
Robotics for Homecare: Auf dem Weg zur Entwicklung maßgeschneiderter Unterstützungssysteme

Luis Roalter

Lehrstuhl für Medientechnik, Technische Universität München

Thomas Linner

Lehrstuhl für Baurealisierung und Baurobotik, Technische Universität München

Matthias Kranz

Lehrstuhl für Medientechnik, Technische Universität München

Andreas Möller

Lehrstuhl für Medientechnik, Technische Universität München

Thomas Bock

Lehrstuhl für Baurealisierung und Baurobotik, Technische Universität München

Zusammenfassung

Die älter werdende Gesellschaft erfordert neue Ansätze zur Ermöglichung von In-Home-Services und Unterstützung für Ambient Assisted Living. Die Einrichtung einer solchen unterstützenden Umgebung ist eine herausfordernde Aufgabe, da der Verwandlung eines normalen Zuhauses in eine High-Tech-Pflegeeinrichtung die Kosten und der dafür nötige Aufwand entgegenstehen. Wir stellen eine alternative Lösung vor, angesiedelt zwischen einem vollständig vernetzten Heim auf der einen, und einzelnen intelligenten Gegenständen und Objekten auf der anderen Seite, und wenden dabei Forschungsergebnisse aus der Robotik an. Wir erläutern die multidimensionalen interdisziplinären Herausforderungen, die für erfolgreiche "pervasive" und personalisierte Systeme der Zukunft beachtet werden müssen, und stellen eine prototypische Robotik-Serviceeinheit vor, die für die industrielle und bezahlbare Massenfertigung weiterentwickelt werden könnte. Wir zeigen, dass durch interdisziplinäre Zusammenarbeit in Pervasive Healthcare, Ubiquitous Computing, Architektur und Robotik ein Konzept für personalisierte Homecare entstehen kann, das Ambient Assisted Living zu vertretbaren Kosten ermöglichen könnte.

1 Einleitung

Ein längerer Aufenthalt älterer Menschen in einer angepassten heimischen Umgebung, die mit assistiven Technologien ausgestattet ist, ist kostengünstiger und in vielen Fällen auch effektiver als ein stationärer Aufenthalt in einer Betreuungs- oder Pflegeeinrichtung. Die Fortführung von Aktivitäten in vertrauter Umgebung und sozialem Umfeld trägt effektiv dazu bei, somatische, motorische, mentale und soziale Störungen zu verhindern. Eine nahtlose Ausstattung mit Sensoren und Telemetrie-Anwendungen zur Überwachung einzelner Störungen sowie "multimorbider" (Van den Acker et al., 1998) Patienten könnte die Qualität medizinischer Behandlung, Langzeittherapien, Medikation und haushaltsnaher Gesundheitsdienstleistungen insgesamt signifikant verbessern. Fortschritte in der Heimautomatisierung, der assistiven Mechatronik und Service-Robotik versprechen Dienstleistungen auf einem neuen Niveau, wenn sie richtig miteinander vernetzt sind. Darüber hinaus sind Regierung, Gesellschaft und Industrie daran interessiert, dass Senioren weiter in ihrem Zuhause leben können und von einem Zusammenspiel klassischer Methoden und „pervasiver“ Technologien unterstützt werden, um die damit verbundene Wertschöpfung aufrecht zu erhalten, und neue Wertsysteme im Hinblick auf rückläufige Pflege-, Haushalts- und medizinische Dienste zu schaffen. Mit unserer Arbeit wollen wir zu diesen wichtigen soziotechnischen und sozioökonomischen Themen einen Beitrag leisten.

Die Herausforderungen, ein selbstständiges Leben zu Hause mit integrierten Sets von Methoden und Technologien zu ermöglichen, erfordern einen ganzheitlichen und interdisziplinären Ansatz, welcher Experten aus Fachgebieten der Medizin, Architektur, Design, Robotik, Informatik, Elektrotechnik, Mensch-Maschine-Interaktion und Wohnungswirtschaft mit einbeziehen muss.

2 Herausforderungen für Pervasive Healthcare und Ambient Assisted Living

Der Entwurf assistiver Pervasive Healthcare-Systeme ist eine multidimensionale, interdisziplinäre Herausforderung (Kranz et al., 2010). Diese Herausforderungen – im Folgenden illustriert mit Beispielen aus der aktuellen Forschung – müssen während des gesamten Entwicklungsprozesses beachtet werden.

2.1 Geriatriische und medizinische Herausforderungen

Das geriatriische Profil älterer Menschen im Allgemeinen kann mit sogenannter “Multimorbidität” beschrieben werden (Van den Acker et al., 1998), die als Koexistenz zweier oder mehrerer chronischer Zustände definiert werden kann. Alle *Use cases* sind eine komplexe Mischung multipler geriatriischer Anforderungen, wie die Unterstützung täglicher körperlicher Betätigung, Mobilität und kognitive Fähigkeiten. Für die Kompensation von Defiziten und sozialer Interaktion oder Hilfe im Notfall sind dazu auch eine Reihe von Technologien erforderlich. Einige dieser Anforderungen können effizienter mit *passiven* (Architektur und Design), andere mit *aktiven* Systemen (Sensoren, Aktoren und integrierte Schaltungen, sowie Anwendungen des Pervasive Computing) umgesetzt werden (Linner et al., 2010). Eine sorgfältig ausgewählte und bewusste Kombination sowohl passiver und aktiver Systeme erhöht signifikant die Fähigkeit einer Umgebung, geriatriischen Herausforderungen ganzheitlich zu begegnen. Des Weiteren werden anpassbare und personalisierbare, multidimensionale komponentenbasierte Systeme nach und nach zur Grundvoraussetzung: das aufkommende *Personalized Healthcare* beansprucht, den individuellen Pflegebedürftigen einen optimalen körperlichen und geistigen Zustand zu garantieren. Wir tragen dazu bei, indem wir Forschung aus der Robotik im Bereich des Ambient Assisted Living anwenden und diese modulare und individuell angepasste Healthcare-Serviceeinheiten integrieren. Diese Serviceeinheiten können in der Umgebung bedürftiger installiert werden.

2.2 Herausforderungen in der Architektur

Bei *assistiven* Umgebungen, die Technologie des *Pervasive Computing* integrieren, handelt es sich nicht um einfache Standalone-Gesundheitsanwendungen für die Nutzung zu Hause – wie etwa ein Blutdruckmessgerät, ein Notrufsystem oder ein *Gesundheitstelefon* – die in eine bestehende Umgebung eingefügt werden. Jedoch ohne Vernetzung ist das Potential der verwendeten Technologien nicht voll ausgeschöpft. In intelligenten oder assistiven Umgebungen alle Systeme miteinander verbunden. Dazu gehören auch Heimautomationssysteme, HVAC-Systemen, Pflegedienste oder ortssensitive Anwendungen z.B. unter Nutzung der vorhandenen DECT-Schnurlostelefon-Infrastruktur (Kranz et al., 2010. Wie kann *Pervasive Computing*-Technologie jedoch in existierende Wohnräume, dort wo sie gebraucht wird, integriert werden, wenn es sich um ein gewöhnliches, nicht-vernetztes Zuhause handelt (VanderHart, 1998)? Man kann davon ausgehen, dass Menschen, die in den kommenden Jahrzehnten als *Senioren* gelten, kein vernetztes Heim besitzen, das die nötige Infrastruktur bietet. Daher müssen neue Methoden gefunden werden, mit denen existierende Wohnräume effizient in vernetzte assistive Umgebungen umfunktioniert werden können, in denen ein unabhängiges Leben möglich ist.

2.3 Herausforderungen im Design

Die nachhaltige Transformation bestehender gewöhnlicher Wohnstätten in mit altersgerechter assistiver Technologie ausgestattete Heimumgebungen impliziert mehrere Herausforderungen betreffend Design und Produktentwicklung. Es ist wichtig, eine hierarchische Modularität beziehungsweise Plattformstrategien, die alle beteiligten Disziplinen durchdringen, einzuführen, so dass unterschiedliche assistive Technologien oder Module an einen bestimmten Use case angepasst und später ausgetauscht oder erweitert werden können, um der Vielfalt möglicher Use cases gerecht zu werden, die sich im Lauf der Zeit möglicherweise sogar ändern (Linner & Bock, 2009). Die individuellen Module des Systems müssen vorkonfigurierbar sein, einfach zu installieren und müssen sich in ein bestehendes, aller Wahrscheinlichkeit nach nicht vernetztes Heim einfügen. Die Wartbarkeit und Instandhaltung durch Pfleger und Pflegeempfänger muss im Designprozess von vorneherein berücksichtigt werden.

Zweitens muss die Verteilung und Anordnung von Funktionalität, wie z.B. Küche, Bad, Schlafen und die damit verbundenen Anwendungen und Technologien bedacht werden. Ältere Menschen sind oft in ihrer Bewegungsfreiheit eingeschränkt, daher ist die räumliche Verteilung der am häufigsten genutzten oder im Alltag unterstützenden Funktionen, wie in den meisten gegenwärtigen Häusern, nicht zwangsweise eine optimale Lösung.

Drittens muss eine nachhaltige, durch Technologie erweiterte Umgebung die Komplexität ihrer Bestandteile so weit wie möglich verbergen (Bock & Linner, 2009), um die Nutzer als Pflegeempfänger von mentaler Last und Stress zu befreien, und sie zu Aktivität und Interaktion mit der Technologie motivieren. Überzeugungskraft ist hier ein Schlüsselaspekt: die Förderung von Aktivität und einem gesunden Lebensstil führt zu einem zufriedeneren Erleben. *Pervasive Health*-Technologien müssen, ganz nach der Vision des *Calm Computing*, nahtlos in die Umgebung integriert sein und unsichtbar im Hintergrund funktionieren. Des Weiteren sollten als primäres Interface zur Mitteilung von Information an Pflegeempfänger Geräte mit einer hohen Akzeptanz genutzt werden, wie etwa Fernseher. Sie stellen eine perfekte Vereinigung aus einer wohlbekanntem Umgebung und Überlagerungen neuer pervasiver Technologie dar. Nicht viele Senioren sind damit vertraut, moderne Mobilfunktechnik zu verwenden, aber alle haben Erfahrung mit der Nutzung eines Fernsehgerätes. Daher erscheint die Darstellung von Information als geeignete Bildschirmblendung ("Bitte nehmen Sie Ihre Medikamente") als ein vielversprechender Ansatz. Weiterhin müssen kulturelle Hintergründe berücksichtigt werden. Während es etwa in Asien eher verbreitet ist, unterstützende Roboter zu akzeptieren, könnte dies in Europa oder den USA anders sein. Ebenso muss das Ausmaß potentieller unterstützender Funktionalität je nach Zielgruppe von Pflegebedürftigen sorgfältig evaluiert werden.

2.4 Herausforderungen im Pervasive Computing

Unterstützende Umgebungen müssen flexibel und vielseitig sein, um mit den sich dynamisch ändernden Ansprüchen der Bewohner zurechtzukommen und sie zu unterstützen, insbesondere bei aufkommenden gesundheits- und altersbedingten Beeinträchtigungen. Einzelne Komponenten einer Serviceeinheit müssen dann möglicherweise ausgetauscht werden, um einem geänderten Gesundheitszustand gerecht zu werden. Aus diesem Grund ist ein Pervasive Computing Middleware-System erforderlich, um mit Änderungen dieser Art umgehen zu können. Smart Homes wie das AwareHome (Kidd et al., 1999) oder PlaceLab (Initille et al., 2006) waren Gegenstand der Forschung, doch stehen diese beispielhaft für das Ziel, ein ganzes Gebäude oder Apartment in einem Zug auszustatten und zu instrumentie-

ren (Roalter & Kranz, 2010). Unser Ansatz erlaubt ein inkrementelles Hinzufügen und Ersetzen von Modulen und Komponenten ohne vergleichbaren Aufwand einer Erweiterung eines kompletten Heims. Hierdurch können die Kosten, die einen Hauptfaktor bei der Erforschung von Real-World-Deployment-Szenarios darstellen, in einem weit geringeren Rahmen gehalten werden, und das System kann wenn notwendig erweitert werden.

Das House_n des MIT (Larson et al., 2004) schließt ebenfalls modulare intelligente Einrichtung mit ein, allerdings in kleinerem Maßstab: Möbel müssen in ihrem Ansatz nicht notwendigerweise eine dedizierte Ökologie formen, etwa um ganzheitlich ein bestimmtes Bedürfnis zu unterstützen, wie für unsere Core-Service-Module vorgeschlagen. Ihr System ist nicht dafür konzipiert, einen eigenständigen Raum zu schaffen, und z.B. nur die spezifischen Bedürfnisse eines Bewohners aufgrund seines persönlichen Gesundheitszustandes zu unterstützen. Während modulare Einrichtung eine Bedeutung für Pervasive Computing und AAL-Umgebungen haben, müssen sie für die Unterstützung von assistivem und unabhängigem Leben als unvollständig betrachtet werden. Wir halten daher einen dedizierten, zielgerichteten Ansatz für notwendig, der die inkrementelle Erweiterung unterstützender Umgebungen ermöglicht, vergleichbar, jedoch generalisierter, dem für die das Prototyping intelligenter Objekte (Kranz et al., 2005). Dies muss sich auch in der Wahl der Middleware widerspiegeln.

Während wir uns auf umgebungsbasiertes Ambient Assisted Living und Pervasive Healthcare konzentrieren, muss auch die Einbindung externer Geräte berücksichtigt werden. Extern bedeutet hierbei: extern im physischen Sinne – d. h. außerhalb der Serviceeinheiten wie Wearable Health Monitoring Devices – und extern in dem Sinne, dass die Geräte von anderen Herstellern stammen können (Torbensen, 2008), wie etwa ein aktivitätsfördernder Stuhl für Senioren und „Best Ager“, oder eine Küchenhilfe, die Kochaktivitäten unterstützt (Kranz et al., 2007). Eine geeignete Middleware unterstützt idealerweise (offene) Standards und wird von einer großen Gemeinschaft getragen (Kranz et al., 2007).

2.5 Soziale Herausforderungen

Nachdem die Maschine-Mensch-Schnittstelle (computer-human interface, CHI), die den Menschen in den Mittelpunkt rückt, neben der Funktionalität der entscheidendste Part hinsichtlich Usability und Akzeptanz eines jeden (digitalen) Systems ist, müssen Präsentation und Interaktion mit Information bereits zu einem frühen Zeitpunkt im Entwicklungsprozess berücksichtigt werden. Damit eingeschlossen ist auch die Möglichkeit, Bewegungs- und Interaktionszeiten zu simulieren und vorherzusagen, z.B. um auf einer makroskopischen Ebene von einem Interaktivitätspunkt zu einem anderen zu gelangen, aber auch die notwendige Zeit, um eine räumliche Geste zur Systemeingabe zu vollführen. Mindestens ebenso wichtig wie die Simulation der Kommunikationsnetze ist daher die Simulation von Physikalität. Während Technologie, Hard- und Software notwendig sind, um physische Gegebenheiten zu erkennen und aus Sensordaten Bedeutung konstruieren, ist es ebenso wichtig, nicht nur Technologie, sondern Menschen zu verbinden – Familienmitglieder, Helfer und Pflegeempfänger. Dies schließt Geräte wie das CareNet Display (Consolvo et al., 2004) ein, aber auch soziale Netzwerke wie Twitter oder das Internet der Dinge. Idealerweise verbindet eine pervasive Middleware nicht nur Geräte mit dem Internet der Dinge, sondern auch Menschen – Helfende, Pflegebedürftige und Familien – zu einem „Netzwerk der Unterstützung“ (Kranz, Roalter & Michahelles, 2010). Verschiedene Middleware-Systeme, wie GAIA (Román et al., 2002) und MundoCore (Aitenbichler et al., 2007), wurden in dem relative jungen Feld des Pervasive Computing vorgestellt und genutzt. Die Herausforderungen verteilter multimodaler Informa-

tionsverarbeitung, die heterogene Ein- und Ausgabetechnologien verbindet, haben sehr unterschiedliche Anforderungen an eine Middleware. Bedauerlicherweise ist die Wiederverwertbarkeit und letztlich die Entwicklung in diesem Bereich meist auf die ursprünglichen Entwickler einer bestimmten Middleware beschränkt, und es ist noch keine Community entstanden, um das ambitionierte Ziel einer vereinten Middleware zu verfolgen. Bestehende Systeme wurden daher nicht für einen langen Lebenszyklus und die Einschließung zukünftiger Anforderungen und aufkommender Technologien designt.

Wir sehen daher die Middleware als einen extrem wichtigen Faktor auf dem Weg zu einsetzbaren und funktionierenden Systemen. Unter dem Gesichtspunkt der Kombination von Architektur, Pervasive Computing und Robotik schlagen wir das Robot Operating System (ROS) als Middleware für verteilte Sensor-Aktor-System in assistiven Umgebungen vor (Kranz et al., 2010) (Roalter & Kranz, 2010).

2.6 Kulturelle Herausforderungen

In Japan werden pervasive Technologien und insbesondere Dienstleistungsroboter bereits seit längerer Zeit als elementarer und natürlicher Bestandteil im Umgang mit dem Problem der älter werdenden Gesellschaft gesehen. Es sind daher heute mehrere Roboter im fortgeschrittenen Entwicklungsstadium, die mit Menschen kommunizieren ("PaPeRo", NEC), interagieren ("Emiew", Hitachi) oder komplexe Dienstleistungsaufgaben ausführen können ("Hospi", Matsushita). Darüber hinaus sind naheliegende Robotik-Subsysteme wie Roboterhände ("Tendy-One", Waseda University), Robotic Suits ("HAL", Cyberdyne) und Roboter-Kontrollinterfaces ("Brain Machine Interface", Honda) Kernpunkte sowohl wissenschaftlicher als auch kommerzieller Forschung. Eine verbreitete Charakteristik der japanischen Forschung ist, dass die meisten Dienstleistungslösungen bewusst als "humanoide" oder "mobile" Systeme designt sind, da offensichtliche Robotiksysteme auf breiter Basis von Pflegeempfängern und Pflegern akzeptiert und gewünscht werden.

In Europa sind allerdings andere Strategien für eine erfolgreiche Einführung von high-tech-basierten Diensten, Gesundheits- oder Rehabilitationstechnologien erforderlich, da "sichtbare" Robotersysteme hier stark mit Fabrikationsaufgaben und den Attributen "dull, dirty and dangerous" in Verbindung gebracht werden. Daher muss die Roboter-Serviceeinheit betont als nahtloser „immobiler Roboter“ designt werden und in eine Serviceumgebung als unsichtbarer und hochgradig anpassbarer Begleiter integriert werden, der gesundheits- und altersbedingte Behinderungen mit einem hohen Autonomiegrad unterstützt.

3 Das Potenzial der Robotik in Ambient Assisted Living und Pervasive Healthcare

Um eine nachhaltige Implementierung von Pervasive Health-Technologien zu garantieren, wurde ein Konzept für skalierbare, kompakte, hochgradig modulare und anpassbare Serviceeinheiten aus den oben diskutierten Herausforderungen abgeleitet, designt als Alternative zu einem vollvernetzten Heim oder Gebäude. Im Kontext von Servicerobotern und motorisierten Systemen wie steuerbaren Betten oder Küchenoberflächen, ist die Robotik bereits in Pflegeszenarios bekannt. Mit der Annäherung an unterstützende Umgebungen, dem Angebot von Diensten und Anwendungen und der Unterstützung der Bewohner basierend auf verteilten Sensorsystemen – von Presence Detection bis hin zu medizinischer Überwachung – können wir Geschwindigkeit und Support in der Entwicklung signifikant verbessern und damit Kosten und Hindernisse für die Inbetriebnahme verringern, da entsprechende Pervasive

Computing-Anwendungen existieren. Bis jetzt gab es jedoch noch keine realisierbaren Wege, diese tatsächlich in heutige Heime zu integrieren.

Kürzlich entwickelte deutsche Prototypen pervasiver Heime wie das "Haus der Gegenwart"¹ und das "Haus der Zukunft"² sind beispielhaft mit einer Vielzahl vernetzter Technologien ausgestattet, die in modernes und „teures“ Design integriert sind. Beide Häuser fungieren als Demonstrationsobjekte und Technologieträger, die eine Diskussion anregen und fördern, ähnlich unserem funktionalen Labormodell. Nichtsdestotrotz sprechen beide Ansätze Themen wie Modularität oder Interoperabilität auf einer physischen, digitalen oder Diensteebene nicht hinreichend an – nur architektonisch. Die beschriebenen Ansätze verlangen daher, dass Häuser komplett neu errichtet oder kostenaufwändig umgebaut werden. Im Gegensatz zu der Roboter-Serviceeinheit erlauben diese Ansätze keine graduelle Implementierung und Erweiterung, einfaches "Upgrading" oder kontinuierliche Anpassung (Hutchinson et al., 2003) bestehender Umgebungen, was als essentiell für die Umsetzung von Pervasive Health-Umgebungen gesehen werden kann, wie zuvor dargelegt. Andere Beispiele eines assistiven Heims wie "House_n"³ und das "Toyota PAPI House" (Shimizu, 2005) bieten eine größere Flexibilität, die durch modulare und offene architektonische Konzepte erreicht wird. Sie nutzen jedoch nicht vollständig das Potential dieses Ansatzes und setzen immer noch voraus, dass grundlegende Teile des Gebäudes und seiner Infrastruktur von Grund auf aufgebaut werden müssen. Die Skalierbarkeit beider Systeme ist auf neuerrichtete Umgebungen beschränkt; sie sind ebenso nicht explizit für die Einrichtung in bestehende und natürlich gewachsene Umgebungen konzipiert. Obwohl das "Toyota PAPI House" auf modularen und industriell massengefertigten Einheitsteilen basiert, die im Rahmen eines sogenannten "skeleton and infill"-Ansatzes produziert werden, ist nicht vorgesehen, diese vorkonfigurierten High-Tech-Einheiten in ein bestehendes Heim einzufügen.

Unser Ansatz begegnet diesen Punkten, indem "Pervasive Healthcare"-Subsysteme mittels eines hierarchisch strukturierten und in hohem Maß skalierbaren vorgefertigten Systems von Komponenten zusammengesetzt werden können. Dieses kann als adaptives, fortlaufend veränderbares Subsystem in existierende "Low-Tech"-Zuhause installiert werden. Die hierbei integrierten Healthcare-Subsysteme sind Teil eines offenen und modularen Komponentensystems, das mit Sensorgruppen konfiguriert, vorinstalliert und erweitert werden kann, für Echtzeitüberwachung von Vitalfunktionen, invasive und nicht-invasive medizinische Messfühler, Medikamentionskontrolle, telemedizinische Kommunikationseinheiten, intelligente und unterstützende Apparaturen, sowie aktive und physisch unterstützende mechatronische und Roboter-Serviceeinheiten. Nur personalisierte, zu einem gewissen Grad autonome und integrierte Sensorgruppen, assistive Technologien und Dienste sind in der Lage, zwei oder mehr gleichzeitig vorhandene chronische Zustände zu kompensieren, die bei der Pflege von Senioren im eigenen Heim typisch sind. Für eine eingehendere Diskussion und Typologie modularisierter AAL-Serviceeinheiten sei der Leser auf (Linner et al., 2010). verwiesen.

¹ Haus der Gegenwart, München, <http://www.haus-der-gegenwart.de>

² T-Com House, Siemens, Telecom Laboratories Berlin

³ MIT House_n, http://web.media.mit.edu/~kll/AA_OSBA%20.pdf

3.7 Systemkomponenten

Die Roboter-Serviceeinheit setzt sich aus zwei grundlegenden Systembestandteilen zusammen. Erstens dienen verschiedene "service unit frames" als Plattform oder "chassis" in einem physischen und digitalen Sinn. Zweitens erlauben durch pervasive Technologie integrierte Gruppen kompatibler Subsysteme die Anpassung der Serviceeinheit an unterschiedliche Bedürfnisse und multidimensional gesundheits- und altersbedingte Behinderungen, wie bereits ausgeführt. Die fundamentale Umwandlung eines normalen Zuhauses in eine Pervasive Healthcare-Umgebung ist in Abb. 1 dargestellt: Die notwendige Funktionalität für einen bestimmten Pflegeempfänger wird von verschiedenen Teilen eines Zuhauses zu einer dedizierten, kompakten und assistiven Roboter-Serviceeinheit überführt.

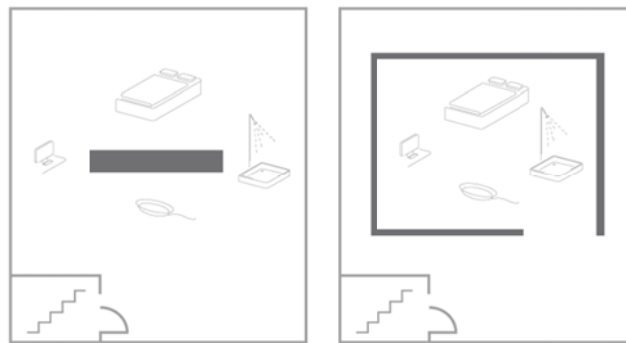


Abbildung 1: Links: Implementierung der Central Type Unit: Externe Orientierung von Funktionen und damit verbundenen pervasive Technologien um einen Zentralen Servicekern; Rechts: Implementierung der Room-in-room Type Unit: Nach innen gerichtete Orientierung von Funktionen und damit verbundenen pervasiven Technologien; vergleichbar mit der Implementierung vorgefertigter Nasszellen.

Typen von Serviceeinheiten als Integrationsplattform

Zum gegenwärtigen Zeitpunkt ist selbstständiges Leben in einem konventionellen, "Low-Tech"-Zuhause für ältere Menschen in vielen Fällen unmöglich. Insbesondere in späteren Lebensabschnitten ändern sich Gewohnheiten und Lebensstil dramatischer als in früheren Phasen des Lebens. Unvorhergesehene Erkrankungen und fortschreitende Beeinträchtigungen machen bestehende Häuser oder Wohnungen möglicherweise von einem Tag zum anderen für ältere Bewohner ungeeignet. Eine Möglichkeit zur Umgestaltung des bestehenden Zuhauses oder die Einbringung unterstützender Technologien wäre dann erforderlich. Heute ist dies eine komplexe, zeit- und kostenaufwändige Angelegenheit, die ältere Menschen oft zum Umzug zwingt. Der vorgestellte Ansatz vereinfacht diesen Prozess, indem er eine kompakte, modulare und adaptive Serviceeinheit bereitstellt, die mit genau den nötigen unterstützenden Technologien ausgestattet ist. Die Serviceeinheit ist eine hochgradig kompakte Einheit, die in bestehenden Wohnungen oder Häusern sofort und mit minimalem Aufwand als unabhängiges Submodul installiert werden könnte. Sie kann als Integrationsframework für von einer Servicefirma vorkonfigurierte Technologien betrachtet werden. Die Installationszeit einer solchen Einheit könnte auf weniger als 2 Tage geschätzt werden. Nachdem die Serviceeinheit in das Zuhause eines Pflegeempfängers integriert werden soll, wird seine/ihre vertraute und angenehme Umgebung größtenteils beibehalten, während gleichzeitig die zum aktuellen Zeitpunkt notwendige Healthcare-Technologie bereitgestellt wird, die es der pflegebedürftigen Person erlaubt, in ihrer vertrauten Umgebung zu bleiben. Der modulare Aufbau

erlaubt das Ersetzen und Hinzufügen zusätzlicher Funktionalität, falls und wann immer es nötig ist. Generell können zwei Typen von Einheiten unterschieden werden:

Mit der Central Type Unit könnten assistive Szenarios, ebenso wie Badezimmer- und Küchenfunktionen (hohe Bedeutung bei Störungen oder Behinderungen) in kompakter Weise um den Service Core arrangiert werden (siehe Abb. 1 links). Die Room-in-room Type Unit skizziert eine sogar noch extremere und kompaktere Variante und implementiert einen neuen Raum als unabhängige Subentität in bestehenden Umgebungen (siehe Abb. 1 rechts). Beide Varianten bieten den Vorteil, dass alle Funktionen für eine selbstständige Lebensweise auf minimalem Raum organisiert werden, und der Bewegungsaufwand auf ein Minimum reduziert wird, während Aktivität und Gesundheitszustand hochpräzise erfasst werden.

Servicefunktionen als Subsysteme in der Architektur

Um auf die diskutierten Design-Herausforderungen einzugehen, wenn konventionelle Funktionen durch pervasive Technologien zu einer integrierten assistiven Umgebung ergänzt werden sollen, muss die gängige Vorgehensweise im Umgebungsdesign überdacht werden. Jede Art von Gestaltung oder von architektonischem Raum kann über Hierarchien definiert werden (Kranz et al., 2010). In der konventionellen Architektur bedeutet dies, dass die Funktion eines Raumes durch alle seine Subsysteme (Wände, Einrichtung, Türen, Installation, Geräte, ...) definiert ist, sowie ihre Anordnung und die daraus entstehenden Synergien. Auf einer höheren Ebene kann ein Haus definiert werden als Organisation von Räumen und Stockwerken, die als Subsysteme zusammenarbeiten, um das System "Haus" als Ganzes zusammenzusetzen.

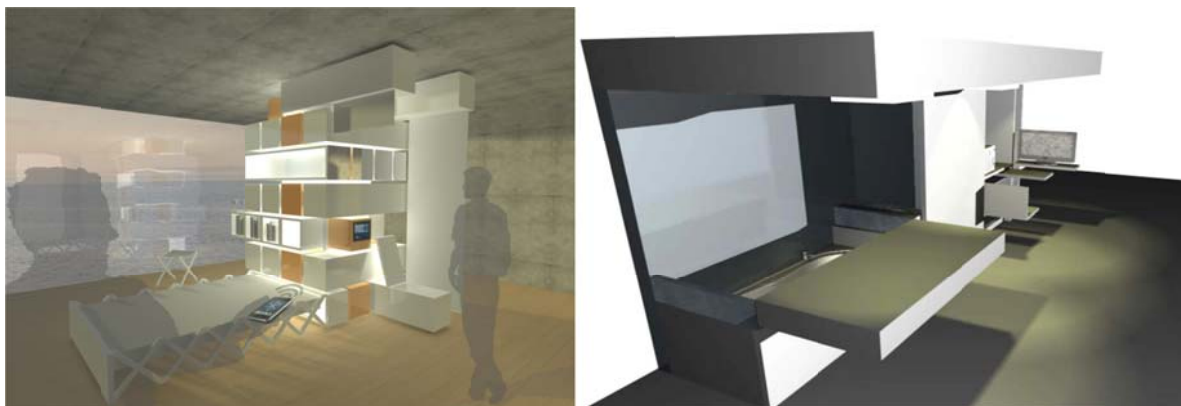


Abbildung 2: (links) In einer Wohnung platzierte Serviceeinheit, um Funktionalitäten zu organisieren (Bildquelle: V. Geywitz, TUM), (rechts) Service Wall mit mechatronikgestützter Funktionalität und intelligenten Anwendungen, die Einrichtung, Wand und assistive High-Tech-Funktionen zu einem High-Performance-System vereinen (Bildquelle: P. Graab)

Die Nachbarschaft, die Häuser selbst, Straßen und andere Bestandteile würden wiederum Subsysteme darstellen, die in ihrer Kombination ein Gesamtsystem bilden. Es existiert also in der Architektur eine systemische Methode, um Funktionen und Räume zu definieren. Erst seit kurzer Zeit kommt eine Vielzahl neuer Module auf, die eingebettet oder ausgestattet sind mit Technologien aus dem Bereich der Mikrosystemtechnologie und IKT, und unsichtbarer Teil unserer Lebenswelt werden. Räume oder Wände können mit Interfacetechniken, Sensoren (Wimmer et al., 2006), Aktoren, unterstützenden Technologien, Healthcare- und Wellness-Systemen ausgestattet werden. Diese und viele solcher High-Tech-

Systeme mehr werden gegenwärtig entwickelt – und noch viele weitere in der Zukunft. Um diese neue Komplexität zu kontrollieren, sollte die zuvor beschriebene Methode der Definition von Räumen, Modulen und Komponenten durch ihre Subsysteme nicht nur physikalische Entitäten berücksichtigen (Räume, Fenster, Türen, ...), sondern auch die neue Vielzahl eingebetteter IKT-erweiterter Funktionalitäten und digitaler Dienste im Zusammenhang mit Ubiquitous Computing und Pervasive Healthcare, beispielsweise Ortsbestimmung und kontextsensitive Dienste (Kranz et al., 2006). Bisher waren diese nichtphysikalischen oder hybriden Funktionalitäten weder in wissenschaftlicher noch praktischer Architektur expliziter Forschungsgegenstand. Es ist immer noch üblich, dass die Architektur den physischen Raum definiert, der später oft von anderer Seite mit “losen” und nichtintegrierten assistiven und pervasiven Technologien und/oder Heimautomationskomponenten ausgestattet wird. Die endgültige Funktionalität, die tatsächlich aus einer integrativen Kombination traditioneller “passiver” und neuartiger pervasiver “aktiver” Systeme bestehen würde, ist von Architekten nicht vorgesehen oder explizit geplant, da noch kein allgemein anerkanntes Framework oder ein Erkenntnisstand darüber existiert. Um Leistungsfähigkeit und Potential von Wohnräumen und anderen physikalischen Räumen voll auszuschöpfen um “Multimorbidität” gerecht zu werden, muss die Roboter-Serviceeinheit auf einer neuen Sprache zur Definition komplexer Pervasive Health-Umgebungen durch integrierte Subsysteme basieren.

3.8 Leistung des Systems

Darüber hinaus muss die Serviceeinheit als System, das sowohl die Plattform als auch kompatible Servicefunktionen einschließt, als unsichtbares und “immobiles” Robotiksystem designt werden. Die Use-case-spezifischen Subsysteme sind nicht nur vernetzt und steuerbar, sondern arbeiten nahtlos Hand in Hand, unbemerkt und zu einem hohen Grad autonom und proaktiv im Hintergrund der Umgebung. Die Roboter-Serviceeinheit macht sich das Konzept verteilter und in die Umgebung eingebetteter Robotiksysteme zunutze, und erlaubt dabei den verteilten Systemen, im Interesse des Pflegeempfängers miteinander zu interagieren.

Statische Umgebungen, die um verteilte Sensor-Aktor-Systeme erweitert wurden, eine bestimmte Autonomie besitzen, und in der Lage sind, ihre komplexen internen und externen Funktionen zu steuern, werden als “ImmoBots” (Immobil Robots) bezeichnet (Williams & Nayak, 1996). Solche Systeme schließen u.a. auch vernetzte Gebäude-steuerungssysteme ein.

Eine gemeinsame Eigenschaft von “ImmoBots” ist die Fähigkeit, ihre internen Subsysteme autonom zu steuern, um bestimmte Ziele zu erreichen, z. B. mentalen Stress bei den Menschen zu reduzieren, die mit ihnen interagieren. Das Konzept der Roboter-Serviceeinheit ist es, diesen Ansatz autonomer und belastungsreduzierender Selbstkontrolle komplexer Netzwerke aus Subsystemen aufzugreifen. Es ist unser Ziel, ältere Menschen mit fallspezifischen Zusammensetzungen von Subsystemen pervasiver Technologien in ihrem Zuhause zu unterstützen. Durch den Ansatz, Robotiksysteme in Umgebungen zu verteilen und zu integrieren, ist das Ziel der Roboter-Serviceeinheit sowohl die Überbietung des konventionellen Smart Home-Ansatzes, der immer noch einen vielfältigen Kontrollaufwand erfordert, als auch das Erreichen einer höheren Akzeptanz von Robotiksystemen, wie zuvor diskutiert (siehe Abschnitt 2.6).

3.9 Entwicklungsprozess

Um ein Wertsystem zu erschaffen, das Pervasive Health- und Servicetechnologie näher an Pflegebedürftigen, ihren Verwandten und Pflegern heranrückt, ist ein multidisziplinäres Forschungs- und Entwicklungsteam erforderlich. Einen Hauptpunkt während der Entwicklung des Konzeptes der Serviceeinheit stellte die stete Balance der Anforderungen in den beteiligten Forschungsfeldern dar, die sich aus den oben diskutierten Herausforderungen ergaben. Die Wohnungswirtschaft und damit verbundene Geschäftsmodelle wurden im Zentrum des Netzwerks des Wertsystems angesiedelt. In einer zweiten Phase wurden Entwurfsregeln für Module und Technologiepakete des Serviceeinheiten-Komponentensystems formuliert, um die Einbindung von Fachwissen der teilnehmenden Forschungsfelder zu erleichtern. Darüber hinaus stellt die Roboter-Serviceeinheit einen ersten Schritt dar hin zu einer fakultätsübergreifenden Initiative zur Erstellung modularer, skalierbarer und umgebender integrierter Pervasive Health-Umgebungen, die darauf abzielen, einen Satz an hochqualitativer Pflege- und Medikationstechnologie, telemedizinischen Diensten und High-Tech-Betreuungstechnologie in bezahlbarer Weise in ein bestehendes Low-Tech-Heim zu bringen, und damit in den direkten Einflussbereich von Pflegenden, Pflegebedürftigen und Ärzten.

3.10 Systemintegration

Wie bereits erörtert, ist das wichtige Thema der Middleware, um es deutlich zu sagen, noch nicht ausreichend im Bereich des Pervasive Computing behandelt. Indem wir aus verteilten Sensor- und Aktor-Komponenten bestehende Serviceeinheiten als ImmoBots betrachteten, nahmen wir die Sichtweise eines Robotik-Entwicklers auf verteilte, heterogene und miteinander kommunizierende „Pervasive Computing“-Systeme ein. Im Rahmen des vorgestellten interdisziplinären Ansatzes untersuchten wir den aktuellen Forschungsstand auf dem Gebiet Middleware verteilter Sensorik und Aktorik. Ein erfolgreicher Transfer und Anwendung der Robotik-Middleware Player (Collet et al., 2005) im Bereich von Pervasive Computing wurde bereits gezeigt (Kranz et al., 2007). Player wurde von der Robotik-Community gemeinsam entwickelt, ist seit mehr als 10 Jahren der Defacto-Standard und hat einen Reifegrad erreicht, der weit über andere Pervasive Computing-Systeme hinausgeht. Die (abwärtskompatible) Nachfolge-Middleware ROS (Robot Operating System) (Quigley et al., 2009) beinhaltet viele moderne Konzepte verteilter Architekturen, wie dezentrales Peer-to-Peer-Networking, Publish-Subscribe-Informationsverteilung oder bidirektionale Dienste zwischen Komponenten. Die Middleware beinhaltet neben einer Vielzahl von Sensorik- und Aktoriksystemen auch Visualisierung und Simulation, und zwar sowohl des Informationsflusses, als auch des physikalischen Raumes unter Verwendung von z.B. den OGRE (Open Source 3D Graphics Engine) und ODE (Open Dynamics Engine) Open Source-Engines. Damit ist es möglich, 3D-Objekte in CAD-Manier zu entwerfen, als STL Dateien zu exportieren und in ROS/Gazebo zu importieren um ihre Interaktion zu erforschen und exakt dieselbe Information zu senden wie später das fertige Sensor-Aktor-System – noch vor Beginn jegliches physikalischen Prototyping. Damit reduzieren sich die benötigte Zeit für iterative Entwicklung und Refinements, ebenso wie die Kosten. Außerdem können auch die physikalischen Wege, die ein Mensch in einer solchen Umgebung zurücklegen müsste, schon während der Entwicklungsphase in der Middleware vorhergesagt, berechnet und optimiert werden. Dies hat auch eine Auswirkung auf die Vorherbestimmung der Interaktionszeiten mit den verschiedenen digitalen Systemen. Das Miteinbeziehen von Real-World-Simulationsfähigkeiten stammt z.B. aus SLAM in der Robotik, wo Algorithmen immer wieder erneut

getestet werden müssen, aber, wie hier, reale Experimente teuer sind und daher nicht für jeden Testdurchlauf durchgeführt werden können.

Die vorgestellten Serviceeinheiten wurden zunächst von einem Architekten zusammen mit einem Experten aus dem Bereich des Assisted Living als CAD-Modell gestaltet. Sie wurden danach in Form eines virtuellen Modells unter Verwendung der angesprochenen Middleware entwickelt, und anschließend als physikalisches Labormodell implementiert, um die Diskussion mit Pflegeempfängern als Endnutzern zu ermöglichen und anzustoßen.

Wurden die Sensoren in der Simulationsphase virtuell modelliert, senden die realen Sensoren, über ihre Treiber, dieselben Ereignisse und Daten wie in der Simulation. Dadurch kann assistive Software aufbauend auf den entsprechenden Einheiten entwickelt und ohne jegliche Änderungen im Code nach der Implementierung des Labormodells und schließlich in der physikalischen 1:1-Serviceeinheit wiederverwendet werden.

3.11 Überblick über das System

Wir stellen den gegenwärtigen Zustand der Implementierung und des Entwicklungsprozesses modularer Serviceeinheiten für assistive Umgebungen vor. Wir haben ein physikalisches Labormodell entwickelt, das in Form eines Technologieträgers die Verifikation von Nutzen und Usability für Pflegebedürftige ermöglicht. Aus Platzgründen verweisen wir auf (Kranz et al., 2010) für detailliertere Information.

Die Funktionalität der Serviceeinheit wird anhand des Labormodells beispielhaft erläutert. Während sich die Sensoren einer zukünftigen Serviceeinheit aufgrund der Zertifizierungsvoraussetzungen für Health Care-Technologie unterscheiden werden, werden Daten und generierte Ereignisse durch die Verwendung von ROS unverändert und endgültig sein, ebenso wie die Anwendungen nicht geändert werden müssen. Diese Transparenz für die Anwendungsentwicklung ist ein wichtiger Aspekt, um den Aufwand des Wissenstransfers vom Modell auf die reale Welt gering zu halten, und eine Parallelisierung der Entwicklung zu ermöglichen. Assistive Anwendungen können entwickelt werden, während Designer, Architekten und Pflegekräfte über Anzahl, Größe und dem Nutzer gezeigte Funktionalität sprechen. Es ist wichtig, noch einmal zu betonen, dass die Middleware die Substitution von Sensoren (vom Labormodell zur Realeinheit) erlaubt, ohne die Anwendung zu verändern, solange das Interface der Sensortreiber beibehalten wird. Für Details über die Konzepte von ROS sei der Leser an (Quigley et al., 2009) verwiesen.

Das Labormodell (Abb. 5) enthält 12 modulare motorisierte Einheiten für on-demand verfügbare Servicefunktionen, einen Touch-Sensor für jeden Bereich, PIR-Sensoren für allgemeine Präsenzerkennung, eine deckenmontierte funktionale Farbkamera für Sturzerkennung, Tracking und Aktivitätserkennung, mehrere RFID-Leser und eingebettete Tags in alltäglichen Objekten, ein Wave-Sound-Outputmodul für Audiofeedback, sowie ein Labormodell eines Touchscreen-Fernsehgeräts für komfortable Audio-/Video-Kommunikation mit dem Pflegeempfänger, das durch multimodale Mensch-Maschine-Interaktion potentiellen Beeinträchtigungen der Bewohner Rechnung trägt. Im Labormodell wurden verschiedene CHI-Geräte (computer-human interface) experimentell implementiert, um ihre Anwendbarkeit zu testen und Lösungsräume für die diskutierten fundamentalen Herausforderungen in der Kommunikation zu definieren. Für Details sei der Leser auf (Kranz et al., 2010) verwiesen. Eine prototypische Implementierung erfolgte auf der Arduino Open-Source Plattform (siehe Abb. 6).

Die Middleware enthält neben Treibern und Abstraktionsschichten von den spezifischen Instanzen von Sensoren und Aktoren die Kontrolllogik. Nicht erlaubte Zustände und Aktionen werden unterbunden: die Kochplatte etwa kann nicht in der Wand versenkt werden, wenn Töpfe darauf stehen. Dies ergänzt andere unterstützende Systeme wie intelligente Messer oder Küchen (Kranz et al., 2005, 2007). Eine ähnliche Logik (angefangen von einer physikalischen Kollisionsdetektion bis hin zu komplexer modellierten Abhängigkeiten) hält Systeme davon ab, sich zu öffnen wenn der Pflegende sich zu nahe daran aufhält, oder das in der hinteren Wand versteckte Bett (siehe Abb. 5) kann nicht ausgefahren werden, wenn das Waschbecken auf der linken Seite genutzt wird.



Abbildung 3: Voll funktionsfähige experimentelle 1:1-Modelle intelligenter Service-Subsysteme des Room-in-room-Typs, die mittels standardisierter Plug&Play Schnellverbinder physisch und informationstechnisch an das Gesamtsystem angebunden werden.

Diese grundlegenden Sicherheitsprüfungen werden regelbasiert berechnet, etwa aus den Abmessungen einer Komponente im Raum und einem zusätzlichen Sicherheitsabstand. Im Falle von fehlerhaften Benutzeranforderungen schließt das System entweder automatisch im Weg stehende Module oder fährt sie zurück, wenn die Sensoren keine Nutzung feststellen, oder lösen eine hörbare oder audiovisuelle Warnung aus, die den Nutzer unterstützt. Neben einer automatischen Regelanwendung können manuelle Regeln von Designern, Architekten oder Systementwicklern hinzugefügt werden.

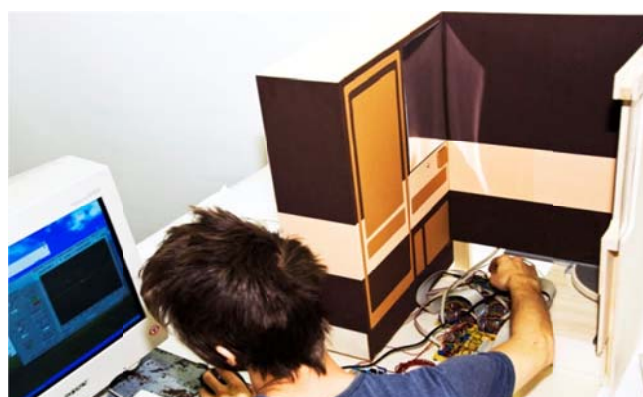


Abbildung 4: Modelldemonstrator einer Serviceeinheit, Maßstab 4:1. Diese beispielhafte Serviceeinheit ist eine Implementierung der in Bild 1 gezeigten Funktionalität: Badezimmer, Küche und Schlafzimmer. Das Bett ist in der hinteren Wand verborgen, die Badezimmerfunktionalität befindet sich an der linken Wand hinter und unter dem Spiegel, und die Kochfunktionalität ist in der linken Abteilung der linken Wand untergebracht. Sowohl das verwendete Robotiksystem als auch die Steuerungsmiddleware ist für beide Systeme identisch.

Die Regeln sind zu jeder Zeit auf maximale Sicherheit ausgerichtet, da sich die Zielgruppe möglicherweise nicht in jedem Fall über die Konsequenzen ihrer Handlungen bewusst ist.

4 Potenzial der Massenfertigung von Personalized Pervasive Healthcare

Das vorgestellte Konzept der Serviceeinheit zielt auf eine Verwirklichung kundenindividuell massenfertigter, performancegesteigerter, zuverlässiger und erschwinglicher Ambient Assisted Living-Umgebungen, indem neueste Strategien in komponentensystembasierter Gebäudearchitektur und Produktion, ebenso wie Kundenintegrationsstrategien umgesetzt werden. Dies bedeutet ein immenses Potential für assistive Umgebungen, Pflege und medizinische Unterstützung zu Hause unter der Nutzung von Pervasive Healthcare-Technologie.



Abbildung 5: Individueller Ausbau vorgefertigter und hochinstallierter Wohneinheiten auf dem Fließband in Japan.

Japanische Vorverarbeitungsfirmen wie Toyota Home (Skeleton and Infill) und Sekisui Heim (Unit Method) haben Komponentensysteme und ähnliche Fließbandstrategien erfolgreich auf die Wohnungswirtschaft übertragen. In Fabriken werden als "Chassis" dienende Stahlskeletteinheiten auf einer 400m langen Produktionsstraße an die Bedürfnisse der Kunden angepasst. Je nach der Größe des Hauses werden 10-15 dieser Stahlgerüsteinheiten später an Ort und Stelle zu einem kompletten Haus zusammengebaut.

Das Konzept der Serviceeinheit führt diesen beispielhaft gezeigten Fertigungsansatz sogar einen Schritt weiter, indem die Einheiten in der Größe reduziert und für den Einbau in ein bestehendes Heim noch kompakter gestaltet werden, und zwar durch die Integration so vieler assistiver, modularisierter und intelligenter High-Tech-Subsysteme, Sensoren und Aktuatoren wie möglich auf reduzierter Fläche. Ähnlich wie in der Automobilindustrie bestehen Serviceeinheiten aus Kits, die Komplexität auf einer kompakten Einheit oder Wand konzentrieren, und dadurch eine industrielle hochqualitative und kostengünstige Herstellung in einer hochkontrollierten Produktionsumgebung ermöglichen. Weitere Details über das Potential industrieller Massenfertigung und dem Aufbau von Ambient Assisted Serviceeinheiten werden in (Linner et al., 2010) beschrieben. Ebenso wie ein Desktop-Computer kann die vorgestellte Robotik-Serviceeinheit über skalierbare modulare Sets von standardisierten Sensoren, medizinischen Geräten, Heimautomationskomponenten, intelligenten Hausgeräten, High-Tech-Mechatronik und Robotik-Servicegeräten angepasst und personalisiert werden, um auf effiziente Weise multiple Gesund-

heits- bzw. Assistenzanforderungen zu erfüllen und zwei oder mehr vorhandene chronische Einschränkungen auszugleichen, welche Multimorbidität ausmachen. Indem sie sich dem Verlauf der Krankheit und der medizinischen Behandlung anpassen, unterstützen Roboter-Serviceeinheiten unterbrechungsfreie Updates und eine einfache Neukonfiguration durch Service Provider, Ärzte, Verwandte oder Pflegebedürftige selbst. Die Systemarchitektur und die hardware- und softwareseitigen Systemkomponenten wurden designt, um sowohl Anpassungen als auch nahtlose Updates zu ermöglichen.

5 Zusammenfassung

Wir haben die multidimensionalen, interdisziplinären Herausforderungen erörtert, die im Entwicklungs- und Designprozess von assistiven Pervasive Healthcare-Technologien involviert sind.

Wir haben das Konzept modularer Servicekomponenten als alternativen Ansatz zum voll vernetzten Heim eingeführt, und die Vorteile des vorgeschlagenen Ansatzes dargelegt. Es wurde über den von uns verfolgten Entwicklungsprozess berichtet, und die relevanten medizinischen und technologischen Faktoren und Herausforderungen wurden erörtert und in den Kontext der Forschung eingegliedert. Mit der Beschreibung der verwendeten Middleware, die eine Simulation von physischen und digitalen operationalen Sequenzen ermöglicht, und die Trennung und Parallelisierung der Entwicklung von Sensorik und Aktorik, Anwendungsentwicklung und –aufbau erlaubt, haben wir das Potential der Robotik für zukünftige assistive Pervasive Healthcare-Umgebungen aus einer sehr interdisziplinären Perspektive hervorgehoben – von der Architektur bis hin zur Systementwicklung. Wir haben auch das tatsächliche Potential für die Massenfertigung von Serviceeinheiten basierend auf den vorgestellten Konzepten untersucht, was die Integration angepasster und personalisierter Pervasive Healthcare-Systeme in zukünftige Heime erlaubt.

Die weitere, zukünftige Arbeit umfasst die Modellierung des Menschen als “Roboter” in der Middleware, inklusive des menschlichen Bewegungsapparats. Dies ermöglicht eine genauere Abschätzung von Interaktions- und Bewegungszeiten (z.B. um von A nach B zu gehen, ein physikalisches Objekt zu greifen, aufzunehmen oder abzulegen, und damit zu interagieren), insbesondere für Menschen mit körperlicher Behinderung, und eine Integration dieser Information in den Entwicklungsprozess, um die Mensch-Maschine-Interaktion zu optimieren. Darin eingeschlossen ist die Modellierung verringerter Sensibilität und Mobilitätsmodelle älterer Menschen, so dass interaktive Systeme bereitgestellt werden können, die in stärkerem Maße unterstützen und eingreifen (Kranz, Holleis & Schmidt, 2010) – wie sie in zukünftigen kooperativen Systemen notwendig sein werden.

Als Teil unserer zukünftigen Arbeit werden wir ergründen, wie viel und welche Information in physikalische Gegenstände eingebettet werden kann, um „embedded cognition“ zu ermöglichen, was eine In-situ-Unterstützung an Ort und Stelle bei diversen Aufgaben und für die Gesundheit im Allgemeinen für pflegebedürftige Menschen bedeutet.

6 Acknowledgements

Diese Arbeit wurde in Teilen von dem DFG Exzellenzcluster “CoTeSys — Cognition for Technical Systems” und von dem BMBF Forschungsprojekt „GEWOS – Gesund Wohnen mit Stil“ finanziert.

7 Literaturverzeichnis

- Van den Acker M, Buntinx F, Metsemakers JF, Roos S, Knottnerus JA. (1998). Multimorbidity in general practice: prevalence, incidence, and determinants of co-occurring chronic and recurrent diseases, *Pub Med J. Clin Epidemiol*, vol 51(5), pp 367-375
- VanderHart, GP (1998). The Housing Decisions of Older Households: A Dynamic Analysis. *Journal of Housing Economics*, vol. 7, Issue 1, pp. 21-48
- Linner T, Bock T (2009). Continuous Customization in Architecture: towards customizable intelligent buildings. In *Proceedings of MCPC2009 Conference on Mass Customization, Personalization and Co-creation*
- Bock T, Linner T. (2009). Service Oriented Design. In *proceedings of 2nd German Ambient Assisted Living Congress*
- Inittle S, Larson K, Tapia EM, Beaudin J, Kaushik P, Nawyn, J, Rockinson, R. (2006). Using a Live-in Laboratory for Ubiquitous Computing Research. *Intl. Conf. on Pervasive Computing*, pp. 349-365
- Kidd CD, Orr R, Abowd GD, Atkeson CG, Essa IA, MacIntyre B, Mynatt ED, Starner T, Newstetter W. (1999). The Aware Home: A Living Laboratory for Ubiquitous Computing Research. *Cooperative Buildings. Integrating Information, Organizations and Architecture*. pp. 191-198, ISBN 978-3-540-66596-0
- Larson K, Intille S, McLeish TJ, Beaudin J, Williams RE. (2004). Open Source Building – Reinventing Places of Living. *BT Technology Journal*, vol. 22(4), pp. 187-200
- Torbensen R. (2008). OHAS: Open home automation system. *IEEE Intl. Symposium on Consumer Electronics (ISCE)*, pp 1-4
- Kranz M, Holleis P, Schmidt A. DistScroll (2005). A New One-Handed Interaction Device, in: *ICDCSW '05: 25th IEEE International Conference on Distributed Computing Systems Workshops*, Washington, DC, USA, pp. 499-505
- Consolvo S, Roessler P, Shelton BE, LaMarca A, Schilit B, Bly S. (2004). Technology for Care Networks of Elders. *IEEE Pervasive Computing*, vol 3(2), pp. 22-29. ISSN 1536-1268
- Kranz M, Schmidt A, Maldonado A, Rusu BR, Beetz M, Hörnler B, Rigoll G. (2007). Context-Aware Kitchen Utilities. *Intl. Conference on Tangible and Embedded Interaction (TEI)*, pp. 213-214
- Aitenbichler E, Kangasharju J, Mühlhäuser M. (2007). MundoCore: A light-weight infrastructure for Pervasive Computing. *IEEE Pervasive and Mobile Computing*, vol. 3 (4). pp. 332-361. ISSN 1574-1192
- Linner T, Kranz M, Roalter L. (2010). Compacted and Industrially Customized Ambient Intelligent Service Units – Typologies, Examples and Performance. *Intl. Conference on Intelligent Environments 2010*
- Collet T, MacDonald B, Gerkey B. (2005). Player 2.0: Toward a Practical Robot Programming Framework. *Proc. of the Australasian Conf. on Robotics and Automation (ACRA)*
- Kranz M, Holleis P, Schmidt A. (2006). Ubiquitous Presence Systems. *Proceedings of the 2006 ACM symposium on Applied Computing (SAC '06)*, Dijon, France, pp. 1902-1909
- Román M, Hess C, Cerqueira R, Ranganathan A, Campbell RH, Nahrstedt K. (2002). Gaia: A Middleware Platform for Active Spaces. *ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications*, vol 6 (4). pp 65-67
- Williams BC, Nayak PP. (1996). Immobile Robots: AI in the New Millenium. *AI Magazine*, vol 17(3), pp. 16-35
- Kranz M, Schmidt A, Rusu RB, Maldonado A, Beetz M, Hörnler B, Rigoll G. (2007). Sensing Technologies and the Player-Middleware for Context-Awareness in Kitchen Environments. *Intl. Conf. on Networked Sensing Systems*. pp. 179-186
- Kranz M, Linner T, Ellmann B, Bittner A, Roalter L. (2010). Robotic Service Cores for Ambient Assisted Living, *4th International Conference on Pervasive Computing Technologies for Healthcare 2010 (Pervasive Health 2010)*
- Quigley M, Gerkey B, Conley K, Faust J, Foote T, Leibs J, Berger E, Wheeler R, Ng A. (2009). ROS: an open-source Robot Operating System. *Intl. Conference on Robotics and Automation*

- Hutchinson H, Mackay W, Westerlund B, Bederson BB, Druin A, Plaisant C, Beaudoin-Lafon M, Conversy S, Evans H, Hansen H, Roussel N, Eiderbäck B. (2003). Technology Probes: Inspiring design for and with families. Intl. Conf. on Human Factors in Computing Systems, pp. 17-24. ISBN 1-58113-630-7
- Shimizu N. (2005). A House of Sustainability: PAPI - Intelligent House in the Age of Ubiquitous Computing, in Architecture and Urbanism (AU)
- Kranz M, Holleis P, Schmidt A. (2010). Embedded Interaction: Interacting with the Internet of Things, IEEE Internet Computing, vol. 14, no. 2, pp. 46-53, Mar./Apr. 2010, doi:10.1109/MIC.2009.141
- Kranz M, Fisher C, Schmidt A. (2010). A Comparative Study of DECT and WLAN Signals for Indoor Localization. In: PerCom 2010: 8th Annual IEEE Int'l Conference on Pervasive Computing and Communications
- Kranz M, Schmidt A. (2005). Prototyping Smart Objects for Ubiquitous Computing. Proceedings of the International Workshop on Smart Object Systems, 7th International Conference on Ubiquitous Computing (UbiComp).
- Kranz M, Roalter L, Michahelles F. (2010). Things That Twitter: Social Networks and the Internet of Things. What can the Internet of Things do for the Citizen (CIoT) Workshop at the Eighth International Conference on Pervasive Computing (Pervasive 2010), Helsinki, Finland.
- Roalter L, Kranz M. (2010). A Middleware for Intelligent Environments and the Internet of Things. 7th Conference on Ubiquitous Intelligence and Computing (UIC)
- Wimmer R, Holleis P, Kranz M, Schmidt A. (2006). Thracker – Using Capacitive Sensing for Gesture Recognition. In ICDCSW '06: Proceedings of the 26th International Conference Workshops on Distributed Computing Systems, Washington, DC, USA, pp.64.