

Interaktion in intelligenten Gebäuden

Seminar Innovative Internettechnologien und Mobilkommunikation WS2008

Sebastian Klepper

Lehrstuhl Netzarchitekturen und Netzdienste

Fakultät für Informatik

Technische Universität München

Email: sebastian.klepper@mytum.de

Zusammenfassung — Die Bedeutung intelligenter Systeme bei der Unterstützung alltäglicher Aufgaben nimmt rapide zu. Dabei tritt das System nicht als greifbare Maschine in Erscheinung, sondern wird zunehmend in die Umgebung des Benutzers eingebettet, zum Beispiel in Fahrzeuge, Kleidung oder Gebäude.

Diese Arbeit beschäftigt sich mit der Interaktion zwischen intelligenten Systemen, welche in Gebäude integriert sind, und ihren Benutzern. Zunächst werden wichtige Aspekte erörtert, die in dieser Hinsicht bei der Entwicklung solcher Systeme zu berücksichtigen sind. Im Anschluss daran werden Herausforderungen betrachtet, die bei ihrer Umsetzung auftreten. Abschließend wird eine Zusammenfassung der erarbeiteten Prinzipien und ein Ausblick über die weitere Entwicklung in diesem Bereich gegeben.

Schlüsselworte — Benutzerschnittstelle, Mensch-Maschine-Interaktion, Smart Home, Home Automation, Ubiquitous Computing, Künstliche Intelligenz

1. EINLEITUNG

Sowohl im häuslichen als auch im betrieblichen Umfeld werden immer häufiger automatisierte Systeme eingesetzt, um Menschen den Alltag angenehmer zu gestalten und Arbeit abzunehmen.

Im häuslichen Umfeld können beispielsweise sogenannte „Home Automation“ (HA) Systeme die Steuerung von Heizung, Beleuchtung und Gartenbewässerung übernehmen und so gleichzeitig Ressourcen sparen.

Im betrieblichen Umfeld können intelligente Systeme bei Meetings assistieren, multimediale Kommunikation erleichtern und durch Benutzeridentifizierung betriebliche Zugriffs- und Zugangsrechte kontrollieren.

Automatisierung bedeutet jedoch nicht, dass diese Systeme autonom Entscheidungen treffen und Handlungen durchführen. Dies wäre aber gerade wünschenswert, denn ein automatisiertes System mit hohem Betriebsaufwand (z. B. konstante Überwachung des Systemverhaltens) ersetzt die Arbeit, die es dem Menschen abnehme soll, lediglich durch eine neue Aufgabe. Es gibt also außer der Automatisierung noch andere Schlüsselfaktoren, durch die intelligente Systeme ihren eigentlichen Zweck erfüllen können.

Eines der zentralen Probleme ist die Interaktion mit dem Menschen: Die in dieser Arbeit behandelten Systeme arbeiten nicht vom Menschen abgeschottet, sondern wirken durch ihr Verhalten auf dessen Umfeld ein. Somit befinden sich beide Parteien zwangsläufig in einer ständigen Interaktion.

Um das Systemverhalten kontrollierbar und berechenbar zu gestalten, müssen bei der Entwicklung der Systeme diverse Aspekte beachtet werden. Einige wichtige dieser Aspekte sollen im Folgenden betrachtet werden, gefolgt von den Schwierigkeiten ihrer Umsetzung und möglichen Lösungen.

2. ASPEKTE BEI DER ENTWICKLUNG INTELLIGENTER SYSTEME

Bei der Interaktion zwischen Mensch und Maschine sollen Interessenskonflikte, Missverständnisse und Fehlverhalten vermieden werden. Der Erfolg einer Interaktion zwischen Mensch und Maschine hängt demnach im Wesentlichen vom gegenseitigen Verständnis ab, dieses wiederum von der Qualität der Kommunikation, die während der Interaktion stattfindet.

Die Interaktion muss von einem Informationsaustausch begleitet werden: Das System benötigt Information darüber, was der Benutzer in einer spezifischen Situation erwartet, und es muss Einwände oder Bestätigungen des Benutzers entgegennehmen können. Der Benutzer hingegen muss über Handlungen des Systems informiert werden und die vorangegangenen Entscheidungen nachvollziehen können. Zudem müssen ihm die Grenzen des Systems und seine eigenen Handlungsmöglichkeiten aufgezeigt werden. [2] Warum das alles nötig ist, wird im Laufe dieses Kapitels deutlich werden.

Zunächst soll die allgemeine Funktionsweise eines automatisierten Systems betrachtet werden:

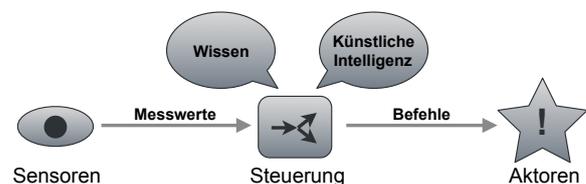


Abbildung 1. Funktionsweise eines automatisierten Systems.

Abbildung 1 zeigt den Informationsfluss innerhalb eines solchen Systems. Umgebungsparameter werden von Sensoren erfasst und an eine Steuerungseinheit übergeben. Diese wertet die Daten aus und versucht daraus den aktuellen Zustand der Umgebung abzuleiten. Dieser Zustand wird auf Handlungsbedarf überprüft dann gegebenenfalls eine Strategie entwickelt,

wie Anpassungen vorgenommen werden können. Befehle an sogenannte Aktoren sorgen für die Durchführung der Strategie. Aktoren sind durch das System ansprechbare Geräte, die Einfluss auf die Umwelt nehmen können, z. B. Motoren inkl. Steuerungseinheit.

Zur Veranschaulichung in den nächsten Abschnitten soll ein Beispiel dienen: Ein Home Automation System ist für das Raumklima in einem Gebäude verantwortlich. Zur Erfassung von Umgebungsdaten stehen sowohl innen als auch außen Sensoren für Lufttemperatur und -feuchtigkeit zur Verfügung. Die Anpassung des Raumklimas erfolgt dann nicht durch eine Klimaanlage, sondern schlicht durch öffnen und schließen von Fenstern. [2]

2.1 Notwendigkeit von Transparenz

Wie man sieht, kann sich das System nur in starker Abhängigkeit von Sensordaten ein Bild von seiner Umgebung machen. Zur Analyse und Entscheidungsfindung wird zwar noch anderes Wissen hinzugezogen, z. B. festgelegte Entscheidungsregeln oder Erfahrungswerte, doch die Sensordaten bilden die Grundlage für einen erkannten Zustand, einen daraus identifizierten Handlungsbedarf, dementsprechend getroffene Entscheidungen und letztendlich für Handlungen des Systems.

Diese Abhängigkeit stellt eine große Schwachstelle dar, denn durch defekte Sensoren können Messfehler auftreten oder Daten gänzlich fehlen. Außerdem unterliegen Sensoren immer einer gewissen Messgenauigkeit und manche Umgebungsparameter werden nicht berücksichtigt, evtl. weil sie gar nicht gemessen werden können. So kann ein unvollständiges oder inkorrektes Bild der Umgebung entstehen und das System trifft falsche Entscheidungen, obwohl es in seinen Augen richtig handelt. [2]

Im Beispielsystem könnte das bedeuten, dass Fenster zum Lüften geöffnet werden, obwohl draußen ein Unwetter herrscht. Das beschriebene System erfasst nämlich weder Windstärke und -richtung, noch ist es in der Lage, Regen zu erkennen, weil hierfür keine entsprechenden Sensoren vorhanden sind. Aber auch wenn diese nachgerüstet werden, kann es z. B. vorkommen, dass die Fenster nicht geöffnet werden sollen, weil sich Allergiker in den Räumen aufhalten und draußen starker Pollenflug herrscht.

Solche, teilweise unvorhergesehen auftretenden Situationen erkennen zu können würde einen enormen technischen Aufwand bedeuten. Neben einer immer umfangreicheren Konstellation von Sensoren müssten auch die Bestandteile der Steuerungseinheit (Wissensdatenbank, Algorithmen, etc.) umfangreicher werden, um Defizite bei der Datenerfassung durch künstliche Intelligenz auszugleichen.

a) Entscheidungen des Systems:

Das System wird immer komplexer und damit für den Benutzer eine undurchschaubare „Black Box“. Er kann einerseits

nicht nachvollziehen, warum das System so handelt, wie es handelt, und verliert die Kontrolle über Teile seines Alltags. Gleichzeitig steigen die Erwartungen an das System mit unerklärlichen, aber vermeintlich grenzenlosen Fähigkeiten. Da dies nicht der Realität entspricht, werden diese falschen Erwartungen früher oder später enttäuscht, wenn das System an seine Grenzen stößt. Andererseits hat der Benutzer auch keine Möglichkeit, Fehlentscheidungen des Systems zu korrigieren oder generell zu verhindern, wenn er nicht weiß, wie es zu diesen Entscheidungen gekommen ist. [2]

Beides hat Frustration zur Folge, gefolgt von unnötig hohem Aufwand um den Fehler zu finden und zu beseitigen. Die Konfiguration eines Systems gestaltet sich um einiges aufwändiger, wenn man die Auswirkung von getroffenen Einstellungen nicht im Verhalten des Systems wiederfinden kann.

b) Handlungen des Systems:

Solange der Benutzer die Entscheidungen des Systems nicht nachvollziehen kann, wird für ihn auch die Handlungsweise unerklärlich bleiben. Aber auch hier ist Transparenz erforderlich, denn der Benutzer muss Handlungen des Systems erwarten können, d. h. in bestimmten Situationen mit ihnen rechnen. Tritt das System unerwartet oder unangemessen in Aktion, wird das den Benutzer unter Umständen stören oder sogar verwirren und seine eigenen Aktivitäten unterbrechen, was natürlich nicht wünschenswert ist.

Zudem ist es dem Benutzer, wenn er nicht überrascht sondern ausreichend informiert wird, besser möglich, die Situation selbst zu erfassen und den Handlungen des Systems (ggf. stillschweigend) zuzustimmen oder einzugreifen.

2.2 Interaktion in Form von Unterstützung

Es wird deutlich, dass eine alternative Form der Interaktion von Mensch und Maschine wünschenswert wäre. Bei dieser Form sollte das System den Menschen unterstützen statt ihn bzw. seine Umgebung selbsttätig zu kontrollieren. Dafür ist Technologie erforderlich, die folgende Eigenschaften besitzt:

Sie ist auf subtile Art und Weise „allgegenwärtig“ (Ubiquitous Computing).

Sie versorgt den Benutzer zur richtigen Zeit am richtigen Ort mit wichtigen Informationen.

Sie teilt Entscheidungen nachvollziehbar mit und gestaltet Handlungen für den Benutzer kontrollierbar.

Sie handelt somit nicht bevormundend, sondern hilft dem Benutzer Vorgänge zu verstehen und daraus zu lernen.

Nebenbei sei bemerkt, dass durch diese Herangehensweise ein als „Graceful Degradation“ bekanntes Phänomen ermöglicht wird. Dabei reagiert ein System auf Fehler oder andere unerwartete Ereignisse nicht mit einem Ausfall, sondern reduziert in angemessener Weise Teile seiner Funktionalität oder deren Qualität.

Es gibt nun zwei denkbare Formen eines solchen unterstützenden Systems: Es kann dem Benutzer Vorschläge machen statt von selbst zu handeln oder sogar versuchen, dem Benutzer durch diese Handlungsweise etwas beizubringen. [2]

Generell sollte dem Benutzer aber auch die Möglichkeit geboten werden, selbst zu bestimmen, in welchem Umfang er an Entscheidungen beteiligt und über Handlungen in Kenntnis gesetzt werden möchte. Schließlich soll durch das System Arbeit wegfallen und nicht durch neue Aufgaben ersetzt oder sogar vermehrt werden.

a) Vorschlagendes System:

Ein vorschlagendes System arbeitet anfangs wie das zuvor beschriebene System. Es versucht, aus eingehenden Daten den momentanen Zustand der Umwelt abzuleiten und Handlungsbedarf zu identifizieren, anschließend entwickelt es eine oder mehrere Strategien zur Anpassung.

Es führt die seiner Meinung nach nötigen Maßnahmen aber nicht eigenständig durch, sondern tritt mit Vorschlägen an den Benutzer heran, welcher dann eine der Situation angemessene Strategie auswählt.

In der Praxis könnte das so aussehen: Der Benutzer wird drüber informiert, dass es sinnvoll sein könnte zu lüften. Fenster, die das System gerne öffnen würde, werden durch Beleuchtung o. Ä. visuell hervorgehoben und der Benutzer darauf hingewiesen. Der Benutzer entscheidet nun, ob und welche Fenster geöffnet werden. Die Arbeit des Fensteröffnens kann nun von ihm selbst durchgeführt, oder automatisch erledigt werden.

Man beachte, dass hier nicht nur von einer Strategie die Rede ist, sondern von mehreren. Da der Benutzer im Gegensatz zum System nicht den beschriebenen Beschränkungen unterliegt, kann er deutlich mehr Kontext berücksichtigen.

Im Bezug auf das Beispielsystem bedeutet das: Der Benutzer kann zwar keine quantitative Messung der Klimafaktoren (Temperatur, Luftfeuchtigkeit) vornehmen, er kann sie aber immerhin qualitativ einschätzen. Zudem kann er weitere Faktoren wie Wetterlage oder Pollenflug berücksichtigen.

Das System muss sich somit nicht mehr auf eine Strategie festlegen, sondern kann dem Benutzer mehrere Alternativen anbieten und ihm die Entscheidung überlassen. Dadurch wird das Risiko von Fehlentscheidungen drastisch verringert.

b) Lehrendes System:

Wenn das System dazu in der Lage ist, dem Benutzer eine bestimmte Handlungsweise näher zu bringen, ohne ihn zu überfordern, dann ergibt sich unter Umständen ein Lerneffekt. Wie viel und wie leicht der Benutzer lernen kann, hängt davon ab, wie viel Aufschluss ihm das System über Motivation, Details und Konsequenzen der durchgeführten Maßnahmen gewährt. Gerade im Moment der Handlung oder direkt danach lässt sich dieser Lerneffekt am besten nutzen: Statt passiv zu beobachten, muss der Benutzer selbst denken und evtl. sogar selbst handeln, dabei kann er Zusammenhänge erkennen, seine Umgebung verstehen und lernen, sie zu kontrollieren.

Zudem wird einer unnötigen Abhängigkeit von maschineller Unterstützung vorgebeugt. Diese würde sonst immer weiter zunehmen – eine Problematik, die heute schon in manchen Bereichen des täglichen Lebens unübersehbar geworden ist. Ein automatisch handelndes System lernt unter Umständen selbst aus den Konsequenzen seiner Handlungen, es verschließt sich aber vor dem Benutzer und gibt ihm nicht die Chance, auch etwas zu lernen. Auch Synergieeffekte, z. B. dadurch dass Benutzer und System neu erworbenes Wissen austauschen, werden nicht genutzt. [2]

2.3 Momente der Interaktion

Betrachtet man ein Szenario wie die Klimakontrolle im Beispiel genauer, erkennt man mehrere entscheidende Momente. Diese ermöglichen jeweils ein gewisses Maß an Benutzerinvolvierung bzw. erfordern sie sogar, wenn dem Prinzip der Unterstützung gefolgt werden soll.

Abbildung 2 zeigt den zeitlichen Zusammenhang dieser wichtigen Momente:



Abbildung 2. Zeitlicher Verlauf eines Szenarios mit Interaktion.

a) Erkennung:

Zu diesem Zeitpunkt wurde aufgrund von gesammelten Daten und bestehendem Wissen ein bestimmter Zustand festgestellt und eventuell auch schon ein Handlungsbedarf erkannt. Maßnahmen zur Anpassung müssen ausgewählt werden. Den Benutzer hier schon einzubeziehen hat wenig Sinn, denn er kann mit den gesammelten Daten wenig anfangen, die Auswertung muss demnach vom System vorgenommen werden.

Aber auch wenn bereits der Zustand der Umgebung identifiziert wurde, sollte der Benutzer weder die Erkennung von Handlungsbedarf noch die Auswahl von entsprechenden Maßnahmen übernehmen müssen. Gerade diese Arbeiten sollen den Menschen abgenommen werden, dementsprechend muss das System zu diesem Zeitpunkt noch keine Kommunikation zum Benutzer aufbauen, sondern kann sich auf die Zustandserkennung und Strategieentwicklung konzentrieren. [2]

Im Beispielszenario liegen hier zunächst die Sensordaten vor. Das System erkennt nun erstens, dass das Raumklima nicht optimal ist (Zustand mit Handlungsbedarf), und zweitens, dass es durch Lüften verbessert werden könnte (Strategie). Die Strategie wird nun im Detail entwickelt, d. h. es wird geprüft, welche Fenster für einen optimalen Luftaustausch geöffnet werden müssten – hierbei können sich mehrere Möglichkeiten ergeben.

b) Entscheidung:

Im Moment der Entscheidung kommt es darauf an, eine oder

mehrere Maßnahmen bzw. Strategien auszuwählen und damit deren Umsetzung einzuleiten. Für ein unterstützendes System ist es genau jetzt essentiell, dem Benutzer Einblick in das Geschehen zu gewähren und ihm die Alternativen aufzuzeigen, da er mehr Kontext berücksichtigen und somit evtl. bessere Entscheidungen treffen kann. [2]

Im Beispielszenario wird dem Benutzer nun mitgeteilt, dass es sinnvoll wäre zu lüften und welche Fenster geöffnet werden könnten. Der Benutzer kann sich nun gänzlich gegen das Lüften entscheiden, eine der vorgeschlagenen Möglichkeiten auswählen, oder eine Strategie anpassen, indem er z. B. einzelne Fenster ausschließt oder hinzufügt.

c) Handlung:

Die Strategie, um die Umgebungsbedingungen den Wünschen des Benutzers anzupassen, wurde nun festgelegt und muss möglichst bald durchgeführt werden, um einen optimalen Effekt zu erzielen. Denn wenn zwischen dem Moment der Erkennung und der Handlung zu viel Zeit vergeht, haben sich wichtige Parameter evtl. schon wieder verändert und die geplanten Maßnahmen ist nicht mehr angemessen oder sogar kontraproduktiv.

Gerade deshalb sollte die Involvierung des Benutzers wohlüberlegt stattfinden, denn dabei kann es zu den größten Verzögerungen können. Einerseits kann und möchte ein Mensch keine komplexen Gedankengänge in möglichst kurzer Zeit vollziehen. Erst recht nicht, wenn dazu Berechnungen nötig sind.

Andererseits kann es natürlich auch sein, dass der Benutzer andere Aktivitäten abschließen möchte, bevor er sich mit der Angelegenheit befasst. Vielleicht vergisst er in der Zwischenzeit sogar, dass er eine Entscheidung treffen soll – hier darf das System nicht blind auf eine Eingabe warten, sondern sollte den Benutzer z. B. an den Entscheidungsbedarf erinnern. Zuvor sollte es aber aus den bereits erwähnten Gründen überprüfen, ob überhaupt noch Handlungsbedarf besteht. [2]

Im Beispielszenario wurde nun bereits beschlossen, dass bestimmte Fenster geöffnet werden sollen. Der Benutzer kann nun das System diese Arbeit durchführen lassen. Wenn der Benutzer die Fenster aber selbst öffnet, muss das System diese Handlung erkennen oder sie muss ihm mitgeteilt werden, damit das Szenario erfolgreich abgeschlossen werden kann.

d) Auswertung:

Wenn die Handlung abgeschlossen ist, bedeutet das nämlich weder zwangsläufig das Ende des Szenarios, noch der Interaktion. Insbesondere der Zeitpunkt „Ende des Szenarios“ kann sich aus der Sicht von System und Benutzer unterscheiden.

Im Falle eines vorschlagenden Systems endet das Szenario für den Benutzer meist mit dem Abschluss der Handlung, da auch keine weitere Interaktion mit dem System stattfindet. Das System kann jedoch im Hintergrund die Auswirkungen der getroffenen Maßnahmen beobachten und analysieren, um den Erfolg der gewählten Strategie zu bewerten.

Im Falle eines lehrenden Systems wird der Benutzer aller-

dings auch in dieser Phase involviert und zumindest über festgestellte Konsequenzen, evtl. aber auch detailliert über Zusammenhänge einzelner Maßnahmen und der erzielten Veränderung informiert. So kann auch der Benutzer den Erfolg der getroffenen Entscheidung bewerten und für die Zukunft Schlüsse daraus ziehen. [2]

Im Beispielszenario beobachtet das System noch eine Weile den Lüftungsvorgang und schließt die Fenster nach gegebener Zeit wieder. (Falls dies nicht festgelegt wurde, könnte sich hier eine weitere Entscheidungssituation ergeben!) Der Benutzer wird zum Schluss über den Erfolg informiert, d. h. über die erreichte Verbesserung des Raumklimas. Wie bereits erwähnt ist ein gemeinsames Lernen mit dem System möglich, indem erworbenes Wissen ausgetauscht wird und zukünftig bessere Strategien ausgewählt werden können – System und Benutzer profitieren beide davon, wenn Lerneffekte genutzt werden.

2.4 Präsentation von Information

Offensichtlich ist es fast zu jedem Zeitpunkt wichtig, dass dem Benutzer verschiedene Informationen vermittelt werden. Dazu gehören Möglichkeiten, Grenzen und Status des Systems, sowie Auskunft über Kontrollmöglichkeiten. Dabei spielt es natürlich eine große Rolle, wie, wann und wo die Information präsentiert wird, denn man möchte diese Basis der Kommunikation so effizient und effektiv wie möglich gestalten.

a) Ort:

Wenn Information präsentiert werden soll, ist eine der wichtigsten Fragen die des am besten geeigneten Ortes. Es bieten sich auf Anhieb mehrere Möglichkeiten an, die je nach Situation und zu präsentierender Information verschiedene Vor- und Nachteile haben.

i) Überall:

Die einfachste, aber nicht gerade subtilste Methode wäre zunächst einmal, die Information „überall“ zu präsentieren. Die kann z. B. durch weiträumig hörbare Sprachausgabe geschehen, oder durch Anzeige auf möglichst vielen Displays an möglichst vielen Orten. Dadurch können mehrere Personen gleichzeitig mit Information versorgt werden, was aber auch ein Nachteil sein kann, etwa weil Unbetroffene in ihren Aktivitäten gestört werden.

ii) Betroffener Benutzer:

Eine gezieltere Vorgehensweise wäre es, die Information nur bei dem betroffenen Benutzer zu präsentieren. Das kann zum Beispiel durch Senden einer Meldung an tragbare Geräte wie PDAs oder Mobiltelefone geschehen. Diese Variante ist vor allem bei zeitnah zu präsentierenden Informationen zu bevorzugen, da man davon ausgehen kann, dass der Benutzer sie sofort wahrnimmt. Natürlich muss hier zuerst entschieden werden, für welche Benutzer die Information überhaupt relevant ist.

iii) Betroffenes Subjekt:

Möchte man hingegen den Betreff der Information betonen, so kann die Information auch bei dem „Subjekt“ der Angelegenheit, etwa auf dem Gegenstand selbst oder einem Display in der Nähe, präsentiert werden.

b) Zeitpunkt:

Genauso wichtig wie die Wahl des Ortes und offensichtlich teilweise eng damit verbunden ist die Wahl des Zeitpunktes, zu dem die Information präsentiert werden soll.

i) Sofort:

Auch hier gibt es eine vergleichsweise simple Methode, die Information wird sofort präsentiert, was durchaus sinnvoll sein kann, z. B. wenn Handlungsbedarf erkannt worden ist und eine Entscheidung ansteht. Für eine sofortige Präsentation muss natürlich sichergestellt sein, dass man den oder die betroffenen Benutzer auch zeitnah erreicht – wie man gesehen hat, sind dafür nicht alle Varianten bei der Ortswahl geeignet.

ii) Festgelegter Zeitpunkt:

Eine weitere Möglichkeit wäre es, den Benutzer selbst festlegen zu lassen, wann er mit (einer bestimmten Art von) Information versorgt werden möchte. Das kann zum Beispiel bei oft oder regelmäßig auftretenden Ereignissen sinnvoll sein, über die der Benutzer immer zur gleichen Zeit in Form einer Zusammenfassung in Kenntnis gesetzt werden möchte.

iii) Ermittelter Zeitpunkt:

Die wohl aufwändigste, aber auch interessanteste Variante ist es, das System den optimalen Zeitpunkt für die Übermittlung der Information an den Benutzer ermitteln zu lassen. Hierbei können eine Reihe von Faktoren berücksichtigt werden, es ist allerdings wieder ein möglichst vollständiges Abbild der Realität erforderlich, um einen geeigneten Zeitpunkt finden zu können.

Interessant ist diese Vorgehensweise zum Beispiel, wenn das System weiß, dass der Benutzer gerade mit etwas wichtigem beschäftigt ist – etwa weil er sich in einer Besprechung befindet. Das System kann nun diesen Umstand bei der Wahl des Zeitpunktes in Betracht ziehen, das Ende der Aktivität abwarten und ihm so die Information zum nächstmöglichen Zeitpunkt zukommen lassen, ohne ihn vorher gestört zu haben.

Ein weiteres Problem in diesem Zusammenhang ist der Umgang mit gleichzeitig auftretenden Ereignissen, denn hier können sich Ansprüche an das selbe Informationsmedium überschneiden. Dieses Problem kann gelöst werden, indem man die Informationen sequentiell ausgibt, wobei ihnen eine Priorität zugeordnet werden muss. Falls Informationen eine gewisse Gemeinsamkeit aufweisen, können sie aber auch zusammengefasst werden – auch innerhalb einer Sequenz von vielen, aber klassifizierbaren Informationen.

c) Medium:

Unabhängig davon, wo und wann man die Information präsentiert, hat man in einem modernen Umfeld verschiedene Medien zur Verfügung.

i) Auditiv:

Wenn Information möglichst ortsungebunden präsentiert werden soll, z. B. an mehreren Orten oder für mehrere Personen gleichzeitig, dann bietet sich eine Ausgabe von Sprache oder anderen akustischen Signalen (vor allem Signaltöne oder Melodien mit hohem Wiedererkennungswert) an. Bei zu umfangreichen bzw. komplexen Informationen überfordert diese Variante aber schnell und ist damit eher ungeeignet.

ii) Visuell:

Gerade bei umfangreichen, komplexen Informationen ist eine sichtbare Darstellung wohl die beste Variante, wie ein bekanntes Sprichwort bestätigt. Zusammenhänge können in visualisierter Form besser verstanden und Informationen in beliebiger Reihenfolge aufgenommen werden, was bei reiner Sprachausgabe nicht möglich ist.

iii) Audio-Visuell:

Man kann natürlich auch die Vorteile beider Varianten kombinieren, indem man dieselbe Information sowohl optisch als auch akustisch vermittelt. Man kann aber auch jeweils unterschiedliche Aspekte der Information präsentieren und z. B. durch eine weiträumig hörbare Meldung auf einen Sachverhalt aufmerksam machen und interessierten Personen dann an einem bestimmten Ort weitere Details und Kontrollmöglichkeiten bieten.

d) Detailgrad:

Zu guter Letzt hat man noch die Möglichkeit, das Informationsangebot unterschiedlich detailliert zu gestalten. Der richtige Detailgrad ist auf der einen Seite abhängig von der Situation und der Information, die vermittelt werden soll. Auf der anderen Seite beeinflusst aber auch die Wahl von Ort, Zeit und Medium den optimalen Detailgrad.

i) Ausführlich:

Eine ausführliche Präsentation kann erforderlich sein, wenn ein komplizierter Sachverhalt erklärt werden muss, z. B. weil der Benutzer eine diesbezügliche Entscheidung treffen soll. Stehen ihm nur wenige Informationen zur Verfügung, erhöht sich das Risiko einer Fehlentscheidung. Auch für die optimale Nutzung des Lerneffekts kann es dienlich sein, wenn man dem Benutzer detaillierte Informationen über festgestellte Auswirkungen oder neu gewonnene Erkenntnisse zukommen lässt.

ii) Zusammengefasst:

Eine Zusammenfassung hingegen bietet sich überall dort an, wo das gewählte Medium keine ausführliche Darstellung der Information zulässt. Es kann aber auch sinnvoll sein, Informationen auf das Wesentliche zu reduzieren, oder mehrere gleichartige Informationen zusammenzufassen. Beides dient der Erhöhung von Übersichtlichkeit und Verständlichkeit.

Abbildung 3 fasst noch einmal zusammen, welche Kombinationen bei der Wahl von Präsentationsort, -zeitpunkt, -medium und -detailgrad empfehlenswert sind:

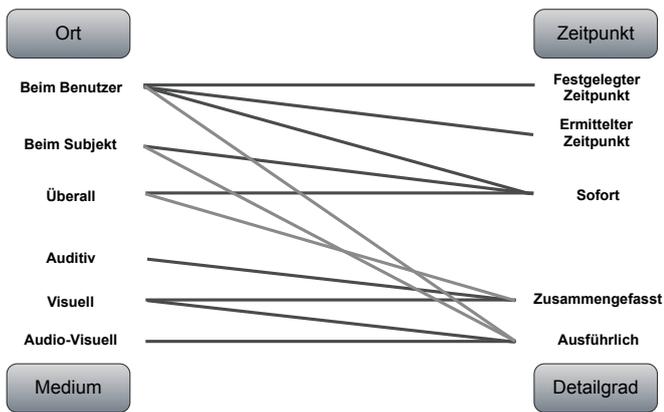


Abbildung 3. Zweckmäßige Kombinationen bei der Präsentation von Information.

3. HERAUSFORDERUNGEN BEI DER UMSETZUNG

Möchte man die soeben vorgestellten Prinzipien bei der Entwicklung oder Implementierung eines entsprechenden Systems, z. B. für Home Automation, beherzigen, so steht man in der Praxis vor einer Reihe von Herausforderungen, die es zu bewältigen gilt.

Für den Benutzer reicht es nicht aus, vom System über Entscheidungen informiert zu werden oder Handlungsvorschläge zu erhalten. Er muss die Funktionsweise der eingesetzten Technologie verstehen können und wissen, wann und auf welche Weise er mit dem System interagieren kann.

Das System muss unabhängig von Aufgabenstellung oder Gerätekonstellation zuverlässig arbeiten und darf die Arbeit, die es dem Benutzer abnimmt, nicht durch Administrationsaufwand ersetzen.

Um Interessenskonflikte, Missverständnisse und Fehlverhalten erfolgreich zu vermeiden, genügt es infolgedessen nicht, die in Kapitel 2 behandelten Aspekte bei der Systementwicklung zu berücksichtigen. Es muss zusätzlich Augenmerk auf eine sorgfältige und gesamtheitliche Lösung der folgenden Problemstellungen gelegt werden.

3.1 Komplexität der Technologie

Man könnte annehmen, dass jedes Problem mit Hilfe hochentwickelter Technologie lösbar ist. Wie in Abschnitt 2.1 gezeigt, verhindert diese Herangehensweise allerdings das Erreichen eines der wichtigsten Ziele: die Transparenz des Systems für den Benutzer.

Wenn man Technologien miteinander kombiniert und dann unter Umständen auch noch in ein Umfeld integriert, das nicht dafür ausgelegt ist, diese Technologien zu beherbergen, so entspricht das tatsächliche Verhalten einzelner Komponenten oder des Gesamtsystems manchmal nicht den Erwartungen des Benutzers. Fehlverhalten, wenn auch nur in den Augen des

Benutzers, führt bei ihm zu Frustration und unnötig hohem Arbeitsaufwand zum Auffinden und Beheben der Fehler. Jedoch stellen sich, spätestens beim Auftreten einer solchen Situation, mehrere Fragen über den Benutzer: [3]

Welche Informationen benötigt er über das System, um es verstehen zu können? Welche davon muss ihm das System selbst liefern?

Wie kann er erkennen, welche Geräte auf welche Art und Weise interagieren?

Was sind die tatsächlichen Grenzen des Systems?

Welche Konstellationen und Konfigurationen der vorhandenen Geräte sind möglich? Welche davon sind sinnvoll?

Wo und wie interagiert er mit einem System, das sich nicht an einem bestimmten Ort befindet, sondern „allgegenwärtig“ ist? (→ „Ubiquitous Computing“)

Wie kann der Benutzer einzelne Geräte oder das Gesamtsystem kontrollieren?

Bevor der Benutzer lernen kann mit einer Technologie umzugehen, benötigt er ein Modell von ihrer Funktionsweise. Für den Ingenieur eines Geräts oder Systems ist nun die Überlegung erforderlich, wie und mit welchem Ergebnis sich der Benutzer ein solches Modell bilden kann.

Will man erreichen, dass der Benutzer mit hoher Wahrscheinlichkeit problemlos mit dem System interagieren kann, so muss man hier entsprechende Modelle vorbereiten und dem Benutzer von Anfang an vermitteln. Je verständlicher und intuitiver dies geschieht, desto steiler ist die Lernkurve. (Gemeint ist die akademische Definition, die das erworbene Wissen über der Zeit betrachtet und bei der ein steiler Anstieg einen erfolgreichen Lernvorgang kennzeichnet.)

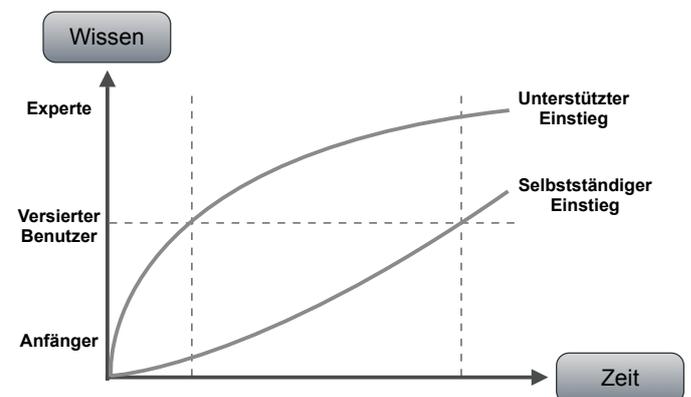


Abbildung 4. Unterschiedlicher Verlauf von unterstütztem und selbstständigem Einstieg in die Benutzung eines Systems.

Abbildung 4 verdeutlicht diesen Zusammenhang, indem der Einstieg zweier Benutzer in das selbe System verglichen wird. Ein Benutzer wird dabei unterstützt, z. B. durch Dokumentation, integrierte Hilfsfunktion und Assistenten, während der andere sich das Verständnis über die Funktionsweise des

Systems selbst aneignen muss.

Wie deutlich zu erkennen ist, erlangt der unterstützte Benutzer nach der gleichen Zeit mehr Wissen über das System, d. h. er kommt besser damit zurecht. Der auf sich allein gestellte Benutzer benötigt deutlich mehr Zeit, um einen ähnlichen Wissensstand zu erlangen – er wird öfter mit für ihn unlösbaren Problemen konfrontiert werden und den Umgang mit dem System als anstrengend und frustrierend empfinden.

3.2 Neue Modelle von Technologie

Eine neu aufgetretene Problematik und damit auch ein gutes Beispiel für die Notwendigkeit neuer Modelle ist die Entwicklung von Konnektivität.

Das sogenannte „explizite“ Modell Konnektivität, wie es Kabel repräsentieren, beinhaltet sichtbare und damit einfach zu kontrollierende Verbindungen, die sich nicht unbemerkt ändern können. Mit zunehmender Verbreitung werden Kabel aber durch drahtlose Verbindungen ersetzt. Neben den praktischen Vorteilen bringt diese neue Art von Konnektivität aber auch ein neues, „implizites“ Modell mit sich: Verbindungen sind nicht sichtbar und damit auch nicht ohne weiteres zu kontrollieren. Sie können unbemerkt abbrechen und sich, evtl. in anderer Art und Weise als beabsichtigt, wieder aufbauen. [3]

Dabei gibt es verschiedene Standards für drahtlose Verbindungen, die unterschiedliche Verhaltensweisen aufweisen. Das reicht von schnellen Ad-hoc-Verbindungen (z. B. Infrarot) über mäßig konfigurierbare Varianten (z. B. Bluetooth) bis hin zu komplexen, sicherheitsbewussten Verbindungsarten (z. B. Wireless LAN).

Wird ein Benutzer, dem das „implizite“ Modell von Konnektivität unbekannt ist, mit dieser Technologie konfrontiert, ergeben sich daraus mehrere Probleme. Er kann nicht erkennen, welche Geräte theoretisch miteinander in Verbindung stehen können, und auch nicht, welche Geräte tatsächlich miteinander kommunizieren.

Auch neue Sicherheitsrisiken müssen berücksichtigt werden: während die Manipulation einer Kabelverbindung mehr oder weniger direkten Zugriff erforderte, können nun Dritte auch aus größerer Entfernung Zugang zu einem Netzwerk aus drahtlosen Verbindungen erlangen.

Die Technologie bleibt für den Benutzer so lange undurchsichtig, bis ihm das zugrunde liegende Modell vermittelt wird. Erst dann kann er die Technologie verstehen und in vollem Umfang nutzen. [3]

3.3 Interoperabilität innerhalb des Systems

Die Technologielandschaft in einem modernen Gebäude ist meist häufigen Änderungen unterworfen – gerade im häuslichen Bereich, wo keine Vorgaben regulierend wirken können. Es kommt immer wieder neue Hard- und Software in das System, wird entfernt, aufgerüstet oder aktualisiert. Zudem existieren Geräte verschiedener Hersteller und Generationen

nebeneinander, was ein hohes Maß an Kompatibilität voraussetzt. Ist diese Kompatibilität nicht gegeben, werden Flexibilität, Zuverlässigkeit, Transparenz und Kontrollierbarkeit des Systems erheblich eingeschränkt. [3]

Interoperabilität bezeichnet nun die Fähigkeit eines Gerätes, mit anderen Geräten eine Verbindung einzugehen und zu interagieren. Ohne diese Fähigkeit entstehen innerhalb der immer unübersichtlicher werdenden Technologielandschaft Gerätekonstellationen, die man als „Inseln der Funktionalität“ bezeichnen könnte. Sie bestehen beispielsweise aus Geräten eines einzigen Herstellers, welche untereinander kommunizieren können, mit herstellerfremden Geräten allerdings nicht. Meist kommt noch ein Aspekt hinzu: für diese Fähigkeit soll vorher möglichst kein Konfigurationsaufwand anfallen. Diese erweiterte Form wird als „Spontane Interoperabilität“ bezeichnet. [3]

Standards bieten hier nur einen vermeintlichen Ausweg, denn sie legen meist nur den Syntax der stattfindenden Kommunikation fest. Die Semantik muss vom Entwickler hinzugefügt werden, was zu individuellen Interpretationen von ein und derselben Kommunikationsweise führen kann. Außerdem sind auch Standards manchmal proprietär und werden daher nicht von allen erhältlichen Geräten unterstützt.

Die Lösung ist auch hier, neue Modelle für Kommunikation und Interoperabilität zu finden, welche Protokolle, Schnittstellen sowie syntaktische und semantische Standards bereitstellen. Sie existieren noch nicht in etablierter Form, sondern befinden sich noch in der Entwicklungsphase, wobei verschiedene Hersteller oder Gruppierungen jeweils eigene Wege gehen (z. B. in Stanford, bei HP mit „CoolTown“, bei Xerox mit „Speakeasy“). [3]

3.4 Zuverlässigkeit und Bedienbarkeit

Die angesprochene Veränderlichkeit der Technologielandschaft birgt auch ein gewisses Risiko von Instabilität. Während bei Desktop- oder Laptop-Computern häufige Abstürze oder von Installationen verursachte Neustarts immer noch in Kauf genommen werden, werden an „Haushaltsgeräte“ wie Fernseher, DVD-Playern oder Pay-TV Decodern hohe Erwartungen gestellt. Hier würde niemand akzeptieren, dass der Betrieb durch unerwünschte Ereignisse unterbrochen wird. Auch Geräte mit komplexer Elektronik müssen zuverlässig funktionieren und sich nahtlos in die bestehende Umgebung einfügen. [3]

Der Grund dafür ist, dass diese Anforderung von eingebetteten Systemen (Embedded Computing) im Gegensatz zu PC-Systemen erfüllt wird, ist folgender: Da die Wartung solcher Geräte meist umständlich ist und sie selten über einen Internetzugang verfügen, über den Updates oder Patches automatisch eingespielt werden könnten, muss sich der Hersteller bereits im Voraus Gedanken über eventuell eintretende Ereignisse (Störungen, Fehler, Ausfälle) machen und den Umgang mit ihnen bei der Entwicklung des Gerätes berücksichtigen. [3]

Die Stabilität muss somit in der Systemarchitektur verankert sein, was eine entsprechende technologische Herangehensweise und Entwicklungskultur erforderlich macht. Zudem muss ein als „Graceful Degradation“ bezeichnetes Systemverhalten ermöglicht werden, d. h. das System reagiert auf einen Teilausfall, indem es schrittweise Funktionalität oder deren Qualität einschränkt und so versucht, weitgehend unbeeinträchtigt zu bleiben. [3]

3.5 Administration und Wartung

Wie bereits behandelt, unterliegt die Technologielandschaft in einem modernen Gebäude stetigen Veränderungen und steigender Komplexität. Die Veränderungen (Hinzufügen, entfernen und aktualisieren von Hard- und Software) müssen von jemandem durchgeführt werden, sofern sie nicht automatisch ablaufen (was ohnehin nur bei Software möglich ist). Dabei muss der Überblick behalten und es müssen gleichzeitig weitere relevante Aspekte, z. B. Sicherheit, beachtet werden.

Viele Benutzer haben nun weder die Fähigkeit, diese Administrationsaufgaben zu übernehmen, noch das Interesse daran. Im betrieblichen Umfeld mag speziell für diese Aufgaben ausgebildetes Personal vorhanden sein, im häuslichen Umfeld ist jedoch davon auszugehen, dass es keinen Systemadministrator gibt. [3] Das bedeutet, dass man Systeme schaffen muss, bei denen sich der Aufwand für Installation, Wartung und Betrieb in minimalen Grenzen hält.

Es gibt bereits zwei bewährte Modelle von quasi wartungsfreien Systemen: [3]

a) *Eigenständigkeit:*

Eigenständige Geräte weisen eine hohe Zuverlässigkeit auf, können aber durch ihre Komplexität bei Bedarf nur durch Fachkräfte repariert werden. Solche Geräte können auch untereinander Interaktionen eingehen, ohne dass die Bedienbarkeit darunter leidet. Ein Beispiel für diese Variante wären Fernsehgeräte.

b) *Nutzung eines Netzwerks:*

Netzwerke nutzende Geräte stellen das Endgerät für ein System dar, dessen Komplexität in diesem Netzwerk verborgen liegt. Der Benutzer kann somit von Verbesserungen profitieren, das tatsächlich bei ihm vorhandene System bleibt aber von Änderungen verschont. Ein Beispiel hierfür wäre das Telefon.

Es gibt selbstverständlich auch Mischformen, wie z. B. Set-Top-Boxen. Diese Geräte beinhalten selbst ein hohes Maß an Komplexität und beziehen zusätzlich Funktionalität aus dem (Kabel-)Netzwerk, beides unter Einhaltung hoher Zuverlässigkeit und einfacher Bedienbarkeit. [3]

3.6 Künstliche Intelligenz

Zu guter Letzt soll noch ein Kernproblem bei Mensch-Maschine-Interaktionen aufgezeigt werden: Wie schafft es das

System, intelligent auf seine Umwelt zu reagieren und dabei die Interessen seines Benutzers zu berücksichtigen?

Häufig wird der Mensch bei der Benutzung von maschinellen Assistenten in bestimmte Verhaltensmuster gezwungen, weil der Assistent sonst nicht in der Lage ist, dessen Absichten zu erkennen. Diese Einschränkung soll aber möglichst gering gehalten werden, deshalb muss das System nicht nur den Zustand seiner Umwelt möglichst realitätsnah zu erfassen, sondern es muss auch in der Lage sein, aus diesem Zustand die Absichten des Benutzers abzuleiten. Inwiefern dabei auf künstliche Intelligenz zurückgegriffen wird, kann unterschiedlich stark ausgeprägt sein, was anhand eines Beispielszenarios veranschaulicht werden soll: Mehrere Personen nehmen an einem Meeting teil, das von einem intelligenten System als solches erkannt und unterstützt werden soll. [3]

Das System kann nun in einem ersten Schritt die Bedeutung verschiedener Sensordaten interpretieren, um den Zustand der Umgebung festzustellen. Beispielsweise werden mehrere RFID-Tags, die von den Personen getragen werden, in einem kleinen Umkreis erkannt und das System leitet daraus ab, dass sich mehrere Personen im selben Raum aufhalten.

Anschließend kann das System mehrere Faktoren (z. B. erfasste Sensordaten und vorhandenes Wissen) aggregieren, um ein genaueres Bild der Umwelt zu erhalten. Beispielsweise wird die zuvor erkannte Gruppenbildung mit dem Gebäudeplan abgeglichen und das System erkennt, dass sich die Personengruppe in einem Besprechungsraum befindet, und schließt daraus, dass es sich um ein Meeting handelt.

Das System kann nun versuchen, aus dem erkannten Zustand die Absichten des Benutzers abzuleiten, indem es Wissen (z. B. Regeln und Erfahrungswerte) anwendet. Beispielsweise ist es üblich, dass Meetingteilnehmer sich Notizen machen und diese miteinander teilen, oder dass jemand eine Präsentation hält.

Wenn das System eine in der vorliegenden Situation wahrscheinliche Absicht erkannt hat, kann es nun versuchen, in unterstützender Art und Weise darauf zu reagieren. Dies kann sofort geschehen, oder aber erst, wenn der Benutzer durch eine bestimmte Handlung die Vermutung des Systems bestätigt hat. Beispielsweise stellt das System sofort ein gesichertes, drahtloses Netzwerk zur Verfügung, in dem Daten ausgetauscht werden können. Oder es unterstützt eine Präsentation, indem es den Raum abdunkelt, sobald ein Projektor eingeschaltet wird.

Abbildung 5 verdeutlicht diese Zusammenhänge von Messungen bzw. Vermutungen des Systems und den daraus resultierenden Handlungen. Man kann hier wieder eine Abhängigkeit von Sensordaten als Ausgangspunkt des Systemverhaltens feststellen. Wie schon mehrfach erwähnt, besteht hier das Risiko von Messfehlern und Irrtümern. Und unabhängig davon, wie viel Aufwand man betreibt, um Sensordefizite durch künstliche Intelligenz auszugleichen, stellt sich immer die Frage, ob die von den Sensoren gelieferten Daten auch

tatsächlich den Zustand der Umwelt oder nur den Zustand der Sensoren reflektieren. Hier scheint der Einsatz von Systemen mit künstlicher Intelligenz und Lernfähigkeit erforderlich zu werden.

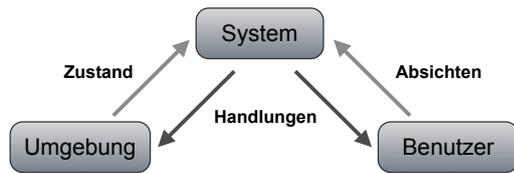


Abbildung 5. Zusammenhänge beim Einsatz von künstlicher Intelligenz.

4. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Ein System, das ein Gebäude zu einem intelligenten Gebäude machen soll, muss dabei offensichtlich viele Aspekte berücksichtigen, um seine Benutzer auf optimale Weise unterstützen zu können:

Es sollte sich für den Benutzer nachvollziehbar verhalten, in dem es über Status, Entscheidungen und Handlungen informiert. Dazu sollte es dem Benutzer die richtigen Informationen zur richtigen Zeit am richtigen Ort und in der richtigen Form präsentieren.

Weiterhin sollte es dem Benutzer die übergeordnete Kontrolle über Entscheidungen und Handlungen überlassen, ihm dabei aber auch die Möglichkeit geben, festzulegen, wie viel Handlungsfreiheit er dem System zugestehen möchte.

Zudem sollte das System auch noch möglichst zuverlässig sein, indem es möglichst fehlerfrei funktioniert, einfach zu warten und zu erweitern ist und eine einwandfreie Kommunikation und Interaktion aller Geräte untereinander ermöglicht. Zu guter Letzt sollte sich das System seiner Umwelt und der Interessen seiner Benutzer bewusst sein, Ungenauigkeit und Fehleranfälligkeit bei Messungen durch künstliche Intelligenz ausgleichen und auf Unklarheiten flexibel reagieren.

Doch auch der Benutzer sollte seinen Teil dazu beitragen, wenn er problemlos mit dem System interagieren können möchte. Dazu sollte er sich auf eine Interaktion mit dem System einlassen und sich ggf. neue Modelle von (neuer oder bekannter) Technologie aneignen, um sein Gegenüber überhaupt verstehen zu können. Schließlich sollte er seine Erwartungen an das System der Realität anpassen, was wiederum ein Verständnis für dessen Funktionsweise voraussetzt.

Ausblickend lässt sich feststellen, dass sich die bereits vorhandenen Formen solcher intelligenten und unterstützenden Systeme in die richtige Richtung entwickeln.

Mehrere wissenschaftliche Institute, aber auch Hersteller kommerzieller Systeme erforschen neue Möglichkeiten, wie man die vorgestellten Aspekte bei der Entwicklung intelligenter Systeme optimal umsetzen kann. Man ist allerdings noch lange nicht bei dem Potential angelangt ist, das erforderlich wäre, um die Zukunftsvisionen auf diesem Gebiet wirklich in die Realität umsetzen zu können.

Um wirklich autonome und nicht nur automatisierte Systeme zu verwirklichen, muss sich die dafür benötigte Technologie in allen Bereichen noch gewaltige Fortschritte machen. Es lässt sich aber feststellen, dass die sich Forschung auf dem richtigen Weg befindet.

LITERATUR

- [1] Neng-Shian Liang, Li-Fhen Fu, Chao-Lin Wu, *An integrated, flexible, and Internet-based control architecture for home automation system in the Internet Era* Proceedings of the 2002 IEEE International Conference on Robotics & Automation, Washington, DC, 2002.
- [2] Stephen S. Intille, *Designing a Home of the Future* IEEE: Pervasive Computing, 2002.
- [3] W. Keith Edwards & Rebecca E. Grinter, *At Home with Ubiquitous Computing: Seven Challenges* Computer Science Laboratory, Xerox Palo Alto Research Center.
- [4] S. Dobson, S. Denazis, A. Fernandez, d. Gaiti, E. Gelenbe, F. Massacci, P. Nixon, F. Saffre, N. Schmidt, F. Zambonelli, *A Survey of Autonomic Communications* ACM Transactions on Autonomous and Adaptive Systems, Vol. 1, No. 2, December 2006.
- [5] A. R. Al-Alo & M. Al-Rousan, *Java-Based Home Automation System* IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol. 50, No. 2, May 2004.
- [6] Randall Davis, Howard Shrobe & Peter Szolovits, *What Is a Knowledge Representation?* AAAI Articles, Spring 1993.