

LivingCare – Ein selbstlernendes, humanzentriertes Hausautomationssystem: Erhebung und erste Analysen einer umfangreichen Datenbasis aus einer realen Wohnsituation

Dipl.-Inform. Ralf Eckert, OFFIS-Institute for Information Technology, Oldenburg, Germany, eckert@offis.de

M.Sc. Sebastian Müller, Leuphana Universität Lüneburg, Germany, smueller@uni.leuphana.de

Dr. Sebastian Glende, YOUSE GmbH, Germany, sebastian.glende@youse.de

Prof. Dr.-Ing. Andreas Hein, Carl von Ossietzky University Oldenburg, Germany, Andreas.Hein@informatik.uni-oldenburg.de

Prof. Dr.-Ing. Ralph Welge, Leuphana Universität Lüneburg, Germany, welge@uni.leuphana.de

Kurzfassung

Im Rahmen von LivingCare wurde eine reale Seniorenwohnung mit einem umfangreichen Hausautomationssystem ausgestattet. In der Wohnung wurden insgesamt über 60 handelsübliche Sensoren/Aktoren verbaut. Das System sammelt die durch die Sensoren zur Verfügung stehenden Daten rein passiv. Es greift in keiner Weise in den Tagesablauf ein. Alle Aktionen wie z.B. Lichtsteuerung und Heizung werden weiterhin durch die Probanden gesteuert. Diese Daten werden über einen Zeitraum von 18 Monaten gesammelt. Dadurch wird einer der umfangreichsten Datensätze dieser Art entstehen, der bisher aufgezeichnet wurden. Die Daten werden im Verlauf des Projekts die Grundlage zur Entwicklung autonom lernender Algorithmen bilden. In der zweiten Projektphase soll die Steuerung des Hausautomationssystem durch diese Algorithmen erfolgen. Ziel ist es, ein an die Anforderungen der Bewohner angepasstes und mitwachsendes Hausautomationssystem zu erschaffen, das im Alltag wichtige Unterstützung leisten, zur Früherkennung von altersbedingten Verhaltensveränderungen beitragen, sowie wie Notfälle erkennen und Hilfe rufen kann.

1 Übersicht

Das LivingCare-Projekt wird vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert (V4ALS002). Die Autoren danken den Verbundpartnern Contronics (Koordination), EQ-3 und Deutsches Rotes Kreuz Oldenburg. Im Projekt arbeiten die verschiedenen Partner daran ein humanzentriertes Hausautomationssystem zu entwickeln, welches ältere Personen im eigenen Zuhause unterstützt und so ein längeres, eigenständiges Leben im eigenen Heim ermöglichen soll. Erreicht werden soll dieses Ziel durch verschiedene Faktoren.

- Es soll kostengünstige, leicht nachträglich in Bestandsbauten zu installierende Hausautomationstechnik verwendet werden.
- Es soll ein neuartiger Sensor für die zuverlässige Bestimmung der Anzahl von anwesenden Personen in einem Raum entwickelt werden.
- Das Hausautomationssystem wird nicht mit starren Regeln betrieben, sondern soll durch autonom lernende Algorithmen gesteuert werden.

Im Bereich der Softwareentwicklung wird besonderes Augenmerk auf die Entwicklung der autonom lernenden Algorithmen gelegt. Im späteren System sollen diese durch gezielte Eingriffe in das häusliche Umfeld Lichter und Verbraucher ein- oder ausschalten, sowie die Heizungssteuerung und weitere Aufgaben übernehmen. Damit diese durch das Hausautomationssystem durch-

geführten Eingriffe in den Alltag nicht zu völligem Chaos in den Seniorenwohnungen führen können, ist es erforderlich im Vorfeld Daten aus einem typischen Haushalt zu sammeln, zu analysieren und damit die Algorithmen zu entwickeln und zu testen. Im Folgenden wird, neben dem allgemeinen Vorgehen, beschrieben wie diese Daten aufgezeichnet, ausgewertet werden und was aus diesen Daten abzuleiten ist. In erster Linie wird es dabei um Bewegungs- und Verhaltensmuster gehen.

2 State of the art

Im Projekt LivingCare werden mehrere Teilgebiete von Wissenschaft und Technik adressiert. Im Folgenden eine Auswahl davon in Bezug auf das Projekt.

2.1 Hausautomation

Die Hausautomation (HA) fokussiert als Teilbereich der Gebäudeautomation insbesondere auf die Gegebenheiten privater Wohnumgebungen und die speziellen Bedarfe der Bewohner. Die Einsatzgebiete der Sensoren und Aktoren liegen hierbei vorwiegend in den Bereichen Beleuchtung, Verschattung und HLK-Regelung (Heizung, Lüftung, Klima), im Schutz von Personen und Besitz, vor böser Absicht, Unachtsamkeit und höherer Gewalt sowie in der Energieeinsparung.

Die existierenden Systeme lassen sich grob in festverdrahtete oder funkbasierte Lösungen unterscheiden. Im ersten Fall erfolgt die Kommunikation kabelgebunden über einen Bus. Als Standards hierfür sind u. a. KNX, LonWorks und BACnet zu nennen. Im Falle von funkbasierten Lösungen sind keine baulichen Eingriffe bei der Installation erforderlich, sodass sich diese Lösungen für Bestandswohnungen eignen. Auch die höhere Flexibilität bezüglich der Platzierung von Sensoren und Aktoren sowie der Erweiterung des Systems spricht für die funkbasierte Variante. Verbreitete Funkstandards sind ZigBee, Z-Wave, EnOcean und KNX RF. Daneben haben sich weitere herstellerspezifische Funklösungen im Markt etabliert.

Bei der Inbetriebnahme legt der Systemintegrator/Installateur zusammen mit dem Auftraggeber die Regeln fest, nach denen die HA arbeitet. Dieses Regelsystem kann nachträglich verändert werden, aber auch die Veränderung erfordert einen erneuten Einsatz eines Systemintegrators/Installateurs. Regelbasierte Systeme reagieren nur in vorherbestimmtem Maß auf Veränderungen der Lebenssituation und werden vom Nutzer daher oft als unbefriedigend und wenig flexibel empfunden. Ihnen fehlt die Lernfähigkeit, mit der sich das System auf das Verhalten des Nutzers einstellt, z. B. indem häufig wiederkehrende, manuelle Stellbefehle des Nutzers als Änderungen ins Regelwerk einfließen.

2.2 Mobilitätsanalyse & Verhaltensmodellierung

Die persönliche Mobilität eines Menschen ist eine wichtige Voraussetzung für ein selbständiges und sozial integriertes Leben [1] und umfasst insbesondere die Fähigkeit, sich selbstständig mit oder ohne Hilfsmittel von einem zu einem anderen Ort zu bewegen.

Es ist weithin bekannt, dass Veränderungen der Mobilität, gerade im höheren Alter, eng mit gesundheitlichen Veränderungen korreliert sind, sofern sie nicht zum normalen Alterungsprozess gehören. Im Rahmen einer Ursachenabklärung wird oftmals eine Gang- und Balanceanalyse durchgeführt.

Gegenstand vieler Forschungsarbeiten sind technische Systeme, welche die Mobilität einer Person entweder mit Hilfe körpernaher oder ambienter Sensoren objektiv und sehr detailliert bewerten [2]. Beispiele für eingesetzte körpernahe Sensoren sind Gyroskope und Accelerometer. Laser-Entfernungsmessgeräte, Hausautomationssensoren und Kameras sind als häufig verwendete Vertreter ambienter Sensoren zu nennen. OFFIS-Arbeiten in den Projekten PAGE [3] und GAL [4] haben gezeigt, dass neben einer Zeitersparnis bei der Anwendung im klinischen Alltag gerade technische Systeme basierend auf dem Einsatz ambienter Sensoren den Vorteil bieten, in häuslichen Umgebungen unaufdring-

lich eingesetzt werden zu können und neben der Unterstützung von üblichen Behandlungen auch präventive und rehabilitative Behandlungsmöglichkeiten zu eröffnen. Hausautomationssensoren sind aufgrund ihrer nahtlosen Integrierbarkeit in Häuslichkeiten und ihre Anwendbarkeit in verschiedensten Szenarien besonders geeignet für den Einsatz in nicht-professionellen Umgebungen – dies wurde in verschiedenen Arbeiten gezeigt [5][6][7][8][9].

2.3 Statistical Data Mining und stochastische Prozesse

Die Methoden der statistischen Datenanalyse sind ein geeignetes Instrument zur Gewinnung von Wissen aus Prozessrohdaten. Die Analyse diskretisierter Sensordaten erlaubt die Klassifizierung von Situationen und ist ein Ausgangspunkt für kontextsensitive, softwaregestützte Dienstleistungen. Der Prozess der Wissensgewinnung lässt sich generell in die Phasen Bereitstellung von Datenquellen, Zieldefinition, Datenselektion, Datenbereinigung, Datenreduktion und –transformation, Selektion des Prozessmodells, Datenanalyse und Erkenntnisinterpretation unterteilen. Als Verfahren des Pre-Processing sind Filtertechniken (bspw. polynombasierte Ansätze wie Savitzky-Golay), Ausreißertests nach Nalimov, Walsh oder Grubbs anzuführen. Für multivariate Datensätze eignen sich Andrews-Kurven, M-Schätzer oder die Stahel-Donoho-Outlyingness, um Artefakte oder abnorme Prozessgrößen zu erkennen. Neben der Rekonstruktion nicht-äquidistanter Datenreihen und der Bestimmung von Missing Values gehört die Klassifikation der Prozessdaten mithilfe von Verfahren wie k-means, Maximum Margin Clustering oder EM-Clustering zu den nachfolgenden Schritten der Datenanalyse. Alternativ lassen sich Support Vector Machines und neuronale Netze zur Identifikation von Strukturen nutzen. Für die Bestimmung von Prozessparametern (bspw. Gaussian Mixture Models) für die stochastischen Modelle kommen Verfahren der deskriptiven und der explorativen Statistik zu Anwendung. Weitere Möglichkeiten ergeben sich durch die Nutzung von Verfahren der Zeitreihenanalyse nach Box-Jenkins (ARIMA, ARMA, ARMAX etc.), mithilfe multivariater Regressionsverfahren oder durch die Nutzung von Bayes-Schätzern und Kalman-Filtern. Hauptziel der Methoden ist die Identifikation von Merkmalsvektoren, die mit Zuständen eines probabilistischen Automaten (SD HMM – State Duration HMM) assoziiert werden können. So können Hidden Markov Models und Relational State Descriptions für die Modellierung räumlicher und zeitlicher Zustände verwendet werden. Haltungs- und Gestenerkennung auf Basis von HMMs wurde von [10] thematisiert, die für die Justierung die Methode des Viterbi Path Countings benutzen. Die Erkennung menschlicher Aktivität in AAL-Domänen mithilfe von gekoppelten HMMs wurde in [14][15] vorgeschlagen. Kohorten von Einzelereignissen werden dabei als Trig-

ger für einen Zustandsübergang des Hidden Markov Event Models (HMEM) benutzt, während für die Parametrierung des Modells der NGS-Algorithmus benutzt werden kann. Methodische Ansätze werden von [11] verfolgt, die sich mit histogrammbasiertem Training von HMMs für die Aktivitätserkennung befassen, während [12] das Training von HMMs zweiter Ordnung mithilfe von multiplen Observationssequenzen betrachten. State Duration Ansätze werden von [13] vorgeschlagen.

3 Eigener Ansatz

Hausautomationssysteme sind starre Gebilde. Wenn sie einmal programmiert wurden, arbeiten sie auf die immer gleiche Weise. Zustand A führt immer zu Reaktion B. Dafür ist das Verhalten vorhersehbar und Fehler leicht zu erkennen. Im vorliegenden Projekt soll sich das System aber automatisch an die Bedürfnisse des Bewohners bzw. der Bewohner anpassen. Es soll mit den Anforderungen die erfüllt werden müssen, damit die Person länger selbstständig zuhause wohnen kann, wachsen und sich den Gegebenheiten anpassen und so für nützliche Unterstützung sorgen. Das ist mit starren Regeln nicht möglich. Aus diesem Grund soll das Hausautomationssystem in LivingCare durch autonom lernende Algorithmen gesteuert werden. Das bietet die folgenden Vorteile:

- Änderungen im Verhalten des Bewohners werden frühzeitig erkannt. So kann rechtzeitig reagiert werden, wenn z.B. keine Nahrung mehr zubereitet wird.
- Es kann automatisch auf dieses Verhalten reagiert werden und so auf sich ändernde Bedürfnisse eingegangen werden.
- Im Realbetrieb fallen für den Anwender geringere Kosten an, da nicht jede erforderliche Änderung durch einen Techniker ausgeführt werden muss.
- Die Technik kann schon im Haushalt verbaut werden, bevor sie gebraucht wird und wird erst (Stück für Stück) aktiviert, wenn der Bedarf entsteht.

Ein autonom handelndes System birgt aber auch viele Risiken. Wenn das System außer Kontrolle gerät, kann es dem Anwender unter Umständen schweren Schaden zufügen. Das muss selbstverständlich verhindert werden. Der erste gewählte Ansatz für die Implementierung der Algorithmen ist das Reinforcement Learning – beständiges Lernen. Der Algorithmus wird den Anwender eine ganze Weile nur beobachten und von seinem Verhalten lernen. Nach einer noch zu definierenden Zeit wird das System erste Schritte selbst ausführen, z.B. bei der Heizungsregelung oder der Beleuchtung. Jedes korrigierende Eingreifen durch den Anwender wird dem System als negative Bestätigung zugeführt. Der Algorithmus lernt, das gezeigte Verhalten war falsch und wird eine andere Strategie errechnen. Zusätzlich wird

das System einen starren Rahmen vorgegeben bekommen, aus dem es nicht ausbrechen kann. So werden z.B. maximale Temperaturen festgelegt, die der Algorithmus nicht überschreiten kann oder es darf zwar Licht eingeschaltet, aber zumindest zu Anfang nicht ausgeschaltet werden, um Verletzungen zu vermeiden.

3.1 Geplante Szenarien

Damit das Projekt einen überschaubaren Rahmen hat, wurde zu Beginn des Projekts festgelegt, welche Szenarien innerhalb der Projektlaufzeit erfüllt werden sollen. Das Konsortium einigte sich dabei auf folgende Szenarien:

- **Bedürfnisgerechte Beleuchtung:** Die Beleuchtungsverhältnisse werden den Bedürfnissen der Nutzer angepasst. Diese werden sowohl aus dem Nutzerverhalten abgeleitet, als auch durch externe Faktoren bestimmt. Das System lernt beide Informationsebenen zu verknüpfen und generiert daraus das optimale Beleuchtungsszenario.
- **Bedürfnisgerechtes Raumklima:** Mit Hilfe der Hausautomationssensoren und Aktoren regelt das System das Raumklima, angepasst an die Bedürfnisse des Anwenders. Fernsteuerung über das Smartphone wird für bestimmte Personen möglich sein.
- **Bewegungssensitive Alarmanlage:** Das System erkennt längere Abwesenheitszeiten und Schlafenszeiten. Sobald eine der Phasen erkannt wird, schaltet das System die Alarmanlage scharf.
- **Sicherer Modus:** Beim Verlassen der Wohnung für längere Zeit werden sicherheitskritische Geräte wie z.B. der Herd oder bestimmte Steckdosen abgeschaltet.
- **Monitoring kranker Erwachsener:** Durch die verbaute Sensorik ist eine Verhaltensbeobachtung möglich. Bei Auffälligkeiten wie z.B. zu langer Aufenthalt im Badezimmer kann ein Notruf ausgelöst werden. Aber auch bei plötzlichen Veränderungen im Verhalten, wie z.B. keine Zubereitung von Essen mehr, oder stark reduzierte Körperpflege, kann das System eine Meldung an autorisierte Personen auslösen.
- **Intelligenter Apothekenschrank:** Ein Sensor erkennt die Nutzung des Apothekenschanks und meldet Nichtnutzung an den Anwender und ggf. auch andere Stellen weiter.
- **Visuell akustische Telefonklingel:** Anwender werden durch visuelle Signale auf eingehende Anrufe aufmerksam gemacht.
- **Briefkastensensor:** Ein im Briefkasten angebrachter Sensor erkennt eingeworfene Post und meldet dies an den Nutzer des Systems.

- **Fernwartbare AAL-Komponenten:** Das System soll sich selbst überwachen und von Außen wartbar sein. So sollen vermeidbare Technikeinsätze eingespart werden.

4 Realisierung

Es lastet eine hohe Verantwortung auf dem System und den Personen die es entwickeln. Aus dem Grund wurde entschieden, dass die Algorithmen vorher ausgiebig getestet werden müssen und das auf möglichst realitätsnahen Daten. Da ein Datensatz in der geforderten Form nicht verfügbar war, ist es Teil des Projektplans diese Daten selbst zu erheben. Dabei wird ein Datensatz entstehen der auf seine Art bisher möglicherweise einzigartig ist. In diesem ersten Feldversuch, mit echten Probanden, soll eine Wohnung, möglichst lückenlos, mit herkömmlicher Hausautomation ausgestattet werden. Über einen Zeitraum von 18 Monaten sollen die dabei entstehenden Daten aufgezeichnet werden und für die Entwicklung der Algorithmen ausgewertet werden und als Lerngrundlage dienen.

4.1 Probanden

Für so einen Ansatz ist es nicht leicht Probanden zu finden. Besonders wenn es Probanden aus der Gruppe der Senioren sein sollen, die häufig eine große Skepsis gegenüber moderner Technik hegen. Im Projekt LivingCare wirkt auch das Deutsche Rote Kreuz (DRK) Landesverband Oldenburg mit. Der Landesverband betreibt eine Seniorenwohnanlage mit 68 Wohneinheiten. Dabei kann der geeignete zukünftige Bewohner je nach Verfügbarkeit aus 1-Zimmer Apartments bis hin zu größeren Penthouse Wohnungen auswählen. Aus dieser Anlage sollte das DRK versuchen einen Probanden für den Feldversuch zu gewinnen. Dabei wurden keine speziellen Anforderungen an die auszuwählende Person gestellt. Wichtiger war es überhaupt jemanden zu finden, der bereit ist zu helfen. Die Suche war erfolgreich. Für die Mithilfe im Projekt konnte ein Ehepaar gewonnen werden. Das Paar bewohnt eine der Penthouse Wohnungen.

Folgende Eigenschaften zeichnen Proband 1 aus:

- 75 Jahre alt
- sehr rüstig und aktiv
- gesunde Mobilität
- besucht Sportgruppen
- führt den Hund mehrfach täglich Gassi

Proband 2 ist:

- 82 Jahre alt
- mobil sehr eingeschränkt
- stark sturzgefährdet
- geistig sehr fit
- verlässt nur selten die Wohnung
- ist leichter Raucher

Die anfallenden häuslichen Arbeiten wie putzen, Wäsche waschen, Bügeln etc. werden großteilig noch von Proband 1 selbst durchgeführt. Einmal die Woche kommt eine Putzhilfe. Beide Probanden sind technisch affin und nutzen PC und Smartphone.

Beide sind detailliert über den Hintergrund des Projekts aufgeklärt worden. Im Vorfeld wurde eine Zustimmung der Ethikkommission Oldenburg zu diesem Feldtest eingeholt. Das war erforderlich, da auf Grund der Daten die gesammelt werden eine detaillierte Profilbildung möglich sein wird und Daten im Prinzip auf Vorrat gespeichert werden. Die Probanden wissen, dass sie den Feldtest jederzeit abbrechen können. Auf Wunsch werden die Probanden jederzeit über die gesammelten Daten in leicht verständlicher Form unterrichtet.

4.2 Die Wohnung

Die Wohnung bietet einen interessanten Grundriss für den Feldversuch (Abbildung 1). Die Wohnung hat ca. 80 qm Wohnfläche verteilt auf zwei Schlafzimmer, eine vollwertige Küche als eigenständiger Raum, ein großes Wohnzimmer, ein Duschbad, einen kleinen Flur zur Abtrennung von Bad und Schlafräumen vom Rest der Wohnung und einen langen Flur in dem eine zweite Küchenzeile eingebaut ist. Zusätzlich gibt es eine überdachte Loggia und vom Wohnzimmer und den Schlafzimmern aus kann eine weitere Dachterrasse betreten werden. Die Wohnung befindet sich im 5. Stock.

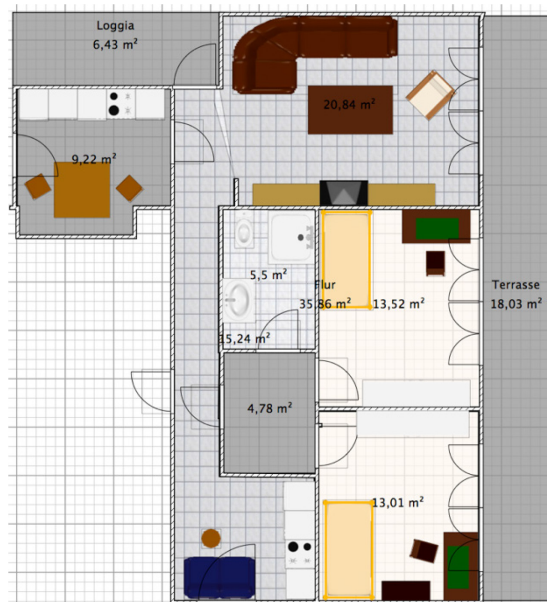


Abbildung 1: Grundriss der Probandenwohnung

Im Bereich Barrierefreiheit oder seniorengerechte Ausstattung sind folgende Merkmale vorhanden:

- Fahrstuhl bis in den 4. Stocken
- In den 5. Stock führt ein Treppenlift
- Die Dusche ist ebenerdig
- Es gibt eine Aufstieghilfe am WC

- Um auf die Loggia zu gelangen muss ein Ringfundament überstiegen werden. Das Fundament ist ca. 25cm hoch. Damit die Probanden leichter auf die Loggia gelangen können ist ein Geländer an der Tür zur Loggia befestigt
- Schwesternruf im Wohnzimmer, auf dem Flur und in den Schlafzimmern

4.3 Hausautomation

Bestandsbauten waren bis vor wenigen Jahren nur unter erheblichen Kostenaufwand nachträglich mit Hausautomation auszurüsten. Die Systeme waren in der Regel kabelgebunden und erforderten eine bestimmte Art der Kabelverlegung (Sternverkabelung) oder es musste eine zusätzliche Busleitung gelegt werden. So war es in der Regel Neubauten vorbehalten mit Hausautomation ausgerüstet zu werden und selbst dann lagen die Kosten bei über 10.000 Euro für ein Einfamilienhaus. Inzwischen sind kostengünstige Nachrüstlösungen auf dem Markt. Solche Systeme sind in der Regel Funkgesteuert, somit entfällt der Bedarf neue Leitungen zu verlegen. Die Aktoren und Sensoren ersetzen gerade im Beleuchtungsbereich häufig die verbauten Elemente wie z.B. Lichtschalter. Schalt-Aktoren sind so flach und klein, sie können hinter den Steckdosen oder in Verteilerdosen montiert werden. Ein erwähnenswerte Nachteil ist, viele Komponenten sind Batteriebetrieben, was über die Einsatzzeit einiges an Müll verursacht, aber so wird der Vorteil der leichten Nachrüstbarkeit erkaufte. Bei der Auswahl der Aktoren und Sensoren stehen die funkbasierten Nachrüstsysteme den etablierten System wie KNX/EIB in nichts nach. Auf Grund der deutlich günstigeren Anschaffung werden inzwischen auch, besonders in privaten, Neubauten diese neuen Systeme verbaut. Ein 1-Familienhaus mit Automation auszurüsten kosten im Vergleich zu den oben genannten 10.000 Euro nur noch um die 2.000 bis 3.000 Euro.

4.4 Auswahl der Sensoren

Während des Feldtest sollen Bewegungs- und Nutzungsdaten von Elektrogeräten und der Heizung erhoben werden. Das soll durch die Nutzung der folgenden Komponenten erreicht werden:

- **Tür-/Fensterkontakte:** Der Einsatz ermöglicht das Erkennen, wann welcher Raum genutzt wird, wann die Wohnung verlassen wird und das Lüftungsverhalten. Mit Abstrichen auch die Erkennung von Wegstrecken und Bewegungsgeschwindigkeiten.
- **Bewegungsmelder:** Durch Bewegungsmelder können Raumnutzung und bei entsprechender Anbringung auch Wegstrecken und Gehgeschwindigkeit ermittelt werden. Zusätzlich ist ein Helligkeitssensor verbaut, im Zusammenhang mit geschalteten Lichtern oder der Nutzung von Rollos fallen dabei nützliche Informationen an.

- **Tastsensoren:** Herkömmliche Lichtschalter werden durch Tastsensoren/Aktoren ausgetauscht. So ist zu erkennen, wann ein Raumlicht eingeschaltet wurde und wann aus.
- **Rolläden-Schalter:** Durch die Schalter ist zu erkennen, wann die Rolläden benutzt wurden und wie weit sie geschlossen oder geöffnet wurden.
- **Heizungsantriebe:** Durch die Verwendung von Heizungsantrieben ist erkennbar, zu welchen Zeiten welche Temperaturen herrschten und wann welche Temperaturen eingestellt wurden.
- **Wandthermostate:** Über den Wandthermostat können mehrere Heizkörper zeitgleich gesteuert werden. Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass die Wandthermostate die Luftfeuchtigkeit messen können.
- **Schaltsteckdosen mit Leistungsmessung:** Die Schaltsteckdosen werden mit Elektrogeräten des täglichen Bedarfs verbunden, wie Fernseher, Mikrowelle, Stehlampen, Computer und ähnlichem. Die Steckdosen messen die Verbrauchsleistung. So ist festzustellen wann welches Elektrogerät wie lange verwendet wurde.

Alle Daten laufen in einer Basisstation zusammen und werden dort gespeichert. Die gesamte Anlage ist nicht mit dem Internet verbunden um eine hohe Sicherheit der sensiblen Daten zu gewährleisten. Alle 14 Tage holt ein Projektmitarbeiter die Daten persönlich ab und erkundigt sich dabei auch gleich bei den Probanden ob durch das System Probleme verursacht werden.

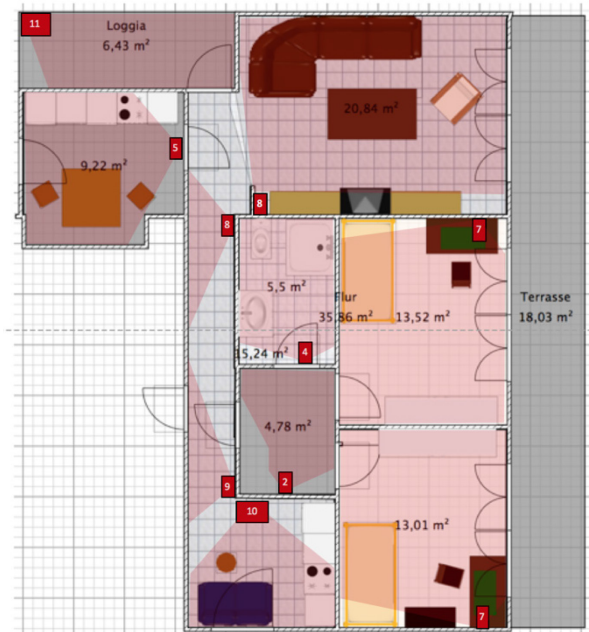


Abbildung 2: Erfassungsbereich der verbauten Bewegungsmelder

4.5 Installation

Insgesamt wurden in der Wohnung 64 Sensoren und eine zentrale Steuereinheit verbaut. Mit der Hilfe eines externen Elektroinstallateurs war die Ausrüstung der Wohnung an einem Tag vollständig durchgeführt. Das aufsetzen des Systems dauerte noch einen weiteren Tag. Die Anlage ist seit Juni im Betrieb und läuft nach geringen Anlaufschwierigkeit völlig problemlos. Zu Beginn hielt der Kleber zweier Thermostate nicht und sie mussten mit der Wand verschraubt werden. Des Weiteren funktionierte eine Kreuzschaltung zu Beginn nicht wie geplant.

Im Detail wurden folgende Gerätschaften verbaut:

- 10 Bewegungsmelder
- 7 Heizungssteller mit Temperaturmesser
- 3 Wandthermostate
- 11 Tür-/Fensterkontakte
- 12 Funkschalter mit Leistungsmessung
- 14 Licht-Aktoren
- 6 Rollläden-Aktoren
- 1 Leistungsmesser im Stromkasten

Bei der Installation musste nur die 10 Bewegungsmelder (Abbildung 2) und die 3 Wandthermostate mit kleinen Schrauben direkt in der Wand befestigt werden. Die Löcher sind so klein, im Falle eines Abbaus der Hardware sind diese wieder leicht zu verschließen und so keine sichtbaren Schäden zurückbleiben werden.

Das Vorgehen zeigt, dass die Installation solcher Aufbauten in der Realität, also in einer späteren, kommerziellen Anwendung keine größeren Probleme bereiten wird.

5 Ergebnisse

Das Gesamtsystem ist inzwischen seit ca. 4 Monaten aktiv und sammelt seit dem ohne Unterbrechung Daten. In der Zeit sind wöchentlich etwa 55.000 Events aufgezeichnet worden. Der Datensatz umfasst also inzwischen ca. eine halbe Millionen Datensätze. All diese Daten müssen natürlich analysiert und strukturiert werden. Ziel der ersten Analyse ist es einen ersten Data Mining Algorithmus zu entwickeln, welcher basierend auf den Sensordaten durch verschiedene Teilschritte in der Lage ist, Abfolgen von Sensorereignissen zu erkennen, welche (typische) Bestandteile des Verhaltens der Bewohner repräsentieren. Diese erkannten Bestandteile sind die Eingabe in einen zweiten Teilschritt des Verfahrens, das autonome Lernen, in welchem das System selbstständig das typische Verhalten der Bewohner erkennt und daraus zum einen untypisches und damit eventuell gefährliches Verhalten ableiten kann und zum Anderen Regeln für die Hausautomation zur Unterstützung im täglichen Leben ableitet.

Aus Vorprojekten ist bekannt, dass sich das Normalverhalten von Personen und Abweichungen von diesem u.a. durch die Betrachtung der Aktivierungsreihenfolge und der -dauer beschreiben lässt [16]. Voraussetzung für die Anwendung dieser Methode ist jedoch erhebliches

Vorwissen über die räumlichen Verhältnisse der Sensoren. Der in der o.a. Publikation implementierte Algorithmus ist rein proprietär und verwendet keine Standard-Algorithmen. Im Gegensatz zu den bisherigen Verfahren soll in diesem Projekt versucht werden, das notwendige Vorwissen so klein wie möglich zu halten und dabei, soweit wie möglich, auf Standard-Algorithmen zu setzen.

5.1 Methode

Im ersten Schritt wurde zunächst eine explorative Datenanalyse vorgenommen. Ziel der Analyse war es, den Informationsgehalt der erhobenen Sensordaten zu bewerten und dabei einen ersten Eindruck von den „erkennbaren“ Verhaltensmustern zu gewinnen bzw. Fehler in der Sensorkonfiguration zu finden und Optimierungsvorschläge für deren Platzierung und Konfiguration zu erarbeiten. Zudem sollte bewertet werden, welches Vorwissen tatsächlich für die Erkennung bestimmter Verhaltensmuster notwendig ist.

5.1.1 Assoziationsanalyse

Mit Hilfe der Assoziationsanalyse wurde untersucht ob und welche regelmäßig genutzten Kombinationen von Sensoren und Sensordaten gefunden werden können.

In der Assoziationsanalyse beschreiben Regeln die Korrelation zwischen gemeinsam auftretenden Dingen. Der Zweck besteht darin Elemente einer Aktion zu ermitteln die das Auftreten anderer Elemente innerhalb der Aktion implizieren.

Als Ergebnis ist aber festzuhalten, mit der Assoziationsanalyse konnten keine zufriedenstellenden Ergebnisse erreicht werden. Es war nicht möglich verlässlich zusammengehörige Elemente zu erkennen. Der Grund liegt darin begründet, dass die Häufigkeit des Auftretens eines Sensorereignisses im Verhältnis zur Gesamtzahl der Ereignisse nichts über dessen Wichtigkeit aussagt und sich die gesuchten Ereignisabfolgen zu stark verändern, als dass sie in genau der gleichen Form häufig genug auftreten würden.

5.1.2 Generelle Aktivität

Die einfachste Form von Verhalten in einer Wohnung ist sich von einem zu einem anderen Ort zu bewegen oder dort für eine bestimmte Zeit zu verbleiben. Um sowohl Bewegung als auch Verbleib an einer Stelle effektiv erkennen zu können, wurden die Bewegungsmelder in der Testwohnung so konfiguriert, dass sie bei Bewegung in ihrem Sichtfeld alle 4 Sekunden ein Signal senden.

Um diese Aktivitäten sichtbar zu machen wurde generelle Aktivität daher so modelliert, dass sie anhand der

Häufigkeit der Aktivierungen eines Bewegungsmelders pro Zeiteinheit des Tages beschrieben ist. Je häufiger ein bestimmter Sensor daher durchschnittlich pro Tagesstunde aktiviert wurde, desto mehr Aktivität fand an der Platzierungsstelle bzw. im zugehörigen Raum statt.

Die Sensordaten wurden zunächst anhand des Sensortyps gefiltert. Es wurden nur Ereignisse belassen, welche von Bewegungsmeldern stammen. Danach wurden die Ereignisse jedes Sensors pro Stunde jedes Datums gezählt und anschließend wurden die entsprechenden Durchschnittswerte pro Stunde jedes Wochentages berechnet. Die Ergebnisse wurden in einer Heatmap (Abbildung 3) dargestellt.

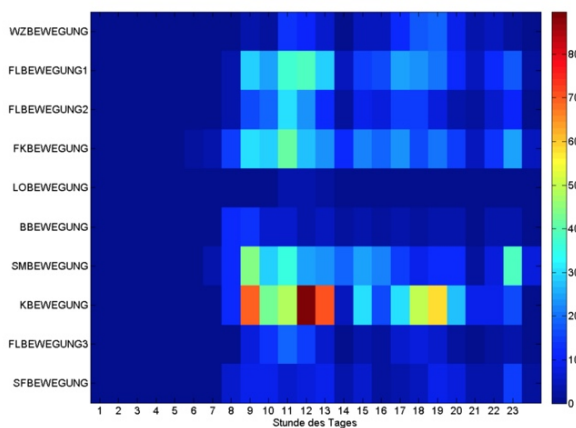


Abbildung 3: Heatmap über die Auslösehäufigkeit der Bewegungsmelder

Als Ergebnis kann festgehalten werden, dass ohne jegliches Vorwissen, nur durch Auswertung der durch die Bewegungsmelder erhobenen Daten ein grober Tagesablauf und eine generelle Aussage über das Aktivitätslevel der Bewohner getroffen werden kann.

Anhand der Grafik ist beispielsweise gut die Nutzung der Küche zur Mittagszeit und zur Abendbrotzeit zu erkennen. Der Sensor KBewegung beschreibt den in der Küche angebrachten Bewegungsmelder. Der Sensor SMBewegung beschreibt den Bewegungsmelder im Schlafzimmer des Proband1, es ist gut zu erkennen, wann Proband 1 aufsteht und wann er ins Bett geht.

5.1.3 Aktivitätserkennung durch Auswertung elektrischer Kenngrößen

Aus anderen Vorprojekten, wie dem NBank-Projekt „AmbiACT“, ist bekannt, dass auch aus der Nutzung von elektronischen Geräten auf den Tagesablauf, generelle Aktivität oder auch auf unnormales Verhalten geschlossen werden kann [17]. Aus diesem Grund wurden in der Wohnung Zwischenstecker mit Strommessfunktion und ein zentraler Sensor am Stromkasten verbaut.

Es wurde untersucht, in wie weit die durchschnittlich pro Stunde des Tages abgerufene Energie an den ver-

schiedenen Messstellen eine Aussage zu genereller Aktivität und Tagesablauf der Bewohner zulässt.

Anders als im Abschnitt „Generelle Aktivität“ wurden diesmal anstatt der Bewegungsmelder die Stromsensoren der Hausautomation ausgewertet.

In Abbildung 4 ist das Ergebnis der Auswertung dargestellt. Beispielsweise soll hier die rote Kurve WZMESSTV herausgestellt werden. Bei dem Sensor handelt es sich um den Stromsensor der am Fernseher im Wohnzimmer angeschlossen ist. Es ist gut zu erkennen, dass der Fernseher hauptsächlich in den Abendstunden zwischen 17 und 22 Uhr eingeschaltet wird. Aus der Überwachung von elektrischen Signalen kann gut auf einen üblichen Tagesablauf geschlossen werden. Soll jedoch eine Zuordnung der Messwerte zu Geräten und damit dedizierten Aktivitäten erfolgen, wird Kontextwissen benötigt.

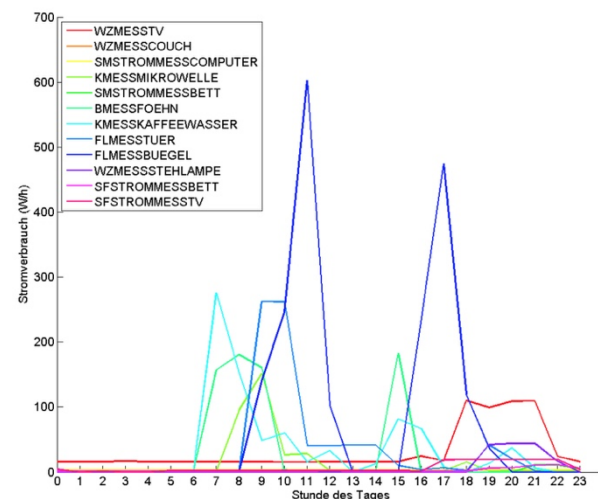


Abbildung 4: Aktivitätserkennung durch die Auswertung der Nutzung elektrischer Verbraucher.

5.1.4 Erkennen von Nutzungszeiten und Verhalten

Viele Unfälle in der Häuslichkeit bei Senioren passieren im rutschigen und verwinkelten Bad. Daher ist die Erkennung von Abweichungen von üblichen Nutzungszeiten und –dauern von hoher Relevanz für die Sicherheit der Bewohner.

Im dritten Schritt wurde daher die Aussagekraft der Bewegungsmelder und Türkontakte im Bad für die Bewertung der Badnutzung untersucht. Bereits nach kurzer Zeit stellte sich heraus, dass die verbauten Türkontakte alleine kaum eine Aussagekraft für das Szenario haben. Der Grund ist, dass die Bewohner die Badezimmertür nicht regelmäßig während oder nach der Benutzung schließen.

In Abbildung 5 ist die durchschnittliche Aufenthaltsdauer pro Stunde des Tages grafisch dargestellt. Die Visualisierung der Dauer der Badbenutzung erfolgt in Form einer Error-Bar. Die Kurve gibt die durch-

schnittliche Aufenthaltsdauer (Y-Achse) wieder, die Balken die Standardabweichung in der Stunde des Tages (X-Achse). Es ist klar ersichtlich, dass die längste Badbenutzung in den Morgenstunden zwischen 8 und 10 Uhr erfolgt. Die hohe Standardabweichung kann bedeuten, dass die Probanden nicht jeden Tag duschen.

Als Ergebnis kann festgehalten werden, dass unter Nutzung nur eines Bewegungsmelders die Dauer der Badnutzung berechnet werden kann. Sollte in dieser Wohnung ein Alarm bei zu langer Badnutzung erzeugt werden (weil z.B. jemand im Bad gestürzt sein könnte), so würde man den Schwellwert in den Morgenstunden bei max. 60 Minuten und Tagsüber bei ca. 30 Minuten ansetzen können, ohne viele Fehlalarme zu riskieren. Als Vorwissen wird für dieses Verfahren lediglich der Name des Bewegungsmelders im Bad benötigt. Eine Hinzunahme des Türkontaktes in die Berechnung hat zu keinerlei Verbesserungen geführt.

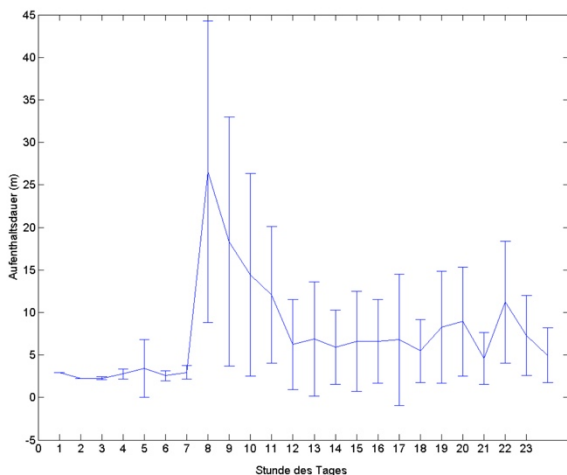


Abbildung 5: Erkennen von Nutzungszeiten anhand der verbauten Bewegungsmelder.

5.1.5 Bewertung der Gehgeschwindigkeit und Erkennung von Personen anhand von Bewegungsmelder-Daten

Die selbstgewählte Gehgeschwindigkeit ist ein wichtiger Indikator für aktuelle und ein Prädiktor für zukünftige gesundheitliche Probleme. Obwohl die Gehgeschwindigkeit im Alter generell abnimmt, sind überdurchschnittliche starke Veränderung und Gehgeschwindigkeiten von unter 0,5m/s sehr auffällig.

Zur Bestimmung der Gehgeschwindigkeit bietet sich die Gehstrecke zwischen der Küche und der Küchenzeile am Ende des langen Flurs an. Die Strecke ist lang genug so dass Beschleunigungsphasen keine Verzerrung der Ergebnisse verursachen. Aus dem bekannten Raumplan sind die Distanzen zwischen den einzelnen Bewegungsmeldern bekannt. Aus der zeitlichen Differenz der Sensornachrichten lässt sich die Gehgeschwindigkeit berechnen.

Problematisch ist die Erkennung welcher der beiden Probanden die Strecke gegangen ist. Durch eine entsprechende Clusterung können abgegrenzte Ergebnisse gefunden werden. Eine Person bewegt sich mit etwa 0,38m/s und die andere Person mit 0,78m/s das deckt sich gut mit dem Vorwissen, dass der eine Proband noch sehr gut zu Fuß ist und der andere mobil schon sehr eingeschränkt ist.

Abbildung 6 zeigt die Visualisierung der Cluster. Auf der X-Achse sind die Messungen in der Reihenfolge des Auftretens abgetragen, auf der Y-Achse die gemessenen Geschwindigkeiten. Die Cluster sind farblich markiert.

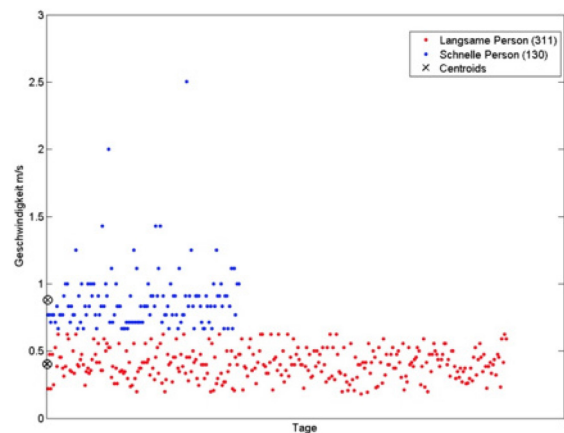


Abbildung 6: Clusterbildung zur Identifizierung unterschiedlicher Bewegungsprofile

5.1.6 Erkennbarkeit von Ritualen/Verhaltensmustern

Im alltäglichen Trott wiederholen sich Abläufe fast täglich. Es sollte die Frage geklärt werden, ob es möglich ist solche typischen Abläufe oder auch Rituale zu erkennen. In Gesprächen mit den Probanden hat sich ein tägliches Ritual herauskristallisiert: Ein Proband schaut meist bis kurz vor 23 Uhr TV. Dabei ist die Stehlampe im Wohnzimmer eingeschaltet. Wenn er zu Bett gehen will, steht er auf und schaltet zunächst das Licht im Flur oder der Küche ein. Anschließend geht er zurück ins Wohnzimmer und schaltet Fernseher und Stehlampe aus (die Reihenfolge ist nicht fest). Manchmal wird auch der Fernseher ausgeschaltet, bevor das Licht im Flur eingeschaltet ist. Zurück im Flur geht er dann oftmals auf die Loggia, um eine Zigarette zu rauchen. Nachdem er wieder im Flur ist, geht er diesen Flur, den kleinen Flur und sein Schlafzimmer immer wieder vor und zurück ab und schaltet dabei das nächste Licht jeweils ein und das vorherige aus. Bei dem Abendritual handelt es sich um eine Abfolge von Sensorereignissen, deren Reihenfolge jedoch leicht variieren kann. Zudem müssen auch nicht immer alle Ereignisse auftauchen (manchmal z.B. schaltet der andere Proband das Licht im Flur an, dann findet keine Bewegung in den Flur vom Wohnzimmer aus statt bevor TV und Stehlampe ausgeschaltet wurden).

Damit so eine Sequenz erkannt werden kann erfolgt zunächst eine Filterung auf den Relevanten Zeitraum und die relevanten Sensoren. Im nächsten Schritt werden anhand der Raumplandaten Sequenzen von benachbarten Sensoren gesucht.

Abbildung 7 zeigt die so erzeugte Visualisierung. Auf der X-Achse sind die Tage der Analyse, auf der Y-Achse die Uhrzeit des Beginns der erkannten Abendsequenz abgetragen. An insgesamt 28 von 35 Analysetagen wurde die Sequenz erkannt. Das Auftreten erfolgt dabei stets in einem Zeitfenster zwischen 21:47 Uhr und 22:46 Uhr.

6 Erkenntnisse/Ausblick

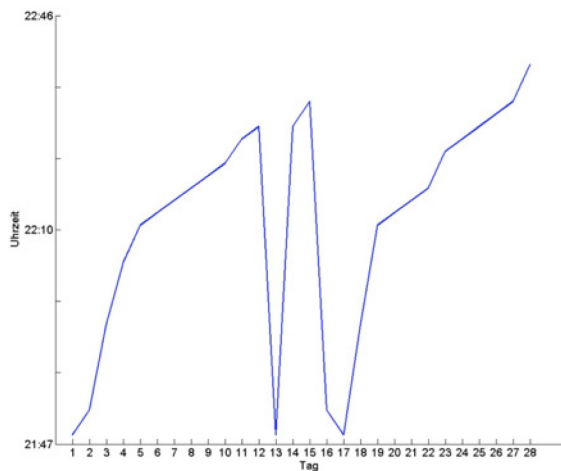


Abbildung 7: Häufigkeit der Erkennung eines Rituals in den Sensordaten.

Das Projekt steht beim Erstellen dieser Arbeit noch recht weit am Anfang und es wird noch sehr viel mehr Energie in den Bereich der Datenanalyse fließen müssen. Trotzdem kann schon jetzt, obwohl erst relativ wenige Zusammenhänge überprüft wurden, gezeigt werden, dass nicht nur Bewegungsgeschwindigkeiten und Raumaufenthalte in den Daten erkannt werden können, sondern, mit vorher gesammeltem Wissen, ganze Rituale in den Daten gefunden und nachvollzogen werden können. Der Aufwand dafür ist nicht einmal besonders hoch. Es ist jedoch das Eine bekannte Muster zu finden, aber etwas ganz Anderes einen Algorithmus zu erzeugen, der selbstständig Rituale und gewohnheitsmäßige Abläufe aus der Menge an Daten erkennen kann ohne Fehler zu machen. Richtig Aufwändig wird es, wenn aus den erkannten Ritualen und Verhaltensmustern Strategien abgeleitet werden sollen, die letztlich eine Vereinfachung der Abläufe für die Senioren, bei denen so ein System später eingesetzt werden kann, bedeuten soll. In dem vorher genannten Abendritual müsste der Algorithmus einmal in der Lage sein, das Ritual des Zubettgehens zu erkennen und dann aus den Tätigkeiten erkennen, dass es für den Probanden eine echte Hilfe bedeuten würde im richtigen Moment das

Licht im Flur einzuschalten und beim Abschalten des Fernsehers eventuell schon mal die Stehlampe auszuschalten und das Hin- und Herlaufen des Probanden zu verhindern um die Lichter der einzelnen Räume zu betätigen. Der Faktor Mensch ist ein weiterer Punkt. Selbst wenn der Algorithmus es für sinnvoll berechnen würde dieses Ritual entsprechend zu vereinfachen muss das nicht bedeuten, dass der Mensch genau bei diesen Aktionen auch Hilfe wünscht. Eventuell ist er froh über die abendliche Bewegung.

Auf die Projektmitglieder wird noch viel Forschungsarbeit zukommen, damit am Ende des Projekts ein System entsteht, das all die genannten Punkte erfüllen kann. Bisher ist auch erst ein sehr kleiner Teil der im State of the art genannter Techniken zur Anwendung gekommen.

7 Literaturverzeichnis

- [1] Deutsches Institut für medizinische Dokumentation und Information (DIMDI): Internationale Klassifikation der Funktionsfähigkeit, Behinderung und Gesundheit (2005).
- [2] C.N. Scanail, S. Carew, P. Barralon et al.: A review of approaches to mobility telemonitoring of the elderly in their living environment. *Ann Biomed Eng* 34 (4),: 547–563 (2006)
- [3] T. Frenken, M. Lipprandt, M. Brell, S. Wegel, et al. *Novel Approach to Unsupervised Mobility Assessment Tests: Field Trial For aTUG*. Proc. 6th Int Pervasive Computing Technologies for Healthcare (PervasiveHealth) Conf, pp. 131–138 (2012)
- [4] A. Hein, S. Winkelbach, B. Martens, et al. *Monitoring systems for the support of home care*. *Informatics for Health and Social Care* 35 (3-4): 157-176 (2010)
- [5] A. Helmer, M. Lipprandt, T. Frenken, M. Eichelberg, A. Hein: *3DLC: A Comprehensive Model for Personal Health Records Supporting New Types of Medical Applications*. *J Healthcare Engineering* 2 (3): 321-336 (2011)
- [6] E.E. Steen, T. Frenken, M. Eichelberg, M. Frenken and A. Hein. Modeling individual healthy behavior using home automation sensor data: Results from a field trial. *Journal of Ambient Intelligence and Smart Environments (JAISE)* 5 (5): 503-523 (2013)
- [7] T. Hadidi and N. Noury. *A Predictive Analysis of the Night-Day Activities Level of Older Patient in a Health Smart Home*. Proc. 7th Int. Conf. on Smart Homes and Health Telematics: Ambient Assistive Health and Wellness Management in the Heart of the City, pp. 290–293 (2009)
- [8] M. Floeck and L. Litz. *Activity- and Inactivity-Based Approaches to Analyze an Assisted Living Environment*. Proceedings of the 2008 2nd

- International Conference on Emerging Security Information, Systems and Technologies, pp. 311–316 (2008). IEEE Computer Society.
- [9] M. Skubic, R. D. Guevara, M. Rantz. *Testing Classifiers for Embedded Health Assessment*. Proc. 10th Int. Smart Homes and Health Telematics Conference on Impact Analysis of Solutions for Chronic Disease Prevention and Management, ICOST'12, pp. 198–205 (2012)
- [10] N. Liu, B.C. Lovell, *Gesture classification using Hidden Markov Models and Viterbi Path Counting*. Proc. 7th Digital Image Computing: Techniques and Applications (2009)
- [11] Z. Moghaddam, M. Piccardi, *Deterministic Initialization of Hidden Markov Models for Human Action Recognition*. Proc. of IEEE Digital Image Computing: Techniques and Applications (2009)
- [12] D. Shiping, C. Tao, Z. Xianyin, W. Jian, W. Yuming. *Training Second-Order Hidden Markov Models with Multiple Observation Sequences*. Proc. IEEE International Forum on Computer Science-Technology and Applications (2009)
- [13] S.E. Levinson. *Continuously variable duration hidden Markov models for automatic speech recognition*. Computer Speech and Language, pp. 29-45 (1986)
- [14] B.H. Busch, A. Kujath, H. Witthöft, R. Welge. *Preventive Emergency Detection Based on the Probabilistic Evaluation of Distributed, Embedded Sensor Networks*, Ambient Assisted Living, 4. AAL-Kongress 2011, Berlin, Germany, January 25-26, 2011, Springer, 2011
- [15] B.H. Busch, R. Welge. *Domain Specific Services for Continuous Diagnoses in the Context of Ambient Assisted Living-AAL*. Proc. International Conference on Data Mining (DMIN'11), 2011
- [16] E.-E. Steen, T. Frenken, M. Eichelberg, M. Frenken, and A. Hein, "Modeling individual healthy behavior using home automation sensor data: Results from a field trial.," JAISE, vol. 5, no. 5, pp. 503–523, 2013.
- [17] R. Eckert, T. Frenken, A. Jüptner, A. Felscher, M. Frenken, and A. Hein, "AmbiAct - Innovativer Stromsensor zur Aktivitätserkennung für Hausnotrufsysteme," in Wohnen - Pflege - Teilhabe "Besser leben durch Technik" (AAL 2013), 2014.