AgCl, 4 mm × 4 mm, 3 mm × 3 mm, 2 mm × 2 mm Elektroden

Zuerst wurden die Impedanzspektren zwischen einer 4 mm × 4 mm Trockenelektrode ohne Hautvorbehandlung und Elektrolytgel und einer AgCl-Elektrode mit Elektrolytgel, mit und ohne Hautvorbehandlung verglichen. Abbildung 3A zeigt, dass die Impedanz der Trockenelektrode für den EEG-Frequenzbereich geringer war als die der AgCl-Elektrode, unabhängig davon, ob eine Hautvorbehandlung erfolgt war oder nicht. Zweitens evaluierten wir alle fünf Elektroden (Au, AgCl, 4 mm × 4 mm, 3 mm × 3 mm, 2 mm × 2 mm) ohne Hautvorbehandlung und Elektrolytgel. Wie in Abbildung 3B zu sehen, waren die Impedanzwerte aller Trockenelektroden besser als die der Feuchtelektroden.

3.2 Der Einsatz von Trockenelektroden zur EEG-Messung bei einer realistischen Fahraufgabe

Die wachsende Anzahl von Verkehrsunfällen ist in den letzten Jahren ein gesellschaftlich relevantes Problem geworden. Unfälle, die auf Schläfrigkeit von Fahrern am Steuer zurückzuführen sind, haben wegen der starken Einschränkung von Wahrnehmung, Situationserkennung und Fahrzeugkontrolle bei müden Fahrern eine hohe Todesfallrate. Die Verhinderung solcher Unfälle ist deshalb sehr wünschenswert, erfordert aber Technologie, die in der Lage ist, ständig die Schläfrigkeit von Fahrern zu überwachen sowie effektive Rückmeldungen zu geben, um gefährliche Situationen am Steuer zu vermeiden (UENO et al. 1994, WIERWILLE et al. 1994, GRACE et al. 1998, PILUTTI und ULSOY 1999, AMDITIS et al. 2002, FRENCH 2002). Im Jahr 2005 stellten wir ein EEG-basiertes Schläfrigkeits-Monitoring-System vor, das kontinuierlich die Schläfrigkeit von Fahrern in einem VR-Fahrsimulator feststellt (LIN et al. 2005a,b). In dieser Studie gingen wir nach der gleichen Methode vor, setzten aber MEMS-Trockenelektroden statt der konventionellen Feuchtelektroden ein, um kontinuierliche EEG-Daten zu erhalten. Die Untersuchungen umfassten EEG-Leistungsspektrumsschätzungen, auf Hauptkomponentenanalyse beruhende EEG-Signalanalyse sowie multivariate lineare Regression zur Beurteilung der Schläfrigkeit von Fahrern in einem dynamischen VR-Fahrsimulator. Sie dienten dem Ziel, den potentiellen Nutzen solcher Trockenelektroden bei langen und routinemäßigen EEG-Aufnahmen in einem realistischen Anwendungsszenario nachzuweisen.

3.2.1 Die VR-Fahrumwelt

Eine dynamische Fahrsimulationsumwelt wurde auf der Grundlage von VR für interaktive Experimente entworfen und gebaut. Im Wesentlichen besteht sie aus folgenden vier Anteilen (vgl. Abb. 4):

- einer 3D-Fahrszene auf einer Schnellstraße in VR-Technologie;
- einem Fahrkabinensimulator auf einer dynamischen Stewart-Bewegungsplattform mit sechs Freiheitsgraden;
- dem EEG-Messsystem mit 13-Kanalsensoren;
- und dem EEG-Signalanalyseansatz auf der Basis von Hauptkomponentenanalyse, Leistungsspektrumsanalyse und einem linearen Regressionsmodell.

Die VR-basierte „high-fidelity“ 3D-interaktive Schnellstraßenszene und ihre Emulationssoftware, die *WorldToolKit (WTK) Library* und das *Application Programmer Interface (API)* (CARDOSO und SOULOUMIAC 1993) wurden an anderer Stelle vorgestellt (LIN et al.

2005a,b). Ein detailliertes Entwicklungsdiagramm der VR-basierten Szene wird in Abbildung 5 gezeigt. Zuerst stellen wir für das Szenario Modelle verschiedener Objekte (wie Autos, Straßen, Bäumen usw.) her und ordnen ihnen die passenden Positionen, Stellungen und andere relative Parameter zu. Wir entwickelten dann die dynamischen Modelle mit die-

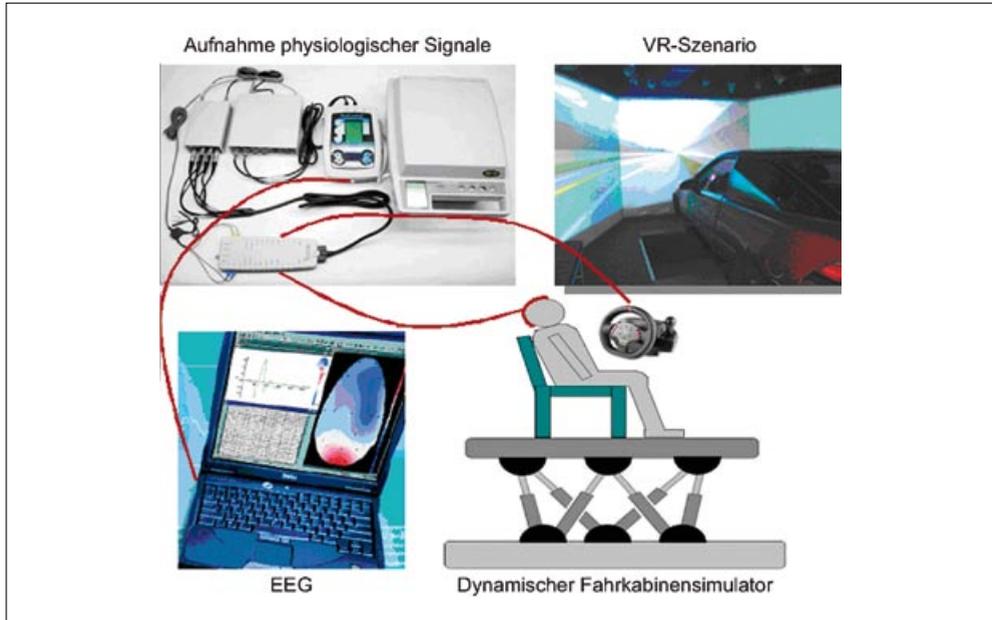


Abb. 4 Schema des in die dynamische VR-Fahrsimulationsumgebung integrierten EEG-basierten physiologischen Messsystems

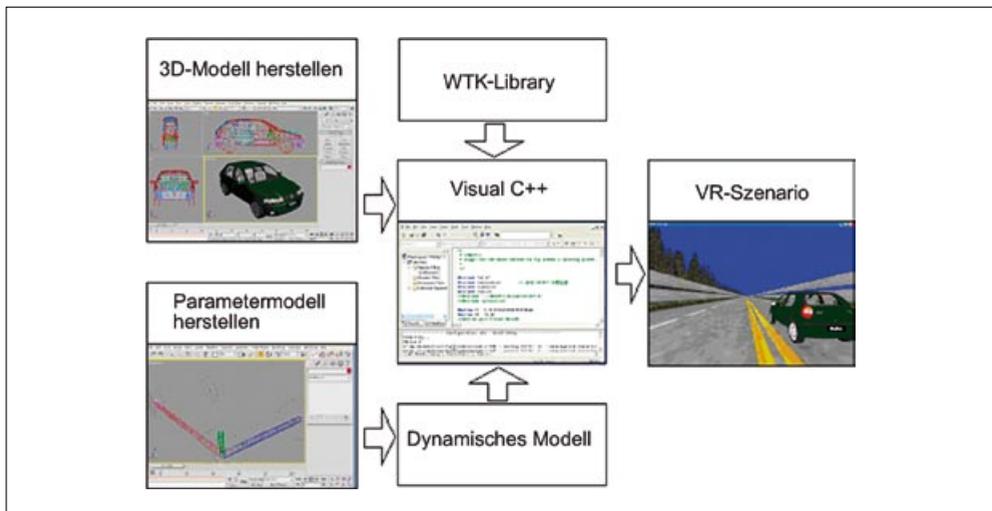


Abb. 5 Flussdiagramm der entwickelten VR-Schnellstraßenszene. Die dynamischen Modelle und Formen der 3D-Objekte in der VR-Szene werden kreiert und an die WTK-Library gebunden, um eine komplette interaktive VR-simulierte Szene zu erstellen.

sen virtuellen Objekten und bauten mit Hilfe des C-basierten API-Programms eine vollständige Simulation einer Schnellstraßenszene mit voller Funktionalität.

Die vierspurige Schnellstraßenszene wird auf eine 120°-Leinwand projiziert (304,1 cm breit und 228,1 cm hoch), die 350 cm von der auf einer Stewart-Bewegungsplattform mit sechs Freiheitsgraden befestigten Fahrkabine aufgestellt ist. Von links nach rechts sind die vier Fahrspuren durch einen Mittelstreifen getrennt. Die Entfernung von der linken zur rechten Straßenseite ist in 256 gleiche Einheiten aufgeteilt (als Werte von 0 bis 255 digitalisiert), wobei die Spur 60 Einheiten und das Auto 32 Einheiten breit ist. Die Bildwiederholrate der Straßenszene wurde so eingestellt, dass eine Autofahrt bei 100 km/h Geschwindigkeit auf der Schnellstraße suggeriert wurde. Das Auto driftet dabei von der Mitte der Fahrspur (vom WTK-Programm unter Registrierung der Einsatzzeit gesteuert) und ahmt damit das Fahrverhalten auf einem suboptimalen Straßenbelag nach. Die Leistung der Versuchsperson wird kontinuierlich vom WTK-Programm anhand der Abweichung zwischen der Fahrzeugmitte und der Mitte der Fahrspur bewertet. Zeitgleich werden die physiologischen EEG-Daten aufgenommen.

3.2.2 Vergleich von mit Trocken- und Feuchtelektroden aufgenommenen EEG-Signalen

Abbildung 6A zeigt die Lokalisierungen der fünf Trocken-/Feuchtelektrodenpaare auf der Stirn. Um die EEG-Aufnahmeleistung zu prüfen, wurden die Einweg-Trocken- und Feuchtelektroden an haarlose Stellen auf die Stirn gesetzt. Die Trockenelektroden 1 und 5 (Dry1 und Dry5) wurden nach dem internationalen 10–20 Elektrodenplatzierungssystem an *Fp1* und *Fp2* gesetzt (THAKOR 1998). Wir verteilten auch drei Trockenelektroden zwischen Trockenelektroden 1 und 5 (Dry2, Dry3 und Dry4). Wie in Abbildung 6B dargestellt wurden entsprechende konventionelle Feuchtelektroden so nah wie möglich über die Trockenelektroden gesetzt (in etwa 1 cm Abstand). Die Methode der Aufnahme gegen eine gemeinsame Referenz wurde zur Messung der EEG-Signale eingesetzt. Dazu wurden drei Feuchtelektroden als Referenz und Masse an die Positionen *A1*, *A2* und *Gnd* gesetzt. Wir verwendeten die gemittelten EEG-Signale an *A1* und *A2* als Referenz. EEG-Signale von insgesamt 13 Elektroden (5 Trocken-, 5 Feuchtelektroden, 3 Referenz- und Massekanäle) wurden dann gleichzeitig mittels Scan NuAmps Express System (Compumedics Ltd., VIC, Australien) abgeleitet. Vor der Datenaufnahme wurde die Kontaktimpedanz zwischen jeder Tro-

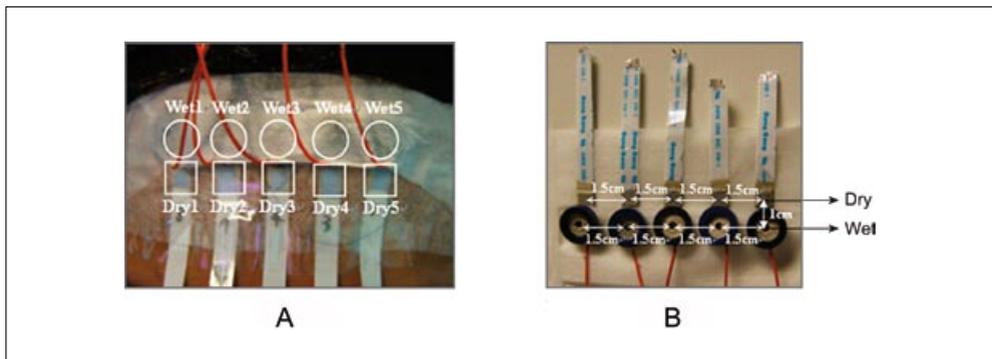


Abb. 6 (A) Positionen der Feucht- und Trockenelektroden; (B) Abstände zwischen ihnen

cken- und Feuchtelektrode auf weniger als 5 k Ω kalibriert. Die EEG-Daten wurden auf einem 16-bit Quantisierungspegel bei einer Abtastrate von 500 Hz aufgenommen und dann zur Vereinfachung der Datenverarbeitung auf 250 Hz resampelt. Als erster Verstärkungsschritt erfolgte an jedem Verstärkerkanal eine Messverstärkung des differentiellen Eingangssignals, und anschließend wurde ein 0,5–100-Hz-Bandpassfilter und ein 60-Hz-KerbfILTER eingesetzt.

Abbildung 7 stellt die EEG-Rohdaten dar, die von den Elektrodenpaaren Wet/Dry 1 und 5 aufgenommen wurden. Wie ersichtlich, sind die EEG-Signale von Trocken- und Feuchtelektroden in hohem Maße vergleichbar.

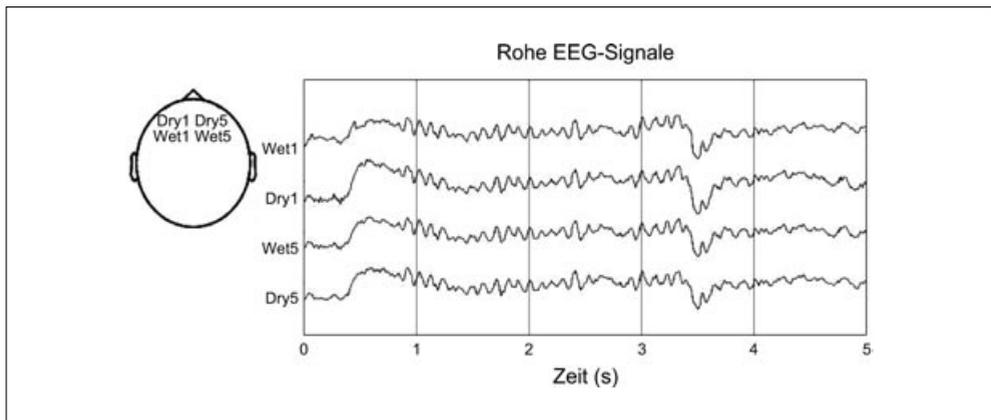


Abb. 7 Rohdaten der EEG-Ableitungen von Trocken- und Feuchtelektroden

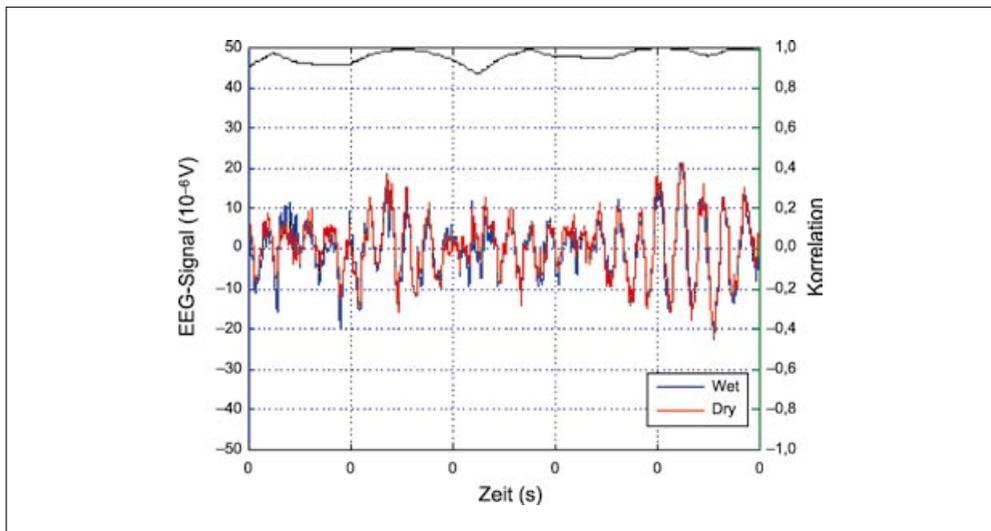


Abb. 8 Vergleich der EEG-Signale von Feucht- und Trockenelektroden an *Fp1* für Versuchsperson 1 im Fünfsekundenintervall. Blaue und rote Linien stellen das jeweilige EEG-Signal dar. Die schwarze Linie zeigt die Pearson-Korrelationsdaten über 0,25 Sekundenintervalle.

Wir rekrutierten drei freiwillige Versuchspersonen für das nächste Experiment. Dabei wurden EEG-Signale über 1000 s (ca. 16 min und 40 s) gleichzeitig von zwei Trocken-/Feuchtelektrodenpaaren aufgezeichnet, einschließlich Bedingungen mit offenen und geschlossenen Augen. Mit Bezug auf die Vergleichsmethode von MATTHEWS et al. (2007) wird in Abbildung 8 ein Segment einer Zeitreihenaufnahme der von Versuchsperson 1 jeweils über ein Feucht-/Trockenelektrodenpaar an *Fp1* abgeleiteten Signale gezeigt. Der Graph enthält auch die Pearson-Korrelation über 0,25 Sekundenintervalle. Obwohl nur ein einzelnes Fünfsekundenintervall dargestellt ist, war die Aufnahmequalität für alle Versuchspersonen

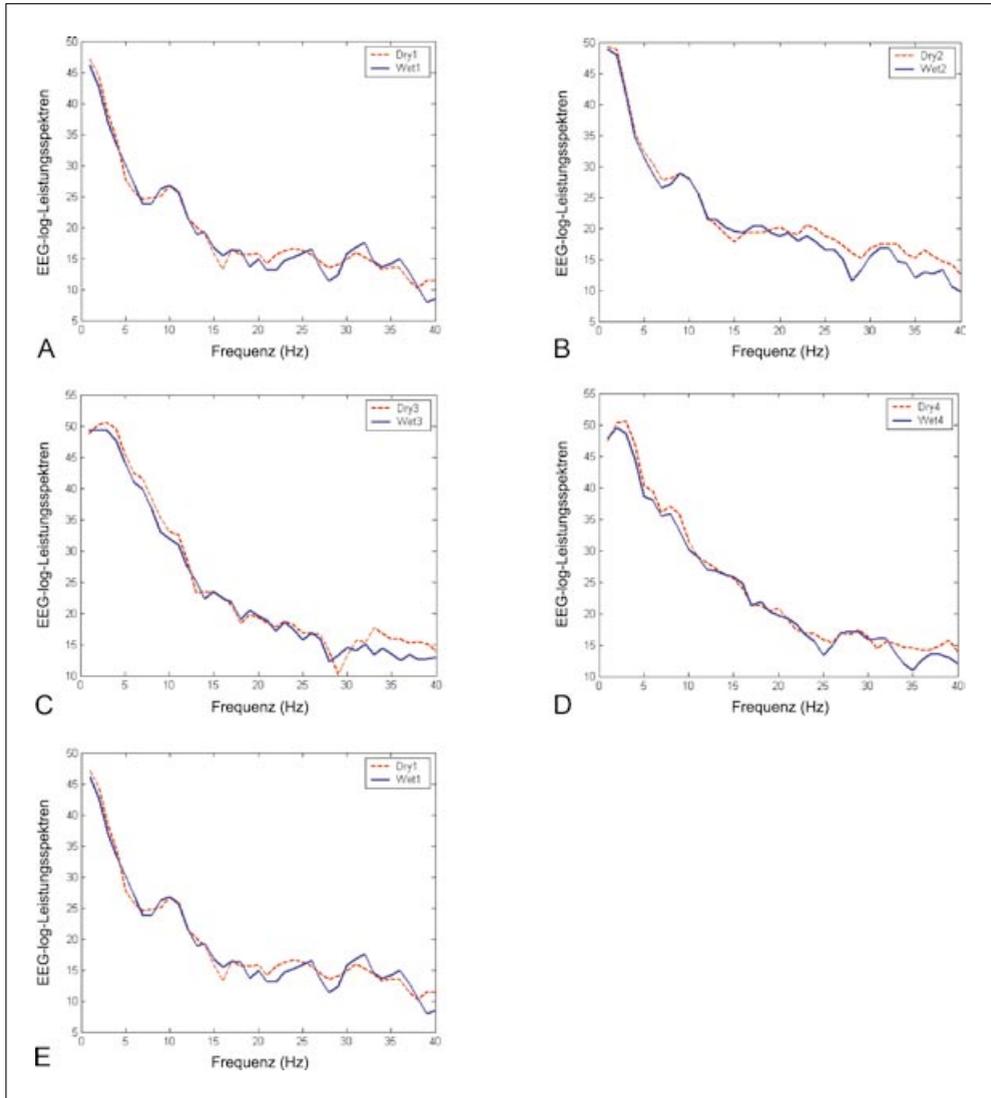


Abb. 9 Das EEG-Leistungsspektrum von 5 Trocken-/Feuchtelektrodenpaaren: (A) Dry1/Wet1; (B) Dry2/Wet2; (C) Dry3/Wet3; (D) Dry4/Wet4; (E) Dry5/Wet5

ohne offensichtliche Signalqualitäts- oder Rauschpegelveränderungen konsistent. Die statistische Auswertung erwies, dass die mittlere Pearson-Korrelation aller Versuchspersonen über 90% betrug, und in 91% der Aufnahmedaten über 92%. Hochsignifikante Korrelationen von über 90% liegen im gesamten Datensatz vor.

Abbildung 9 zeigt die EEG-Leistungsspektren von fünf Trocken-/Feuchtelektrodenpaaren. Wie zu sehen, ähneln sie sich sehr und weisen so darauf hin, dass mit Trockenelektroden erfasste Signale hinsichtlich ihrer Qualität den mit konventionellen Elektroden erfassten EEG-Ableitungen entsprechen. Im folgenden Abschnitt wird das EEG-basierte Schläfrigkeits-Monitoring-System vorgestellt.

3.2.3 Güte der Schläfrigkeitsabschätzung

Um die potentiellen Anwendungen der MEMS-Elektroden während langer und routinemäßiger Aufzeichnung in einer operativen Umgebung zu demonstrieren, untersuchten wir die Qualität von EEG-Signalen, die über an *Fp1* und *Fp2* lokalisierten Trockenelektroden abgeleitet wurden, für die Bewertung der Schläfrigkeit von Versuchspersonen in einer Aufgabe, die hohe Konzentration erforderte. Die über fünf Trockenelektroden erfassten EEG-Signale wurden in ein EEG-basiertes Schläfrigkeits-Monitoring-System gespeist (LIN et al. 2005a,b; vgl. Abb. 10), um die Schläfrigkeit des Fahrers indirekt festzustellen. Die aufgenommenen Fahrleistungszeitreihen wurden mit einem kausalen Mittelwert über 90 s (TREISMAN 1984, STERIADE 1993) geglättet, der im Zweisekudentakt fortschritt. So wurde Varianz in Zyklusdauern von unter 1–2 min eliminiert, weil die Zyklusdauer von Fluktuationen in Schläfrigkeitsniveaus mehr als 4 min beträgt (MAKEIG und JUNG 1995, JUNG et al. 1997). Die mit fünf Trocken- (oder Feucht-) Elektrodenpaaren abgeleiteten EEG-Daten wurden zunächst durch Einsatz eines einfachen Tiefpassfilters mit einer Grenzfrequenz von 50 Hz bearbeitet, um Leitungs- und anderes hochfrequentes Rauschen zu entfernen. Nach Leistungsspektrumsanalyse mit gleitenden Mittelwerten erhielten wir EEG-log-Leistungsspektrumszeitreihen von den fünf Trocken-

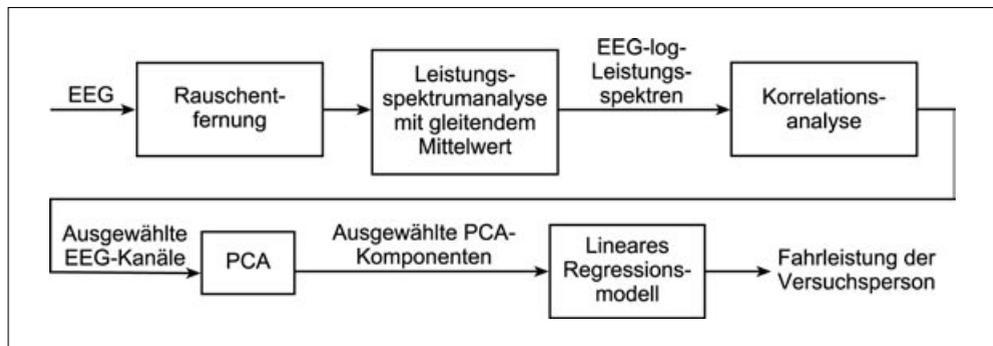


Abb. 10 Flussdiagramm für die Verarbeitung der EEG-Signale: (1) Einsatz eines einfachen Tiefpassfilters zur Entfernung von Leitungs- und anderem hochfrequenten Rauschen (> 50 Hz). (2) Leistungsspektrumsanalyse mit gleitenden Mittelwerten zur Kalkulation des EEG-log-Leistungsspektrums jedes Kanals in Zweisekunderschritten. (3) Zwei EEG-Kanäle mit höheren Korrelationskoeffizienten zwischen der Fahrleistung der Versuchsperson und dem EEG-log-Leistungsspektrum wurden außerdem bestimmt. (4) Hauptkomponentenanalyse (PCA) wurde zur Zerlegung eingesetzt, um die repräsentativen Komponenten als Inputvektoren für die linearen Regressionsmodelle auszuwählen. (5) Die linearen Regressionsmodelle wurden in einer Trainingssitzung trainiert und dann zur kontinuierlichen Beurteilung und Vorhersage des Fahrverhaltens der Versuchsperson in der Testsitzung eingesetzt.

(bzw. Feucht-) Elektrodenpaaren mit einer Frequenzspanne von 1 bis 40 Hz (GRACE et al. 1998). Wir nahmen dann eine Hauptkomponentenanalyse nach KARHUNEN-LOËVE am resultierenden EEG-log-Spektrum vor, um die Richtungen der größten Varianz für jede Sitzung zu extrahieren. Projektionen (Komponenten der Hauptkomponentenanalyse) der EEG-log-Spek-

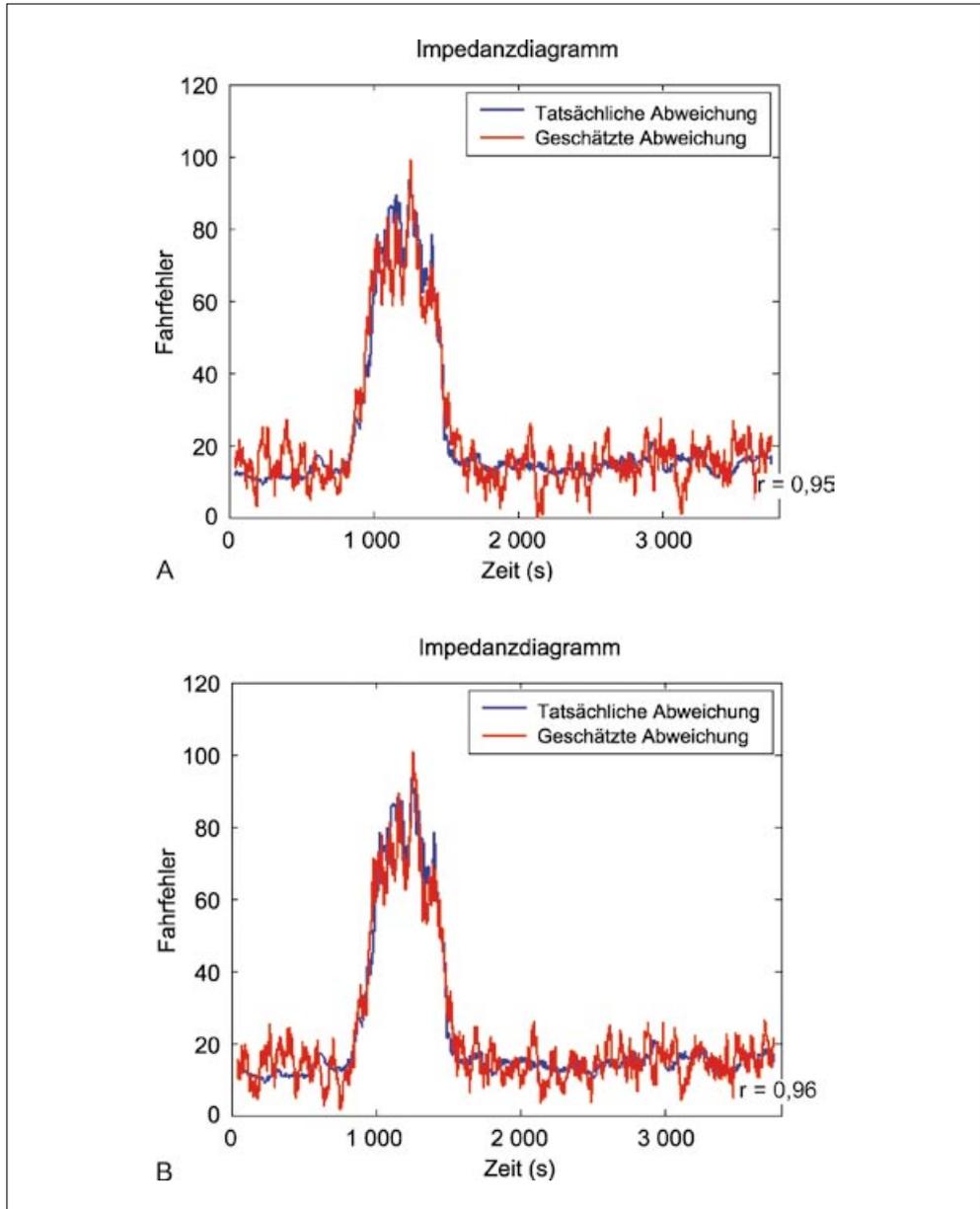


Abb. 11 Geschätzter und tatsächlicher Fahrfehler von Versuchsperson 1 in Sitzung 2 unter Nutzung der (A) mit Feucht- und (B) mit Trockenelektroden abgeleiteten EEG-Signale. Die Schätzer wurden mit den EEG-Signalen aus Sitzung 1 trainiert, um den Fahrfehler in Sitzung 2 vorherzusagen (blaue Verläufe).

traldaten auf den Unterraum, der durch die den 50 größten Eigenwerten entsprechenden Eigenvektoren gebildet wurde, wurden für jede einzelne Person als Inputs in ein multiples lineares Regressionsmodell (CHATTERJEE und HADI 1986) gegeben, um den zeitlichen Verlauf ihrer Fahrfehler zu beurteilen (BISHOP 1995). Jedes Modell wurde nur anhand der aus der Trainingssitzung extrahierten Merkmale trainiert und in einer separaten Testsitzung überprüft.

Abbildungen 11–14 zeigen die Vergleiche des Schläfrigkeits-Monitorings bei Verwendung von Trocken- und Feuchtelektroden. In jeder Abbildung (alle stellen Testergebnisse

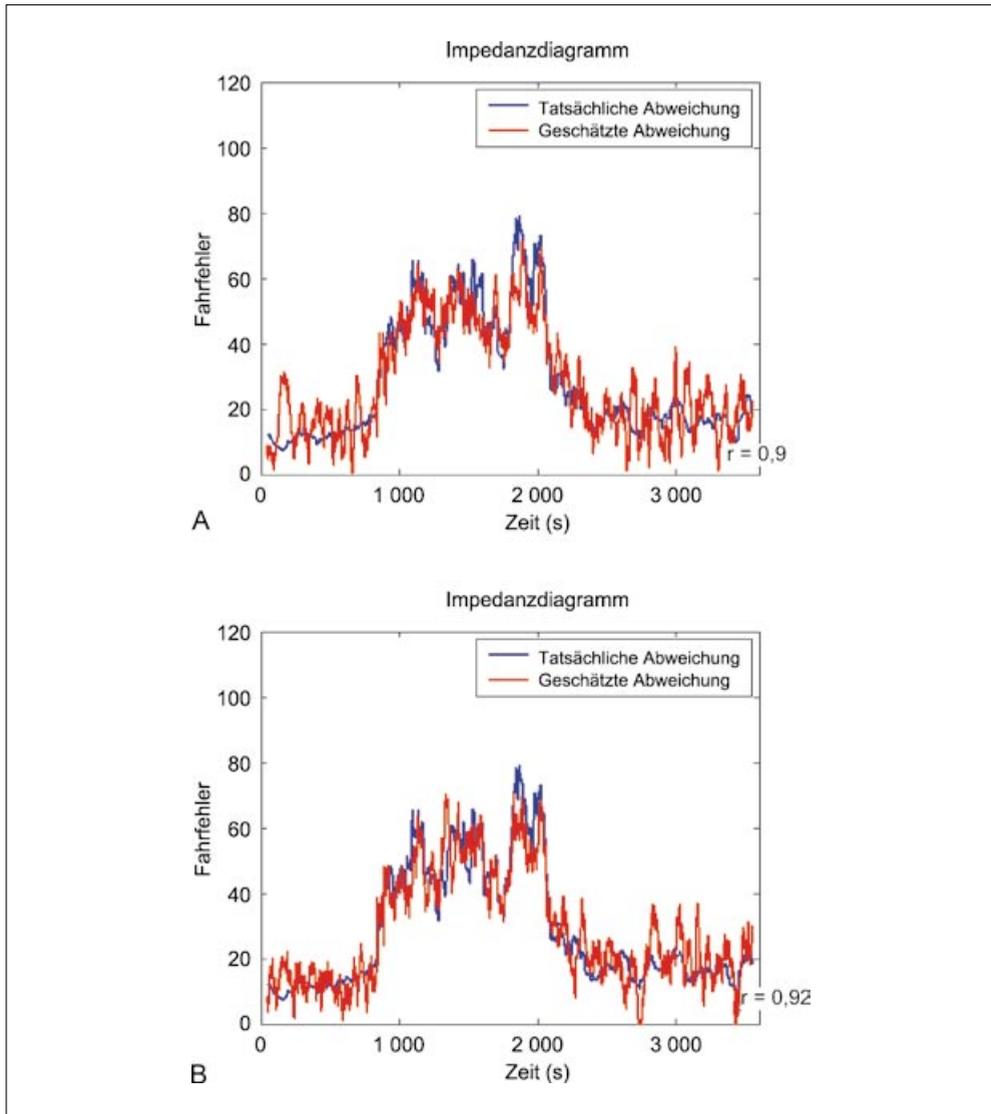


Abb. 12 Geschätzter und tatsächlicher Fahrfehler von Versuchsperson 1 in Sitzung 1 unter Nutzung der (A) mit Feucht- und (B) mit Trockenelektroden abgeleiteten EEG-Signale. Die Schätzer wurden mit den EEG-Signalen aus Sitzung 2 trainiert, um den Fahrfehler in Sitzung 1 vorherzusagen (blaue Verläufe).

dar) entspricht die blaue Linie den gemessenen und die rote Linie den geschätzten Fahrfehlern. Abbildungen 11A und 11B zeigen den geschätzten Fahrfehler von Versuchsperson 1 in Sitzung 2 aufgrund der mit Feucht- bzw. Trockenelektroden abgeleiteten EEG-Signale. Die Schätzer wurden mit den EEG-Signalen aus Sitzung 1 von Versuchsperson 1 trainiert, um den Fahrfehler in Sitzung 2 (die blaue Linien in Abb. 11) zu schätzen. Umgekehrt zeigen Abbildungen 12A und 12B den geschätzten Fahrfehler von Versuchsperson 1 unter Nutzung der EEG-Daten aus Sitzung 2 als Trainingsdatensatz und derjenigen aus Sitzung 1 als Test-

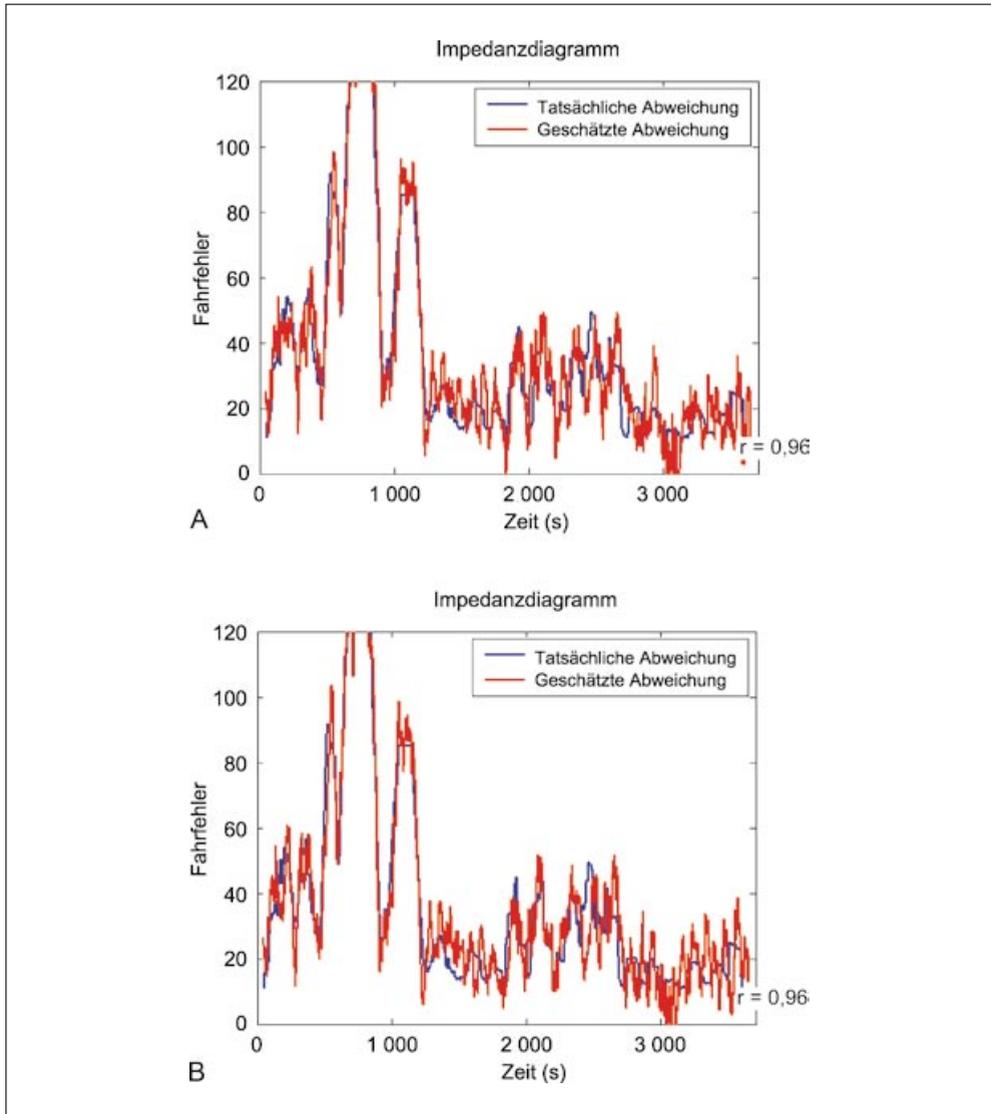


Abb. 13 Geschätzter und tatsächlicher Fahrfehler von Versuchsperson 2 in Sitzung 2 unter Nutzung der (A) mit Feucht- und (B) mit Trockenelektroden abgeleiteten EEG-Signale. Die Schätzer wurden mit den EEG-Signalen aus Sitzung 1 trainiert, um den Fahrfehler in Sitzung 2 vorherzusagen (blaue Verläufe).

datensatz. Entsprechend stellen Abbildungen 13 und 14 die geschätzten und tatsächlichen Fahrfehler von Versuchsperson 2 dar. In Tabelle 2 werden die Korrelationskoeffizienten zwischen gemessenen und geschätzten Fahrfehlerzeitreihen bei Einsatz von Trocken- und Feuchtelektroden verglichen. Es geht daraus hervor, dass die geschätzten Fahrfehler (vgl. Abb. 11–14 sowie Tab. 2) den tatsächlichen Fehlern ähnelten. Damit entsprechen diese Ergebnisse den zuvor von uns berichteten, wobei dort bei der gleichen Fahraufgabe ein 32-Kanal-EEG vom ganzen Kopf abgeleitet wurde (LIN et al. 2005a,b). Die neuen Befunde

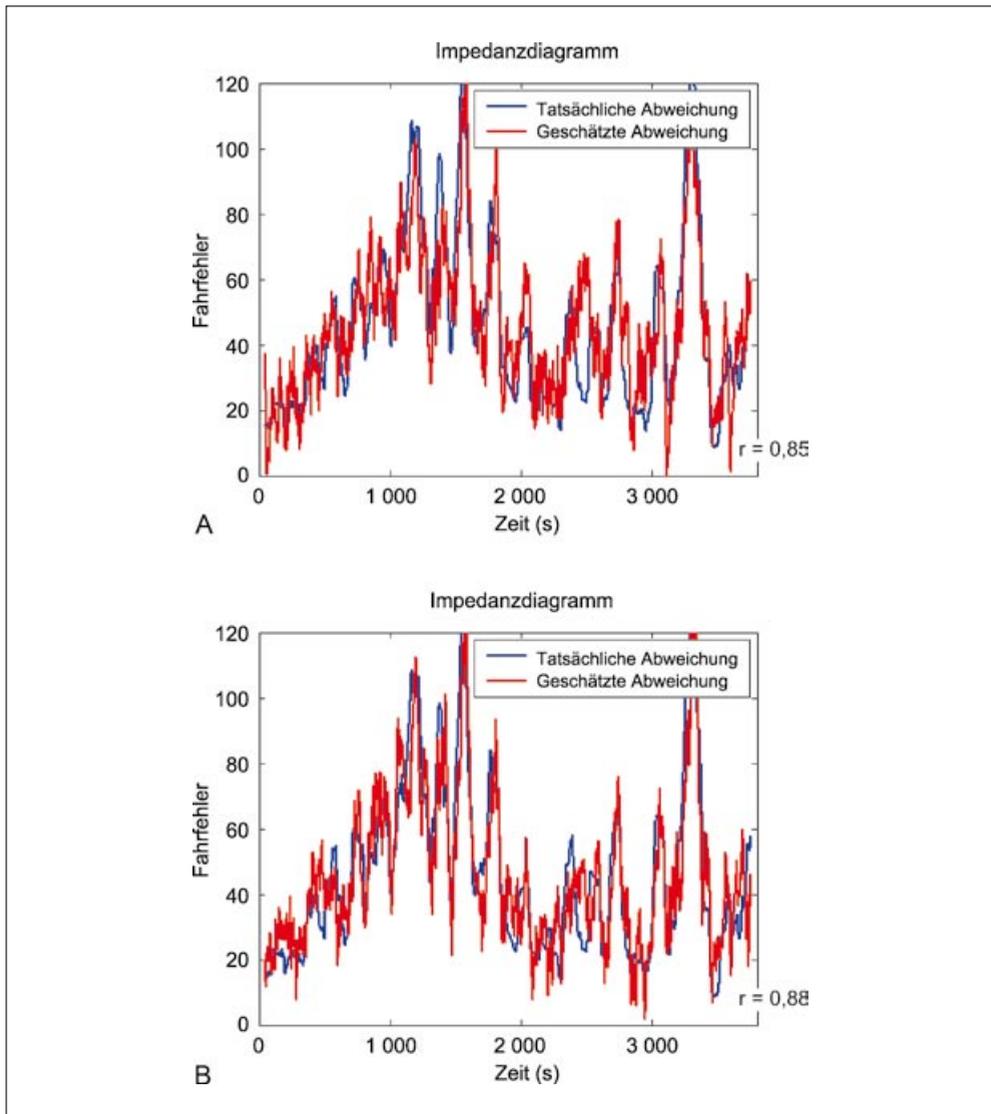


Abb. 14 Geschätzter und tatsächlicher Fahrfehler von Versuchsperson 2 in Sitzung 1 unter Nutzung der (A) mit Feucht- und (B) mit Trockenelektroden abgeleiteten EEG-Signale. Die Schätzer wurden mit den EEG-Signalen aus Sitzung 2 trainiert, um den Fahrfehler in Sitzung 1 vorherzusagen (blaue Verläufe).

zeigen, dass es auf der Grundlage von an der unbehaarten Stirn gemessenen EEG-Signalen möglich ist, die Schläfrigkeit von Fahrern genau zu beurteilen. Darüber hinaus ist die Schätzungsgenauigkeit der mit Trockenelektroden erhaltenen Signale mit konventionell über Feuchtelektroden gemessenen EEG-Signalen vergleichbar. Trockenelektroden eignen sich also für die Aufzeichnung von qualitativ guten EEG-Signalen in Einsatzumgebungen. Es entfällt dadurch die Notwendigkeit der Hautvorbehandlung und der Anwendung von Leitpasten.

Tab. 2 Vergleich der Korrelationskoeffizienten zwischen gemessenen und geschätzten Fahrfehlerzeitreihen bei Einsatz von Trocken- und Feuchtelektroden

	Sitzung 1 schätzt Sitzung 2		Sitzung 2 schätzt Sitzung 1	
	Feuchtelektrode	Trockenelektrode	Feuchtelektrode	Trockenelektrode
Versuchsperson 1	0,95	0,96	0,90	0,92
Versuchsperson 2	0,96	0,96	0,85	0,88

4. Ausblick

Bevölkerungsalterung ist ein weltweites Phänomen. Die Weltgesundheitsorganisation (WHO) berichtete, dass es bis 2025 1,2 Milliarden 60-jährige und ältere Menschen geben wird. Laut einer Prognose des *Council for Economic Planning and Development* von 2004 wird der Anteil der Über-65-Jährigen bis 2011 auf 10% der Gesamtbevölkerung ansteigen; darüber hinaus werden Personen über dem Alter 75 43% der über-65-jährigen Population ausmachen. Obwohl Langlebigkeit im Allgemeinen als persönliches Privileg und eine medizinische Leistung betrachtet wird, entwickelt sich die höhere durchschnittliche Lebenserwartung mit den Folgen der rapiden Zunahme alter und sehr alter Menschen zunehmend zu einer Herausforderung an unsere Gesellschaften, vor allem hinsichtlich der steigenden Kosten für das Gesundheitswesen. Um so mehr trifft dies zu, als Langlebigkeit nicht immer mit hohen Niveaus psychischer, kognitiver und sensomotorischer Fitness, d. h. hoher Lebensqualität, einhergeht (BALTES und BALTES 1990, LINDENBERGER und BALTES 1994, BALTES und LINDENBERGER 1997, LI et al. 2004).

Alternde Gesellschaften müssen Wege finden, älteren Menschen bei der Aufrechterhaltung wichtiger Körper- und Verhaltensfunktionen zu helfen, so dass ihre Lebensqualität mit fortschreitendem Alter weiterhin auf hohem Niveau erhalten bleiben kann (d. h., Ermöglichung von Mobilität, selbständigem Leben und sozialer Vernetzung). Die Überwachung kognitiver Zustände durch Biosensor-Monitoring könnte ein Weg sein, kognitive Defizite schnell zu erkennen und ihnen durch entsprechende Service-Angebote gegenzusteuern.

Dank

Die Autoren möchten Chia-Hsin CHUNG, Jong-Liang JENG und Chao-Yuen HSU für ihre Hilfe bei der Entwicklung und Durchführung der Experimente danken. Diese Arbeit wurde vom *National Science Council*, Taiwan, NSC 97-2627-E-009-001 und NSC 97-2221-E-009-138, vom *Aiming for the Top University Plan* der *National Chiao Tung University*, Ministry of Education, Taiwan, 98W962, und vom *VGHUST Joint Research Program*, Tsou's Foundation, Taiwan, VGHUST98-G5-1 gefördert.

Literatur

- AMDITIS, A., POLYCHRONOPOULOS, A., BEKIARIS, E., and ANTONELLO, P. C.: System architecture of a driver's monitoring and hypovigilance warning system. *IEEE Intelligent Vehicle Symposium 2*, 527–532 (2002)
- BALTES, P. B., and BALTES, M. M. (Eds.): *Successful Aging: Perspectives from the Behavioral Sciences*. New York: Cambridge University Press 1990
- BALTES, P. B., and LINDENBERGER, U.: Emergence of a powerful connection between sensory and cognitive functions across the adult life span: A new window at the study of cognitive aging. *Psychology and Aging 12*, 12–21 (1997)
- BISHOP, C. M.: *Neural Networks for Pattern Recognition*. Oxford: Oxford University Press 1995
- CARDOSO, J. F., and SOULOUMIAC, A.: Blind beamforming for non Gaussian signals. *IEE Proceedings F 140*, 362–370 (1993)
- CHATTERJEE, S., and HADI, A. S.: Influential observations, high leverage points, and outliers in linear regression. *Statistical Science 1*, 379–416 (1986)
- FRENCH, J.: A model to predict fatigue degraded performance. *Proceedings of the 2002 IEEE 7th Conference on Human Factors and Power Plants 4*, 6–9 (2002). doi: 10.1109/HFPP.2002.1042839
- GRACE, R., BYRNE, V. E., BIERMAN, D. M., LEGRAND, J. M., GRICOURT, D., DAVIS, B. K., STASZEWSKI, J. J., and CARNAHAN, B.: A drowsy driver detection system for heavy vehicles. *Proceedings of the 1998 17th AIAA/IEEE/SAE Conference on Digital Avionics Systems, 2*, 136/1–136/8 (1998). doi: 10.1109/DASC.1998.739878
- GRISS, P., ENOKSSON, P., TOLVANEN-LAAKSO, H. K., MERILAINEN, P., OLLMAR, S., and STEMME, G.: Micromachined electrodes for biopotential measurements. *Journal of Microelectromechanical Systems 10*, 10–16 (2001)
- JUNG, T. P., MAKEIG, S., STENSMO, M., and SEJNOWSKI, T. J.: Estimating alertness from the EEG power spectrum. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering 44*, 60–69 (1997). doi: 10.1109/10.553713
- LI, S.-C., LINDENBERGER, U., HOMMEL, B., ASCHERSLEBEN, G., PRINZ, W., and BALTES, P. B.: Lifespan transformations in the couplings of mental abilities and underlying cognitive processes. *Psychological Science 15*, 155–163 (2004)
- LIN, C. T., WU, R. C., JUNG, T. P., LIANG, S. F., and HUANG, T. Y.: Estimating driving performance based on EEG spectrum analysis. *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing 19*, 3165–3174 (2005a)
- LIN, C. T., WU, R. C., LIANG, S. F., CHAO, W. H., CHEN, Y. J., and JUNG, T.: EEG-based drowsiness estimation for safety driving. *IEEE Transactions on Biomedical Circuits and Systems 52*, 2726–2738 (2005b)
- LINDENBERGER, U., and BALTES, P. B.: Sensory functioning and intelligence in old age: A strong connection. *Psychology and Aging 9*, 339–355 (1994)
- MAKEIG, S., and JUNG, T. P.: Changes in alertness are a principal component of variance in the EEG spectrum. *NeuroReport 7*, 213–216 (1995)
- MATTHEWS, R., McDONALD, N. J., ANUMULA, H., WOODWARD, J., TURNER, P. J., STEINDORF, M. A., CHANG, K., and PENDLETON, J. M.: Novel hybrid bioelectrodes for ambulatory zero-prep EEG measurements using multi-channel wireless EEG system. *Lecture Notes in Artificial Intelligence 4565*, 137–146 (2007)
- MILLER, H. A., and HARRISON, D. C.: *Biomedical Electrode Technology*. New York: Academic Press 1974
- PILUTTI, T., and ULSOY, G.: Identification of driver state for lane-keeping tasks. *IEEE Transactions on Systems, Man & Cybernetics, Part A: Systems and Humans 29*, 486–502 (1999)
- SPENCE, A. P.: *Basic Human Anatomy*. Redwood City, CA: Benjamin Cummings 1990
- STERIADE, M.: Central core modulation of spontaneous oscillations and sensory transmission in thalamocortical systems. *Current Opinion in Neurobiology 3*, 619–625 (1993)
- TEPLAN, M.: Fundamentals of EEG measurement. *Measurement Science Review 2*, Section 2 (2002)
- THAKOR, N. V.: Biopotentials and electrophysiology. In: WEBSTER, J. G. (Ed.): *The Measurements, Instrumentation, and Sensors Handbook*. Boca Raton, FL: CRC Press 1998
- TREISMAN, M.: Temporal rhythms and cerebral rhythms. In: GIBBON, J., and ALLEN, L. (Eds.): *Timing and Time Perception*. Vol. 423, pp. 542–565. New York: Academic Press 1984
- UENO, H., KANEDA, M., and TSUKINO, M.: Development of drowsiness detection system. *Vehicle Navigation and Information Systems Conference Proceedings*; pp. 15–20 (1994). doi: 10.1109/VNIS.1994.396873
- WEBSTER, J. G.: *Medical Instrumentation Application and Design*. 3rd ed. New York: Wiley 1998
- WIERWILLE, W. W., WREGGITT, S. S., and KNIPLING, R. R.: Development of improved algorithms for on-line detection of driver drowsiness. In: *International Congress on Transportation Electronics*. Leading Change; pp. 331–340. Warrendale, PA: Society of Automotive Engineers 1994

Chih-Wei CHANG, PhD candidate
Brain Research Center and Department of Electrical Engineering
National Chiao Tung University
R617, 5th Engineering Building
1001 University Road
Hsinchu 300
Taiwan, ROC
Tel.: +886 3 571 21 21 ext 544 22
Fax: +886 3 571 5998
E-Mail: cwchang.ece94g@nctu.edu.tw

Assist. Prof. Li-Wei Ko, PhD
Brain Research Center and Department of Electrical Engineering
National Chiao Tung University
Rm. 416, Microelectronic and Information Research Building
1001 University Road
Hsinchu 300
Taiwan, ROC
Tel.: +886 3 571 21 21 ext 544 55
Fax: +886 3 572 62 72
E-mail: lwko@mail.nctu.edu.tw

Fu-Chang LIN, PhD candidate
Brain Research Center and Department of Electrical Engineering
National Chiao Tung University
Rm. 416, Microelectronic and Information Research Building
1001 University Road
Hsinchu 300
Taiwan, ROC
Tel.: +886 3 571 21 21 ext 544 55
Fax: +886 3 572 62 72
E-mail: fu-chang.lin@synopsys.com

Prof. Tung-Ping Su, MD PhD
Department of Psychiatry
Taipei Veterans General Hospital
Taipei
Taiwan, ROC
Tel.: +886 2 2875 7027
Fax: +886 2 8273 123
E-mail: tpsu@vghtpe.gov.tw

Prof. Tzzy-Ping JUNG, PhD
Swartz Center for Computational Neuroscience
Institute for Neural Computation
University of California, San Diego
9500 Gilman Drive, Mail Code 0559
La Jolla, CA 92093-0559
USA
Tel.: +1 858 822 7555
Fax: +1 858 822 7556
E-mail: jung@scn.ucsd.edu

Überwachung von Schläfrigkeit mittels EEG-basierter MEMS-Biosensortechnologien

Prof. Chin-Teng LIN, PhD
Brain Research Center and Department of Electrical Engineering
National Chiao Tung University
Rm. 416, Microelectronic and Information Research Building
1001 University Road
Hsinchu 300
Taiwan, ROC
Tel.: +886 3 571 21 21 ext 54455
Fax: +886 3 5726272
E-mail: ctlin@mail.nctu.edu.tw

Prof. Jin-Chern CHIOU, PhD¹
Brain Research Center and Department of Electrical Engineering
National Chiao Tung University
R772, 5th Engineering Building
1001 University Road
Hsinchu 300
Taiwan, ROC
Tel.: +886 3 571 21 21 ext 3 1881
Fax: +886 3 571 5998
E-mail: chiou@mail.nctu.edu.tw

¹ Auch am Biomedical Engineering Research and Development Center, China Medical University, Taichung, Taiwan, ROC.

Beispiele aus Wirtschaft und Industrie

„Ambient Assisted Living“ im CareLab

Boris DE RUYTER, Elly ZWARTKRUIS-PELGRIM und Emile AARTS (Eindhoven)

Mit 5 Abbildungen

Zusammenfassung

Mit zunehmendem technologischem Fortschritt hat die Vision ambienter Intelligenz einen menschenzentrierten Ansatz zum Einsatz technischer Anwendungen beigetragen. Im Kontext alternder Gesellschaften hat ambiente Intelligenz einen Schwerpunkt darauf gelegt, assistierende Lösungen für ältere Menschen zu finden, deren Unabhängigkeit gefährdet ist. In diesem Beitrag berichten wir über eine Forschungsumwelt namens CareLab und beschreiben drei Forschungsprojekte, die die Rolle von Technologie beim Monitoring und Coaching älterer Menschen untersuchen. Indem diese Projekte auf Bedürfnisse der Nutzer in Bezug auf Sicherheitsgefühle, kognitive Stimulation und soziale Eingebundenheit eingehen, haben diese Projekte die Rolle von technischen Anwendungen bei der Unterstützung eines selbstständigen Lebens untersucht. Wir schließen mit der Diskussion einiger Herausforderungen, die für den Erfolg der Forschung zum „Ambient Assisted Living“ entscheidend sind.

Abstract

As technology development is progressing, the vision of Ambient Intelligence has provided a human-centric approach to the deployment in applications of technology. In the context of an aging society, Ambient Intelligence has focused on providing assistive solutions for older people at risk of losing their independence. In this article we report on a research environment called CareLab and describe three different research projects that have studied the role of technology in the monitoring and coaching of older adults. By touching on the user needs related to the feeling of safety, cognitive stimulation, and social connectedness, these projects have investigated the role of technology applications for supporting elderly in maintaining an independent lifestyle. We conclude with the discussion of some challenges crucial for the success of Ambient Assisted Living research.

1. Ambiente Intelligenz (AmI)

Das Paradigma der Ambienten Intelligenz (AmI), das in den späten 1990er Jahren entwickelt wurde, bietet eine Perspektive für zukünftige digitale Systeme (AARTS und MARZANO 2003, AARTS und ENCARNACAO 2006). In einer AmI-Welt operieren verteilte Geräte gemeinsam, sind dabei in die Umgebung eingebettet und nutzen die Information und Intelligenz, die im Verbindungsnetzwerk verborgen sind. Beleuchtung, Ton, Bild, Haushaltsgeräte, Geräte zur Gesundheitspflege und verteilte Dienste arbeiten nahtlos zusammen, um mit Hilfe natürlicher und intuitiver Benutzeroberflächen das Gesamterleben des Anwenders zu verbessern.

Einfach ausgedrückt bezeichnet AmI elektronische Systeme, die für die Anwesenheit von Personen empfindlich sind und auf sie reagieren (AARTS et al. 2001). Die AmI-Perspektive geht davon aus, dass gegenwärtige technologische Entwicklungen es möglich machen werden, Elektronik in die Umgebung zu integrieren und somit eine nahtlose, zuverlässige und natürliche Interaktion von Akteuren, also Personen und Gegenständen, mit dieser Umgebung zu erlauben. Darüber hinaus gibt es einen wachsenden Wunsch, die Rolle der Informations- und Kommunikationstechnologie nicht länger auf reine Produktivitätssteigerung zu beschränken. Diese Technologien sollten auch Menschen in ihrem Alltagsleben in Bereichen wie Gesundheitspflege, Lebensqualität, Bildung und Kreativität unterstützen. Mit anderen Worten sollten diese Technologien nicht nur eingesetzt werden, um funktionelle Komplexität zu steigern, sondern auch eine Rolle bei der Entwicklung von leicht anwendbaren und erlebbaren Produkten und Diensten spielen, die von Anfang an eine klare Funktion haben. Obwohl dieses Ziel natürlich von zahlreichen Wissenschaftlern und Ingenieuren bejaht wird, ist es in Realität schwer zu erreichen. Neue Einsichten werden gebraucht, um diese herausfordernde Aufgabe zu lösen. Dennoch sind in den letzten 10 Jahren beträchtliche Fortschritte gemacht worden – viele interessante Erfolge wurden in dieser Periode in der Fachliteratur veröffentlicht (AARTS und ENCARNACAO 2006, AUGUSTO und SHAPIRO 2007).

Obwohl sich AmI-Forschung traditionell auf Anwendererfahrungen in eher unterhaltungsorientierten Situationen konzentriert, gibt es einen neueren Trend zur Nutzung von AmI-Technologien in Lebensqualitäts- und Pflegeszenarien (AARTS und DE RUYTER 2009). Solche Anwendungen umfassen sowohl Lebensstil- (z. B. Fitnessanwendungen) als auch Pflegebereiche (z. B. Remote-Patientenüberwachungssysteme für chronisch Pflegebedürftige). Diese Forschungsrichtung ist unter dem Namen „Ambient Assisted Living“ (AAL) hervorgetreten. Den Prinzipien des AAL entsprechend haben AmI-Technologien bei der Unterstützung von Menschen in ihrem Alltagsleben eine klare Rolle zu spielen. Obwohl Anwendererfahrungen (z. B. das Erleben sozialer Präsenz) weiterhin das Hauptziel ausmachen, ergänzt AAL diese durch ein weiteres: das Ziel der Beeinflussung und Veränderung menschlichen Verhaltens (z. B. durch Förderung von Lebensstiländerungen in Richtung einer gesünderen Lebensweise).

2. Die alternde Gesellschaft

Die demographischen Entwicklungen signalisieren einen großen Bedarf an Gesundheits- und Wellnessanwendungen auf der Basis von Informations- und Kommunikationstechnologien. Der Bereich der Altenpflege ist einer der Bereiche mit den höchsten Wachstumspotentialen – laut der Weltgesundheitsorganisation wächst weltweit der Anteil der 60-Jährigen und Älteren schneller als jede andere Altersgruppe. Es wird somit in Zukunft auch weniger Personen geben, die Senioren pflegen und unterstützen können. Es ergibt sich also die Chance, dass technologische Lösungen bei der Ermöglichung einer unabhängigen Lebensführung für ältere Menschen weiter in den Vordergrund treten. AAL bezieht sich auf elektronische Umgebungen, die für die Anwesenheit von Personen empfindlich sind und unterstützende Maßnahmen ergreifen, die ihnen helfen, einen unabhängigen Lebensstil beizubehalten.

Gesundheits- und Wellnessanwendungen umfassen ein großes Spektrum: von Fitnessanwendungen bis zu Remote-Patientenüberwachungssystemen. Die Entwicklungen dieser

Lösungen erfordern die ständige Einbeziehung der Anwender, um sicherzustellen, dass ihre Bedürfnisse und Vorlieben nahtlos in Designs integriert werden, und auch um die Zustimmung von Pflegeanbietern zu fördern.

3. Das CareLab

Ein sogenanntes CareLab ist am *Philips High Tech Campus* in Eindhoven etabliert worden. Es zielt darauf ab, Anwender von Anfang an in den Entwicklungsprozess von innovativen Technologieanwendungen einzubinden.

Das CareLab ähnelt einer Zweizimmerwohnung für Senioren (vgl. Abb. 1). Es ist mit einem umfangreichen Sensornetzwerk ausgestattet, um den kontextuellen Rahmen zu erfassen, in dem Menschen Gesundheits- und Wellnessanwendungen nutzen. Die Sensorinformationen werden verarbeitet und miteinander kombiniert, um Verhaltensmuster höherer Ordnung festzustellen, die Aktivitäten und Zustände zugeordnet werden können – ob beispielsweise Personen zu Hause sind, den Zustand der Wohnungsinfrastruktur usw.

Das CareLab erlaubt es, frühzeitig die Akzeptanz solcher Lösungen für den Anwender zu prüfen und die interaktiven und funktionellen Qualitäten der Lösungen zu bewerten, bevor sie im Feld eingesetzt werden.



Abb. 1 Verschiedene Raumsichten (A–C) und der Grundriss (D) des CareLab

4. „Ambient Assisted Living“ (AAL)

Demographische und sozioökonomische Entwicklungen haben gezeigt, dass AmI-Konzepte und -Technologien über die bloße Herstellung von Unterhaltungsszenarien hinausgehen können, indem sie Menschen helfen, ihre eigene Lebensqualität zu wahren. Solche AmI-Konzepte und -Technologien sollten die Anwenderbedürfnisse ansprechen, indem sie sich darauf konzentrieren, ihrer persönlichen Umgebung *Sicherheit und Schutz* zu bieten und durch *Stimulation* Ältere zur Aufrechterhaltung eines selbstständigen Lebensstils zu befähigen.

4.1 *Sicherheit und Schutz*

Laut Weltgesundheitsorganisation (TODD und SKELTON 2004) stürzen jährlich 30 % der Über-65-Jährigen und 50 % der Über-80-Jährigen. Zwischen 20 und 30 % derjenigen, die stürzen, erleiden Verletzungen, die ihre Beweglichkeit und Selbständigkeit beeinträchtigen und das Risiko eines vorzeitigen Todes steigern. Außerdem sind Depression, Angst vor Stürzen und andere psychische Probleme häufige Folgen wiederholter Stürze. In diesem Kontext ist klar, dass intelligente Umgebungen durch kontextuelle Überwachung eine wesentliche Rolle bei der Gewährleistung von Sicherheit und Schutz spielen können (siehe Abb. 2).



Abb. 2 Veranschaulichung von (A) Sicherheit und Schutz, (B) Stimulation und Befähigung älterer Menschen

4.2 *Stimulation und Befähigung*

Der Prozess des normalen Alterns bringt verschiedene Formen des körperlichen und geistigen Abbaus mit sich. Dies kann zu reduzierter Beweglichkeit führen, die wiederum das Ausmaß der aktiven Beteiligung an der Gesellschaft einschränkt. AmI-Umgebungen können Selbstwirksamkeit aufbauen, indem sie Lösungen anbieten, die körperliche und geistige Fitness stimulieren und die aktive gesellschaftliche Teilhabe fördern.

5. Aktuelle Forschungsthemen

5.1 *Lebensstilassistenten*

Innerhalb des CareLabs haben wir ein Lebensstilassistentensystem implementiert und erprobt, das zu Hause ein intelligentes und adaptives Umgebungssystem zur Ermöglichung

eines aktiven, gesunden und unabhängigen Lebensstils im Alter bietet. Es zielt durch einen Überwachungsdienst aus der Ferne auf die Sicherheits- und Schutzbedürfnisse von Senioren ab (vgl. NEHMER et al. in diesem Band). Über die Wohnung verteilte Sensoren erfassen die erfolgten Aktivitäten, die dann durch einen kontextabhängigen Entscheidungsmechanismus beurteilt werden. Dieser Algorithmus identifiziert potentiell kritische Ereignisse und kann mittels Meldungen an Pflegestationen oder Angehörige reagieren. Darüber hinaus kann das Lebensstilassistenzsystem einige interaktive Komfortdienste für Senioren bieten (z. B. die Bestellung von Mahlzeiten; vgl. Abb. 3).



Abb. 3 Zwei Senioren bei der Anwendung des Lebensstilassistenten

5.2 Kognitive Stimulation

Wie schon erwähnt, nimmt kognitive Leistungsfähigkeit mit dem Altern ab. Es ist aber auch bekannt, dass mentale Aktivität die kognitive Performanz positiv beeinflussen kann (SALTHOUSE 2007). Durch das Angebot eines interaktiven Dienstes können ältere Menschen einige distinkte Aspekte ihrer kognitiven Fähigkeiten trainieren (siehe Abb. 4). Dabei bietet die Option der Community-Ansicht, die zeigt, wie oft Community-Mitglieder gespielt haben, auch eine soziale Motivation zur weiteren Beteiligung. Dies fördert wiederum das Gefühl der aktiven gesellschaftlichen Teilhabe, reduziert dabei Einsamkeitsgefühle und akzelerierenden kognitiven Abbau und unterstützt auf diesem Weg gesundes und unabhängiges Altern. Die Plattform für diesen Dienst besteht aus einem Fernseher in Form eines *Internet Protocol Television (IPTV)*, der vielfache Dienste und Funktionen über ein dem älteren Nutzer vertrautes Gerät vereint. Unsere laufenden empirischen Untersuchungen haben gezeigt, dass Senioren diesen Dienst als ein attraktives Angebot sehen. Quantitative Auswertungen ergeben, dass ein solches Training ihre Leistungsfähigkeit beispielsweise in Aufgaben der selektiven Aufmerksamkeit und Reizunterscheidung verbessert.

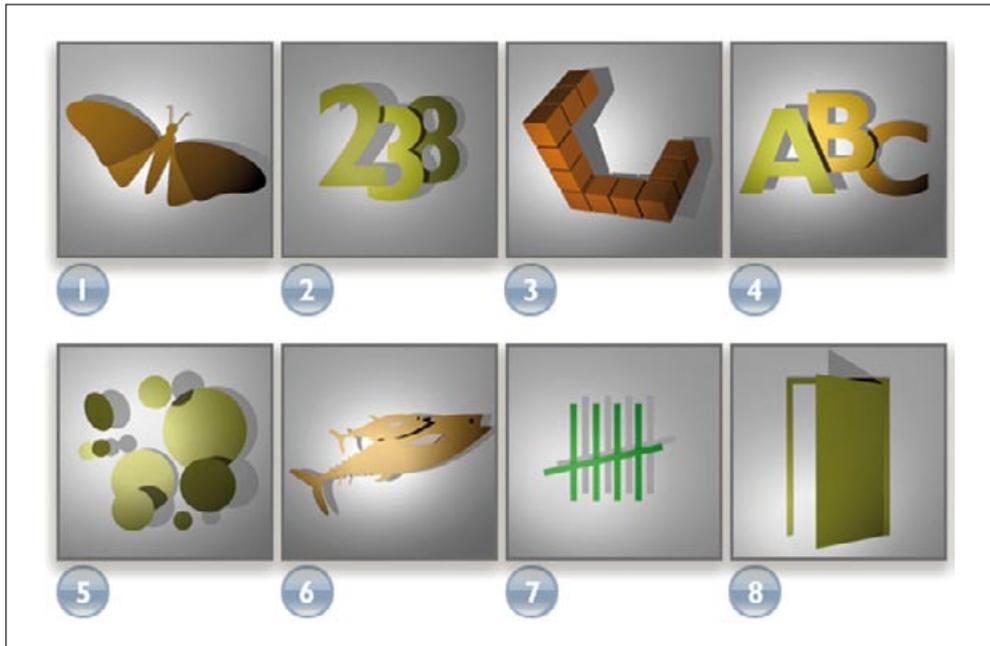


Abb. 4 Beispiele kognitiver Trainingsaufgaben

5.3 Soziale Verbundenheit

Als Menschen haben wir ein großes Bedürfnis nach Einbindung in unsere soziale Umwelt. Von der frühen Kindheit an ist es soziales Interesse, das unsere persönliche und soziale Entwicklung treibt. In Anbetracht der wesentlichen Änderungen der Lebensumstände im normalen Altersverlauf (z. B. Pensionierung, Einschränkungen der Beweglichkeit, Verlust des Partners) haben Senioren einen besonderen Bedarf, sich als Teil der Gesellschaft zu fühlen. Dieses Gefühl kann durch „Awareness“-Systeme unterstützt werden. Es handelt sich dabei um einen Typus computer-vermittelter Kommunikationssysteme, die Individuen oder Gruppen helfen, ein peripheres Bewusstsein voneinander aufzubauen und aufrechtzuerhalten. Im sozialen Kontext kann interpersonales Bewusstsein (oder „Awareness“) als ein Wissen über die Aktivitäten und das Wohlergehen von sozialen Bezugspersonen verstanden werden, das aus den sozialen Interaktionen und Kommunikationen mit ihnen abgeleitet wird. Technologie-vermitteltes Bewusstsein wird nicht durch direkte Interaktion oder physisch gemeinsam verbrachte Zeit hervorgebracht, sondern durch computer-vermittelte Kommunikationssysteme. Wir haben ein solches Awareness-System unter Nutzung eines Sensornetzwerkes entworfen. Dieses System sammelt und interpretiert kontextuelle Informationen über die Alltagsaktivitäten von Älteren und zeigt automatisierte Tagebücher auf einem Bildschirm, der ihren weit entfernt wohnenden Kindern erlaubt, sich ihrer Aktivitäten bewusst zu sein (vgl. Abb. 5).

Unsere empirischen Untersuchungen (sowohl im CareLab als auch in Feldversuchen) haben gezeigt, dass bei Einsatz dieses Systems laut „Affective Benefits and Costs in Communication Questionnaire“ (VAN BAREN et al. 2003, IJSSELSTEIN et al. 2009) ein signifikanter

Anstieg der Verbundenheitsgefühle zwischen älteren Menschen und ihren Kindern eintrat und ältere Menschen gemäß Symptom-Checkliste-90-R (DEROGATIS 1994) eine signifikante Abnahme ihrer subjektiven Beschwerden angeben.

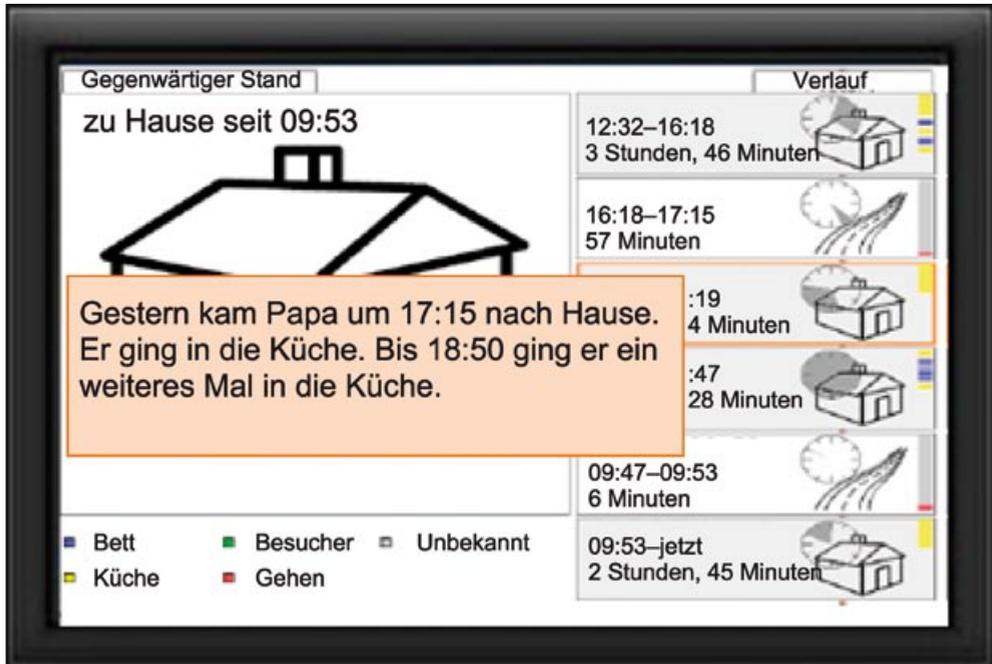


Abb. 5 Beispiele kontextueller Informationen eines Awareness-Systems

6. Zukünftige Forschungsrichtungen

Neben der Fortführung unserer Erforschung technologischer Lösungen zu *Sicherheit* und *Schutz* persönlicher Umgebungen älterer Menschen und zum Angebot von *Stimulation* zu ihrer *Befähigung*, einen aktiven Lebensstil beizubehalten, wird sich unsere Arbeit im CareLab in Zukunft auf (a) Benutzerprogrammierung, (b) ambiente „Awareness“ und (c) Motivation und Verhaltensänderung konzentrieren.

6.1 Benutzerprogrammierung

Um die Funktionalität und Vorteile einer intelligenten Umgebung möglichst vollständig an individuelle Bedürfnisse und Vorlieben anzupassen, werden Benutzerprogrammierungstechniken für Senioren entwickelt. Mit solchen Benutzerprogrammierungs- oder „End-User Development (EUD)“-Techniken können ältere Menschen leicht das System so einrichten, dass es ihrem eigenen Bedarf entspricht. Dies sollte ihnen ein Gefühl der Kontrolle verleihen und somit die Akzeptanz von AmI-Konzepten und Technologien fördern. EUD-Techniken verlangen Forschung zu Anwendermodellen und zu den Infrastrukturen von Soft-

warekomponenten (DE RUYTER und VAN DE SLUIS 2006). Ein Forschungsplan zur Entwicklung von EUD-Lösungen ist mit Hilfe finanzieller Unterstützung durch die Europäische Kommission aufgestellt worden.¹

6.2 *Ambiente „Awareness“*

Anwendern ein Gefühl der Beruhigung hinsichtlich des Wohlbefindens ferner Freunde und Angehöriger zu vermitteln, erfordert ein gewisses Niveau an kontextueller „Awareness“ unter Menschen. Forschungsarbeiten zur Semantik der Erfassung und Wiedergabe von Kontextinformation sind entscheidend für die Realisierung von „Ambient Awareness“-Systemen.

6.3 *Motivation und Verhaltensänderung*

Sowie AmI-Konzepte und -Technologien zunehmend in unser Alltagsleben integriert werden, ist zu erwarten, dass diese mehr als bloß unterhaltsame Erfahrungen bieten werden und zunehmend den Bereich der Induktion von Verhaltensänderung erfassen. Solche AmI-Konzepte und -Technologien werden Motivationstechniken meistern müssen, Personen dazu zu bringen, ihr Leben dergestalt zu ändern, dass ihre Gesundheit und ihr Wohlbefinden gefördert werden. Damit AmI-Konzepte überzeugend werden, werden sie detailliertere personalisierte Information über den Nutzer und seinen Kontext benötigen.

7. **Schlussfolgerungen**

In den kommenden Jahrzehnten werden *Sicherheit und Schutz* und *Stimulation und Befähigung* die zentralen Bereiche für AmI-Konzepte und -Technologien darstellen. Um die Bedürfnisse der älteren Zielgruppe vollständig erfüllen zu können, ist es entscheidend, solche Fragen wie Akzeptanz, Wünsche der Nutzer hinsichtlich der Anwenderprogrammierung, ambienten „Awareness“ und Verhaltensänderung zu untersuchen. Die Integration von Diensten zur Anpassung an Nutzerbedürfnisse wird die Akzeptanz und damit die Vermarktbarkeit dieser Technologie verbessern.

Literatur

- AARTS, E., and ENCARNACAO, J. (Eds.): True Visions: Tales on the Realization of Ambient Intelligence. Berlin: Springer 2006
- AARTS, E., HARWIG, H., and SCHUURMANS, M.: Ambient intelligence. In: DENNING, J. (Ed.): The Invisible Future; pp. 235–250. New York: McGraw Hill 2001
- AARTS, E., and MARZANO, S. (Eds.): The New Everyday: Visions of Ambient Intelligence. Rotterdam, NL: 010 Publishing 2003

¹ EUD NET (2003): Network of Excellence on End-User Development. Das Ziel von EUD-Net bestand darin, der Europäischen Kommission bei der Vorbereitung einer Forschungsagenda zur EUD für das nächste Rahmenprogramm zu helfen und die Kontakte zwischen hochqualifizierten akademischen und industriellen Forschungszentren zu verbessern, um die Entwicklung innovativer Ideen und Ansätze zu beschleunigen (vgl. Website).

- AARTS, E., and RUYTER, B. DE: New research perspectives on Ambient Intelligence. *Journal of Ambient Intelligence and Smart Environments 1*, 5–14 (2009)
- AUGUSTO, J. C., and SHAPIRO, D. (Eds.): *Advances in Ambient Intelligence. (Frontiers in Artificial Intelligence and Applications, Vol. 164.)* Amsterdam: IOS Press 2007
- DEROGATIS, L. R.: *SCL-90-R: Administration, Scoring and Procedures Manual*. Minneapolis: National Computer Systems Inc. 1994
- EUD NET*: <http://giove.isti.cnr.it/projects/eud-net.htm>
- IJSSELSTEIJN, W., VAN BAREN, J., MARKOPOULOS, P., ROMERO, N., and RUYTER, B. DE: Measuring affective benefits and costs of mediated awareness: Development and validation of the ABC-Questionnaire. In: MARKOPOULOS, P., RUYTER, B. DE, and MACKAY, W. (Eds.): *Awareness Systems: Advances in Theory, Methodology and Design*; pp. 473–488. London: Springer 2009
- RUYTER, B. DE, and VAN DE SLUIS, R.: Challenges for end-user development in intelligent environments. In: LIEBERMAN, H., PATERNO, F., and WULF, V. (Eds.): *End User Development*; pp. 243–250. Dordrecht, NL: Springer 2006
- SALTHOUSE, T. A.: Mental exercise and mental aging: Evaluating the validity of the ‘use it or lose it’ hypothesis. *Perspectives on Psychological Science 1*, 68–87 (2006)
- TODD, C., and SKELTON, D.: *What Are the Main Risk Factors for Falls Among Older People and What Are the Most Effective Interventions to Prevent These Falls?* (Health Evidence Network Report). Copenhagen: WHO Regional Office for Europe 2004. <http://www.euro.who.int/document/E82552.pdf>
- VAN BAREN, J., IJSSELSTEIJN, W. A., ROMERO, N., MARKOPOULOS, P., and RUYTER, B. DE: Affective benefits in communication: The development and field-testing of a new questionnaire measure. Paper presented at PRESENCE 2003, 6th Annual International Workshop on Presence, Aalborg, Denmark, October 6–8, 2003

Boris DE RUYTER, Ph.D.
Principal Scientist
Philips Research Europe
HTC 34
AE 5656 Eindhoven
Niederlande
Tel.: +31 40 274 7630
Fax: +31 40 274 6321
E-Mail: boris.de.ruyter@philips.com

Elly ZWARTKRUIS-PELGRIM, PD Eng
Research Scientist
Philips Research Europe
HTC 34
AE 5656 Eindhoven
Niederlande
Tel.: +31 40 274 7887
Fax: +31 40 274 6321
E-Mail: elly.zwartkruis-pelgrim@philips.com

Prof. Dr. Emile AARTS
Vice President and Scientific Program Director
Philips Research Europe
HTC 34
AE 5656 Eindhoven
Niederlande
Tel.: +31 40 2748175
Fax: +31 40 2746321
E-Mail: emile.aarts@philips.com

Mobilitätsassistenz im „Bremen Ambient Assisted Living Lab“ (BAALL)

Bernd KRIEG-BRÜCKNER, Thomas RÖFER, Hui SHI und Bernd GERSDORF
(Bremen)

Mit 7 Abbildungen

Zusammenfassung

Verschiedene Mobilitätsassistenten sind für das intelligente Verhalten des Rollstuhls *Rolland* und des Rollators *iWalker* entwickelt worden, um nachlassende körperliche und kognitive Fähigkeiten zu kompensieren: ein *Sicherheitsassistent* sorgt dafür, dass rechtzeitig gebremst wird; ein *Fahrassistent* vermeidet alle potentiellen Hindernisse und erlaubt dem Nutzer Türdurchfahrten; der *Navigationsassistent* kann einer vorgegebenen Route folgen oder den Anwender autonom umherfahren. Im „Bremen Ambient Assisted Living Lab“ (BAALL), einer speziell eingerichteten Forschungswohnung, können Nutzer mit diesen Mobilitätsassistenten und der dort eingerichteten intelligenten Umgebung interagieren (diese umfasst Gebäude- und Geräteautomation sowie intelligente Möbelsteuerung). Das Ziel ist dabei die Evaluation von neuen Technologien des „Ambient Assisted Living“ (AAL) hinsichtlich ihrer Alltagstauglichkeit. Verschiedene Interaktionsformen werden untersucht, beispielsweise ein *Kopf-Joystick* sowie multimodaler Dialog mit dem System über einen Berührungsbildschirm (*Touchscreen*) und *natürliche Sprache*, um sich der individuellen Behinderung des Nutzers anzupassen.

Abstract

Various mobility assistants have been developed to enable the *Rolland* wheelchair and the *iWalker* walker to behave intelligently in order to compensate for diminishing physical and cognitive faculties: a *safety assistant* ensures that the brakes are applied in due time; a *driving assistant* avoids any potential obstacles and allows the user to go through doors; the *navigation assistant* is capable of following a given route or can drive the user around in an autonomous manner. At the “Bremen Ambient Assisted Living Lab,” a specially designed research apartment, users are able to interact with these mobility assistants as well as with the smart environment installed there (which includes home automation and intelligent furniture control) with the goal of evaluating new Ambient Assisted Living (AAL) technologies in terms of their everyday usability. Various modes for interaction are investigated, such as a *head joystick*, a *touch screen*, and spoken *natural language dialogue* with the system in order to adapt to any disabilities the user might have.

1. Einführung

In den Abschnitten 1.1 und 1.2 wollen wir zunächst zwei Szenarien betrachten, die das Spektrum technischer Möglichkeiten der Assistenz und des Kompensationspotentials für Auswirkungen von Behinderungen oder Funktionseinschränkungen eines Anwenders veranschaulichen. Uns ist bewusst, dass einige Aspekte dieser Szenarien zumindest anfänglich etwas weit hergeholt scheinen mögen, wir sind jedoch der Überzeugung, dass es wichtig ist, zukunftsweisende Arbeitshypothesen zu entwickeln, Prototypen herzustellen und zu zei-

gen, dass sie wirklich eingesetzt werden können. Damit können wir mit echten Anwendern Alltagstauglichkeit und Nützlichkeit erproben. Inwieweit können solche Szenarien schon heute implementiert werden? Welche Herausforderungen stellen sie der Forschung und Technologie? In diesem Beitrag versuchen wir, Antworten auf diese Fragen zu geben.

1.1 Mario möchte Pizza essen

Das folgende Szenario zeigt, wie eine intelligente Umgebung, der Navigationsassistent des Rollstuhls Rolland, und Sprachinteraktionstechnologie kombiniert werden können.

Der Anwender Mario sitzt zu Hause am Schreibtisch in seinem Rollstuhl Rolland. Er sagt ihm: „Ich möchte Pizza essen.“ In Reaktion darauf entscheidet der Rollstuhl, welches der beste Weg zur Küche ist und antwortet: „Gut, ich fahre Dich jetzt in die Küche.“ Auf dem Weg dorthin öffnen und schließen sich die Schiebetüren zur Küche wie erforderlich, die Küchenzeile stellt sich auf die passende Höhe für den Rollstuhl ein, der Geschirrschrank fährt herunter, und das Küchenlicht wird eingeschaltet. An der Küchenzeile angekommen, nimmt Mario einen Teller aus dem Schrank. Er fragt dann: „Wo ist die Pizza?“, und Rolland antwortet: „Die Pizza ist im Kühlschrank, ich fahre Dich hin.“ Der Kühlschrank zeigt das beleuchtete Fach mit der Pizza. Mario nimmt sie aus dem Kühlschrank und bittet Rolland, ihn zur Mikrowelle zu bringen, die schon auf die richtige Höhe heruntergefahren ist. Mario stellt den Teller mit der Pizza in die Mikrowelle und wartet, bis sie fertig ist. Mario bittet Rolland, ihn zum Esstisch zu fahren. Das Küchenlicht wird ausgeschaltet und das Licht über dem Esstisch stattdessen angemacht. Mario kann nun seine Pizza genießen.

1.2 Herr Müller

Herr Müller (79) vergisst hin und wieder etwas, aber nur Kleinigkeiten! Vor ein paar Tagen konnte er jedoch nach dem Besuch seines Freundes in der Seniorenresidenz, in der sie beide wohnen, nicht mehr den Weg zurück zu seiner Wohnung finden und musste seinen Nachbarn nach dem Weg fragen.

Herr Müller erlebt auch ab und zu Tage, an denen seine Kraft ihn verlässt und er Gefahr läuft zu stolpern und zu stürzen. Deshalb schien es ihm wie ein Wunder, als er vor kurzem vom Leiter der Residenz einen *intelligenten Rollator* zu seiner eigenen Verwendung erhielt. Nicht nur hilft er ihm sicher zu gehen, er kann ihn auch über seine Lieblingswege zu allen Orten seiner Wahl innerhalb der Residenz führen (und anschließend zurückbringen), sogar draußen im Park, wo sich alle Bäume so beunruhigend ähneln. Der Rollator weiß immer, wo sie sind, so dass sie nicht verloren gehen können. Vor wenigen Tagen hat seine Tochter ihn gerade bei einem erfrischenden Spaziergang angerufen und seinen Gedankengang so unterbrochen, dass er hinterher gar nicht mehr wusste, wo er eigentlich genau war.

Herr Müller hat sich entschieden, seinen neuen Helfer Max zu nennen. Er ist fast wie ein Freund, da er mit ihm sprechen kann, und Max antwortet, indem er ihn berät, nachfragt, um herauszufinden, was er eigentlich möchte, oder die Initiative ergreift und ihn daran erinnert, seinen Freund wie versprochen um 17 Uhr zu besuchen. Und als sein Lieblingsweg durch den Park letzte Woche durch einen umgestürzten Baum versperrt war, zeigte ihm Max als Umleitung einen neuen Weg, den er gar nicht kannte und der ihn trotzdem zu seinem Ziel, dem hübschen Pavillon am See, führte.

Max ist auch im Einkaufszentrum neben der Residenz sehr hilfreich. Es ist dort sehr verwirrend, weil die Läden alle paar Monate zu wechseln scheinen. So ist es auch im Supermarkt – ständig ändern sie die Aufstellung, so dass man schwer die Lebensmittel findet, die man sucht. Max führt Herrn Müller zu ihnen und macht sich sogar die Mühe, auf der Basis der gemeinsam erstellten Einkaufsliste einen schönen Weg durch das Geschäft zu berechnen, so dass er nicht unnötig weit laufen muss (besonders da das Knie heute schon wieder schmerzt!). Er hilft ihm auch, nichts zu vergessen, was früher häufiger passierte. Max kann ihm sogar seine Lieblingskaffeemarke sagen (die Packungen sehen alle ähnlich aus, und er hat heute seine Lesebrille vergessen) und ihm Ratschläge zu Preisen geben. Und er hat einen Korb, um die Einkäufe nach Hause zu tragen, auf seinen eigenen Rädern.

2. Mobilitätsassistenz

Wenn körperliche und geistige Fähigkeiten durch Unfälle, Krankheit oder das Alter eingeschränkt sind, kann Technologie kompensieren, sollte es aber nur bis zu einem für die betreffende Beeinträchtigung oder Behinderung notwendigen Grad, um Überkompensation zu vermeiden. Verschiedene Assistenten zur Kompensation von kognitiven Beeinträchtigungen und Behinderungen der Beweglichkeit wurden von uns entwickelt, um Selbstständigkeit und Autonomie zu fördern und möglichst die Kontinuität der gewohnten Lebensumgebung zu ermöglichen, die die eigene Wohnung, das Seniorenheim oder andere (öffentliche) Gebäude, Höfe größerer Gebäudekomplexe und kleine Parks umfassen; es ist auch zu erwarten, dass weitere Außengebiete in Zukunft erfasst werden. Ohne Frage werden Anwender mit schweren körperlichen Beeinträchtigungen oder Behinderungen, denen die Nutzung eines (elektrischen) Standardrollstuhls nicht möglich oder aus Sicherheitsgründen nicht erlaubt ist, vom Gewinn an Beweglichkeit und Lebensqualität durch solche Assistenten profitieren.

Die Mobilitätsassistenten bestehen aus dedizierten Softwaremodulen und sind für zwei verschiedene Hardwareplattformen entwickelt worden: den Rollstuhl *Rolland* und den Rollator *iWalker*. Diese können nötigenfalls auch durch Zusatzkomponenten (wie den in Abschnitt 4.2 vorgestellten Kopf-Joystick) ergänzt werden. Beide Geräte bieten Hilfe ähnlicher Art, aber für verschiedene Zielgruppen.

In den nächsten Abschnitten beschreiben wir diese Assistenten; mit Ausnahme des Sicherheitsassistenten wurden sie für den Rollstuhl und den Rollator analog implementiert. Wir beginnen mit der Beschreibung der Funktionsweise der Assistenten für den Rollstuhl *Rolland*, bevor wir uns in Abschnitt 2.5 dem *iWalker* zuwenden (siehe auch Videos bei *BAALL*, Website).

2.1 Der intelligente Rollstuhl *Rolland*

Der Rollstuhl *Rolland*, in seiner vierten Generation (vgl. Abb. 1), basiert auf dem *Xeno*, einem kommerziell erhältlichen Rollstuhl, der von *Otto Bock Mobility Solutions* (Website) hergestellt wird (LANKENAU und RÖFER 2001, MANDEL et al. 2005, KRIEG-BRÜCKNER et al. 2009a,b). Wir statteten den Originalrollstuhl mit zwei Lasersensoren, Rad-Encodern und einem Bordcomputer aus, und somit auch mit einer Form von „Intelligenz“ in Bezug auf seine Fähigkeit, die Umgebung wahrzunehmen, Karten zu erstellen, sich selbst auf solchen

Karten zu lokalisieren, freien Raum und Routen zu erkennen und mit dem Anwender zu interagieren (siehe Abschnitt 4).

Das Xeno-Modell wurde also durch die Installation von zwei Laserscannern (*Sick S300*) ergänzt, einer davon vorne, hinter den Fußstützen, und der andere hinten. Sie messen auf einer Höhe von 12 cm über dem Boden die Entfernung zu den nächsten Hindernissen und haben einen Scanwinkel von 270°. Die hinteren Antriebsräder erhielten Rad-Encoder mit einer Auflösung von etwa 2 mm Fahrentfernung pro Encoderschritt. Zusammen mit einem kleinen Netbook-Computer bilden diese Sensoren die Grundlage für die im Folgenden beschriebenen Assistenten.



Abb. 1 Rolland 4 (Xeno, *Otto Bock Mobility Solutions*)

2.1.1 Der Sicherheitsassistent

Der Sicherheitsassistent für den elektrischen Rollstuhl Rolland bietet die erste und grundlegendste Assistenzebene, indem er dafür sorgt, dass das Fahrzeug anhält, bevor eine Kollision erfolgen kann. Der Assistent prüft 50-mal pro Sekunde die Sicherheit: Entweder wird das gegenwärtige Kommando auf „sicher“ gestellt, was dann an den Rollstuhl übermittelt wird, oder nicht, und der Rollstuhl muss anhalten. In diesem Kontext bedeutet „sicher“, dass der Rollstuhl bei Initiierung des Stoppkommandos im nächsten Verarbeitungszyklus (d. h. 20 ms später) noch immer anhalten könnte, ohne dass eine Kollision erfolgt. Wenn dies nicht der Fall ist, muss das Stoppkommando noch in diesem Zyklus erfolgen, weil es

im nächsten schon zu spät wäre. Ob der Rollstuhl rechtzeitig anhalten kann, hängt von der aktuellen Geschwindigkeit seiner zwei Antriebsräder, wegen des Einflusses auf die zukünftige Radgeschwindigkeit (und somit auch auf die Lenkung) auch von dem aktuellen Fahrkommando sowie von der Kontur des Rollstuhls und der aktuellen Hindernissituation ab.

Die Umgebung wird mit den Laserscannern ausgemessen und ein Modell in einer lokalen Hinderniskarte gespeichert. Auf der Basis der aktuellen Geschwindigkeit und der Geschwindigkeit in Bezug auf gegebene Kommandos wird eine *Sicherheitszone* auf der Karte nach Hindernissen abgesucht. Wenn diese Region hindernisfrei ist, bleibt das Kommando auf „sicher“ eingestellt. Da die Form einer solchen Sicherheitszone recht komplex ist, wurde eine größere Anzahl solcher Zonen im Voraus berechnet und tabelliert (vgl. acht Beispiele in Abb. 2).

Der Sicherheitsassistent wurde auf der interaktiven *Computer.Medizin*-Ausstellung im Heinz-Nixdorf-Museumsforum von Oktober 2006 bis Mai 2007 gezeigt. Besucher konnten selbstständig das System ausprobieren (GOLLUB 2007). Es wird geschätzt, dass etwa 10000 Personen den Rollstuhl testeten, – und es kam nicht zu Kollisionen. Der Sicherheitsassistent bildet die Grundlage für weitere Mobilitätsassistenten, die entweder den Sicherheitsassistenten nutzen, um sicherzustellen, dass es keine Kollisionen gibt, oder die gleiche Technik einsetzen.

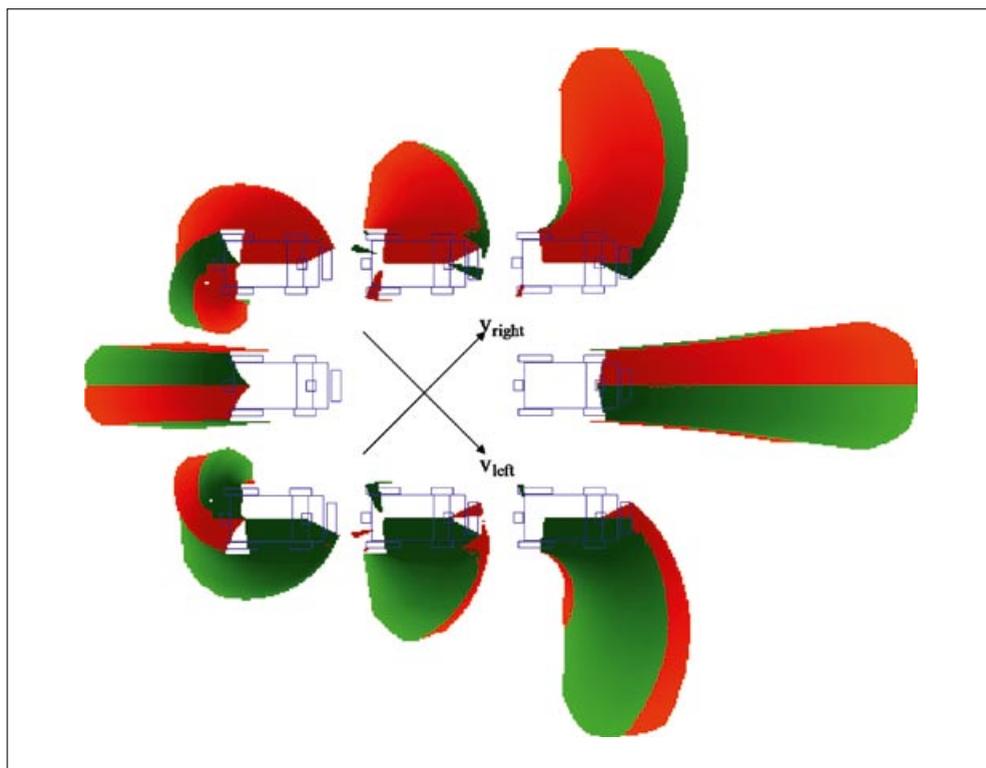


Abb. 2 Sicherheitszonen für die verschiedenen Fahrrichtungen des Rollstuhls Rolland. Sie sind nach den Drehgeschwindigkeiten der beiden Antriebsräder kodiert. Hindernissen in den grünen Regionen wird durch eine Bewegung nach links ausgewichen, während Hindernissen in den roten Regionen nach rechts ausgewichen wird.

2.1.2 Der Fahrassistent

Anstatt einfach vor einem Hindernis stehen zu bleiben, versucht der Fahrassistent auch, es von vornherein zu vermeiden. Die Grundidee (LANKENAU und RÖFER 2001) besteht darin, Hindernisse auf eine Weise zu umfahren, die am ehesten für den Nutzer akzeptabel ist. Unter Einbeziehung der gewünschten Fahrtrichtung, die vom Nutzer mit einem Joystick oder einem anderen Gerät zur Richtungsangabe vorgegeben wird, entscheidet der Assistent dann, ob ein Hindernis zu umfahren ist und auf welchem Weg (rechts oder links). Der Fahrassistent kontrolliert sowohl die Geschwindigkeit als auch die Lenkung des Rollstuhls. Die Geschwindigkeit wird immer so reduziert, dass der Rollstuhl nicht mit Hindernissen in der Umgebung kollidieren kann. Die Lenkung wird so gesteuert, dass der Rollstuhl anhält, wenn das Hindernis direkt vor ihm ist (in der Annahme, dass dies beabsichtigt ist), oder bei einer Fahrtrichtung nach links oder rechts dem Hindernis in dieser Richtung ausweicht.

Die lokale Karte wird nach Hindernissen in diese Richtung durchsucht, unter Nutzung der korrespondierenden Sicherheitszone (d. h. die Zone, die der Rollstuhl innerhalb der nächsten Sekunden erreichen wird). Wenn der Rollstuhl schon einen Umweg eingeschlagen hat, um ein Hindernis zu umfahren, kann die vom Nutzer angezeigte Richtung sich dabei von der nun eingeschlagenen Richtung unterscheiden. In diesem Fall wird die Fahrtrichtung, die der Nutzer per Joystick anzeigt, verwendet, um weitere Richtungsalternativen zu prüfen, die zum Ausweichen des Hindernisses möglich sind. Auf diese Weise kann der Nutzer immer auch noch bei Ausweichmanövern den Weg des Rollstuhls beeinflussen und wird deshalb nie ganz die Kontrolle über sein Gefährt verlieren.

Otto Bocks Xeno mit Fahrassistentz wurde bei der REHACARE-Messe 2008 präsentiert, wo Besucher den 66 cm breiten Rollstuhl ausprobieren und damit durch zwei 80 cm breite Türrahmen fahren konnten.

2.1.3 Der Navigationsassistent

Der Navigationsassistent kann den Nutzer zu vorgegebenen Zielen bringen. Indem der Rollstuhl befähigt wird, seinen Nutzer vollautomatisch auf bekannten Routen zu transportieren, wird ein neues Spektrum an Mobilitätschancen eröffnet.

Die technische Basis bildet dabei eine metrische Lokalisierung, die auf dem *GMapping*-Ansatz beruht (GRISSETTI et al. 2007). Durch einmaliges Durchfahren der Umgebung wird eine metrische Karte aufgebaut, die im Anschluss manuell mit kollisionsfrei fahrbaren Routen annotiert werden kann, die der Nutzer nehmen möchte. Auf der Grundlage dieser Struktur kann der Benutzer ein Ziel auswählen, das der Rollstuhl dann selbstständig anfährt, – alternativ gibt er die notwendigen Fahrhinweise, ähnlich einem PKW-Navigationssystem; der Benutzer steuert dann selbst. Die fest vorgegebenen Routen stellen die Kollisionsfreiheit mit der statischen Umgebung sicher, vor allem mit Objekten, die die Sensoren nicht „sehen“ können – wie solche, die nicht auf der Höhe von 12 cm ihr größtes Ausmaß haben. Gleichzeitig verhindert der Sicherheitsassistent Zusammenstöße mit dynamischen Hindernissen wie Passanten. Es ist auch möglich, den Rollstuhl so einzurichten, dass er gewisse Regionen auf der Karte aus Sicherheitsgründen vermeidet, wie beispielsweise Treppen oder Straßenverkehr. Es ist jedoch nicht möglich, dynamischen Objekten auszuweichen, die für die Sensoren unsichtbar sind.

Der Navigationsassistent wurde bei der CeBIT 2009 vorgestellt. Besucher konnten eine Reihe verschiedener Ziele in Halle 9 über Sprachkommandos oder einen Touchscreen auswählen, und der Rollstuhl fuhr sie dann automatisch dorthin.

2.2 Der intelligente Rollator iWalker

Der *iWalker* (siehe Abb. 3) basiert auf den von GLOVER und Kollegen (2003) beschriebenen Ideen und ist ein Standard-Rollator (fahrbare Gehhilfe), der mit elektronischen Bremsen, Radsensoren, Laserscannern und einem kleinen Steuerungs-PC ausgestattet ist – auf ähnliche Weise wie der Rollstuhl Rolland. Der *iWalker* bietet also Nutzern mit Gehbehinderungen, aber auch mit Sehstörungen, ein ähnliches Funktionsspektrum.

Wie der Fahrassistent des Rollstuhls kann der *Gehassistent* dem Nutzer helfen, Hindernissen auszuweichen, indem die elektronischen Bremsen sanft aktiviert werden, wenn erforderlich. Der *Navigationsassistent* führt den Nutzer entweder durch Darstellung eines Pfeils auf dem Bordcomputer oder durch Bremsung, die die Richtung verändert.

In Zukunft sollen die Bremsen automatisch aktiviert werden, wenn der Nutzer einen oder beide Haltegriffe loslässt. Entsprechend sollen die Bremsen eingesetzt werden, um den Nutzer beim Aufstehen zu stützen, weil gerade dann Sturzgefahr besteht.



Abb. 3 Prototyp des Rollators iWalker

3. Das „Bremen Ambient Assisted Living Lab“ (BAALL)

Beim *BAALL* (vgl. Website, KRIEG-BRÜCKNER et al. 2009a,b) wird neue AAL-Technologie erprobt und auf ihre Alltagstauglichkeit hin evaluiert (siehe Abb. 4). Das BAALL enthält alle Standardwohnbereiche (Schlafzimmer mit Arbeitsecke, Badezimmer und Ankleidebereich, Wohn- und Esszimmer und eine Kochnische) innerhalb einer 60 m²-Wohnung, in der zwei Personen „zur Probe wohnen“ können. Architektonisch betrachtet wurde die Wohnung nach dem Prinzip „Design für alle“ und dem Vorbild der *Casa Agevole* (siehe Website, Architekt: F. VESCOVO) an der Santa-Lucia-Forschungsklinik in Rom gebaut.

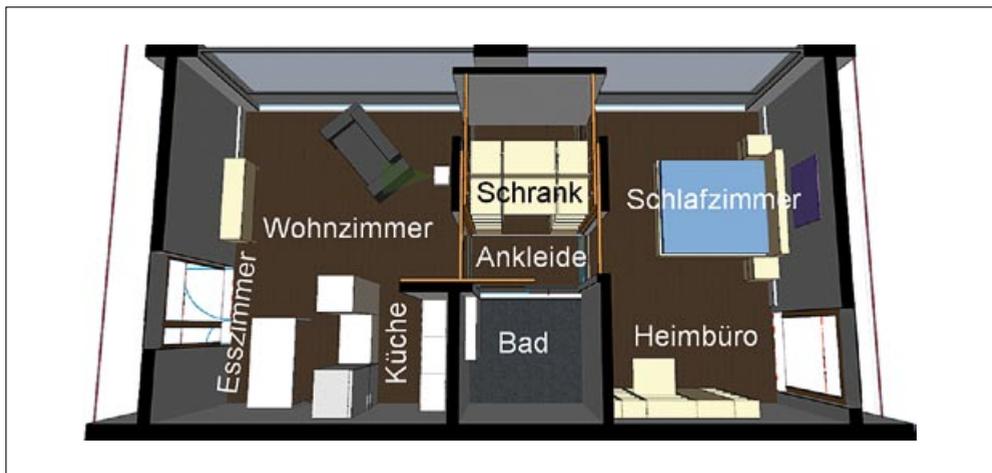


Abb. 4 Grundriss des BAALL (Simulation)

3.1 Senioren in spe

BAALL soll für *Senioren in spe* attraktiv sein, also für Menschen, die ihre Zukunft schon relativ frühzeitig planen, indem sie beispielsweise bei der Entscheidung für eine Wohnung oder ein Haus schon die möglichst lebenslange Nutzung einplanen. Wir glauben, dass dieser Aspekt bei der Diskussion von AAL besonders relevant ist: Nutzer sollten in Ruhe auf der Basis einer langfristigen Perspektive hinsichtlich der Gestaltung und der Kosten planen, um einen Umzug zu einem späteren schwierigeren Lebenszeitpunkt möglichst vermeiden zu können. Es wird auch zunehmend wahrscheinlich, dass Menschen länger in ihren Wohnungen bleiben, vielleicht mit der Unterstützung von externen Dienstleistern. In der europäischen Öffentlichkeit scheint die Vorstellung eines längeren Lebens im vertrauten Zuhause mit Nachbarn, Freunden und in einer Wohngegend mit einer effizienten Infrastruktur den Nutzern, Bezugspersonen, öffentlichen Wohnungsbauorganisationen und Krankenversicherungen gleichermaßen wünschenswert.

Um gut vorbereitet zu sein, ist es notwendig, die Szenarien vor auszusehen, die aus altersbedingten körperlichen und geistigen Beeinträchtigungen hervorgehen können, und Kompensationswege unter Nutzung technologischer Hilfen zu planen. Eine optimal entworfene Wohnung sollte schon AAL-Systeme enthalten, um im Bedarfsfall eine schritt-

weise Nachrüstung passender Komponenten ohne wesentliche Ein- oder Umbauarbeiten vornehmen zu können. Der Reiz des BAALL besteht darin, dass es wie eine ganz normale, wenn auch gut ausgestattete Wohnung aussieht; die technische Infrastruktur ist diskret, wenn überhaupt sichtbar.

Eine Herausforderung in bestehenden Gebäuden ist die Mobilitätsassistenz in *geschlossenen Räumen*. Nur zu oft werden Neubauten als barrierefrei oder als rollstuhlgeeignet bezeichnet, was sich im Allgemeinen jedoch nur auf das Fehlen von Stufen bezieht, so dass sie damit vielleicht für handbetriebene, aber nicht unbedingt für elektrische Rollstühle geeignet sind. Bei Türen geht es um die Breite und die Fernsteuerbarkeit. Aus diesem Grunde suchen wir nach Wegen, die Interaktion zwischen den in Abschnitt 2 beschriebenen Mobilitätsassistenten (und ihren Anwendern) mit der Umgebung zu evaluieren.

3.2 Assistenz in der Umgebungssteuerung

Sowohl der Rollstuhl Rolland als auch der iWalker sind normalerweise in unmittelbarer Nähe des jeweiligen Nutzers. Deshalb sind sie für eine Vermittlerrolle zur Interaktion mit der intelligenten Umgebung geeignet (siehe Abschnitt 4.). Sie ähneln insofern anderen Interaktionsmedien, die Menschen bei sich tragen (wie PDAs und Handys), und sind teilweise sogar besser, weil sie keine zusätzlichen Sensoren zur Ortung benötigen und damit Informationen über den aktuellen räumlichen Kontext geben können (z. B. „Der Nutzer steht vor seinem Schrank.“).

3.3 Gebäudeautomatisierung und intelligente Geräte

Die heute verfügbaren Gebäudeautomatisierungssysteme konzentrieren sich üblicherweise auf die Steuerung von Raumtemperatur und Wohnungsbeleuchtung, die wiederum in einigen Fällen mit einem Zugangskontroll- und Gebäudesicherheitssystem verknüpft ist (KRIEGBRÜCKNER et al. 2007). Dieses erlaubt die Aktivierung eines anwenderspezifischen Profils, wenn der Betreffende einen Raum oder eine Wohnung betritt. Gebäudeautomatisierung kann außerdem durch Standards für Gebäudenetze wie EiB/KNX, LON oder Powerline zur Steuerung von Geräten (wie den Kühlschränken) oder UPnP™ zur Steuerung von Mediengeräten ergänzt werden. Ein wichtiger Entwicklungstrend besteht darin, die vollständige Umgebungssteuerung in einem System zu vereinen und kundenspezifische Softwaretreiber sowie einheitliche Ein-/Ausgabegeräte für die Koordination einzusetzen (VANDERHEIDEN und ZIMMERMANN 2007, ZIMMERMANN 2007). Wir setzen Gebäudeautomatisierung mit nutzerspezifischen Profilen ein, beispielsweise für Lichtszenarien (vgl. Abschnitt 3.5).

Eine Schiebetür (vgl. *Raumplus*, Website), die nach Bedarf des Rollstuhl- oder Rollator-Nutzers öffnet, fällt auch in diese Kategorie. Diese Personen können nicht ohne weiteres Schalter erreichen, und automatische Entfernungskontrolle ist in komplexen Szenarien oder engen Räumen nicht geeignet. Ein raffiniertes Schiebetürsystem im Badezimmer- und Ankleidebereich der BAALL-Wohnung erlaubt eine vielseitige Raumnutzung: den spezifischen Bedürfnissen von Rollstuhlfahrern hinsichtlich der Toilettenzufahrt (von rechts, links oder vorne) kann unter Nutzung minimalen Raums entsprochen, und der Badbereich durch eine Schiebetür abgetrennt werden; alternativ kann jedoch ein geräumiger Ankleidebereich durch Öffnung der Badezimmertür und Schließung der Zugangstüren erzielt werden.

3.4 Intelligente Möbel

Intelligente Möbel, die sich den Bedürfnissen des Nutzers anpassen (und die in einigen Fällen proaktiv „vorausdenken“), können ganz ähnlich gesteuert werden. Ein gutes Beispiel ist die *PressalitCare-Kochnische* (vgl. Website; siehe Abb. 5), an deren Küchenzeile Schaltleisten angebracht sind. Diese erlauben es, die ganze Küchenzeile (einschließlich der Schränke) oder die Schränke (wie den Mikrowellenschrank) einzeln nach oben und unten zu bewegen. Diese Funktionen wurden in das Gesamtautomatisierungssystem integriert und können deshalb fernbedient werden, wobei die passenden Arbeitshöhen für jedes Haushaltsmitglied gespeichert werden. Dies kommt nicht nur Nutzern von Rollstühlen oder Rollatoren zugute; Kinder können vor Kochfeldern geschützt werden (durch Einstellung auf eine Höhe außerhalb ihrer Reichweite). Wenn sie älter sind, kann das Kochfeld dann auf eine ihnen angemessene Höhe eingestellt werden – ein Beispiel für „Design für alle“.



Abb. 5 Bewegliche Kochnische im BAALL

3.5 Assistenzdienste höheren Niveaus

Auf ähnliche Art ist das intelligente *Schramm-Bett* (vgl. Website, siehe Abb. 6) zur Anpassung an die Bedürfnisse und Vorlieben des Nutzers weiterentwickelt worden. Darüber hinaus werden kombinierte Dienste verfügbar, wie ein „Lesen im Bett“-Dienst, der das Deckenlicht herunter dreht, das Leselicht einschaltet, das Bett auf eine angenehme Leseposition einstellt und eine Musikauswahl spielt.



Abb. 6 „Lesen im Bett“-Dienst

Solche „Mehrwertdienste“ und Szenarien, die ein höheres Unterstützungsniveau bieten (wie das in Abschnitt 1.1 beschriebene), erfordern mehr Basisgeräte (plus Sensoren und Aktoren) und Dienste, so dass die Interaktion miteinander und Unabhängigkeit voneinander zunehmend komplex wird. Dies kann auch den Einsatz von Diensten höheren Niveaus (Agenten) oder die Realisierung einer intelligenteren Umgebung bedeuten, die Nutzer proaktiv daran erinnert, bestimmte Aktivitäten auszuführen (wie ihre Medikamente einzunehmen), oder sogar bestimmte Alltagsaktivitäten wie die tägliche Flüssigkeitseinnahme beaufsichtigt.

Entsprechend sollte sich eine intelligente Waage, die ein Nutzer ursprünglich für Wellness-Zwecke erworben hat, ohne weiteres in ein neues Gesundheitspflegeszenario „einstöpseln“ lassen. Insgesamt werden also allgemeine, Sicherheits- und Interoperabilitätsstandards zunehmend wichtig, um einfache (Re-)Konfigurationen in der vorhersehbaren Zukunft zu ermöglichen; man will auf weitere AAL-Anwendungen vorbereitet sein (Zertifikat „AAL-ready“). Es liegt noch ein weiter Weg vor uns, bevor semantisch gesteuerte Interoperabilität sowohl grundlegender als auch höherer Dienste (über autonome virtuelle „Agenten“) erreicht werden kann. Interoperabilität ist für die Entwicklung höherer Dienste und die möglichst automatische Rekonfiguration bei Hinzufügung eines neuen Gerätes oder Dienstes entscheidend.

Zu berücksichtigen ist auch, dass der Kontext einbezogen werden kann, weil die Position des Mobilitätsassistenten immer bekannt ist. Somit können vorhandene Dienste situativ dargestellt werden; „Licht einschalten“ hat beispielsweise immer eine kontextabhängige Bedeutung. Informationen über den Zustand eines Gerätes oder einer komplexen Gerätekonfiguration werden bereitgestellt, so dass Schlussfolgerungen gezogen werden können: Der Mobilitätsassistent kann beispielsweise einen Umweg um den Ankleidebereich machen, wenn er durch einen anderen Nutzer verschlossen worden ist.

4. Interaktion

Ein wichtiger Aspekt bei AAL besteht darin, dass die Interaktion zwischen dem Anwender, intelligenten Geräten und anderen intelligenten Assistenten sowohl natürlich als auch effektiv sein muss (AUGUSTO und McCULLAGH 2007). Mit dem Technologiefortschritt, der immer mehr intelligente Systeme in das Alltagsleben bringt, werden diese Systeme auch zunehmend schwerer zu verstehen, besonders wenn die Nutzer älter oder pflegebedürftig sind.

Ein Nutzer sollte beispielsweise in der Lage sein, mit einer Vielfalt intelligenter Geräte (wie Schiebetüren, Lampen, Küchenschrank usw.) und zugleich mit seinem Mobilitätsassistenten (wie dem Rollstuhl oder Rollator) umzugehen. Traditionelle Geräte wie Knöpfe, Schalter oder Fernbedienungen eignen sich nicht für die Steuerung von so komplexen Systemen. Obwohl der Navigationsassistent eines intelligenten Rollstuhls automatisch eine festgelegte Route zurücklegen kann, ist es fast unmöglich für einen Nutzer, mit dem Rollstuhl eine ähnliche Route zu absolvieren und gleichzeitig parallel zum Joystick alle anderen relevanten Geräte zu steuern. Interaktionsmethoden höheren Grades (z. B. auf der Basis von Sprache oder Gesten usw.) sind in solchen Situationen viel geeigneter.

Im Gegensatz zu intelligenten Geräten oder Robotern, die detailliertes Wissen der physikalischen Welt zur Verhaltenssteuerung verwenden, setzen Menschen oft explizites abstraktes Wissen ein, um über ihre Aktivitäten nachzudenken oder zu sprechen. In der künstlichen Intelligenz werden solche menschlichen Konzeptbildungen auf dem Gebiet der qualitativen Repräsentation und Schlussfolgerung formalisiert und modelliert (vgl. COHN et al. 1997, ZIMMERMANN und FREKSA 1997). Diese Modellbildungen erlauben es, Vorhersagen zu treffen und die Intentionen einer Person mit vorhandenen Wissensrepräsentationen zu vergleichen, zum Beispiel: Wo kommen wir hin, wenn wir zweimal nach links gehen? Ist „Gehe links an dem Aufzug vorbei“ korrekt? (vgl. Abschnitt 4.2); andererseits können sie Systeminformation auch auf eine für den Nutzer verständliche Weise vermitteln. Um natürliche menschliche Interaktionen mit intelligenten Systemen zu verbessern, ist eine zusätzliche Schicht nötig, um den Abstand zwischen menschlichen Konzepten und der physikalischen Systemwelt zu überbrücken. Im Kontext unserer Anwendung unterscheiden wir zwischen einer *konzeptuellen Ebene*, die qualitative Modellierungstechniken zur Interaktion mit dem Nutzer verwendet, und einer *Roboterebene*, die die metrischen Daten über die Umgebung für den Mobilitätsassistenten nutzt (vgl. SHI et al. 2005, SHI und KRIEG-BRÜCKNER 2008).

Es kommt hinzu, dass Anwender, die in ihrem Alltagsleben Hilfe benötigen, oft Schwierigkeiten haben, präzise mit der Umgebung zu interagieren (z. B. beim Rollstuhlfahren mit einem Joystick). Der sich in Entwicklung befindliche *qualitative Fahrassistent* wird solchen Anwendern helfen, indem er ihre Joystickbewegungen auf eine qualitative Weise interpretiert (z. B. kann eine Bewegung nach links, je nach Kontext, entweder „sofort nach links fahren“ oder „an der nächsten Kreuzung nach links fahren“ bedeuten).

4.1 Multimodale Interaktion

Ohne natürliche Interaktionsmodi werden solche Geräte und Assistenten keine angemessene Unterstützung bieten können. Gesprochene Sprache wird für die Anwendungen, mit denen wir uns beschäftigen, meistens als die Modalität erster Wahl betrachtet; reichhaltige

multimodale Schnittstellen, die beispielsweise via Touchscreens Visualisierung und Gesten verbinden, sollten jedoch auch bereitgestellt werden, so dass man sich möglichst gut an die Beeinträchtigungen und Vorlieben der Nutzer anpassen kann.

4.1.1 Dialoge in natürlicher Sprache

Im letzten Jahrzehnt ist natürliche Sprache auf vielen Anwendungsgebieten eingesetzt worden. Verschiedene Forschungsprojekte zur Mensch-Roboter-Interaktion über gesprochene natürliche Sprache (LAURIA et al. 2002, SHI und TENBRINK 2009) werden zurzeit durchgeführt. Sie müssen aber vorläufig der Grundlagenforschung zugeordnet werden, insbesondere hinsichtlich der Dreifachinteraktion zwischen Anwendern, Mobilitätsassistenten und der intelligenten Umgebung. Es ist aber sicher, dass Sprachinteraktion sehr vielversprechend ist, wenn es um die Entwicklung von Systemen für Nutzer mit körperlichen Einschränkungen geht.

In Zukunft werden wir in enger Zusammenarbeit mit Linguisten und Psychologen die natürlichen (primär sprachlichen) Ausdrucksweisen von Anwendern empirisch untersuchen, um Nutzermodelle zur Identifikation ihrer *Intentionen* zu entwickeln. Dies ist die einzige Möglichkeit sicherzustellen, dass Nutzer natürlich, effizient und kontextgerecht bedient werden können. Im Beispiel in Abschnitt 1.1 „Ich möchte Pizza essen“, in dem die Intention des Nutzers klar ist, kann die intelligente Umgebung die angemessenen Handlungen proaktiv planen (wie die Absenkung der Küchenzeile), während sie Navigationshandlungen (wie Türöffnung, Routenplanung usw.) für den Mobilitätsassistenten übernimmt und damit dem Anwender eine Reihe mühsamer Einzelkommandos erspart. Die Erkennung und anschließende Umsetzung menschlicher Intentionen stellt AAL vor eine große Herausforderung, vor allem hinsichtlich der Aktivitäten des täglichen Lebens („Activities of Daily Living“) und ihrer potentiellen Beaufsichtigung. Gleichzeitig sollte Vorsicht bei solchen Anwendungen geübt werden (vgl. ROGERS 2006). Geleistete Unterstützung sollte nicht überbordend, dominierend oder kontrollierend sein. Außerdem sollte der Unterstützungsgrad immer für den Empfänger passend und im Sinne einer Kompensation von Behinderungen sein. Wir planen dazu einen Fokus auf spezifische Anwendergruppen und untersuchen unter Anwendung vordefinierter Aufgaben ihre Äußerungen und Verhaltensweisen empirisch, um spezifische Nutzermodelle für diese Gruppen zu entwickeln.

4.1.2 Visualisierung und Gesten über Touchscreen

Für räumliche Aufgabenstellungen könnten andere Modalitäten effizienter sein, besonders wenn es um räumliche Beziehungen oder Konfigurationen geht. Bei der Anwendung eines Navigationsassistenten ist die Auswahl einer Navigationsroute durch Berührungs- und Zeichnungsgesten oder durch Visualisierung einer komplexen Route auf einem Bildschirm für Nutzer intuitiver, weil räumliche Diskrepanzen wie die bei sprachlicher Raumbeschreibung auftretenden Disparitäten der Perspektive oder der Detailgenauigkeit vermieden werden können. Diese können in sprachlichen Instruktionen wie „Geh' links von der Apollo-Statue“ (aus welcher Perspektive?) oder „Geh' nach etwa 10 m nach links“ (Vermischung qualitativer und quantitativer Information) auftreten. Die Tendenz, Bildschirme für Navigationsaufgaben einzusetzen, wurde durch den multimodalen Demonstrator bestätigt, den wir bei der CeBIT 2009 ausstellten. Er integrierte sowohl Touchscreen- als auch natürliche

Sprachinteraktion. Außerdem boten vorhandene Visualisierungs- und Auswahlfunktionen wie Zoomen und Scrolling dem Anwender Abbildungen der Umgebung auf verschiedenen Genauigkeitsstufen an.

4.1.3 Kopf-Joystick

Wir entwickelten eine besondere Interaktionsmodalität für intelligente Rollstühle in Form eines Kopf-Joysticks (MANDEL und FRESE 2007, MANDEL et al. 2007, RÖFER et al. 2009): anstatt einen Standard-Joystick einzusetzen, können Anwender mit ihm den Rollstuhl durch Kopfnieigungs- oder Nickbewegungen (in Abb. 7 dargestellt) steuern. Der Kopf-Joystick erlaubt es also Menschen, mobil zu werden, die normalerweise nicht in der Lage sind, einen handbewegten Joystick zu bedienen.

Der Sicherheitsassistent spielt hier eine Wächterrolle; der Fahrassistent bietet darüber hinaus Nutzern von Kopf-Joysticks die für die Steuerung innerhalb von geschlossenen Räumen nötige Unterstützung. Die Anwender lernen so, wie man den Rollstuhl mit Hilfe der Assistenten steuert.

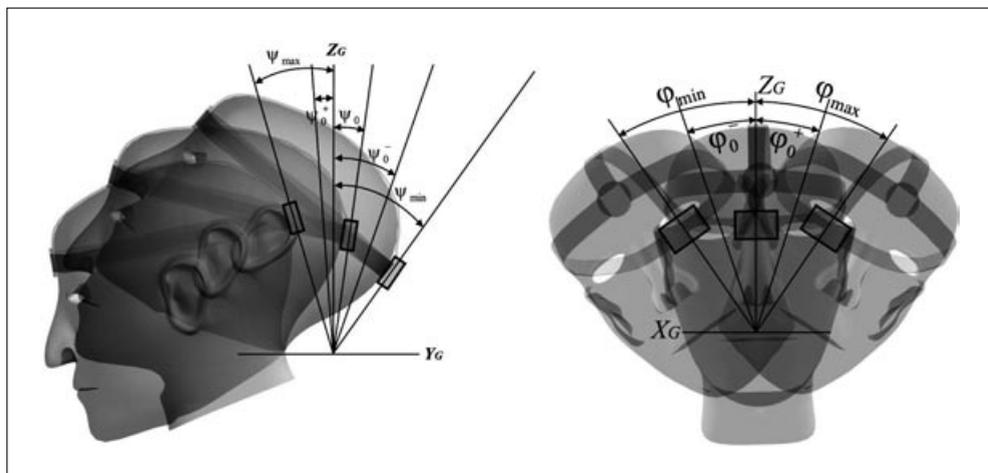


Abb. 7 Der Kopf-Joystick misst am Hinterkopf Winkel der Nickbewegung (links) und der Seitwärtsneigung (rechts).

Auch Nutzer, die in der Lage sind, mit einem klassischen Joystick ihren Rollstuhl zu fahren, könnten die zusätzliche Flexibilität eines Kopf-Joysticks oder der verbalen Interaktion schätzen lernen, wenn sie beispielsweise beim Fahren mit anderen Aufgaben beschäftigt sind oder keine Hand frei haben (vgl. das Szenario in Abschnitt 1.1).

4.2 Geteilte Steuerung (Shared Control)

Die räumlichen Aufgaben, die mit der Ausführung von Aktivitäten des täglichen Lebens assoziiert sind, gehören zu kognitiven Prozessen höherer Ordnung, die die Beurteilung von Umgebungsinformation, Lokalisierung von räumlichen Gegenständen und der Analyse räumlicher Beziehungen zwischen ihnen erfordern. Sie können deshalb *wissensbasierten*

Fehlern durch Anwender anheimfallen (siehe REASON 1990). Unterschiede zwischen Erwartungen des Nutzers und dem Verhalten intelligenter Systeme können oft den Nutzer unsicher machen oder schwere Fehler verursachen. In solchen Situationen sind Klärungsdialoge unerlässlich, um den Nutzer über die Situation zu informieren und ihm zu helfen, richtig mit dem System zu interagieren. Räumliches Schlussfolgern in einem natürlichen Dialog und die Erarbeitung von klärenden Antworten sind Teil unseres gegenwärtigen Forschungsprogramms (SHI et al. 2008).

5. Zukünftige Arbeiten

Im Verlauf dieses Beitrags haben wir gesehen, dass die in Abschnitten 1.1 und 1.2 beschriebenen Szenarien aus technischer Sicht absolut machbar sind; das erste Szenario mit Mario, der, mit einer intelligenten Umgebung interagierend, von seinem Rollstuhl Rolland umhergefahren wird, ist im BAALL schon umgesetzt; das zweite ist auf bestem Wege dahin: der iWalker kann schon Personen mit Kurzzeitgedächtnis oder Sehproblemen sicher führen. Es ist aber mehr Arbeit zur sicheren Navigation im Freien nötig. AAL-Dienste, die in anderen Projekten entwickelt wurden, wie Erinnerungs- oder Kommunikationsassistenten, sollten auch in den iWalker und den Rollstuhl Rolland integriert werden. In Bezug auf Zielgruppen ist auch anzumerken, dass es Zeiten gibt, an denen wir alle etwas Hilfe beim Einkaufen und beim Suchen gebrauchen könnten!

Im Gegensatz zu Japan zum Beispiel wird der heimische Einsatz von Robotern, zumal mit einem humanoiden (oder tierähnlichen) Aussehen, in Deutschland mit beträchtlichem Argwohn betrachtet. Dieser entstammt der Sorge, dass Roboter Menschen und ihre Fürsorge ersetzen könnten; Haustierroboter werden auch oft als kindisch und nicht als Alternative zu Lebewesen angesehen.

Einstellungen zur Robotik für Dienstleistungen und Assistenzsysteme ändern sich jedoch sofort, wenn diese eingesetzt werden, um den krankheits- oder altersbedingten Verlust von Fähigkeiten zu kompensieren. Körperliche und mentale Beeinträchtigungen können durch Assistenzsysteme kompensiert werden, und sollten es auch. Solche Systeme werden angenommen, wenn sie auf eine körperlich und kognitiv adäquate Art konstruiert werden und die betreffenden Kompetenzverluste kompensieren, aber nicht überkompensieren. Obwohl von Menschen geleistete Pflege sowohl nötig als auch willkommen ist, kann sie auch belastend sein, wenn der Pfleger ständig präsent sein muss. Darüber hinaus können Pflegemaßnahmen leider allzu oft im Rahmen der allgemeinen Gesundheitsversorgung nicht bezahlt werden.

Der universelle „kleine Helfer“, der alles im Haushalt erledigt, wird vielleicht eines Tages existieren; wir konzentrieren uns aber jetzt auf Assistenzsysteme, die in verbreiteten Geräten und der Umgebung verborgen sind und darauf abzielen, diese Geräte intelligenter, besser an den Nutzer angepasst und proaktiv zu machen, so dass sie nötigenfalls die Initiative übernehmen können.

Wir stellen uns vor, dass viele der „Nebenprodukte“ der Forschung an Assistenzsystemen letzten Endes eine so wertvolle Rolle in unserem Alltagsleben spielen werden, dass wir nicht mehr darauf verzichten wollen (z. B. Starten der Aufnahme einer Lieblingsfernsehensendung mit einem sprachlichen Kommando oder ein wirklich intelligenter Staubsauger, der sich nicht nur zufällig bewegt).

Ein weites Feld für zukünftige Forschung ist die Idee des Lagerns und Findens von Gegenständen, beispielsweise Beratung von Anwendern hinsichtlich der Auswahl und Kombination von Kleidern in ihrem Schrank, in Analogie zur Idee des „Kühlschrankmanagements“.

Natürliche Sprachinteraktion scheint in diesem Kontext besonders relevant, sowohl über einen Mobilitätsassistenten, der eine Vermittlerrolle einnimmt, als auch direkt. Ein Nutzer könnte dann direkt „mit der Küche“ interagieren und ihr, auch wenn seine Hände nicht frei sind (z. B. beim Kneten von Teig), Zusatzaufgaben übertragen. Diese Interaktion kann die Steuerung von Küchenelementen (z. B. Vorheizen des Ofens), das Lagern und Wiederfinden von Gegenständen in Küchenschränken, das Nachschlagen in Kochbüchern sowie das Steuern des Rollstuhls in die passende Position umfassen. Dabei kann vielleicht auch der Kopf-Joystick helfen, der ursprünglich für Personen mit Lähmungen entwickelt wurde.

Es ist wichtig, dass technische Forschung und Entwicklung im engen Sinne durch Befunde aus anderen Disziplinen wie Psychologie, Kognitionswissenschaften, künstliche Intelligenz, Computerlinguistik und Informatik ergänzt werden. Nur so können die Herausforderungen angemessener und individuell anpassbarer Schnittstellen für die Interaktion zwischen Mensch und Maschine in einem multimodalen Dialog gemeistert werden.

Beim BAALL ist die wissenschaftlich kontrollierte *Evaluation* ein vornehmliches Ziel – vom ersten Experiment bis zur langfristigen Evaluation der *Alltagstauglichkeit* –, so dass diese Information als Grundlage für die Produktentwicklung dienen kann. Im BAALL können Assistenzsysteme in realistischen Szenarien getestet und evaluiert werden. Die Ergebnisse können dann wiederum zur Erzeugung weiterer Modelle und zur Beeinflussung zukünftiger Entwicklungen eingesetzt werden.

Dank

Diese Arbeit ist von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) im Sonderforschungsbereich SFB/TR8: *Spatial Cognition* (siehe Website) und der Europäischen Union im Projekt *SHARE-it* (FP6-045088; siehe Website) gefördert worden. Wir danken auch den BAALL-Sponsoren und Kooperationspartnern, insbesondere *Otto Bock Mobility Solutions* (siehe Website).

Literatur

- AUGUSTO, J. C., and McCULLAGH, P.: Ambient intelligence: Concepts and applications. *Computer Science and Information Systems* 4, 1–28 (2007)
- BAALL: <http://www.baall.net>
- Casa Agevole: <http://www.progettarepertutti.org/progettazione/casa-agevole-fondazione>
- COHN, A. G., BENNETT, B., GOODAY, J., and GOTTS, N. M.: Qualitative spatial representation and reasoning with the region connection calculus. *Geoinformatica* 1, 275–316 (1997)
- GLOVER, J., HOLSTIUS, D., MANOLOVICH, M., MONTGOMERY, K., POWERS, A., WU, J., KIESLER, S., MATTHEWS, J., and THRUN, S.: A Robotically-Augmented Walker for Older Adults (Technical Report CMU-CS-03–170). Pittsburgh, PA: Carnegie Mellon University, Computer Science Department 2003
- GOLLUB, J.: Umsetzung und Evaluation eines mit Laserscannern gesicherten Rollstuhls als interaktives Museums-exponat (Diplomarbeit). Universität Bremen, Fachbereich 3 – Mathematik und Informatik 2007. http://www.informatik.uni-bremen.de/agebv/downloads/published/gollub_thesis_07.pdf
- GRISSETTI, G., STACHNISS, C., and BURGARD, W.: Improved techniques for grid mapping with Rao-Blackwellized particle filters. *IEEE Transactions on Robotics* 23, 34–46 (2007). doi: 10.1109/TRO.2006.889486

- KRIEG-BRÜCKNER, B., GERSDORF, B., DÖHLE, M., und SCHILL, K.: Technik für *Senioren in spe* im Bremen Ambient Assisted Living Lab. In: Ambient Assisted Living – AAL: 2. Deutscher AAL-Kongress 2009. Berlin: VDE-Verlag 2009a
- KRIEG-BRÜCKNER, B., KRÜGER, A., HOFFMEISTER, M., und LÜTH, C.: Kopplung von Zutrittskontrolle und Raumautomation: Eine Basis für die Interaktion mit einer intelligenten Umgebung. In: Gebäudesicherheit und Gebäudeautomation – Koexistenz oder Integration? (VDI Bericht 2005). S. 37–48. Düsseldorf: VDI Verlag 2007
- KRIEG-BRÜCKNER, B., SHI, H., FISCHER, C., RÖFER, T., CUI, J., und SCHILL, K.: Welche Sicherheitsassistenz brauchen Rollstuhlfahrer? In: Ambient Assisted Living – AAL: 2. Deutscher AAL-Kongress 2009. Berlin: VDE-Verlag 2009b
- LANKENAU, A., and RÖFER, T.: A safe and versatile mobility assistant. IEEE Robotics and Automation Magazine 8, 29–37 (2001). doi: 10.1109/100.924355
- LAURIA, S., KYRIACOU, T., BUGMANN, G., BOS, J., and KLEIN, E.: Converting natural language route instructions into robot executable procedures. Proceedings of the 11th IEEE International Workshop on Human and Robot Interactive Communication; pp. 223–228. 2002. doi: 10.1109/ROMAN.2002.1045626
- MANDEL, C., and FRESE, U.: Comparison of wheelchair user interfaces for the paralysed: Head-joystick vs. verbal path selection from an offered route-set. Proceedings of the 3rd European Conference on Mobile Robots (ECMR 2007). 2007. http://ecmr07.informatik.uni-freiburg.de/proceedings/ECMR07_0048.pdf
- MANDEL, C., HUEBNER, K., and VIERHUFF, T.: Towards an autonomous wheelchair: Cognitive aspects in service robotics. Proceedings of Towards Autonomous Robotic Systems (TAROS 2005); pp. 165–172. 2005
- MANDEL, C., RÖFER, T., and FRESE, U.: Applying a 3DOF orientation tracker as a human-robot interface for autonomous wheelchairs. Proceedings of the IEEE 10th International Conference on Rehabilitation Robotics (ICORR 2007); pp. 52–59. 2007. doi: 0.1109/ICORR.2007.4428406
- Otto Bock Mobility Solutions*: <http://www.ottobock.de>
- PressalitCare-Kochnische*: <http://www.pressalitcare.de>
- Raumplus*: <http://www.raumplus.de>
- REASON, J.: Human Error. Cambridge, UK: Cambridge University Press 1990
- RÖFER, T., MANDEL, C., and LAUE, T.: Controlling an automated wheelchair via joystick/head-joystick supported by smart driving assistance. Proceedings of the IEEE 10th International Conference on Rehabilitation Robotics (ICORR 2007); pp. 743–748. 2009. doi: 10.1109/ICORR.2009.5209506
- ROGERS, Y.: Moving on from Weiser’s vision of calm computing: Engaging UbiComp experiences. In: DOURISH, P., and FRIDAY, A. (Eds.): UbiComp 2006: Ubiquitous Computing (Lecture Notes in Computer Science 4206); pp. 404–421. Berlin: Springer 2006. doi: 10.1007/11853565_24
- Schramm-Bett*: www.schramm-werkstaetten.de
- SFB Spatial Cognition*: <http://www.sfbtr8.uni-bremen.de>
- SHARE-it*: <http://www.ist-shareit.eu/shareit>
- SHI, H., and KRIEG-BRÜCKNER, B.: Modelling route instructions for robust human-robot interaction on navigation tasks. International Journal of Software and Informatics 2, 33–60 (2008)
- SHI, H., ROSS, R., and BATEMAN, J.: Formalising control in robust spoken dialogue systems. In: Third IEEE International Conference on Software Engineering and Formal Methods (SEFM’05); pp. 332–341. 2005. doi: 10.1109/SEFM.2005.21
- SHI, H., and TENBRINK, T.: Telling Rolland where to go: HRI dialogues on route navigation. In: CONVENTRY, K. R., TENBRINK, T., and BATEMAN, J. (Eds.): Spatial Language and Dialogue; pp. 117–216. Oxford, UK: Oxford University Press 2009
- VANDERHEIDEN, G., and ZIMMERMANN, G.: Non-homogenous network, control hub and smart controller (NCS) approach to incremental smart homes. In: STEPHANIDIS, C. (Ed.): Universal Access in Human-Computer Interaction: Ambient Interaction (Lecture Notes in Computer Science 4555); pp. 238–244. Berlin: Springer 2007. doi: 10.1007/978-3-540-73281-5
- ZIMMERMANN, G.: Open user interface standards: Towards coherent, task-oriented and scalable user interfaces in the home environments. In: Proceedings of the 3rd IET International Conference on Intelligent Environments (IE 07); pp. 36–39. The IET 2007. doi: 10.1049/cp:20070344
- ZIMMERMANN, K., and FREKSA, C.: Qualitative spatial reasoning using orientation, distance, and path knowledge. Applied Intelligence 6, 49–58 (1996)

Prof. Dr. Bernd KRIEG-BRÜCKNER
Sichere Kognitive Systeme
Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz
Enrique-Schmidt-Straße 5
28359 Bremen
Bundesrepublik Deutschland
Tel.: +49 4 21 2 18 642 20 21
Fax: +49 4 21 2 18 98 642 20
E-Mail: bernd.krieg-brueckner@dfki.de

Dr. Thomas RÖFER
Sichere Kognitive Systeme
Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz
Enrique-Schmidt-Straße 5
28359 Bremen
Bundesrepublik Deutschland
Tel.: +49 4 21 2 18 642 00
Fax: +49 4 21 2 18 98 642 20
E-Mail: thomas.roefer@dfki.de

Dr. Hui SHI
Sichere Kognitive Systeme
Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz
Enrique-Schmidt-Straße 5
28359 Bremen
Bundesrepublik Deutschland
Tel.: +49 4 21 2 18 642 60
Fax: +49 4 21 2 18 98 642 60
E-Mail: hui.shi@dfki.de

Dr. Bernd GERSDORF
Sichere Kognitive Systeme
Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz
Enrique-Schmidt-Straße 5
28359 Bremen
Bundesrepublik Deutschland
Tel.: +49 4 21 2 18 642 05
Fax: +49 4 21 2 18 98 642 05
E-Mail: bernd.gersdorf@dfki.de