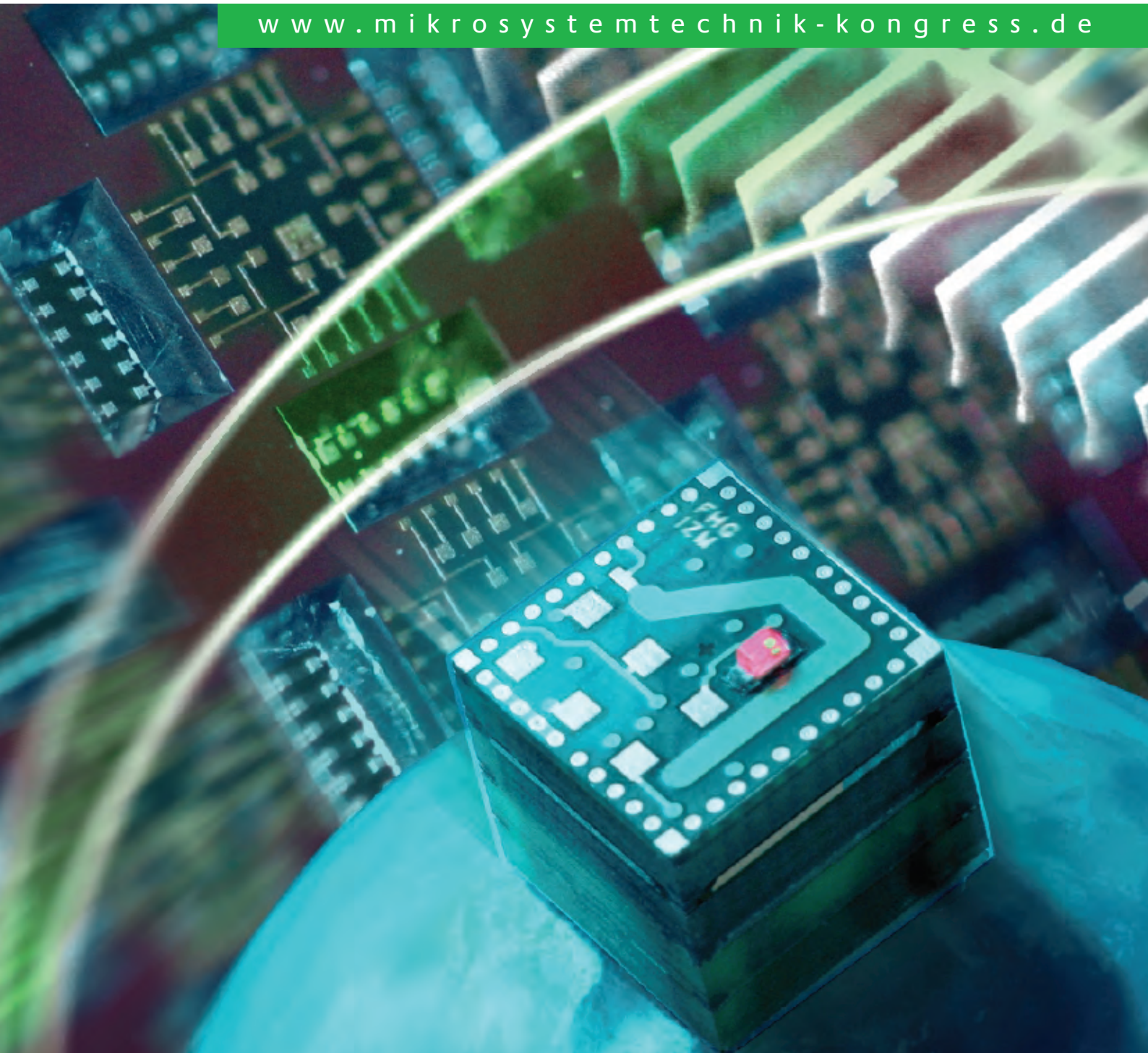


Trends in der Weiterentwicklung und Anwendung der Mikrosystemtechnik

Mikrosystemtechnik-Kongress 2007

www.mikrosystemtechnik-kongress.de



Herausgeber:

Bundesministerium für Bildung und Forschung
Referat Mikrosystemtechnik
Heinemannstraße 2
53175 Bonn

VDE Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e.V.
Stresemannallee 15
60596 Frankfurt am Main

Trends in der Weiterentwicklung und Anwendung der Mikrosystemtechnik

Inhalt:

Mikrosystemtechnik – Schlüsseltechnologie für innovative Produkte	5
Mikrosystemtechnik – Motor für den Mittelstand	5
Mikrosystemtechnik – Baustein der Hightech-Strategie	6
Mikrosystemtechnik – Aufgaben für die Zukunft	6
Mikrosystemtechnik – die wichtigsten Innovationsfelder	7
1 Innovationsfeld „Smart Systems Integration (SSI)“	7
2 Innovationsfeld „Demografie“	8
3 Innovationsfeld „Gesundheit“	9
4 Innovationsfeld „Ressourceneffizienz“	10

Mikrosystemtechnik – Schlüsseltechnologie für innovative Produkte

Die Mikrosystemtechnik (MST) ist zu einem der wesentlichen Innovationsmotoren für nahezu alle Produkt- und Wirtschaftsbereiche geworden. Neue und steigende Ansprüche an Funktionen und Leistungen, insbesondere auch in Verbindung mit der Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT), können nur durch interdisziplinär vorbereitete Systemlösungen und die systemische Integration von Technologiebereichen wie Elektronik, Mechanik, Magnetik, Optik, Materialforschung und Fluidik erfüllt werden. Genau das leistet die Mikrosystemtechnik. Sie ermöglicht die systematische anwendungsorientierte Nutzung des Innovationspotenzials aus allen Technologiebereichen und schafft die wichtige Integration und Anbindung zur Makrowelt. Die MST ist dabei auch der Schlüssel zur Nutzung der Entwicklungen aus der Nanotechnologie.

Viele der sich inzwischen abzeichnenden neuen Anwendungsfelder und **Geschäftsmodelle für und mit IKT wären ohne typische Mikrosysteme wie RFID und Smart Label nicht möglich.**

Die Mikrosystemtechnik liefert die Systembasis für neue Produkt- und Systemansätze wie dem „Internet der Dinge“ und zur Realisierung der „Real World Awareness“-Ansätze mit völlig neuen Anforderungen an Sensoren und deren anwendungsbezogene Fusion. Damit wird die MST auch zu einem Schlüsselbereich für die Hardwareplattformen für „Embedded Systems“ und „Smart Systems“. Die Miniaturisierung der Komponenten und Systeme spielt dabei eine entscheidende Rolle. Die technischen Grundlagen liefern Mikrotechniken wie Aufbau- und Verbindungstechniken, Mikrobearbeitungs- und Mikromontagetechniken, Beschichtungstechniken von Mikrobauteilen aber auch Systemdesign und Simulationstechniken.

Neben der Entwicklung und Gestaltung der Mikrosysteme selbst, ist deren Integration in ein Makro-System, ein Handy, ein Auto,

ein chirurgisches Instrument, ein Werkzeug, eine Maschine, eine weitere wesentliche Aufgabe der Mikrosystemtechnik. Als Querschnittstechnologie ist sie für viele industrielle Produkte und Prozesse unentbehrlich geworden. Damit ist die Mikrosystemtechnik ein maßgebliches Instrument der Leistungs- und Wettbewerbsfähigkeit deutscher Unternehmen. Die **Entwicklung von Systemlösungen**, verbunden mit hoher Qualität und Zuverlässigkeit ist **eine der Stärken der deutschen Wirtschaft**. Automobil, Automation, Maschinen- und Anlagenbau und die Medizintechnik sind Felder in denen deutsche Anbieter zur Weltspitze gehören.

Die integrative Funktion der Mikrosystemtechnik wird in Zukunft noch wachsen. Folgende Faktoren bestimmen Funktionen und Leistungsfähigkeit der Mikrosystemtechnik in der Zukunft:

- ▶ die enge Verbindung zur Nano- und Biotechnologie,
- ▶ die Entwicklung (teil-)autonomer, intelligenter Systeme durch Integration von Datenspeicherung und Datenverarbeitung,
- ▶ die weitere Entwicklung der Aufbau- und Verbindungstechniken, insbesondere der Systemintegration.

Mit Fortschritten auf diesen Gebieten lassen sich **weitere Anwendungsgebiete** der Mikrosystemtechnik im **Maschinenbau** (z. B. Robotik), bei **Fahrerassistenzsystemen**, in allen **logistischen Prozessen**, in der **chemischen Verfahrenstechnik**, der **Energetik** und nicht zuletzt im **Gesundheitswesen** erschließen. Prioritär sind Anwendungen, bei denen deutsche Unternehmen deutliche Marktpositionen (Leitmärkte) besitzen oder erreichen werden, um die technischen Innovationen auch am Markt durchsetzen zu können. Damit sind auch große Chancen zur Schaffung, Stärkung und Sicherung von Arbeitsplätzen verbunden.

Mikrosystemtechnik – Motor für den Mittelstand

Neben einigen großen Unternehmen wie Siemens, Bosch, Continental, Philipps werden Entwicklung und Anwendung der Mikrosystemtechnik sehr stark von Kleine und Mittlere Unternehmen (KMU) vorangetrieben. Etwa **70% der Fördermittel** des BMBF-Rahmenprogramms Mikrosysteme, **die an Industrieunternehmen gehen, fließen an KMU.**

Um auch in Zukunft wettbewerbsfähig zu bleiben, wird für den deutschen Mittelstand die Beherrschung der Technologien und Techniken zur **Systemintegration auf Nano-, Mikro- und**

Makroebene immer wichtiger. Um eine effiziente Produktentwicklung, eine kostengünstige Fertigung und einen schnellen Marktzugang realisieren zu können, brauchen mittelständische Unternehmen auch Kooperationen mit Großunternehmen und Forschungseinrichtungen.

Heute sind bereits rund **680.000 Arbeitsplätze** in Deutschland mit der Mikrosystemtechnik verbunden, davon 50.000 direkt in der Produktion von Mikrosystemen – mit steigender Tendenz. Das **Umsatzvolumen** von Produkten mit Mikrosystemtechnik

beträgt mehr als 277 Milliarden Euro. Die Mikrosystemtechnik adressiert einen dynamischen Markt mit durchschnittlichen Wachstumsraten von 15% jährlich. Die meisten mittelständischen Unternehmen aus diesem Bereich konnten auch in den Jahren der Stagnation Umsatz und Beschäftigtenzahl steigern.

Regional ist die Mikrosystemtechnik in Deutschland breit verankert. Zentren oder auch Cluster von Forschungseinrichtungen und Industrie bestehen in Berlin, in Sachsen, Thüringen, Bremen, Nordrhein-Westfalen, Baden-Württemberg und Bayern.

Mikrosystemtechnik – Baustein der Hightech-Strategie

Die Mikrosystemtechnik ist ein Innovationsfeld der Hightech-Strategie der Bundesregierung und zwar:

- ▶ als eigenständige **Quelle von Innovationen**,
- ▶ als **Wegbereiter für intelligente Produkte** in den Bereichen Gesundheit, Lebensmittel, Sicherheit, Energie, Automatisierungstechnik, Fahrzeuge und Verkehr,
- ▶ als **Innovationstreiber** für die Informations- und Kommunikationstechnologien (z. B. mit RFID für die Logistik oder mit Vernetzten Sensorsystemen); hierfür ist die Mikrosystemtechnik in die Strategie IKT 2020 des BMBF eingebunden.

Ziele:

- ▶ Fähigkeit der deutschen Industrie als Anbieter von Systemlösungen nutzen und mit Mikrosystemtechnik zu Innovationen ausbauen,
- ▶ Mit Mikrosystemtechnik bestehende deutsche Schlüsselbranchen im Wettbewerb stärken und neue erschließen,
- ▶ Neue Technologien wie z. B. Nanotechnologie in Anwendungsprodukte integrieren,
- ▶ Innovative Lösungen für Aufgaben im globalen und sozialen Wandel bereitstellen.

Mikrosystemtechnik – Aufgaben für die Zukunft

1. Innovationsführerschaft in Schlüsselindustrien sichern

2. Technologieführerschaft auf neuen Feldern sichern

3. Fachkräfte sichern

Die Innovationsführerschaft in Schlüsselindustrien sichern

- (1) Bündelung der Kräfte entlang der Produkt-Wertschöpfungsketten auf ausgewählten strategischen Mikrosystemtechnik-Teilgebieten:

Damit neue technologische Entwicklungen schnell auf den Markt kommen, ist eine frühzeitige Zusammenarbeit von Forschern, Herstellern, Zulieferern und Anwendern entlang der **Produkt-Wertschöpfungskette** erforderlich. Vor allem, wenn wirtschaftliches Neuland durch neue technologische Lösungen betreten wird, fehlen häufig Systemanbieter. Hier müssen **Innovationsplattformen** oder ähnliche Allianzen geschaffen werden, weil nur so Technologie und Wettbewerbsfähigkeit international gesichert werden können.

- (2) Unterstützung der Industrie bei der Erschließung neuer Massenmärkte:

Entwicklung und Anwendung der Mikrosystemtechnik werden bisher sehr stark durch Anwendungen in der IuK-Branche, insbesondere im Mobilfunk und in der Automobiltechnik getragen. Das Wachstum dieser Massenmärkte schwächt sich nunmehr ab. Langfristig muss die Mikrosystemtechnik dazu beitragen, weitere **Massenmärkte zu generieren**, um kritische Mengen in der Technologieentwicklung zu erreichen. Dazu werden Low-Cost-Lösungen für die Volumenproduktion gebraucht. Ansatzpunkte für neue Massenmärkte sind neue Bedürfnisse von Konsumenten insbesondere im Bereich der Hausgeräte und der Energietechnik aber auch ganz neue Produktkategorien als Folge der weiteren sozialen und demografischen Entwicklung. Um diese neuen Märkte zu erschließen, sind neue Systemlösungen und Wertschöpfungsketten zu entwickeln. Forschungseinheiten, Zulieferer, Anwender und Systemproduzenten müssen dafür zu produktions- und vermarktungsorientierten Netzwerken zusammengeführt werden.

- (3) Förderung von Initiativen zur Entwicklung wettbewerbsfähiger Serienfertigung:

Die Entwicklung einer **wettbewerbsfähigen Serienfertigung** von MST-Produkten ist insbesondere für den Bereich Life Science von großer Bedeutung. Selbst die Entwicklung kostengünstiger Produkte auf Polymerbasis zum einmaligen Gebrauch führt mit der heute verfügbaren Fertigungstechnik nicht zu einer Massenproduktion. Deshalb sind hier neue Wege zu einer kostengünstigen Serienfertigung zu entwickeln.

Technologieführerschaft auf neuen Feldern sichern

Im Bereich der Technologiegrundlagen sind neue relevante Einzeltechnologien zu identifizieren und für die Systemintegration handhabbar zu machen. Dazu zählen insbesondere die Mikro-Nano-Integration und die Systemintegration bei sensorischen, biologischen und medizinischen Anwendungen wie z. B. auf der Basis polymerer Mikrosysteme.

Auch die Schnittstellen innerhalb der Forschung zwischen den einzelnen Wissenschaftsdisziplinen und Technologiefeldern sowie zwischen Grundlagen- und anwendungsorientierter

Forschung sind zu bestimmen und durchlässiger zu machen. Die Zusammenarbeit von unterschiedlichen Forschungsdisziplinen aus den material- und technologieorientierten Bereichen der Mikrosystemtechnik mit Forschern aus Anwendungsgebieten der Mikrosystemtechnik eröffnet der Industrie erhebliche Vorteile, weil Forschungsergebnisse mit hoher Produktnähe und schneller Umsetzbarkeit erarbeitet werden können.

Durch geeignete Maßnahmen könnte hier die notwendige interdisziplinäre Bündelung der einzelnen Wissensgebiete verbessert werden.

Fachkräfte sichern

Es fehlt in der Mikrosystemtechnik an Fachkräften. Neben der Erstausbildung mit Studium und Lehre kann insbesondere im Bereich der Fortbildung und der Umschulung zusätzliches Potenzial erschlossen werden. Bei den Studiengängen können duale Studiengänge ein geeignetes Mittel sein, um die Interdisziplinarität in Studiengängen und praktischer Ausbildung zielgerichteter auf die Anforderungen der Unternehmen abzustimmen.

Mikrosystemtechnik – die wichtigsten Innovationsfelder

Aus den Zielen und Handlungsfeldern leiten sich auch die erforderlichen technischen Weiterentwicklungen in der Mikrosystemtechnik und angrenzender Technologien ab.

- ▶ Autonomie, Integration, Intelligenz, Vernetzungsfähigkeit – diese Funktionen werden für die weitere Nutzung der Mikrosystemtechnik benötigt. Dieser Trend wird „Smart Systems Integration“ oder „Intelligente vernetzte Systeme“ genannt.

Als Querschnittstechnologie ist die Mikrosystemtechnik grundsätzlich für alle Anwendungsgebiete relevant. Eine besondere Bedeutung und Wirksamkeit wird aber in den folgenden Innovationsfeldern erwartet:

- ▶ Demografie
- ▶ Gesundheit
- ▶ Ressourceneffizienz

1 Innovationsfeld „Smart Systems Integration (SSI)“

Smart Systems gehen bereits heute über die einfache Kombination von Erfassung, Verarbeitung und Speicherung von Daten – die so genannte monolithische Integration in hybriden Systemen – hinaus. Mikrosysteme der Zukunft werden aus integrierten Smart Systems bestehen. Dabei handelt es sich um mit Wahrnehmung und Erkenntnis ausgestattete technische Systeme, die miniaturisiert, höchst zuverlässig, häufig (drahtlos) vernetzt, energetisch autonom und implantierbar sind. Smart Systems werden „fühlen“ und „handeln“ können und zur Selbstdiagnose fähig sein. Dies gestattet es ihnen, Situationen zu beschreiben und zu bewerten, vorausschauend zu entscheiden und mit ihrer Umgebung zu kommunizieren.

Um solche Qualitäten wie Selbstorganisation, Lernfähigkeit, Individualisierung und Personalisierung sowie eine gewisse Autonomie im Handeln erreichen zu können, sind Integrationstechnologien notwendig, die unter dem Begriff Smart Systems Integration (SSI) zusammengefasst werden. Hierzu gehören Techniken und Technologien zur miniaturisierten autarken Energieversorgung, Funktechnik sowie zur Signalerfassung und -verarbeitung. Bei den Integrationstechnologien handelt es sich um eine Vielzahl von Einzeltechnologien unter dem Dach der SSI. Diese sind gekennzeichnet durch:

- ▶ Heterogenität, z. B. der eingesetzten Materialien und Prozesse,
- ▶ Komplexitätsreduktion, z. B. der Benutzerschnittstellen und Datenmengen,
- ▶ Skalenübergreifende Anforderungen,
- ▶ Autonomie, z. B. durch eigene Energieversorgung,
- ▶ Multidisziplinarität, z. B. durch Konvergenz von Technologien aus Physik, Chemie, Ingenieur- und Kognitionswissenschaften.

Die MST, aber auch die Ingenieurwissenschaften insgesamt, werden sich der Herausforderung der Integration neuen Wissens aus Bereichen außerhalb ihrer traditionellen Grenzen stellen müssen.

2 Innovationsfeld „Demografie“

Der demografische Wandel als zusammengefasstes Phänomen von demografischer Entwicklung und sozialem Wandel ist eine der großen gesellschaftlichen Herausforderungen für unsere Regionen und Städte. Bevölkerungsrückgang, Alterung und Internationalisierung sind die zentralen Konsequenzen. Die Vorhersagen über die sozialen Veränderungen unserer Gesellschaft sind eindeutig: wir werden in Zukunft in einer Gesellschaft leben, in der Alter und Individualisierung gegenüber Jugend und Gemeinschaft zunehmen werden.

Damit wächst der Bedarf vor allem nach Orientierungs-, Unterstützungs- und Hilfsangeboten, die heute noch mit einem z. T. sehr großen personellen Aufwand erfüllt werden. Wir brauchen technische Systeme, die einen – gewünschten – Teil der Tätigkeiten übernehmen, damit wir mit der kleiner werdenden Ressource Mensch auskommen können. Unter „Ambient Assisted Living (AAL)“ werden Konzepte, Produkte und Dienstleistungen verstanden, die die Interaktion zwischen technischen und sozialen Systemen verbessern, mit dem Ziel, die Lebensqualität für alle Menschen in allen Lebensabschnitten zu erhöhen. Übersetzen könnte man das am besten mit „intelligenten Assistenzsystemen für ein gesundes und sicheres Leben“. Damit wird auch schon skizziert, dass AAL in erster Linie etwas mit dem Individuum in seiner direkten Umwelt zu tun hat.

Mit dem Innovationsfeld AAL wird ein hoher gesellschaftlicher und individueller Bedarf adressiert, der einen künftigen Wachstumsmarkt für deutsche Unternehmen darstellt. Vor allem aus den Bereichen der neuen Technologien wie in der Mikro-, Bio- und Nanotechnologie, die durch Miniaturisierung und Systemintegration die Entwicklung von immer komplexeren Komponenten ermöglichen, werden wichtige Entwicklungen zu erwarten sein.

Ambient Assisted Living deckt ein weites Spektrum von Anwendungen der Gerontotechnik, Soziologie, Health Care, Services, Smart Home, Smart Textiles und Robotik ab. Gleichzeitig adres-

siert das Thema Technologien wie neue Materialien, Mikroelektronik/Mikrosystemtechnik, Energietechnik, Kommunikation, Software. Ambient Assisted Living umfasst viele Facetten menschlichen Lebens. Man geht dabei überwiegend von vier Bereichen aus, in denen AAL-Entwicklungen eingesetzt werden könnten:



Gesundheit und HomeCare

Die meisten Menschen haben das Bedürfnis, so lange wie möglich unabhängig zu bleiben oder es – zum Beispiel nach einer schweren Krankheit – möglichst schnell wieder zu werden. Gerade auch im Hinblick auf die zunehmende Anzahl von Einpersonenhaushalten und mehr Haushalten mit älteren Menschen ist daher der Einsatz von intelligenten Assistenzsystemen, die sowohl die Prävention als auch die Rehabilitation im häuslichen Bereich unterstützen, in vielen Bereichen vorstellbar. Dazu zählen u. a. Systeme für die Teleüberwachung, Pflegeunterstützungen durch elektronische Hilfen und Roboter bis hin zu Systemen, die die persönliche Versorgung garantieren, Unterstützung bei täglichen Handhabungen bieten und private organisatorische Belange managen.

Sicherheit und Privatsphäre

Gerade im privaten Bereich ist der Wunsch nach größtmöglicher Sicherheit einerseits und möglichst weitgehender individueller Freiheit andererseits sehr hoch. AAL entwickelt neue Schutzsysteme für die häusliche Infrastruktur, beispielsweise Alarmfunktionen in Form von automatischen Rufsystemen oder Systeme der Zugangsberechtigung zu Gebäuden. Diese sollen zum einen die Gefahren erkennen, zum anderen aber die Bewegungsfreiheiten des Einzelnen nicht einschränken, sondern im Gegenteil erhöhen, z. B. durch Möglichkeiten der Fernüberwachung.

Versorgung und Haushalt

Auch „das bisschen Haushalt“ ist ein Zukunftsfeld für AAL-Systeme. Moderne Steuerungsmöglichkeiten der häuslichen Infrastruktur wie Heizung, Klimaanlage, Licht oder Alarmanlage etc. sind durchaus nicht mehr ganz neu. Die persönliche Haushaltshilfe, die autonom einfache Reinigungsaufgaben übernimmt oder Handreichungshilfen wie das Bringen von Gegenständen, Blumengießen oder das Aufhängen von Wäsche bietet, ist aber noch keine alltägliche Erscheinung unseres privaten Umfeldes. Mit der steigenden Anzahl an älteren Menschen wird sich auch die Zahl der Demenzerkrankten erhöhen. Es sind daher eine Reihe von Systemen vorstellbar, die die geistigen Einschränkungen und die damit einhergehenden Beeinträchtigungen alltäglicher Fähigkeiten und Funktionen, die beispielsweise durch so eine Krankheit hervorgerufen werden, ganz oder teilweise kompensieren.

Soziales Umfeld

Der Bereich „soziales Umfeld“ skizziert die Schnittstelle zur Außenwelt. Hier könnten Assistenzsysteme entwickelt werden, die die soziale Teilhabe an der Gesellschaft unterstützen und erleichtern – auch und gerade für die Personen einer Gesellschaft, deren Umfeld durch Krankheit oder Alter überwiegend auf die Wohnung beschränkt ist. Die Möglichkeit der direkten Anteilnahme an der Umwelt ist ein wesentliches Element für längere geistige und körperliche Fitness. Es ist daher von großem gesellschaftlichem Interesse, Menschen, die körperlich an einer aktiven Teilnahme behindert sind, durch neue Systeme der Informationsbeschaffung und des Lernens oder der Kommunikation mit Dritten, zum Beispiel mit Familienangehörigen und Freunden, in gesellschaftliche Prozesse einzubinden.

Natürlich ist eine scharfe Trennung der Bereiche nicht möglich – und auch gar nicht gewollt, denn „Ambient“ bedeutet ja gerade, dass es hier um umfassende, übergreifende und ineinander übergehende Konzepte geht.

3 Innovationsfeld „Gesundheit“

Die medizinische und ökonomische Zukunft des Gesundheitswesens wird wesentlich durch die Entwicklung der Medizintechnik geprägt. Das gemeinsame Wirken von Ärzten, Ingenieuren, Informatikern und Naturwissenschaftlern bei der Entwicklung medizintechnischer Geräte und Systeme eröffnet immer weiter verbesserte Möglichkeiten für Diagnostik und Therapie. Der Transfer von Ideen aus der Grundlagenforschung in Produkte, die dem Patienten nutzen, stellt dabei hohe Ansprüche an die interdisziplinäre Arbeitsweise. Deutschland nimmt auf dem Weltmarkt der Medizintechnik zusammen mit den USA und Japan einen herausragenden Platz ein. Dieser begründet sich u. a. durch sein großes Know-how in den Schlüsseltechnologien, der Qualität in der Ausbildung seiner Wissenschaftler und der Innovationsbereitschaft

der in Deutschland ansässigen Unternehmen. Die vier wichtigsten zukunftsrelevanten medizintechnischen Schlüsseltechnologien sind laut Expertenbefragung und Internetrecherche in dieser Rangfolge: Zell- und Biotechnologie, Informationstechnologie, Mikrosystemtechnik und Nanotechnologie. Die relevanten Schlüsseltechnologien lassen sich den drei Megatrends zukünftiger medizintechnischer Entwicklungen zuordnen:

- ▶ **Computerisierung** aufgrund der Bedeutung der Informations- und Kommunikationstechnologie für nahezu alle Bereiche der Medizintechnik,
- ▶ **Molekularisierung**, die besonders durch die Biotechnologie, aber auch Zell- und Gewebetechnik (tissue engineering) repräsentiert wird,
- ▶ **Miniaturisierung**, die insbesondere durch die Mikrosystemtechnik, die Nanotechnologie und die Optischen Technologien maßgeblich vorangetrieben werden kann.

Für die Verbesserung der individuellen und patientennahen Gesundheitsversorgung sowie die Diagnose und Therapie von Krankheiten werden Mikrosysteme („Smarte Systeme“) künftig an Bedeutung gewinnen. Medizintechnik auf Basis der Mikrosystemtechnik befindet sich bereits heute im Einsatz oder in der klinischen Erprobung. So nehmen Ärzte mit Hilfe von Endoskopen minimal-invasive Eingriffe vor oder Patienten gewinnen durch Prothesen ihre Bewegungsfähigkeit weitgehend wieder. Implantate wie der Herzschrittmacher übernehmen lebenswichtige Funktionen.

Medizintechnik

In der Medizintechnik steht der Patient im Mittelpunkt. Neue Diagnose- und Therapieverfahren sollen sowohl der Verbesserung der Lebensqualität, als auch der Steigerung der Behandlungsqualität dienen. Durch eine optimale Anpassung, z. B. von Implantaten an die menschliche Physiologie, wird der medizinische Nutzen für den Patienten verbessert. Eine wichtige Rolle spielen auch patientennahe und ggf. vernetzte Sensorsysteme sowie minimal-invasive chirurgische Technologien. In Zukunft werden Implantate noch viel mehr können: Neuroprothesen, die direkt mit den Nervenzellen kommunizieren, werden die Funktion von Sinnesorganen wieder herstellen. Auch für diagnostische Aufgaben kommen miniaturisierte Systeme zum Einsatz. Kranke können mit Monitoring-Systemen auch zu Hause ständig überwacht werden. Flexibel einsetzbare Biochips lassen schnelle Diagnoseergebnisse zu und machen aufwändige Laboruntersuchungen überflüssig.

Labortechnik

Die Mikrosystemtechnik in der „roten“ Biotechnologie findet sich in erster Linie im Analysebereich. Hier geht es vorrangig um die Nutzung der neuen Erkenntnisse der Molekular- und Zellbiologie

für Diagnostik und Therapie sowie für die Prävention. Analytik mit Mikrosystemen erleichtert und beschleunigt diagnostische Prozesse oder macht Diagnostik sicherer. Durch die Miniaturisierung der Laborgeräte auf kleine Chips können Untersuchungen direkt beim Hausarzt oder zukünftig auch zu Hause durchgeführt werden. Die Mikrosystemtechnik erleichtert aber auch die Untersuchung biochemischer Moleküle wie etwa Eiweiße (Proteine) oder Erbsubstanz (Gensequenzen) in der Forschung. Die moderne Arzneimittelentwicklung nutzt dies für den Umgang mit einzelnen Zellen. Ziel ist, zunehmend auf Tierversuche verzichten zu können.

4 Innovationsfeld „Ressourceneffizienz“

Trotz stetig wachsender Produktivität nimmt der Verbrauch an Energie und Rohstoffen weltweit ständig zu. Da diese Entwicklung langfristig nicht akzeptabel ist, müssen Wege gefunden werden, um die Nutzung der Ressourcen dramatisch effizienter zu gestalten. Im Idealfall wird nur soviel an Energie und Rohstoffen verbraucht, wie sie in der globalen Gesamtbilanz dem System Erde auch wieder für neue Nutzung zur Verfügung gestellt wird, z. B. durch biologisches Wachstum, Sonneneinstrahlung oder wiederholten bzw. optimierten (schonenden) Einsatz.

„Faktor Zehn“, „alternative Energiegewinnung“, „nachwachsende Rohstoffe“ sind Beispiele für Lösungsansätze zu einer nachhaltigen Ökonomie, die die notwendigen Ressourcen langfristig sichern und gleichzeitig unsere natürliche Umwelt erhalten. Die jüngsten Entwicklungen bei Preisen für Erdöl und Stahl beispielsweise oder die sich mehrenden Anzeichen für einen drohenden Klimawandel unterstreichen eindrucksvoll die Notwendigkeit einer Trendwende, die Effizienzsteigerung nicht nur als Produktivitätssteigerung und Profitmaximierung interpretiert, sondern als notwendige Entwicklung für den langfristigen Fortbestand einer entwickelten Gesellschaft auf der Erde.

Die Mikrosystemtechnik bietet hier vielfältige Ansätze, sowohl in Produkten als auch in Prozessen zu deutlichen Effizienzsteigerungen zu kommen.

Die voranschreitende Miniaturisierung ermöglicht zum einen, Skaleneffekte zu nutzen. Das bedeutet weniger Material- und Energieeinsatz, Reduzierung des Platzbedarfs, lokale Begrenzung des Einwirkens, weniger Nebenwirkung, erhöhte Wirkung bzw. Sensitivität je Einheit und die Verkürzung von Operationsintervallen. Damit werden Optimierungen von bisher nicht vorstellbarer Wirksamkeit möglich – die Annäherung an den praktisch verlustfreien Prozess.

Des Weiteren können mit der Mikrosystemtechnik Zusatzfunktionen in Produkte und Prozesse integriert werden, die sie für einen effizienten Einsatz „intelligenter“ machen.

Vorbilder für ressourceneffiziente Konstruktion und Prozesse sind häufig in lebenden Systemen zu finden, die im Zuge der Evolution optimiert wurden. Ein Beispiel ist der energiesparende Winterschlaf von Reptilien.

Beispiele für den Einsatz von Mikrosystemen bzw. Mikrosystemtechniken zugunsten der Ressourceneffizienz:

- ▶ **Ressourcenoptimierte Konstruktion:**
Belastungsprofile mit hoher Frequenzdichte, gewonnen mittels Einsatz geeigneter Sensorik unter Realbedingungen, bieten Erkenntnisse für eine ressourcenoptimierte Konstruktion
- ▶ **Verwertungsgerechte Produktion:**
Kaskadierung von Produktionsprozessen durch den Einsatz von Mikroreaktoren für eine quantitativ dem Verbrauch angepasste Erzeugung von Güter- bzw. Substanzmengen
- ▶ **Prozessintensivierung:**
Zusammenfassung von zwei oder mehr Unit Operations in einem Apparat (= Prozessintegration) und Intensivierung des Wärme- und Stoffaustauschs durch deutliche Verkleinerung der Apparatedimensionen (= Prozessverstärkung); technologischer Kern der Prozessintensivierung ist die Mikroverfahrenstechnik, der ganzheitliche Ansatz der Prozessintensivierung geht jedoch deutlich darüber hinaus
- ▶ **„Smarte Prozesse“:**
Katalytische Techniken zur Verkürzung und Beschleunigung von Prozessketten
- ▶ **Ausschusswertreduktion:**
Echtzeitanalyse von Prozessfehlern gegenüber den herkömmlichen Verfahren der Endkontrolle zur frühzeitigen Vermeidung einer Akkumulation des Verlustes von Einsatzstoffen
- ▶ **Recycling:**
Analyse und sortenreine Trennung von Abfallstoffen bis hinab zu Spurenelementen, um durch Wiederverwertung den Nutzungskreislauf weitgehend zu schließen und auf zusätzlichen Ressourceneinsatz verzichten zu können
- ▶ **Standzeitenoptimierung:**
Abnutzungsgenaue Wartung und Instandhaltung anstatt der vorbeugenden Instandhaltung, bei der bisher Unsicherheit durch einen frühzeitigen Teileaustausch beseitigt wird, um das Risiko eines Stillstands einer Prozesskette aufgrund von Abnutzung bzw. Ausfall auszuschalten
- ▶ **Energieeinsatzoptimierung:**
Bedarfsangepasster Einsatz von Energie im Hinblick auf Orte (Raumheizung) und Zeiten (angepasste Garzeiten im Backofen) dank entsprechender Sensorik, die die Raumverhältnisse voll-

ständig erfasst und mittels Feinstdosierungen die Wärmezu-
führung auf der Kennlinie fährt (auch die optimale Nutzung
von Maschinen spart Energie)

▶ **Situativ dosierter Energieeinsatz bei Bewegungsvorgängen:**

Anforderungsangepasster Energieeinsatz bei Verkehrsmitteln,
Maschinen etc. in Mikrozeiträumen zur Energieeinsparung
und Standzeitverlängerung aufgrund gleichmäßigerer mittlere
Belastung von technischen Aggregaten

▶ **Reduzierter Energieeinsatz:**

Verbrauchsreduktion bei Fahrzeugen, Nutzung neuer Prinzi-
pien bei Heizanlagen

▶ **Nutzung alternativer Ressourcen**

z. B. Biostoffe

▶ **Energy Harvesting aus der Umgebung**

Energie aus Bewegung, Elektromagnetischem Feld,
Wärme / Strahlung, Kraft

