



# Ambient Intelligence – Forschung und Anwendung

José Encarnação/Max Mühlhäuser/Reiner Wichert

Ambient Intelligence (Aml) ist seit über fünf Jahren das dominierende Thema konzertierter Forschungsanstrengungen der Europäischen Union im Bereich der Informations- und Kommunikationstechnologien. Der vorliegende Beitrag gibt einen Überblick über diesen Themenbereich als Einführung zu den vertiefenden Beiträgen des Themenheftes. Hintergrund und Visionen von Aml werden kurz beleuchtet, die wichtigsten gebräuchlichen Begriffe werden erläutert und die wesentlichen Herausforderungen der Forschung in gebotener Kürze systematisch dargestellt. Zwei in Darmstadt entwickelte, sich ergänzende Referenzarchitekturen und darauf basierende Entwicklungsumgebungen und Beispielanwendungen werden vorgestellt, um das Verständnis des Gebietes zu vertiefen. Über die Beispielanwendungen hinausgehend wird zum Schluss kurz auf die aus Kosten-Nutzen-Sicht zu erwartende Durchdringung von Anwendungsfeldern eingegangen.

**Ambient Intelligence – research and applications** The European Union defined Ambient Intelligence (Aml) to be the key subject of their ambitious research framework programme for information and communication technologies. The following article provides an overview about this field in preparation for the remaining articles of this special issue. Background and visions of Aml are sketched, relevant terms and key research challenges are highlighted. Two complementary reference architectures, both developed in Darmstadt, are briefly introduced; together with corresponding development environments and sample applications, their description is intended to deepen the understanding of Aml. Beyond these sample applications, the conclusions list important application domains from a cost-benefit point of view.

## Hintergrund und Visionen

Seit Jahrzehnten halten Computerchips Einzug in Alltagsgegenstände: moderne Autos beinhalten an die hundert Mikroprozessoren, jedes elektrische Gerät bis hin zum Garagentoröffner enthält digitale Schaltungen, selbst Sicherungsetiketten für Kaufhausware sind als Funkchips ausgeführt. Seit wenigen Jahren aber findet eine ergänzende Entwicklung statt, die vielfach als revolutionär gewertet wird: Die Mikroprozessoren sind zunehmend untereinander und mit dem globalen Internet vernetzt. So wird es denkbar, Milliarden von Spezialcomputern zu einem großen Ganzen zu integrieren – eine Veränderung, die oft plakativ mit dem Leistungsunterschied zwischen Einzellern und hoch entwickelten Gehirnen verglichen wird. Dabei treten an die Stelle der heute überall sichtbaren Standardcomputer zukünftig unsichtbare – d.h. in Alltagsgegenstände integrierte – Überallcomputer. So wird die vernetzte „Computerintelligenz“ unsichtbarer, aber integraler Bestandteil unserer Umgebung, unseres Ambiente: daher der Begriff Ambient Intelligence.

Ambient Intelligence bezeichnet ein neues Zeitalter der Informatik bzw. der konvergierenden Informations-, Kommunikations- und Medientechnologien. Der Umbruch findet wie immer schrittweise und über Jahre hinaus statt, viele technologische Voraussetzungen sind gegeben, aber viele wichtige Forschungsfragen müssen auch noch weitergehend gelöst werden. Die Europäische Union hat das klar erkannt und stellt auch ihr neues Forschungsrahmenprogramm für Informations- und Kommunikationstechnik unter dieses Motto.

## Herausforderungen in der Forschung

AmI als umfassende Technologie befindet sich in einem interessanten Spannungsfeld: einerseits ist die prognostizierte Entwicklung unaufhaltbar, denn vernetzte – portable oder in der Umwelt eingebettete – Überallcomputer aller Art werden immer verbreiteter; andererseits sind noch erhebliche Hürden zu überwinden, bis aus vernetzten Überallcomputern auf breiter Basis ein gemeinsames Ganzes wird, das die Bezeichnung Ambient Intelligence verdient. Die beiden Teilbegriffe geben auch die wesentlichen Herausforderungen wieder:

- *Ambient* weist darauf hin, dass die Überallcomputer als integraler Bestandteil unserer Umwelt erfahren werden, sie werden quasi unsichtbar. Wenn man sich aber als Kontrast dazu vorstellt, von zig oder hunderten heutiger Computer umgeben zu sein, die mit Mäusen und Tastaturen bedient werden müssen, mittels Konfigurations-Assistenten, Anmelde-masken usw. umständlich auf die Benutzung vorbereitet werden müssen, komplexe Menüs anbieten, Virenschutz und Versions-Aktualisierung erwarten, dann wird klar, dass ein Quantensprung im einfachen Umgang mit diesen Systemen erforderlich ist; user-centered design bezeichnet dabei den Ansatz, den Menschen ins Zentrum der Systementwicklung (nicht aller Interaktionen!) zu stellen, die Systeme automatisch im höchsten Maße an individuelle Nutzer anzupassen und die Aufmerksamkeit der

Nutzer nur so weit wie unbedingt erforderlich zu beanspruchen.

- *Intelligence* steht für eine Integrationsleistung in dem Sinn, dass aus Einzelteilen ein sehr viel sinnvollerer Ganzes entsteht. Dabei ist nicht vordringlich an zentrale, alles zusammenführende Instanzen zu denken; die „Intelligenz“ kann so verteilt sein wie in einem losen biologischen oder sozialen Gefüge (Schwarm, Staat etc.).

Die Anforderungen an Informatik bzw. IuK-Technologien lassen sich konkreter beschreiben, wenn man die beiden genannten Herausforderungen weiter unterteilt. Die dabei wichtigen Forschungsfelder bezeichnen wir nachfolgend mit Begriffen, deren Anfangsbuchstaben zusammen das Wort **SCALE** ergeben, ein Hinweis auf die enorme Größe (potenziell weltumspannend), die ein Netz aus Überallcomputern erreichen kann; dabei sind die ersten beiden (S,C) eher der Integrationsleistung (Intelligence) zuzurechnen, die anderen (A,L,E) eher dem Quantensprung in der Einfachheit und intuitiven Bedienung (Ambient), mit Überlappungen:

- *Scalability* bezeichnet Forschung, die zur Beherrschung der enormen Größe erforderlich ist. Das Internet mit rund einer Milliarde vernetzter Computer wächst dadurch explosionsartig, dass jedes Individuum von Hunderten, später Tausenden vernetzter Computer (z.B. Sensoren) umgeben sein wird. Neue Algorithmen und Ansätze sind notwendig, die weitgehend ohne zentrale Komponenten auskommen und ihre kollektiven Eigenschaften durch autonomes Verhalten erreichen. Man spricht von Selbst-Konfiguration, Selbst-Heilung usw., (Self-X-Eigenschaften) oder von Autonomic Computing. Vielfach werden große ‚natürliche‘ Systeme als Vorbilder genommen (Bionik, Sozionik). Globale Skalierbarkeit beinhaltet auch die Fähigkeit von Komponenten und Anwendungen, sich bei weltweiter Nutzung lokalen Gegebenheiten bzw. Kooperationspartnern anzupassen; hierfür werden in der Semantic Web-Forschung wichtige Grundlagen gelegt.
- *Connectivity* steht zunächst für die physische Verbindung zwischen Überallcomputern mit minimalem Aufwand, wofür vornehmlich drahtlose Netztechnologien verwendet werden, deren Bandbreiten- und Strom-Hunger im Widerstreit mit den begrenzten (Batterie-)Kapazitäten stehen. Sie stellen eine Forschungs herausforderung für sich dar (man denke an Sensoren, die über die gesamte Lebensdauer wartungsfrei bleiben und ohne Stromanschluss auskommen sollen). Connectivity steht auf höheren Ebenen aber auch für alles, was der skalierbaren Kooperation zwischen Komponenten dient. Dazu gehören verteilte Systemarchitekturen (Peer-to-Peer-Netzwerke, Publish-Subscribe-Middleware, usw.) sowie Ansätze zum spontanen Aufbau kooperierender Komponenten-Ansammlungen ohne manuelle Konfiguration (Service Discovery). Hierzu werden Geräte einer neuen Generation benötigt, die ihre Fähigkeiten der Umgebung mitteilen, sobald sie in diese Umgebung eintreten.
- *Adaptivity* bezeichnet Forschung mit dem Ziel, die Interaktion zwischen Mensch und Überallcomputern optimal anzupassen und zu vereinfachen: erstens an den Kontext der Benutzung (context aware computing), der potentiell aus einer Vielzahl

von Informationen besteht (Aufenthaltsort, Umgebungslärm, verfügbarer Aufmerksamkeitsgrad, verrichtete Tätigkeit, etc.), zweitens an den Benutzer selbst (user modeling, intelligent user interfaces) wobei sich Forschungsarbeiten vor allem darin unterscheiden, wie weitgehend und detailliert die Benutzermodellierung gelingt.

- Liability wird als Begriff bewusst an Stelle von IT-Sicherheit verwendet. Heutige Ansätze der IT-Sicherheit sind für Ambient Intelligence unzureichend, weil sie auf ungeeigneten Voraussetzungen beruhen (beschränkte Skalierbarkeit durch Verwendung zentraler Instanzen, Eignung nur für die typischen Frequenzen von Mensch-Maschine- statt Maschine-Maschine-Kommunikation, Annahme vertrauenswürdiger lokaler Systeme bei Ende-zu-Ende-Sicherheit u.v.a.), für permanenten Gebrauch durch Menschen nicht benutzerfreundlich genug sind und auf konkurrierende Ziele (z.B. Nachvollziehbarkeit für Strafverfolgungsbehörden versus Privatheit) nicht flexibel genug eingestellt werden können. Ferner sind über die IT-Sicherheit hinausgehende Aspekte zu beachten, z.B. Abrechnungs- und Gewährleistungsmechanismen, die weit über den Stand der Technik in Telekommunikationsnetzen hinausgehen, aber auch Haftungsfragen, wenn Geräte für den Menschen agieren.
- EaseOfUse bezeichnet Anstrengungen, um Menschen ins Zentrum der Systementwicklung zu stellen; eine wesentliche Herausforderung ergibt sich daraus, dass zum ersten Mal in der Computergeschichte nicht ein einziges Interaktionskonzept dominiert: heute muss sich ein integriertes System an die jeweils verfügbare bzw. bestgeeignete Kombination von Endgeräten und Interaktionskonzepten anpassen. Die Oberklasse „Auge-und-Hand-Interaktion“ (Visualisierung und haptische Eingabe) entwickelt sich zu erweiterten Realitäten und zur Immersion in virtuelle Welten, während die Oberklasse „Ohr-und-Mund-Interaktion“ vor allem dort Bedeutung gewinnt, wo Nutzer Auge und Hand manuellen Verrichtungen widmen müssen (Autofahrer, Techniker, etc.). Zunehmend werden natürlichsprachliche Benutzerschnittstellen machbar. Die verwendeten Techniken, namentlich NLP (natural language processing) haben große Fortschritte gemacht und spielen gleichzeitig eine Schlüsselrolle beim „Computerverstehen“.

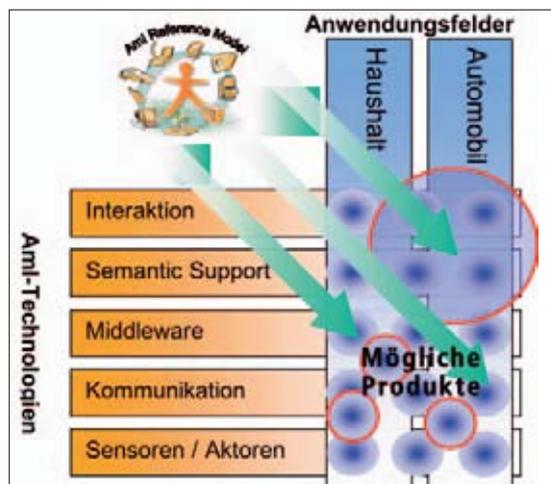


Abb. 1  
Kombinierte Schlüsseltechnologien der AmI-Referenzarchitektur führen zu unterschiedlichen Ambient-Intelligence-Produkten.

Combinations of key technologies in the reference architecture lead to different Ambient Intelligence products.

Die vorstehende Einteilung und Aufzählung macht Breite und Tiefe der in AmI zusammenfließenden Forschungsbereiche deutlich und zeigt, dass AmI nicht zu Unrecht das zentrale Forschungsthema der EU repräsentiert.

## Referenzarchitekturen und Anwendungen

Um die vielfältigen Forschungsfragen integriert bearbeiten zu können, aber auch um fortgeschrittene integrierte AmI-Anwendungen entwickeln zu können, bedarf es neuartiger Entwicklungs- und Ausführungsumgebungen. Als Basis solcher neuen AmI-Umgebungen dienen Referenzarchitekturen, an denen sich die erforschten Konzepte integriert verankern lassen. Solche Referenzarchitekturen bilden einen wichtigen Ausgangspunkt für künftige weltweite Standards. Zwei sich ergänzende Referenzarchitekturen, die in Darmstadt entwickelt wurden, und darauf aufbauende Anwendungen werden nachfolgend kurz skizziert.

**AmI-Referenzarchitektur:** Am Fraunhofer-IGD in Darmstadt wurde eine allgemeine AmI-Referenzarchitektur entwickelt; ihre Umsetzung stellt eine technologische Plattform dar, die unterschiedliche technische Lösungen integriert, um die Entwicklung von vielfachen AmI-Anwendungen zu ermöglichen.

Die folgenden Schlüsseltechnologien lassen sich domänenübergreifend identifizieren: Middleware zur Integration von Geräten und Technologien unterschiedlichster Hersteller und Standards; Kommunikationstechnologien und -methoden zur Gewährleistung der Bedürfnisse an Dynamik und Selbstorganisation der beteiligten Geräte und Smart Players (der Akteur, der im Mittelpunkt der Betrachtung steht); neuartige Sensoren und Aktoren zur Erfassung der Umwelt und zur Steuerung der in der Umgebung befindlichen Geräte; Technologien für Semantic Support, die auf Basis semantischer Beschreibung den Zustand der Umgebung interpretieren, geeignete Ziele und Aktionen inferieren und Handlungsstrategien ausführen; Interaktionstechnologien, die eine nahtlose Interaktion des Smart Players in seiner Umgebung ermöglichen.

Abb. 1 macht deutlich, dass die Fortentwicklung der beteiligten Schlüsseltechnologien Fortschritte in unterschiedlichsten wissenschaftlichen und technologischen Gebieten erfordert, auch über die oben genannten Bereiche der Informationstechnologien (z.B. Semantische Beschreibungssprachen, Künstliche Intelligenz) hinaus. Hier sind unter anderem zu nennen: Micro- und Nanotechnologien, Embedded Systems (z.B. intelligente Textilien), Mensch-Technik-Interaktions-Technologien (z.B. berührungsempfindliche Displays, Spracherkennung, Gestikerkennung), Sensortechnologien, Technologien zur Erhöhung der Energieeffizienz. Eine erfolgreiche Weiterentwicklung der Schlüsseltechnologien in eine AmI Umgebung kann nur auf der Basis eines Referenzmodells und im Zusammenspiel verschiedener Disziplinen und Kompetenzen erfolgen. Dieser Ansatz betont den integrativen Charakter und den gesamtheitlichen Ansatz von Ambient Intelligence.

**Anwendung „PECo – integrierter Zugriff auf Umgebungsressourcen“:** Betrachtet man Multimedia-Umgebungen wie beispielsweise moderne Konfe-



Optimale Lösungen für  
Labor & Analytik

## ALPHAGAZ™

- ✓ Definierte Qualität
- ✓ Reproduzierbare Reinheit
- ✓ Garantierte Produktqualität
- ✓ Sichere Rückverfolgbarkeit
- ✓ Ergonomisch und sicher

Qualität, die sich auszahlt!

AIR LIQUIDE Deutschland GmbH  
Gutenbergstraße 4-6 · 64319 Pfungstadt · Tel. (06157) 9864-0 · Fax (06157) 9864-66 · www.airliquide.de



renzzräume, so stellt man fest, dass bereits heute dutzende intelligente Geräte in solchen Umgebungen existieren. Das digitale Assistenzsystem PECo zielt darauf ab, dem Menschen einen persönlichen Bedienungsassistenten zur Verfügung zu stellen, mit dem er die unterschiedlichen Geräte auf unkomplizierte Weise bedienen kann. PECo erlaubt dazu eine direktmanipulative Interaktion mit unbekanntem Strukturen der realen Umgebung. Gleichzeitig unterstützen die in PECo integrierten, neuartigen Software-Komponenten den Anwender, indem er auf verteilt gespeicherte persönliche Multimedia-Daten wie Texte, Graphiken oder auch Videosequenzen zugreifen kann. Ferner „merkt“ sich das ausgereifte System die Eigenheiten des Nutzers und steuert die Geräte beispielsweise in der Lautstärke oder Helligkeit, die der Betreffende normalerweise bevorzugt. Somit kann er die multimediale Koordination im Konferenzraum – ob Beamer, Raumbeleuchtung, Mikrophon oder Display – intuitiv steuern und seine Inhalte, beispielsweise Präsentationen oder Videoclips, problemlos präsentieren oder bearbeiten.

**Anwendung „DynAMITE – Selbstorganisierende Software-Infrastruktur“:** Häufig besteht eine technische Infrastruktur in Privathaushalten aus heterogenen Geräten, die sich zudem durch eine starke Veränderungsdynamik auszeichnen. Trotzdem sollen und müssen sie miteinander kommunizieren und kooperieren, um die Ziele und Vorgaben des Benutzers zu lösen. Dies stellt neue Herausforderungen an

die zu Grunde liegenden Software-Infrastrukturen. Diese Software-Infrastrukturen müssen die Autonomie jedes Einzelgerätes gewährleisten, jedoch auch die nahtlose Integration in bereits bestehende Geräteverbünde garantieren können. Weitere Voraussetzungen, die eine solche Software-Infrastruktur erfüllen muss, sind die Vermeidung zentraler Komponenten, die dynamische Integration von neuen Geräten, die Entfernbarkeit von Geräten und die Auflösung von Konflikten im Falle konkurrierender Geräte. Neben der technischen Vernetzung der Geräte steht dabei aber immer im Vordergrund, dass der Benutzer nicht mit zu vielen technischen Fragestellungen und Entscheidungen belastet werden soll und dass die Geräte miteinander vernünftig im Sinne der Benutzer kooperieren.

Im Rahmen des vom Bundesforschungsministerium geförderten Projekts DynAMITE wurde eine verteilte Software-Infrastruktur für die spontane Kooperation von Geräten entwickelt. Sie unterstützt Komponententopologien, die einem Datenflussmodell unterliegen. Die unterschiedlichen Komponentenebenen sind durch semantische Kanäle miteinander verbunden, die die Anwendung von spezifischen Strategien zur Nachrichtenverteilung erlauben. Diese Strategien können im Falle konkurrierender Komponenten eingesetzt werden und die Kooperation von Komponenten bzw. die Zerteilung von Nachrichten in Teilnachrichten bewirken, so dass unterschiedliche Komponenten gemeinsam ein Benutzerbedürfnis erfüllen können.



Abb. 2  
Interaktion in einer dreidimensionalen Umgebung unterstützt den Benutzer bei seinen realen Aktivitäten.

Interaction in a 3D environment supports the user in his daily activities.

Abb. 3  
MUNDO-Referenzarchitektur  
MUNDO-Reference Architecture



**Referenzarchitektur MUNDO:** Die oben vorgestellte AmI-Referenzarchitektur des Fraunhofer-IGD stellt quasi den Blick „von der Seite“ auf die AmI-Welt dar, die Referenzarchitektur MUNDO, entwickelt am Fachgebiet Telekooperation der TU Darmstadt, ergänzt dies durch einen Blick „aus der Vogelperspektive“: Sie beschreibt ein Konzept, nach dem die in einer AmI-Welt kooperierenden autonomen Komponenten in Funktionsklassen eingeteilt werden können: a) da bei AmI der Mensch im Zentrum steht, kommt dem Miniaturgerät

ME (Minimal Entity) eine zentrale Bedeutung zu; es repräsentiert als „digitale Persona“ den Menschen gegenüber den anderen ihn umgebenden Überallcomputern; als einziges Gerät, dem der Nutzer voll vertraut, kontrolliert es die Weitergabe von Rechten und Funktionen an andere Geräte und übernimmt vielfältige Funktionen im Auftrag des Nutzers; sprachgesteuerte Bedienung ist jederzeit „an Bord“, bedarfsweise ergänzt um weitere Modalitäten; sensitive Kontextinformation wie der Aufenthaltsort des Nutzers wird nur im vom Nutzer erlaubten Maß weitergegeben; b) weitere Endgeräte (US: User asSocial) werden bei Bedarf spontan automatisch mit dem ME über ein spezielles Assoziations-Schema verbunden; c) in der Umgebung angetroffenen computergestützten Alltagsgegenständen (IT: Smart Item) vertraut das ME nur in streng limitiertem Umfang; d) mit anderen Nutzern, ebenfalls durch ein ME repräsentiert, kann spontan ein drahtloses Kooperationsnetz aufgebaut werden (WE: Wireless Environment); e) Die im Netz vorhandenen zahllosen Software-Dienste, welche die eigentliche „Power“ der AmI-Welt ausmachen, werden in logischen Overlay-Netzen zusammengefasst (THEY: Telecooperating Hierarchical

ovErlaYs): diese ‚virtuellen Netze im Netz‘ bilden die wesentliche ökonomische Einheit (vergleichbar einer Firma) des künftigen AmI-Internet.

**Anwendungsbereich Smart Environments:** Aufbauend auf MUNDO, der zugehörigen Middleware MUNDOCORE und einer ganzen Reihe auf AmI-Anwendungen zugeschnittenen Entwicklungswerkzeugen wurden Anwendungen entwickelt, die AmI-Nutzer im Alltag intelligent unterstützen. Ein Beispiel ist Smart Coffee Maker, eine um Sensoren erweiterte Abteilungs-Kaffeemaschine, welche im Verbund mit der intelligenten Umgebung und den (mit Funketiketten versehenen) Tassen den Benutzer sprachgesteuert bei verschiedenen Verrichtungen unterstützt, von der automatischen Bereitung des Lieblingskaffees und der automatischen Abrechnung bis zum Entkalkungsprozess. Dieses und weitere Systeme des Smart Environment dienen als Anschauungs- und Studienobjekte für Mensch-zentrierte intelligente und integrierte AmI-Anwendungen.

## Zusammenfassung und Prognose

Ambient Intelligence als globales Netz der Überallcomputer ist einerseits unaufhaltbar, andererseits in vielen Aspekten von Ambience (Verschmelzen mit der Umgebung, wodurch der Mensch ins Zentrum rückt) und Intelligence (durch Integration und Kooperation) noch eine Forschungs-Herausforderung. Die besprochenen Referenzarchitekturen und daraus abgeleiteten Entwicklungsumgebungen (Werkzeuge und Middleware) stellen einen Rahmen dar, in dem AmI-Forschungsergebnisse integriert, untersucht und zur Praxisreife weiterentwickelt werden können. Die Anwendungsfelder sind unbegrenzt; die größte Verbreitung ist aus ökonomischen Gründen zunächst in Firmen zu erwarten: der Umbau zu Realtime Enterprises ist infolge deutlicher Effizienz- und Qualitätsgewinne vermutlich der erste Bereich, in dem Investitionen in AmI-Technologie ökonomisch gerechtfertigt sind; eine zweite Speerspitze sind Smart Homes, wo der finanzielle Aufwand zunächst für drei Zielgruppen gerechtfertigt sein kann: für unsere alternde Gesellschaft kann AmI eine Verlängerung der Phase autonomer Lebensführung darstellen (was im Sinne von Lebensqualität und Einsparung an Betreuungsplätzen monetär bewertbar ist), im Bereich Energieoptimierung und Gebäudesicherheit lassen sich ebenfalls positive Kosten-Nutzen-Relationen darstellen; für potente Konsumgüter-Kunden als dritte Zielgruppe verspricht sich die Elektronikbranche aus AmI-Funktionalität Alleinstellungsmerkmale und damit Wettbewerbsvorteile. Auch im Gesundheitswesen stellt sich AmI-Technologie zunehmend als geeignet dar, um die konkurrierenden Ziele – bessere Versorgung und Kostensenkung – zu vereinen. Sind die genannten Bereiche mit AmI-Technologie erst einmal durchdrungen, dann wird auch die weitere Durchdringung fast aller Lebensbereiche erfolgen.

## Literatur

- [1] A. Aarts, J.L. Encarnacao (Eds.): True Visions – The Emergence of Ambient Intelligence; Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2006.
- [2] M. Mühlhäuser, I. Gurevych (Eds.): Ubiquitous Computing for Real Time Enterprises; IDEA Publishers, Hershey, PA., USA (tbp), 2007.