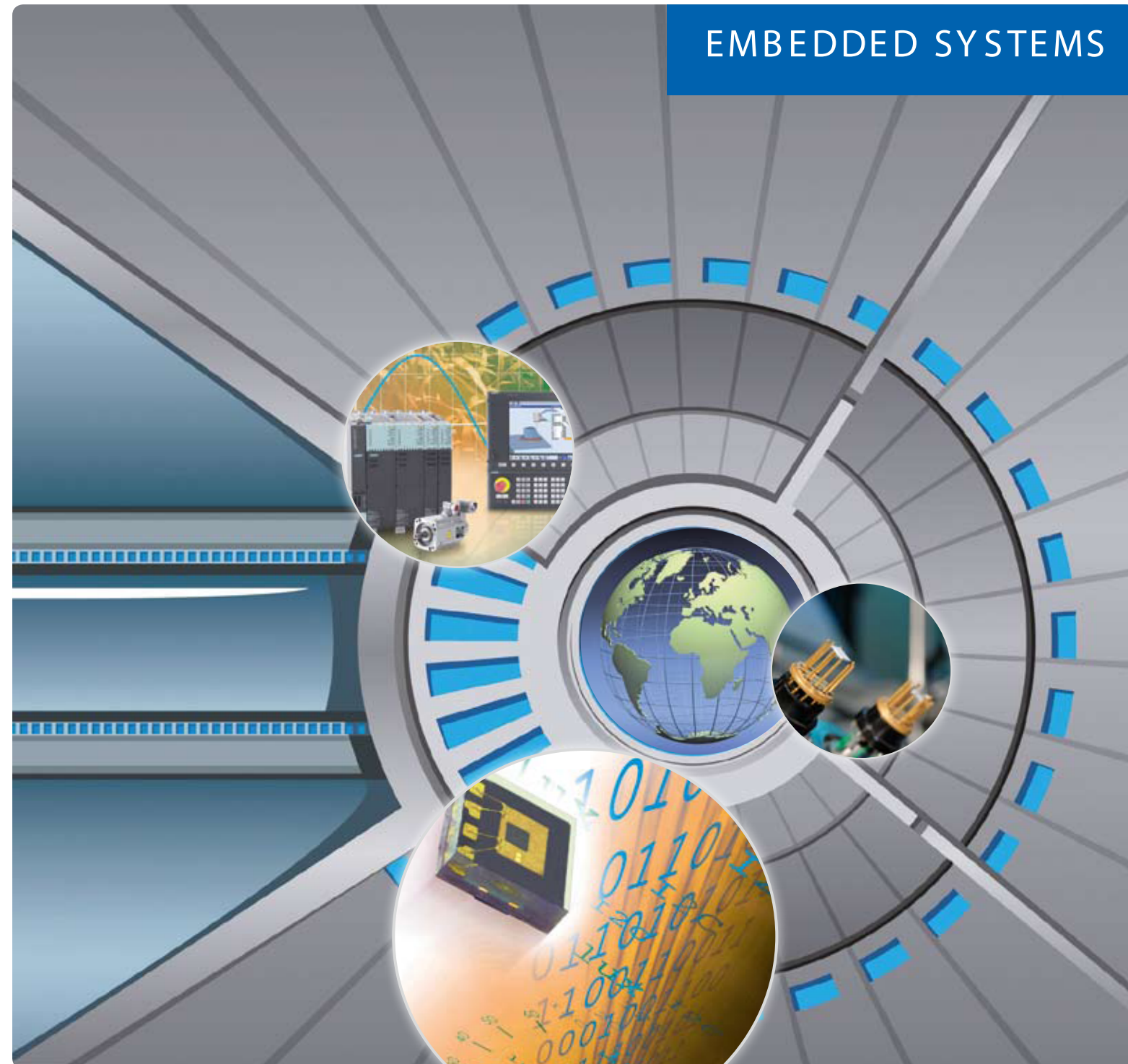




Nationale Roadmap



Unter Mitwirkung von:



Mit Unterstützung von:



IMPRESSUM

Nationale Roadmap Embedded Systems

Herausgegeben vom:
ZVEI - Zentralverband Elektrotechnik-
und Elektronikindustrie e. V.
Kompetenzzentrum Embedded Software & Systems

Ansprechpartner:
Stephan Gurke
Lyoner Straße 9
60528 Frankfurt am Main
Fon: 069 6302-358
Fax: 069 6302-286
Mail: embedded@zvei.org
www.zvei.org

Design:
NEEDCOM GmbH
www.needcom.de

Druck:
Berthold Druck GmbH
www.berthold-gmbh.de

Fotonachweis:
Daimler AG
EADS Deutschland GmbH
Needcom GmbH
Siemens AG

Frankfurt, Dezember 2009

Die Mitglieder des Steuerkreises Nationale Roadmap Embedded Systems

Dr. Reinhold Achatz, Klaus Beetz
Siemens AG

SIEMENS

Prof. Dr. Dr. h. c. Manfred Broy
Technische Universität München

TUM

Prof. Dr. Heinrich Dämbkes
EADS Deutschland GmbH

EADS
DEFENCE
& SECURITY

Prof. Dr. Werner Damm
OFFIS (Leitung)

OFFIS
INSTITUT FÜR INFORMATIK

Dr. Klaus Grimm
Daimler AG

DAIMLER

Prof. Dr. Peter Liggesmeyer
Fraunhofer IESE und
Universität Kaiserslautern

Fraunhofer
IESE



Inhalt



1 Embedded Systems für Deutschland – Zehn Thesen	6	5 Forschungsprioritäten	30
2 Scope der Roadmap	8	5.1 Technologieinnovationen	30
3 Bedeutung von Embedded Systems für Deutschland	10	5.1.1 Computing devices der Zukunft	30
4 Beiträge zur Lösung gesellschaftlicher und ökonomischer Herausforderungen	16	5.1.2 Ressourcenoptimierende Technologien	31
4.1 <i>Alternde Gesellschaft und Gesundheit</i>	16	5.1.3 Referenzarchitekturen für Eingebettete Systeme	31
4.1.1 <i>Szenario 1: Selbstständiges und eigenverantwortetes Leben im Alter</i>	16	5.1.4 Sichere und geschützte Eingebettete Systeme	32
4.1.2 <i>Szenario 2: Flächendeckende gesundheitliche Betreuung</i>	16	5.1.5 Vernetzte Regelungen	33
4.1.3 <i>Szenario 3: Leben mit chronischen Krankheiten</i>	17	5.1.6 Funktionale Sicherheit Eingebetteter Systeme	34
4.1.4 <i>Szenario 4: Soziale Vernetzung</i>	18	5.1.7 Kognitive Eingebettete Systeme	35
4.2 <i>Mobilität</i>	18	5.1.8 Innovative Interaktionsschnittstellen	35
4.2.1 <i>Szenario 1: Green Mobility</i>	18	5.1.9 Kooperative Eingebettete Systeme	35
4.2.2 <i>Szenario 2: Die Vision vom unfallfreien Fahren</i>	19	5.2 Prozessinnovationen	36
4.2.3 <i>Szenario 3: Unterstützung von älteren Menschen</i>	20	5.2.1 Requirements Engineering	36
4.3 <i>Sicherheit</i>	20	5.2.2 Architektur – Entwurf und Bewertung	37
4.3.1 <i>Safety: Funktionale Sicherheit kritischer Systeme</i>	20	5.2.3 Systemanalyse	37
4.3.1.1 <i>Transportsysteme</i>	21	5.2.4 Modellgetriebene Entwicklung	38
4.3.1.2 <i>Automatisierung</i>	21	5.2.5 Systematische Wiederverwendung	39
4.3.1.3 <i>Medizin</i>	21	5.2.6 Menschen-zentrierter Entwurf	40
4.3.2 <i>Sicherheit zum Schutz der Bevölkerung: Security</i>	22	5.2.7 Life Cycle Management	40
4.3.2.1 <i>Szenario 1: Privacy of Data</i>	23	5.2.8 Prozessautomatisierung	41
4.3.2.2 <i>Szenario 2: Crisis Management</i>	24	5.2.9 Prozessorganisation	41
4.3.2.3 <i>Szenario 3: Der Flughafen der Zukunft</i>	24	6 Empfehlungen	42
4.4 <i>Umwelt und Energie</i>	25	6.1 Prioritäre Strategielinien	43
4.4.1 <i>Szenario 1: Naturkatastrophen vorhersagen</i>	26	6.1.1 Seamless Interaction	44
4.4.2 <i>Szenario 2: Schutz und Minimierung des Verbrauchs von natürlichen Ressourcen</i>	26	6.1.2 Autonome Systeme	45
4.5 <i>Wissengesellschaft</i>	26	6.1.3 Verteilte Echtzeit-Situationserfassung und Lösungsfindung	46
4.5.1 <i>Szenario 1: Ferngestützte Diagnose</i>	27	6.1.4 Sichere Systeme	47
4.6 <i>Globalisierung</i>	27	6.1.5 Architekturprinzipien	48
4.6.1 <i>Szenario 1: Verbesserung der Lebensqualität in Entwicklungs- und Schwellenländern</i>	27	6.1.6 Virtual Engineering	49
4.6.2 <i>Szenario 2: Delivery on Demand im Zeitalter der Globalisierung</i>	27	6.2 Roadmap	51
4.6.3 <i>Szenario 3: Fabrik der Zukunft</i>	28	6.3 Forschungsförderinstrumente	52
4.7 <i>Urbanisierung</i>	28	6.4 Weitere Empfehlungen	53
4.7.1 <i>Szenario: Smart City</i>	28	7 Anhang	54
4.7.1.1 <i>Bürgernahe Anwendungen</i>	28	7.1 Mitglieder des Steuerkreises	54
4.7.1.2 <i>Logistische Anwendungen</i>	29	7.2 Mitglieder des Expertenkreises	54
4.7.1.3 <i>City-Management</i>	29	7.3 Weitere Mitwirkende	55
		7.4 Quellen	56
		7.5 Glossar	58

Embedded Systems für Deutschland – Zehn Thesen

„Eingebettete Systeme“ sind in ihrem Softwareanteil nicht sichtbar und doch hoch relevant für den Wirtschaftsstandort Deutschland. Ihre Bedeutung fasst die vorliegende Nationale Roadmap Embedded Systems in den folgenden 10 Thesen zusammen:

- These 1** Die zentralen ökonomischen und gesellschaftlichen Herausforderungen in Deutschland lassen sich ohne die Querschnittstechnologie Embedded Systems nicht lösen¹.
- These 2** Arbeitsplätze und Wertschöpfung in für Deutschland wesentlichen Branchen hängen in zunehmendem Maße von Embedded Systems ab².
- These 3** Embedded Systems sind zunehmend produktprägender Bestandteil mindestens in den drei umsatzstärksten Branchen Deutschlands³.
- These 4** Der Anteil von Embedded Systems an den Gesamtproduktentwicklungskosten wächst in allen Branchen signifikant an. Dies wird gespiegelt durch einen signifikanten Anteil von 10% bis 20% an den Gesamtkosten für Forschung und Entwicklung in vielen Industriezweigen⁴.
- These 5** Deutschland verfügt über eine exzellente Ausgangsposition, die zum Erhalt und zum Ausbau der Wettbewerbsfähigkeit jedoch einer Stärkung bedarf⁵.
- These 6** Es bedarf einer gemeinsamen, branchenübergreifenden Anstrengung von Industrie und Forschung mit Unterstützung durch geeignete Förderprogramme, um die zukünftigen Herausforderungen zu meistern⁶.
- These 7** Die wesentlichen zukünftigen Herausforderungen im Bereich Embedded Systems können mit Hilfe von sechs Forschungsschwerpunkten (FSPs) bewältigt werden.

[1]

FSP Seamless Interaction: Überall genau die richtigen Informationen sicher zur richtigen Zeit zu erhalten, ist genauso relevant für die Überwachung von Patienten wie im Krisenmanagement, in intermodalen Logistikanwendungen, wie in Smart Shops, die quasi magisch Kundenwünsche maßgeschneidert erfüllen. Über bekannte IT-Lösungen hinaus sind dazu „Sprachbarrieren“ zwischen unterschiedlichsten technischen Systemen zu überwinden, Instrumente zur sicheren Authentifizierung solcher Systeme zu etablieren, sowie schließlich „vordenkende“ selbsterklärende Interaktionsschnittstellen zu gestalten.

[2]

FSP Autonome Systeme: Wenn unter extremen Randbedingungen (Erschließung von Rohstoffen am Meeresboden, Krisen-/ Katastrophenmanagement, im Weltall) kritische Funktionen weitestgehend ohne menschlichen Eingriff gesichert werden müssen, sind Autonome Systeme die Technologie der Wahl. Diese müssen sich selbst so anpassen können, dass sie in kaum vorhersagbaren Umgebungen und unter kaum genau spezifizierbaren Randbedingungen eine spezifizierte Leistung selbständig erbringen

[3]

FSP Verteilte Echtzeit-Situationserkennung und Lösungsfindung: Koordinierte Lagebewertungen und Lösungsstrategien sind unverzichtbar in so unterschiedlichen Handlungsfeldern wie Krisenmanagement, Patientenüberwachung, oder in der koordinierten Fahrzeugführung zur Reduktion der Umweltbelastung und Erhöhung der Verkehrssicherheit. Dies setzt voraus, dass zwischen den handelnden (semi-autonomen) Teilsystemen ein genügend genaues gemeinsames Lagebild unter Echtzeitbedingungen auf der Basis von integrierter heterogener intelligenter Sensorik und statischem Lagewissen etabliert werden kann, damit durch koordinierte Manöver in Echtzeit Konfliktlösungen realisiert werden können.

¹ siehe Kapitel 4
² siehe Kapitel 3
³ siehe Kapitel 3
⁴ siehe Kapitel 3
⁵ siehe Kapitel 3
⁶ siehe Kapitel 6

Eine wesentliche Rolle spielen dabei offene branchenübergreifende Interoperabilitätsstandards, geeignete Referenz-Technologie-Plattformen und auf Eingebettete Systeme ausgerichtete Ausbildungsprogramme⁹.

These 8 Der Gesamtbedarf an Forschungsaufwänden in diesen sechs Schwerpunkten wird für die nächsten 10 Jahre auf deutlich über 2,5 Mrd. € geschätzt¹⁰.

These 9 Die Kombination von nationalen Programmen (z.B. Innovationsallianzen) und europäischen Förderinstrumenten (z.B. ARTEMIS) stellt bei entsprechender finanzieller Ausstattung einen ausgezeichneten Rahmen zur Schaffung von Spitzen-Innovationen in Deutschland und zur Mitgestaltung dafür maßgeblicher internationaler Standards dar¹¹.

These 10 Deutschland kann durch eine enge Zusammenarbeit zwischen Experten der Embedded-Systems-Technologien und der verschiedenen Anwendungsfelder (Gesundheit, Mobilität, Energie,...) eine Spitzenrolle bei der Lösung zentraler gesellschaftlicher und ökonomischer Herausforderungen einnehmen¹².



Mit diesem Dokument liegt ein ausgearbeiteter Vorschlag vor, der eine zeitnahe Umsetzung der aus den Thesen resultierenden Handlungsbedarfe ermöglicht.

[4]

FSP Sichere Systeme: Herstellung und Aufrechterhaltung des Vertrauens in Embedded Systems sind unabdingbare Voraussetzung für die Akzeptanz von komplexen, vernetzten, eingebetteten Systemen, wie sie zur Lösung der gesellschaftlichen und ökonomischen Herausforderungen benötigt werden. Bisherige IT-Sicherheitskonzepte sind hier nützlich, aber nicht ausreichend, da sie oft auf den Aspekt Security⁷ fokussieren. Für Embedded Systems sind die Aspekte Safety⁸ sowie Auswirkungen von (man-gelnder) Security auf Safety zentrale Themen.

[5]

FSP Architekturprinzipien: Umweltverträgliche Mobilität im Automobil durch Minimierung von Emissionen und Energieverbrauch („Green Mobility“) ist nur ein Beispiel für Anwendungen, in denen Lösungen aus verschiedenen Domänen und Branchen zu komplexen Systemen integriert werden müssen. Dazu sind standardisierte, beherrschbare, branchenunabhängige Architekturen zentraler Schlüssel zur Erreichung eines Wettbewerbsvorteils (Qualität, Kosten, Time-to-Market) und zur Erhaltung von Arbeitsplätzen.

[6]

FSP Virtual Engineering: Um die benötigten, auf Embedded Systems basierenden Anwendungen mit den geforderten Qualitäten realisieren zu können, sind verbesserte Entwicklungsprozesse, -methoden und -werkzeuge notwendig, durch die eine erhöhte Effizienz, die frühzeitige Absicherung von Konzepten, Produktivitätsgewinne in Bezug auf Qualität, Kosten, Zeit, Sicherheit und Zuverlässigkeit, sowie die Beherrschung der Komplexität domänenübergreifender Systeme ermöglicht wird.

⁷ Security: Schutz des Systems gegen Mißbrauch und Angriffe von außen.

⁸ Safety: Vom System gehen keine Gefährdungen aus

⁹ siehe Kapitel 6.4

¹⁰ siehe Kapitel 6.2

¹¹ siehe Kapitel 6.3

¹² siehe Kapitel 6.4

Scope der Roadmap

Immer dann, wenn Hardware- und Softwarekomponenten in ein umfassenderes Produkt¹³ integriert sind, um produktspezifische Funktionsmerkmale zu realisieren, bezeichnen wir sie als „Eingebettete Systeme“ bzw. „Embedded Systems“ (ES)¹⁴. Das Spektrum von Produkten, welche unter Verwendung von Eingebetteten Systemen realisiert werden, überdeckt zahlreiche für den Wirtschaftsstandort Deutschland entscheidende Branchen wie etwa Fahrzeugbau, Automatisierungs- und Produktionstechnik, Luft- und Raumfahrt, Medizintechnik, Umwelt- und Energietechnik, Consumer Electronics, Mobilkommunikation, Bahntechnik und Sicherheitstechnik.

Die Namensgebung „Eingebettete Systeme“ weist darauf hin, dass diese zwar für die Ausprägung von Produktmerkmalen unverzichtbare Bestandteile darstellen, für den Endanwender jedoch entweder unsichtbar sind (insbesondere bei „autonomen Systemen“) oder diesem in der Durchführung von Aufgaben assistieren und damit zwar wahrnehmbar, aber nicht beeinflussbar sind und in der Regel nur einen kontrollierten Eingriff über fest definierte Interaktionsschnittstellen erlauben („Assistenzsysteme“). Für die oft durch Eingebettete Systeme realisierten Überwachungs-, Steuerungs- und Regelungsaufgaben wird die Beobachtbarkeit und Beeinflussbarkeit der Produktumgebung über vielfältige Formen oft räumlich verteilter Sensoren und Aktuatoren realisiert, welche etwa im Bereich der Sensorik von im Körper implantierbaren Biosensoren über in Reifen integrierte Drucksensoren zu Video und Radar reicht.

Dieses, vor allem aber eine hohe Anzahl einzuhaltender technischer Randbedingungen, die für die Produktintegration unverzichtbar sind, unterscheidet Eingebettete Systeme von allgemeinen IT-Systemen. So sind für mobile Endgeräte sowohl Gewicht als auch Packungsgröße und Leistungsaufnahme beschränkt, in verkehrstechnischen Anwendungen sind oft Echtzeitanforderungen und Ausfallsicherheit zu gewährleisten, teilweise gilt es – wie insbesondere in Luft- und Raumfahrt – die verlässliche Arbeitsweise auch unter extremen Umgebungsparametern (Temperatur, Vibration, ...) zu gewährleisten. Schließlich wird die Gesamtfunktionalität in vielen Produkten nur durch ein abgestimmtes Zusammenspiel von Eingebetteten Systemen mit einerseits elektronischen und mechanischen Systemen, andererseits mit auf sie aufsetzenden oft selbst hochgradig komplexen Diensten realisiert, welche „konventionelle“ IT-Technologie benutzen. Die Einbeziehung der Schnittstellen zu Elektronik und Mechanik, zu umgebenden IT Systemen, und – z.B. bei Assistenzsystemen – der Schnittstelle zum Menschen, erfordert damit einen Disziplinen übergreifenden Systementwurf, um robuste wartbare Gesamtarchitekturen zu definieren.

Gegenstand dieser Roadmap ist die Identifikation von Forschungsprioritäten für Eingebettete Systeme zur Lösung gesellschaftlicher und ökonomischer Herausforderungen der Bundesrepublik Deutschland und deren Einordnung in kurz-, mittel-, und langfristige Zielsetzungen. Sie macht damit Vorschläge zur Konkretisierung der Hightech-Strategie der Bundesregierung für die dort unter IKT subsumierte¹⁵ Querschnittstechnologie Eingebettete Systeme, und erweitert im Bereich Eingebettete Systeme die Forschungsstrategie IKT2020, die Embedded Systems als „wahre Stärke der deutschen LuK-Technologien“¹⁶ identifiziert. Sie wurde unter Einbeziehung einschlägiger Studien, Roadmaps¹⁷ und Expertenanhörungen¹⁸ unter Leitung eines Steuerkreises¹⁹ mit Vertretern aus Industrie und Forschung erstellt, welche insbesondere die für das Themenfeld relevanten Innovationsallianzen SPES2020 und

¹³ Der Begriff „Produkt“ ist in diesem Zusammenhang weit gefasst und umfasst in diesem Sinne auch auf eingebetteten Systemen aufsetzende Dienstleistungen wie Logistik, Patientenfernüberwachung, Verkehrsführung, ...

¹⁴ In diesem Dokument werden die Begriffe „Eingebettete Systeme“ und „Embedded Systems“ gleichwertig benutzt.

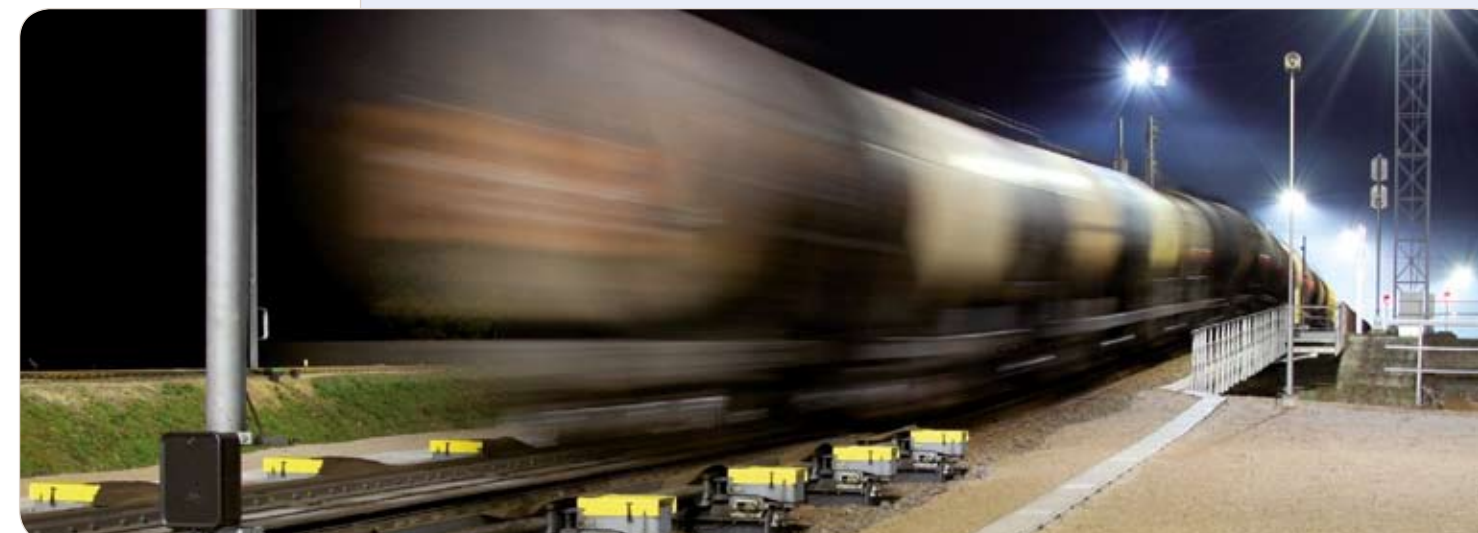
¹⁵ [Hightech-Strategie], S. 57: Über 90 Prozent aller Prozessoren arbeiten nicht in einem PC, sondern im Verborgenen als so genannte „Embedded Systems“, wie etwa in Antiblockiersystemen im Automobil, in Maschinensteuerungen, in Telefonanlagen und medizinischen Geräten. Bei den „Embedded Systems“ kann Deutschland auf einer guten technologischen Ausgangslage aufbauen und neue Wachstumsimpulse für starke deutsche Branchen erwarten.

¹⁶ [IKT2020], S. 11: „Die wahren Stärken der deutschen LuK-Technologie liegen indes im Verborgenen. Und doch sind sie allgegenwärtig. „Embedded Systems“ – in Produkte eingebettete Hard- und Softwaretechniken allein bildeten laut BITKOM 2005 einen Weltmarkt von 138 Milliarden €, der auf rund 194 Milliarden € im Jahr 2010 steigen wird.“

¹⁷ Siehe Abschnitt 7.4

¹⁸ Siehe Abschnitt 7.2

¹⁹ Siehe Abschnitt 7.1



EIENOVA repräsentieren oder in federführender Rolle in der Joint Undertaking ARTEMIS beteiligt sind. Die Sicht des Maschinenbaus ist nur partiell für den Bereich Robotik berücksichtigt (siehe hierzu z.B. [VDI 2009b]). Die Roadmap stellt zunächst quantitativ die Relevanz von Eingebetteten Systemen im Abschnitt 3 dar. Qualitativ wird dies durch die beispielhafte Darstellung von Beiträgen Eingebetteter Systeme zur Lösung gesellschaftlicher und ökonomischer Herausforderungen in Abschnitt 4 diskutiert – dieser stellt somit aus „Kundensicht“ an Hand von Szenarien dar, wie etwa die Lebensqualität im Alter durch auf Eingebetteten Systemen aufsetzende Produkte verbessert werden kann. Die zur Lösung der Herausforderungen erforderlichen Technologie- und Prozessinnovationen im Bereich der Eingebetteten Systeme werden in Abschnitt 5 dargestellt.

Abschnitt 6.1 schlägt sechs prioritäre Forschungsfelder vor, in denen der zukünftige Forschungsbedarf für eingebettete Systeme umrissen wird und welche insgesamt die geforderten Technologie- und Prozessinnovationen überdecken. Den Brückenschlag zwischen dieser Fachsicht und den Herausforderungen des vierten Abschnitts wird durch die im Rahmen der prioritären Forschungsfelder etablierten „Capabilities“²⁰ geleistet: Abschnitt 6.1 stellt ebenfalls dar, wie durch Zusammenführung von Technologie- und Prozessinnovationen welche neuen System-Fähigkeiten und Entwicklungs-Kernkompetenzen („Capabilities“) mit welchen Forschungsinvestitionen geschaffen werden können. Abschnitt 6.2 ordnet diese zeitlich an und definiert damit im Kern die nationale Roadmap. Zu geeigneten Förderinstrumenten wird in Abschnitt 6.3 Stellung genommen.

Über die Umsetzung der hier vorgeschlagenen Forschungsprioritäten hinaus sind weitere Maßnahmen erforderlich, damit daraus resultierende Innovationen zur Lösung gesellschaftlicher und ökonomischer Herausforderungen führen können. Diese verlangen oft sowohl branchen- wie auch disziplinübergreifende Kooperationen und erfordern damit die Etablierung oder Erweiterung von dafür notwendigen und aufgrund der globalen Verflechtung in der Regel weltweit zu etablierenden Interoperabilitätsstandards. Auf nationaler Seite sind in der Ausbildung verstärkte Anstrengungen zur Bereitstellung von qualifizierten Absolventen mit stark interdisziplinären Fachkenntnissen im Bereich Eingebettete Systeme zu unternehmen.

Zu den Rahmenbedingungen für die Einführung gehören darüber hinaus Nachweise zur Sicherheit (im doppelten Sinne von „Safety“ und „Security“), wie sie teilweise bereits durch einschlägige Normen gefordert werden, und Maßnahmen zum Schutz der Privatsphäre. Untersuchungen zur Akzeptanz und Technikfolgenabschätzung vor der Einführung von durch Eingebettete Systeme ermöglichten Innovationen sind insbesondere im Umfeld von Lösungen für die Gesundheitsversorgung und die alternde Gesellschaft geboten. Schließlich setzen viele der für die Sicherung eines Produktivitätsvorsprungs vorgeschlagenen Maßnahmen die Etablierung von neuen Geschäftsmodellen und Referenzplattformen voraus; erste Anregungen hierzu werden in Abschnitt 6.4 adressiert.

²⁰ Im nachfolgenden unterscheiden wir unter dem Begriff „Capability“ einerseits zwischen Fähigkeiten eingebetteter Systeme, die durch Technologieinnovationen bewirkt werden, und andererseits zur Entwicklung solcher Fähigkeiten benötigten Kernkompetenzen, welche durch Prozessinnovationen geschaffen werden.

Bedeutung von Embedded Systems für Deutschland

Eingebettete Systeme sind für den Wirtschaftsstandort Deutschland von herausragender Bedeutung: Zum einen sind sie wesentlicher Bestandteil wichtiger Industriezweige, in denen Deutschland weltweit eine führende Position einnimmt – wie etwa im Automobilbau, in der Automatisierungstechnik und im Maschinen- und Anlagenbau – bzw. in denen Deutschland eine solche Vorreiterrolle übernehmen kann – wie etwa in der Umwelt- und Energietechnik oder der Medizin- und Gesundheitstechnik. Zum anderen stellt der Bereich hoch entwickelter Eingebetteter Systeme selbst einen für den Hightech-Standort Deutschland starken Wettbewerbsvorteil und Arbeitsmarktfaktor dar. Dies zeigt sich sowohl in den domänenübergreifenden Umsatz- und Beschäftigtenzahlen wie auch an der zunehmenden Nachfrage deutscher Expertise auf diesem Gebiet von Seiten ausländischer Investoren²¹.

Der globale Markt für Embedded Systems lässt sich nur schätzen, da er aufgrund der Vielzahl von Anwendungen in unterschiedlichen Branchen stark fragmentiert ist. Eine Prognose für das Jahr 2009²² geht von über 71 Mrd. € Weltmarktvolumen aus und veranschlagt ein Wachstum auf über 40 Mrd. eingebettete Anwendungen bis zum Jahr 2020 weltweit, während andere Quellen²³ den globalen Markt auf 60 Mrd. €²⁴ bis hin zu 138 Mrd. €²⁵ beziffern. Betrachtet man das weltweite Marktvolumen eingebetteter Software Systeme in einzelnen Branchen, so entfielen laut [VDC 2008] in 2007 auf die Automobil- und Transportbranche ca. 5 Mrd. US-\$, auf die Automatisierungstechnik ca. 5,2 Mrd. US-\$ und auf die Medizintechnik ca. 1,8 Mrd. US-\$. In diesen drei Branchen wurden durch die Industrie im Jahr 2007 weltweit mehr als 22.000 FuE-Projekte mit Gesamtentwicklungskosten von über 30 Mrd. US-\$²⁶ initiiert, von denen branchenübergreifend ca. 50% der Kosten auf die Eingebettete Software-Entwicklung entfielen. Für kommerzielle Software-Lösungen (Entwicklungswerkzeuge und umgebungen, etc.) wurden dabei in diesen drei Branchen ca. 874 Mio. US-\$ ausgegeben.

Der deutsche Markt für Embedded Systems ist der drittgrößte hinter den USA und Japan²⁷. Er wird für 2007 auf über 18,7 Mrd. € geschätzt und wird weiter um durchschnittlich 9-10% pro Jahr wachsen²⁸.

Eingebettete Systeme stellen in vielen für Deutschland wichtigen Branchen eine Schlüsseltechnologie dar, sind Innovationstreiber²⁹ und durch Diversifizierung von Produkten in Bezug auf Funktionalität und Qualität maßgeblich am Erhalt von Wettbewerbsfähigkeit und Arbeitsplätzen dieser Branchen beteiligt.

In der Automobilbranche waren in Deutschland im Jahr 2007 ca. 834 000 Arbeitnehmer beschäftigt, mehr als doppelt so viele wie in der zweitgrößten europäischen Arbeitgebernation der Automobilbranche Frankreich mit 258 000 Arbeitsplätzen³⁰. Der Umsatz im Jahr 2007, den die deutsche Automobilbranche erwirtschaftete, betrug 293 Mrd. €³¹. Damit befindet sich die Branche in der Spitzengruppe der größten Wirtschaftszweige zusammen mit dem Maschinenbau, der Elektrotechnik, dem Ernährungsgewerbe, und der chemischen Industrie.

²¹ [BITKOM 2008], S. 18

²² [StudyTrends], S.1

²³ Aufgrund unterschiedlich breiter Interpretationen des Begriffs Eingebettete Systeme sind die aus verschiedenen Quellen resultierenden Zahlen nicht immer vergleichbar.

²⁴ [TUM 2009]

²⁵ [BITKOM 2005]

²⁶ Quelle: Eigene Schätzungen auf Grundlage von Daten aus [VDC 2008]

²⁷ [StudyTrends], S.45

²⁸ [BITKOM 2008], S. 10

²⁹ Z.B. werden 90% der Innovationen im Automobil von Eingebetteten Systemen bestimmt, [StudyTrends], S.23

³⁰[EU EconomicReport], S. 27

³¹ [VDMA 2009], S. 4

Der Wertanteil von elektrischen und elektronischen Komponenten – und damit zum Großteil von Embedded Systems – im Automobil nimmt stark zu. Er lässt sich für das Jahr 2007 auf ca. 25% in einem Personenzug schätzen³² und wird bis 2015 auf ca. 35% wachsen³³. Dabei liegt der Kostenanteil für Embedded Software in Neuentwicklungen bereits heute über 50%³⁴. Prognosen gehen allein für den Umsatz mit elektronischen Komponenten im Automobil von 84 Mrd. € für das Jahr 2011 aus³⁵. Dementsprechend hoch sind auch die FuE-Aufwendungen im Fahrzeugbau: 20,9 Mrd. € setzte die Branche 2007 dafür ein. Mit fast 40% der FuE-Aufwendungen liegt der Fahrzeugbau damit vor der Elektrotechnik, der chemischen Industrie, dem Maschinenbau, den Unternehmensdienstleistungen und der Metallindustrie³⁶.

Der Maschinen- und Anlagenbau gehört zu den beschäftigungs- und umsatzstärksten Branchen in Deutschland. Die Anzahl der Beschäftigten³⁷ lag im Jahr 2008 mit 965 000 an der Spitze der großen deutschen Wirtschaftsgruppen, der Umsatz betrug in gleichen Jahr 205 Mrd. €. Die Produktion von Maschinen ist 2008 im fünften Jahr in Folge gewachsen. In diesem langen Aufschwung konnte insgesamt ein Produktionsanstieg von preisbereinigt rund 38% erreicht werden. Der Anteil von Embedded Systems im Maschinen- und Anlagenbau ist durch die vielfältigen Anwendungen von automatisierten Maschinen und Anlagen schwer abzuschätzen. Laut einer Tendenzumfrage des VDMA in 2008³⁸ liegt der Anteil von IT und Automatisierungstechnik und damit von Embedded Systemen bei 25%, Jeder vierte Mitarbeiter in der Entwicklung und Konstruktion im Maschinenbau ist heute ein Softwareentwickler oder Automatisierungstechniker. Der VDMA nennt explizit die Innovationskraft als Schlüssel für zukünftigen Erfolg der Branche: „Ein unverzichtbarer Schlüssel zum weiteren Erfolg sind forcierte Produkt- und Prozessinnovationen.“³⁹ Dementsprechend sind auch die F&E-Ausgaben im Maschinenbau seit 2005 gestiegen und betragen im Jahr 2008 5,6 Mrd. €⁴⁰.

Im Bereich der Elektronikentwicklung kann Deutschland auf ausgeprägtes Know-how und einen bereits erschlossenen Markt verweisen. Die Anzahl der Beschäftigten in der Elektrotechnik- und Elektronikindustrie lag im Jahr 2007 bei 830.000 Personen, der Umsatz betrug im gleichen Jahr 182 Mrd. €⁴¹. Deutschland ist führender Produktionsstandort in Europa und steht weltweit an fünfter Stelle. Die deutsche Elektroindustrie investierte 11 Mrd. € in FuE-Projekte, was über 6% des Umsatzes und ca. einem Fünftel der FuE-Aufwendungen der gesamten Industrie entspricht. Die erhebliche Schnittmenge mit der Fahrzeugelektronik ist hier nicht mit erfasst. Die Innovationskraft der deutschen Elektroindustrie ist besonders groß: Über 40% des Umsatzes erzielen die Unternehmen mit Produkten, die höchstens drei Jahre alt sind.

³² [StudyTrends], S. 32

³³ [Mercer]

³⁴ [VDC 2008]

³⁵ [CATRENEPartB], S. 38

³⁶ [Stifterverband]

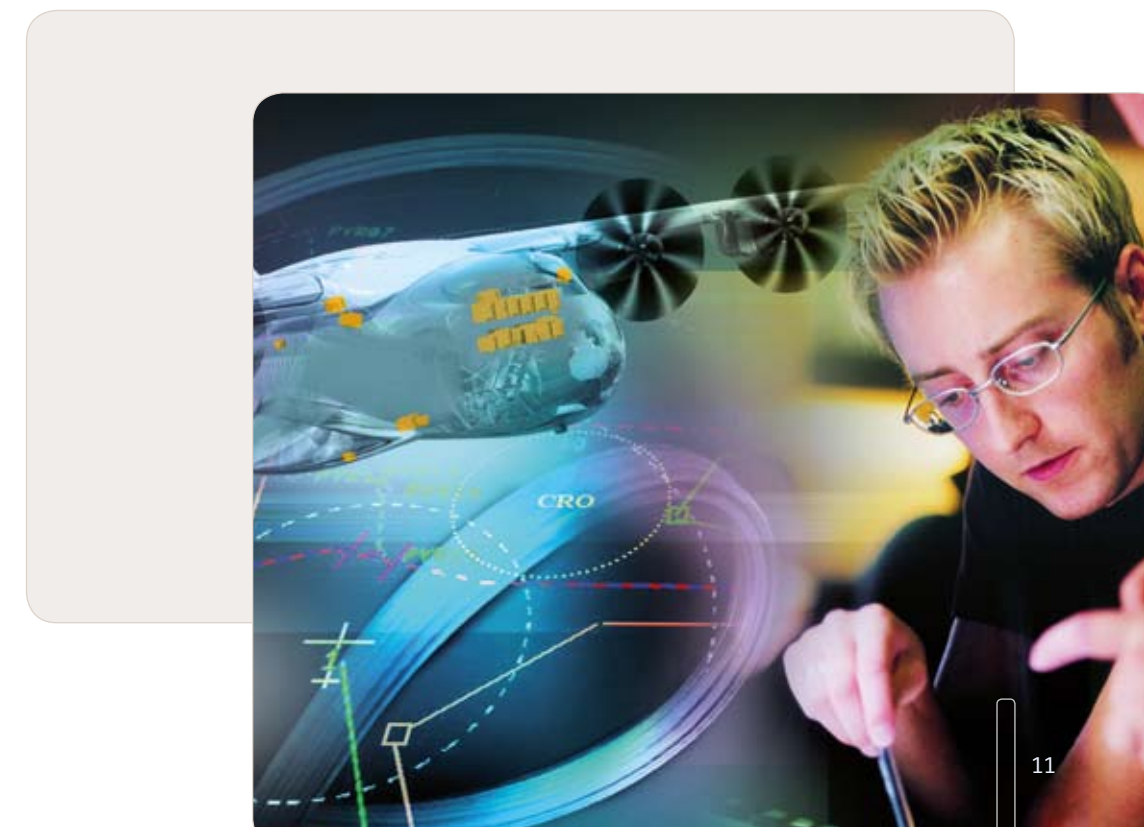
³⁷ Diese und die folgenden Zahlen aus [VDMA 2009]

³⁸ [VDMA 2008]

³⁹ [VDMA 2007], S. 3

⁴⁰ [Stifterverband]

⁴¹ Die folgenden Zahlen zur Charakterisierung der Elektroindustrie stammen aus [DeutscheBankResearch]



Das Marktvolumen der Medizintechnik in den Industriestaaten wird auf 193 Mrd. € geschätzt. Davon werden 24 Mrd. € von Eingebetteten Systemen beigesteuert⁴². Hochrechnungen weisen darauf hin, dass in diesem Marktbereich das Potenzial noch längst nicht ausgeschöpft ist: Der Umsatz, der mit elektronischen Komponenten im Jahr 2011 erwirtschaftet werden kann, wird mit 61,59 Mrd. € angegeben⁴³. Deutschland ist in der Medizintechnik weltweit die Nummer zwei hinter den USA. Der Umsatz der Branche betrug im Jahr 2007 17,3 Mrd. € und die Branche zählte 170.000 Beschäftigte⁴⁴. Für Neuentwicklungen liegt der Anteil der Kosten für Entwicklung von Embedded Software bei 47,6%⁴⁵. Die FuE-Aufwendungen betragen 1,5 Mrd. €, was ca. 9% des Umsatzes entspricht⁴⁶.

Im Bereich der Energietechnik wurden im Jahr 2007 rund 13 Mrd. € umgesetzt und ca. 65.400 Menschen beschäftigt⁴⁷. Obwohl Embedded Systems hier aktuell eine weniger ausgeprägte Rolle spielen als beispielsweise die Mikro- und Nanotechnik⁴⁸, wird sich ihre Bedeutung und ihr Anteil an den Innovationen und der Wertschöpfung in dieser Branche in naher Zukunft stark erhöhen. Grund hierfür sind vor allem innovative Techniken zur Energieverbrauchsmessung (Smart Metering), dem Energie- und Lastmanagement, sowie des Intelligenten Netzes („Smart Grid“). Prognosen gehen beispielsweise davon aus, dass allein durch eine beschleunigte bundesweite Einführung intelligenter Haushaltszähler bis zu 10 Mrd. € Investitionen in den 6 Jahren ab 2010 möglich sind⁴⁹.

Die Luft- und Raumfahrt ist ein Bereich, der seit jeher auf neuester Technik basiert. In 2008 waren in dieser Branche ca. 93.000 Menschen direkt beschäftigt; der Umsatz betrug ca. 22 Mrd. €⁵⁰. Der Wertanteil von Embedded Systems an einem Flugzeug liegt bei ca. 12%⁵¹. Die Luft- und Raumfahrt verbindet fast alle derzeitigen Hochtechnologien im Bereich Embedded Systems, wie beispielsweise die Elektronik, Robotik, Mess-, Steuer- und Regeltechnik. Dadurch ist die Branche nicht nur ein Innovationstreiber für die eigenen Anwendungen, sondern beeinflusst auch viele andere Industriezweige. Der Anteil der FuE-Ausgaben in der Luft- und Raumfahrt gemessen am Gesamtumsatz gehört mit 16%⁵² zu den höchsten im Vergleich zu den anderen Industriezweigen.



⁴² [StudyTrends], S. 46

⁴³ [CATRENE PartB], S. 46

⁴⁴ [BVMed_AnnualReport08/09], S. 5

⁴⁵ [VDC 2008]

⁴⁶ SPECTARIS_Branchenbericht2009], S. 21

⁴⁷ [Energietechnik]

⁴⁸ [VDE Trendreport]

⁴⁹ [Energietechnik]

⁵⁰ [BMW Bericht]

⁵¹ [Airbus 2007]

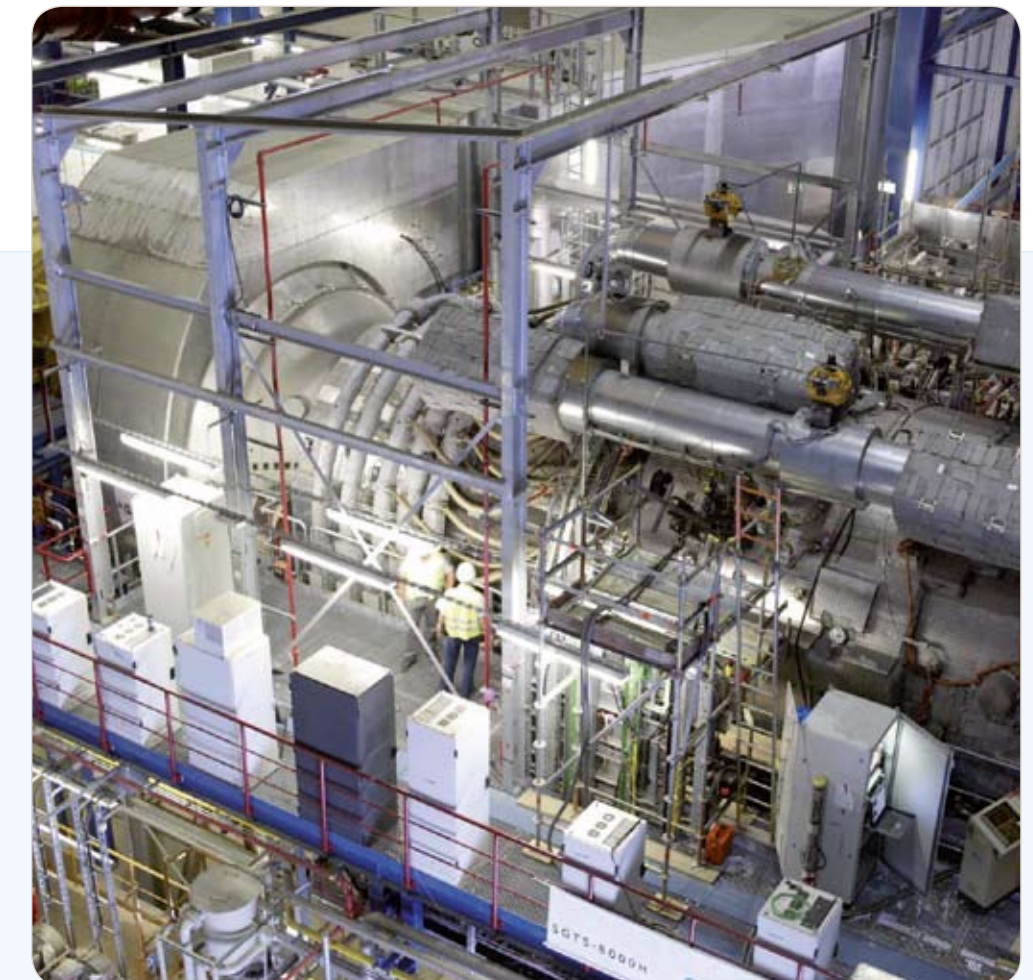
⁵² [BMW Bericht]



In all diesen Branchen spielen Embedded Systems somit eine herausragende Rolle. Sie sind eine Querschnittstechnologie, deren Wichtigkeit nicht überschätzt werden kann. Eine große Mehrheit der in einer Studie⁵³ befragten Experten sind der Ansicht, dass Embedded Systems die Produkt-, Dienstleistungs- und Prozesswelt zumindest teilweise revolutionieren und notwendige Voraussetzung zur Lösung vieler ökonomischer und gesellschaftlicher Probleme in Deutschland sind. Die Rolle von Embedded Systems als Innovationstreiber zeigt sich u.a. auch an einen signifikanten Anteil von 10% bis 20% an den Gesamt-FuE-Kosten in vielen Industriezweigen⁵⁴.

Neben den in Kapitel 4 aufgeführten Handlungsfeldern gibt es noch weitere Bereiche, in denen Embedded Systems von eminenter Bedeutung sind, die aber zumindest aktuell für den Wirtschaftsstandort Deutschland eher von nachrangiger Bedeutung sind und deshalb in der Roadmap nicht näher betrachtet werden, z.B. Freizeit („embedded systems“ im Sport), Unterhaltung (mobile Rollenspiele, elektronische Musik-Player, etc.) oder auch Wehrtechnik (aktive Schutzsysteme).

Die folgende Tabelle auf Seite 14/15 gibt einen Überblick über Stärken, Schwächen, Chancen und Gefahren für den wirtschaftlich so bedeutenden Bereich Eingebettete Systeme in Deutschland (SWOT-Analyse):



⁵³ [Zukunft]

⁵⁴ Eigene Berechnungen auf Grundlage einer Befragung von industriellen Teilnehmern der Expertenworkshops.

Stärken [Strengths]	Schwächen [Weaknesses]	Chancen [Opportunities]	Gefahren [Threats]
<p>Industrie</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Eingebettete Systeme treiben wesentliche Marktsegmente im Industriestandort Deutschland. ■ Deutschland ist weltweiter Marktführer in relevanten Bereichen (Automatisierungstechnik, Mechatronik, Automotive, Energietechnik). ■ Eingebettete Systeme sind ein wesentliches Differenzierungsmerkmal für das Exportgeschäft: German Engineering ist ein Markenzeichen für Qualität und Zuverlässigkeit. ■ In Deutschland gibt es starke Abnehmerbranchen mit hohem Innovationsbedarf (z.B. Automotive, Maschinen- und Anlagenbau, Luft- und Raumfahrt, Energie, Logistik). ■ Die Wertschöpfungskette für Eingebettete Systeme wird vor Ort vollständig abgedeckt. ■ Viele Hersteller von Einzelkomponenten sowie eine große Anzahl innovativer KMUs im Bereich Eingebettete Systeme sind vorhanden. 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Eingebettete Produkte für den Unterhaltungs- und Verbraucherbereich kommen vorwiegend aus dem Ausland (USA, Fernost). ■ Die Rolle von Eingebetteten Systemen als Querschnittstechnologie und Innovationstreiber wird kaum wahrgenommen. ■ Fehlende Standardisierung, fehlende Interoperabilitäts- und Prozess-Standards verursachen Heterogenität und Insellösungen. ■ Die Umsetzung von Inventionen in Innovationen, also Markterfolge, gelingt noch ungenügend. 	<p>Standardisierung</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Die Entwicklung relevanter branchenübergreifender Standards (Architekturen, Modellierungssprachen) ermöglicht neue Innovationen. ■ Offene Standards schaffen neue Marktmöglichkeiten. 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Branchenübergreifende Standardisierungen fehlen. <p>Industrie</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Hersteller einzelner Komponenten sind mangelhaft vernetzt / zersplittert. ■ Heterogenität und Insellösungen herrschen vor. Dadurch existiert oft eine Abhängigkeit von einzelnen Anbietern mit daraus resultierenden kommerziellen Problemen.
<p>Forschung</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ In Deutschland existiert eine ausgeprägte Forschungslandschaft hoher Güte in den an Eingebetteten Systemen beteiligten Einzeldisziplinen. ■ Alle für das Thema Eingebettete Systeme erforderlichen Kompetenzfelder sind vorhanden. ■ Es gibt eine enge Zusammenarbeit zwischen Forschung und Industrie im Umfeld Eingebettete Systeme. 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Die Forschung auf dem Gebiet der Embedded Systems ist immer noch zu stark fragmentiert und jeweils auf einzelne Branchen beschränkt. ■ Nationale und europäische Forschungsstrategien sind wenig kohärent. 	<p>Forschung und Entwicklung</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Die deutsche Führungsrolle in der Entwicklung von disziplinübergreifenden Lösungen für gesellschaftliche und wirtschaftliche Herausforderungen ermöglicht eine frühe Markteinführung solcher Lösungen. ■ Eingebettete Systeme sind ein Technologiefeld, in dem alle Aspekte (Forschung, Entwicklung, Produktion, Integration) in Deutschland erbracht werden und somit Markt- und Technologieführerschaft erreicht werden kann. ■ Das FuE-Feld Eingebettete Systeme bietet die Chance der Etablierung eines Innovationstreibers als Grundlage für (andere) deutsche Industrien. ■ Deutschland kann in hohem Maße an den signifikanten FuE-Förderungen der EU partizipieren. 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Die Fragmentierung der Forschung birgt die Gefahr, dass zwar viel Geld ausgegeben, aber in den vielen Forschungsfeldern und -projekten kritische Masse nicht erreicht, kein Durchbruch erzielt und eine Standardisierung eher behindert werden.
<p>Ausbildung</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Hochschulen und Studierende sind auf die Entwicklung anwendungsorientierter Technologien und Lösungen fokussiert. ■ Gute Ausbildungsmöglichkeiten sowohl für Ingenieure als auch für qualifizierte Facharbeiter sind vorhanden. 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Es gibt nur wenige Studiengänge, die die volle Bandbreite der für den Bereich Eingebettete Systeme notwendigen Wissensdomänen integrieren. ■ In der klassischen Ausbildung ist der Bereich Systems Engineering zu wenig verankert. 	<p>Regulierung/Umfeld</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Die hohen Datenschutzerfordernungen in Deutschland erfordern innovative Lösungen. 	<p>Ausbildung</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Es herrscht Nachwuchsmangel an qualifizierten Ingenieuren [VDI 2009]. <ul style="list-style-type: none"> ■ Unklare Regulierungen verunsichern innovative Firmen. ■ Die Bevölkerung ist bei der Einführung neuer Technologien zurückhaltend. ■ Die Produktion wandert in „Billigländer“ ab.

Beiträge zur Lösung gesellschaftlicher und ökonomischer Herausforderungen

Embedded Systems sind eine Querschnittstechnologie, die zentrale Beiträge zur Lösung gesellschaftlicher und ökonomischer Herausforderungen leistet (siehe z.B. auch [VDI 2009b]). Dieses Kapitel stellt beispielhaft anhand von Szenarien solche Beiträge dar.

4.1 Alternde Gesellschaft und Gesundheit

Eingebettete Systeme stellen eine Schlüsseltechnologie dar, um angesichts einer sich verändernden Altersstruktur neue Lösungen zur Sicherung der Lebensqualität im Alter sowie der Gesundheitsvorsorge anzubieten. Die steigende Lebenserwartung jedes Einzelnen, verbunden mit einem Sinken der Geburtenrate führt zu einer Umkehrung der Alterspyramide und damit zum Verlust der Tragfähigkeit des Generationenvertrags. In der Konsequenz müssen neue Lösungen gefunden werden, um die alltägliche pflegerische und medizinische Versorgung älterer Menschen sicherzustellen. Ein vorrangiges Ziel, das nicht nur der Kostensenkung dient, sondern gleichzeitig auch den persönlichen Wünschen der überwiegenden Mehrheit der Menschen entgegenkommt, ist das möglichst lange Verbleiben in der eigenen Wohnumgebung. Hierzu können Eingebettete Systeme einen wesentlichen Beitrag leisten: Sogenannte Ambient Assisted Living- (AAL-) Technologien können bis zu einem gewissen Maße für Komfort und Unterstützung im Alltag sorgen, Sicherheit auch in potentiell kritischen Situationen schaffen, Notfallsituationen erkennen und Alarmer auslösen, durch telemedizinische Ansätze sowohl präventiv wie auch rehabilitativ das Gesundbleiben und -werden unterstützen und nachlassende körperliche und geistige Fähigkeiten ausgleichen. Wir veranschaulichen dies an Hand von vier Szenarien, in denen zunächst die Perspektive des Lebens im Alter, dann die Sicherung der Gesundheitsvorsorge, das Leben mit Chronischen Krankheiten, sowie schließlich die soziale Vernetzung im Mittelpunkt stehen.

4.1.1 Szenario 1: Selbstständiges und eigenverantwortetes Leben im Alter

Traditionelle Brüche der Lebensbiographie mit dem Eintritt ins Rentenalter werden ersetzt werden durch vielfältige Formen der Integration der „älteren Generation“ in soziale und produktive Vernetzungsstrukturen, um so dem doppelten Ziel des Ausgleichs des drastisch sinkenden Arbeitsmarktes in klassischen Beschäftigungsstrukturen wie der Gestaltung eines selbständigen und eigenverantworteten Lebens im Alter gerecht zu werden. Eingebettete Systeme können diesem Ziel in vielfältiger Weise dienen: Sie können älteren Menschen in ihrer vertrauten Wohnumgebung kreatives und partizipatives Arbeiten ermöglichen, in Arbeitsprozessen eingesetzte Geräte können so gestaltet werden, dass sich auch für Ältere ihre Bedienung intuitiv erschließt, Eingebettete Systeme können aber auch in der Wahrnehmung und Durchführung der Aufgaben des täglichen Lebens assistieren⁶¹. Beispiele hierfür relevanter Technologieinnovationen sind selbst lernende, kognitive, adaptive Systeme, sich selbst erschließende intuitive, multimodale (insb. Gestik), intelligente Interaktionsschnittstellen und virtuelle Telepräsenz. Diese stellen Bausteine in der Schaffung eines „intelligenten Lebensumfeldes“ dar, in dem der Ältere in einem durch ihn kontrollierten Spektrum an Tätigkeiten unterstützt wird. Eine besondere Herausforderung für die technische Realisierung stellt hier und in nachfolgenden Szenarien die Sicherstellung der Privatsphäre trotz automatisierter Auswertung des Lebensumfeldes dar.

4.1.2 Szenario 2: Flächendeckende gesundheitliche Betreuung

Wie können wir trotz einer zu erwartenden relativen Verknappung an Pflegepersonal und Ärzten flächendeckend eine hochwertige medizinische Versorgung sicherstellen und dabei eine Kostenexplosion vermeiden? Eingebettete Systeme erlauben neuartige Lösungsansätze, die anhand dieses und des folgenden Szenarios verdeutlicht werden. Ihnen gemein ist die durch Eingebettete Systeme realisierbare scheinbar vollständige Virtualisierung des Ortes von Arzt und Patient: Behandlungskompetenz kann scheinbar unmittelbar vor Ort für jeden Patienten verfügbar sein, umgekehrt können viele zur Diagnosefindung erforderliche Patientendaten im Prinzip jederzeit jedem Arzt zur Verfügung gestellt werden. Zahlreiche Innovationen sind hierfür erforderlich.

⁵⁵ [HighTechStrategie], S.32: Medizintechnik kann in einer alternden Gesellschaft Patientinnen und Patienten mit Behinderungen helfen, ein selbständiges Leben in Aktivität und mit Teilhabe an der Gesellschaft zu führen. Um diese Entwicklungen schnell nutzen zu können, muss die frühzeitige Verbindung zwischen Technik und Medizin und die Zusammenarbeit zwischen Wissenschaft, Kostenträgern und Wirtschaft weiter vorangetrieben werden.



So erfordert etwa die Fernüberwachung des Patientenzustands nicht-invasive, im Körper, am Körper und in der Umgebung des Patienten integrierte Sensorik, welche untereinander und mit intelligenten Auswertestationen sicher und ausfallsfrei vernetzt ist. Auswertestationen bewerten unter Hinzuziehung der digitalen Krankenakte laufend aktuelle Messdaten und lösen rechtzeitig Alarmhinweise an Pflegepersonal oder Ärzte aus. Bei Bedarf kann durch Telepräsenz der Arzt Kontakt mit dem Patienten aufnehmen. Gekoppelt mit ansteuerbaren im Körper oder am Körper getragenen medizinischen Geräten können Behandlungsparameter neu eingestellt werden. Variationen dieses Szenarios können für Präventivmedizin (Schwerpunkt auf automatisierter Beratung des Patienten in der Durchführung von gesundheitsfördernden Maßnahmen auf der Basis von individuell überwachten Trainingsprofilen), zur Reduktion der stationären Liegezeiten im post-operativem Bereich oder zur Reduktion der Anzahl Medizinischer Versorgungszentren in gering bevölkerten Regionen verwendet werden. Schlagzeilen haben bereits ferngesteuerte Operationen gemacht – sie verdeutlichen die Möglichkeit, im Bedarfsfall interdisziplinäre Behandlungsteams virtuell am Bett des Patienten zusammenführen zu können.

Solche Lösungsansätze erfordern zahlreiche technologische Innovationen (neben den bereits in Szenario 4.1.1 genannten: zuverlässige, sichere Netzwerkverbindungen zwischen ärztlichem Personal, Patient, und Sensoren sowie Aktuatoren einschließlich sicherer bidirektionaler Authentifizierung, Sensoren und Aktuatoren mit minimalem Energiebedarf, sichere Funkverbindungen zwischen implantier- und injektierbaren Sensoren/Aktuatoren und Stationen außerhalb des Körpers, multimodale Echtzeitauswertung von heterogenen Datenquellen wie z.B. CT, Ultraschall, MRI, Radar oder on-line Messdaten auf der Basis physiologischer Organmodelle) und setzen umfangreiche Begleitmaßnahmen im Bereich der Standardisierung, der Zulassung, dem Schutz der Privatsphäre sowie der Führung von Sicherheitsnachweisen voraus.

4.1.3 Szenario 3: Leben mit chronischen Krankheiten

Ältere Menschen leiden heute weniger an akuten, sondern vielmehr an chronischen Krankheiten. Bei über 60-jährigen Patienten in Arztpraxen wurden bei mehr als 65% Hypertonie und bei mehr als 25% Diabetes Mellitus diagnostiziert⁵⁶. Dabei ist zu bedenken, dass sie i.d.R. mehrere chronische, behandlungsbedürftige Krankheiten gleichzeitig haben, die sich oft untereinander noch negativ beeinflussen (chronische Krankheiten machen 3/4 der Gesundheitskosten aus⁵⁷; 40% der Bevölkerung haben eine chronische Krankheit; 16% zwei oder mehr Diagnosen⁵⁸; Hypertonie und Diabetes Mellitus wurden zusammen bei mehr als 16% der über 60-jährigen Patienten festgestellt⁵⁹). Zu dieser Zunahme der Morbidität kommen altersbedingte Funktionsverluste hinzu. Hierzu gehören u.a. die Verminderung der Mobilität, schlechtere Hör- und Sehfähigkeiten und Einbußen bei der Kognition. Diese Funktionseinbußen sind keine Krankheiten, aber sie beeinflussen die Krankheiten und deren Verlauf⁶⁰.

Erhöhte Morbidität und Funktionseinbußen führen zu höherer Hilfsbedürftigkeit. Besonders der Bedarf am kontinuierlichen Monitoring der relevanten Parameter wird heute schon teilweise durch persönliche medizinische Überwachungssysteme (Herzschrittmacher, Blutdruck- und Blutzuckermessgeräte, Körperanalysewaagen, etc.) zur Unterstützung der Prävention und Notfallerkennung gedeckt. Zur Kompensation von Hörverlusten sind insbesondere Hörgeräte zu nennen; zu Mobilitätseinschränkungen siehe folgendes Kapitel. Für eine flächendeckende Versorgung und optimales Management der chronischen Krankheiten sind jedoch, zusätzlich zu den unter 4.1.1 und 4.1.2 genannten Technologieinnovationen im Bereich Eingebettete Systeme, eine weitere Miniaturisierung der Geräte und Verbesserungen der Analysemöglichkeiten zu leisten und darauf aufsetzend die Vernetzung dieser Geräte mit elektronischen Krankenakten in Praxen und Krankenhäusern⁶¹ notwendig.

⁵⁶ [JournalHypertonie], S. 7-11

⁵⁷ [BerichtSachverständigenrates], S 443

⁵⁸ [Alter und Gesellschaft]

⁵⁹ [JournalHypertonie], S. 7-11

⁶⁰ [BASE]

⁶¹ Vgl. [Dt. Netzwerk Versorgungsforschung]



4.1.4 Szenario 4: Soziale Vernetzung

Eingebettete Systeme sind ein wesentlicher Baustein, um sozial eng verbundenen, aber räumlich verteilten Personen und Personengruppen hochwertige Interaktion zu ermöglichen. Die zunehmende persönliche Mobilität, bedingt durch wirtschaftliche Notwendigkeiten oder persönliche Präferenzen, führt dazu, dass man zunehmend auch von nahestehenden Personen getrennt ist. Gleichzeitig bietet das Internet die Möglichkeit, Kontakte z.B. nach gemeinsamen Interessen zu knüpfen und zu pflegen, ohne sich notwendigerweise jemals persönlich zu begegnen. Für diese zunehmend alltäglicher werdenden Situationen gilt es, geeignete Kommunikationsmöglichkeiten zu entwickeln, mit denen man räumliche Distanz kompensieren kann. Dabei sind insbesondere solche Ansätze interessant, die Informationen über andere Personen vermitteln, ohne dass beide Kommunikationspartner dem ihre volle Aufmerksamkeit widmen (wie es bei Telefonaten, Chat oder Email-Austausch erforderlich ist).

Embedded Systems können helfen, Informationen über den Ort, das Verhalten, die körperliche Verfassung und die Umgebung von Personen aufzunehmen und daraus Informationen z.B. über die Befindlichkeit des Gegenübers abzuleiten. Dazu müssen neuartige Geräte und Schnittstellen und für „Privatheit“, „Vertrautheit“, „Anwesenheit“, etc. neue Beschreibungskonzepte entwickelt werden. Anders als bei der „Alternden Gesellschaft“ ist die Herausforderung in diesem Szenario, eine möglichst gut individuell konfigurierbare Gewinnung und Übertragung von Informationen zu ermöglichen und Interaktionsformen zu finden, die weniger Überwachung (im Sinne von Aufmerksamkeit des Kommunikationspartners) benötigen, als das bei medizinischer Überwachung von Patienten der Fall ist, und die sich besser in das Alltagsleben der Nutzer einfügen.

4.2 Mobilität

Eine große Herausforderung in den nächsten Jahren stellt die Sicherstellung einer nachhaltigen Mobilität der Gesellschaft bei weiterhin zunehmendem Verkehr dar. Dabei sind insbesondere folgende Aspekte von großer Bedeutung:

- Die Mobilität muss umweltverträglich und effizient sein.
- Die Sicherheit aller Verkehrsteilnehmer muss gewährleistet sein.
- In einer alternden Gesellschaft müssen zunehmend ältere Menschen adäquat unterstützt werden.

Anhand dreier Szenarien können beispielhaft die sich daraus ergebenden Anforderungen an die Forschung und Entwicklung im Bereich der Eingebetteten Systeme veranschaulicht werden.

4.2.1 Szenario 1: Green Mobility

Ein wichtiger Stellhebel auf dem Weg zu umweltverträglicher Mobilität ist die Minimierung von Emissionen und Energieverbrauch im Automobil. Ein vielversprechender Ansatz hierfür ist der konsequente Ausbau alternativer Antriebskonzepte im Fahrzeug. Sowohl Hybrid-Lösungen als auch die Realisierung von Zero-Emission-Fahrzeugen wie des reinen Elektrofahrzeugs sind nur über Software und Eingebettete Systeme erreichbar. Beispiele für intelligente Funktionen, die durch Eingebettete Systeme realisiert werden, sind ein Batteriemanagementsystem zur Gewährleistung eines optimalen, effizienten Energiemanagements in einem Hybrid- oder Brennstoffzellen-Fahrzeug und eine Stopp/Start-Funktion zur Reduktion von Verbrauch und Emission durch Abschalten des Antriebs im Stand. Ein verbessertes Energiemanagement ist im Automobil besonders wichtig, da fast 20% des primären Energiekonsums im Transportbereich verbraucht werden und dies hohe Emissionen mit sich bringt. Um das EU-Ziel der Reduktion des Emissionsausstoßes auf 120g CO₂ pro Kilometer erreichen zu können⁶², sind insbesondere verbesserte Elektroniksysteme zur Überwachung und Steuerung des Energieverbrauchs und der Emissionen, wie beispielsweise durch intelligente Sensoren und Aktuatoren, notwendig. Nach Schätzungen können dadurch 26% Energieeinsparungen erreicht werden.⁶³



⁶²[Hightech-Strategie], S. 60

⁶³[CATRENE PartA], S. 46



Darüber hinaus können intelligente Systeme beispielsweise im Verkehrsmanagement zu einer signifikanten Reduktion von Verbrauch und Emission beitragen. Durch intelligentes, von entsprechenden Steuergeräten bestimmtes vorausschauendes Fahren können nach aktuellen Schätzungen mehr als 5% Treibstoff im Automobil gespart werden. Mit Hilfe von elektronischen Geräten im Fahrzeug kann die Staugefahr um ca. 50% bis 2017 verringert werden. In Geldmitteln ausgedrückt bedeutet dies für Deutschland ein Einsparungspotenzial von 50 Mrd. € pro Jahr.⁶⁴

Darüber hinaus können durch Integration von Daten aus verschiedenen Verkehrsleitsystemen eine optimale Wahl und eine möglichst unkomplizierte Nutzung der Verkehrsmittel unterstützt werden („Seamless Mobility“). Umwelt- und nachfrageorientierte Mautsysteme können zur Steuerung des Verkehrsaufkommens und zur Verringerung der Umweltbelastung beitragen.

Ein weiterer wichtiger Stellhebel zur Reduktion von Verbrauch und Emission ist das Gewicht des Transportmittels. Hier können beispielsweise gewichtsoptimierte Elektrik/Elektronik-Architekturen einen Beitrag leisten. Auch dadurch, dass auf Eingebetteten Systemen basierende aktive Sicherheitssysteme den Einsatz schwerer passiver Systeme vermindern können, können mittelbar Emissionen und Verbrauch reduziert werden. Abgesehen vom Einsatz Eingebetteter Systeme spielen bei der Gewichtsreduktion im Fahrzeug natürlich Leichtbau-Konzepte und neuartige Materialien eine entscheidende Rolle.

4.2.2 Szenario 2: Die Vision vom unfallfreien Fahren

Auch auf dem Weg zum unfallfreien Fahren im Straßenverkehr spielen Software und Eingebettete Systeme eine entscheidende Rolle. Zahlreiche Fahrerassistenz- und aktive Sicherheitssysteme, die das Fahrzeug sicherer machen oder den Fahrer bei der Unfallvermeidung unterstützen, werden mittels Software durch einen Verbund miteinander vernetzter Steuergeräte realisiert. Ein aktuelles Beispiel hierfür ist ein Fußgängererkennungssystem, das über verschiedene Sensoren Objekte erkennen kann und dann mittels intelligenter Elektronik Warnungen, Bremsengriffe oder Lenkengriffe vornimmt. Auch die Nutzung mobiler Geräte, über die beispielsweise neuartige Warnfunktionen realisiert werden können („Car2Pedestrian-Kommunikation“), können den Schutz von Verkehrsteilnehmern erhöhen.

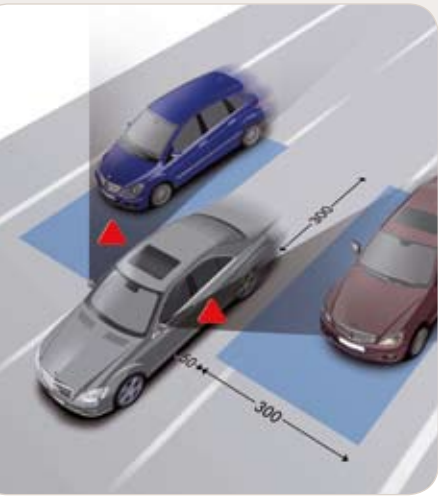
Nach Schätzungen ist bis zum Jahr 2017 eine Reduzierung der Unfälle auf 20% des Niveaus von tödlichen Verkehrsunfällen in Deutschland im Jahr 2005 (5361 Todesfälle⁶⁵) möglich. Dies bedeutet, dass mehr als 4.000 Personen pro Jahr allein auf deutschen Straßen nicht sterben müssten⁶⁶. Die bisher erzielte Verringerung von Unfällen im Jahr 2008 auf 4477 tödlich verunglückte Personen⁶⁷ ist unter anderem auf den verstärkten Einsatz von elektronischen Systemen zurückzuführen. Wichtige Herausforderungen liegen hier unter anderem in der korrekten und effizienten Modellierung und Absicherung dieser Systeme. Dabei ist die interdisziplinäre Betrachtung der Systeme von zunehmender Bedeutung, um das komplexe Zusammenspiel von Software, Elektrik/Elektronik, Kommunikationstechnik und Mechanik zu beherrschen.

⁶⁴[CATRENE PartB], S. 15

⁶⁵[Statistisches BA]

⁶⁶[CATRENE PartB], S. 16

⁶⁷[Statistisches BA]



4.2.3 Szenario 3: Unterstützung von älteren Menschen

Das Phänomen der alternden Gesellschaft bringt zunehmend höhere Anforderungen an die Sicherheit und den Komfort von Transportmitteln mit sich. Neben neuen Mobilitätskonzepten sind neue leistungsfähige Assistenzsysteme zu entwickeln, die beispielsweise den Fahrer eines Automobils entlasten bzw. unterstützen, ohne ihn vom Verkehr abzulenken.

Assistenzsysteme für ältere Menschen müssen die im Alter gehäuft zu beobachtenden psychophysischen Limitierungen des Leistungsvermögens kompensieren wie die Verschlechterung des Sehvermögens und der Gehörleistung, Einschränkungen der motorischen Beweglichkeit und vermindertes Reaktionstempo. Auch wenn ältere Fahrer ihre Defizite durch Übung sowie eine ausgefeilte Planung und Strategie in Teilen kompensieren können, so dass fahrleistungsbezogen kein höheres Risiko besteht, zeigt der Vergleich des Todesrisikos aller Altersgruppen relativ zu den gefährlichen Kilometern, dass ältere Fahrer schlechter als die jüngeren Fahrer abschneiden. Das Verletzungsrisiko bzw. die Mortalität älterer Menschen ist deutlich höher, wenn sie in einen Unfall involviert sind. Markante Fahrfehler älterer Fahrer sind zum Beispiel das Nichtbeachten der Vorfahrt (etwa 17%), Fehler beim Wenden/Rückwärtsfahren (ca. 12%) und Fehler beim Abbiegen (ca. 9%). Charakteristisch für diese Situationen sind Einfädel- und Spurwechselmanöver, Wende- und Abbiegemanöver sowie Kreuzungssituationen, die Bewältigung von Verkehrskonfliktsituationen und Interaktionen mit anderen Verkehrsteilnehmern.

Assistenz- und Automationssysteme, die gerade die genannten Fahrsituationen unterstützen, sind ein wichtiger Schritt in Richtung einer adäquaten Unterstützung älterer Fahrer. Auch hier spielen Eingebettete Systeme, die beispielsweise eine umfassende sensorbasierte Umgebungserfassung des Fahrzeugs ermöglichen, eine entscheidende Rolle. Geeignete Bedien- und Anzeigekonzepte stellen hierbei eine zusätzliche Herausforderung dar.

4.3 Sicherheit

Die hohe Relevanz des Themas Sicherheit wird in der Hightech-Strategie der Bundesregierung⁶⁸ hervorgehoben. Sicherheit ist im deutschen Sprachgebrauch doppelt belegt: Security, im Sinne von Schutz – das System ist gegen Missbrauch Angriffe von außen geschützt, und Safety im Sinne von sicherem Betrieb kritischer Systeme – vom System gehen keine Gefahren aus. In beiden Fällen wird direkter Einfluss auf Leben und Gesundheit der Menschen genommen, in beiden Ausprägungen sind Eingebettete Systeme von zentraler Bedeutung.

4.3.1 Safety: Funktionale Sicherheit kritischer Systeme

Eingebettete Systeme unterliegen oftmals strikten sicherheitskritischen Anforderungen, deren Verletzung verheerende Auswirkungen auf Mensch und Technik mit sich bringen kann. Viele Systeme – z.B. in der Avionik oder der Medizintechnik – benötigen daher eine explizite Zulassung, die den Nachweis eines hinreichenden Sicherheitsniveaus erfordert. Für den Nachweis der Sicherheit eines Systems ist Korrektheit weder notwendige noch hinreichende Bedingung. Vielmehr folgt der Sicherheitsnachweis eigenen spezifischen Verfahren, die z.B. die Bestimmung und Bewertung von Risiken (Risikoakzeptanz) erfordern. In diesem Zusammenhang spielen Verfahren zur Qualitätssicherung (Test, Analysetechniken, formale Beweisverfahren) eine wichtige Rolle. Sie liefern einen Beitrag zur Zulassung, ersetzen sie jedoch nicht.

In technischen Anwendungsbereichen geht von Softwarefehlern einerseits potentiell eine Gefährdung aus, andererseits ermöglicht Software aber auch die Unterstützung von Sicherheit, indem sie z.B. fortlaufend Diagnosen des Systemzustands durchführt. Daher ist es unerlässlich, Software in die Sicherheitsanalyse und die Zertifizierung von Eingebetteten Systemen einzubeziehen.⁶⁹

Eingebettete Systeme als bedeutende Innovationstreiber mit hoher querschnittlicher Wirkung bilden das Nervensystem moderner Steuer- und Informationssysteme. In ihnen ist inhärent die funktionale Sicherheit der jeweilig realisierten Produkte sicherzustellen. Dies gilt insbesondere in so wichtigen Gebieten wie Energietechnik, Medizin- und Gesundheitstechnik, Verkehrs- und Transportwesen (mit Automobil-, Schienen-, Luft- und Raumfahrttechnik), Industrieautomatisierung/Robotik, sowie der Informations- und Kommunikationstechnik mit ihren diversen Ausprägungen.

⁶⁸[Hightech-Strategie], S. 36

⁶⁹[SPES 2020], Projektantrag, ZP-AP4



4.3.1.1 Transportsysteme

In allen Fällen sind elektronische Systeme zu entwickeln, die im Zusammenspiel von Hardware (meist Prozessoren) und Software (meistens in „eingebetteter Form“) die Sicherheit beim Betrieb der gewünschten Funktion sicherstellen müssen. Im Negativfall können hohe negative Folgen für Leben und Gesundheit von Menschen auftreten.

Neben den Steuer- und Regelfunktionen mit Sicherheitsaspekten wird vermehrt ein „Sicherheitscomputer“ zur Überprüfung der Richtigkeit des menschlichen Verhaltens oder zur Beschränkung möglicher „Handlungs envelopes“ eingesetzt. Er begrenzt oder korrigiert damit die Handlungsmöglichkeiten des Fahrers/Piloten (Beispiel ASR, ESP, Envelopenbegrenzer). Dies kann aber nur akzeptiert werden, wenn bei der Auslegung des Systems in allen Phasen eine genügend hohe Sicherheit nachgewiesen werden kann.

Es sind Realzeitsysteme zu realisieren, die in Milli- oder gar Mikrosekunden die jeweils richtige Reaktion bewirken müssen. Parallel laufende, in separaten „Partitions“ ablaufende Prozesse z.B. dürfen sich dabei nicht gegenseitig behindern oder gar blockieren.

Durch systematisch abgesicherte formale Entwicklungsverfahren muss die Korrektheit und die Sicherheit des Eingebetteten Systems sichergestellt werden. Formale Analysemethoden müssen entwickelt werden, die das Sicherheitsrisiko situations- und umweltbezogen analysieren und als Requirement dem Designprozess vorgeben. Hier liegt die Herausforderung darin, mittels weiterer Forschung und Entwicklung neue Prozesse, Methoden und Werkzeuge zu entwickeln, die den wirtschaftlichen Schwung nicht begrenzen, sondern eine Verbesserung der Wettbewerbssituation erlauben.

4.3.1.2 Automatisierung

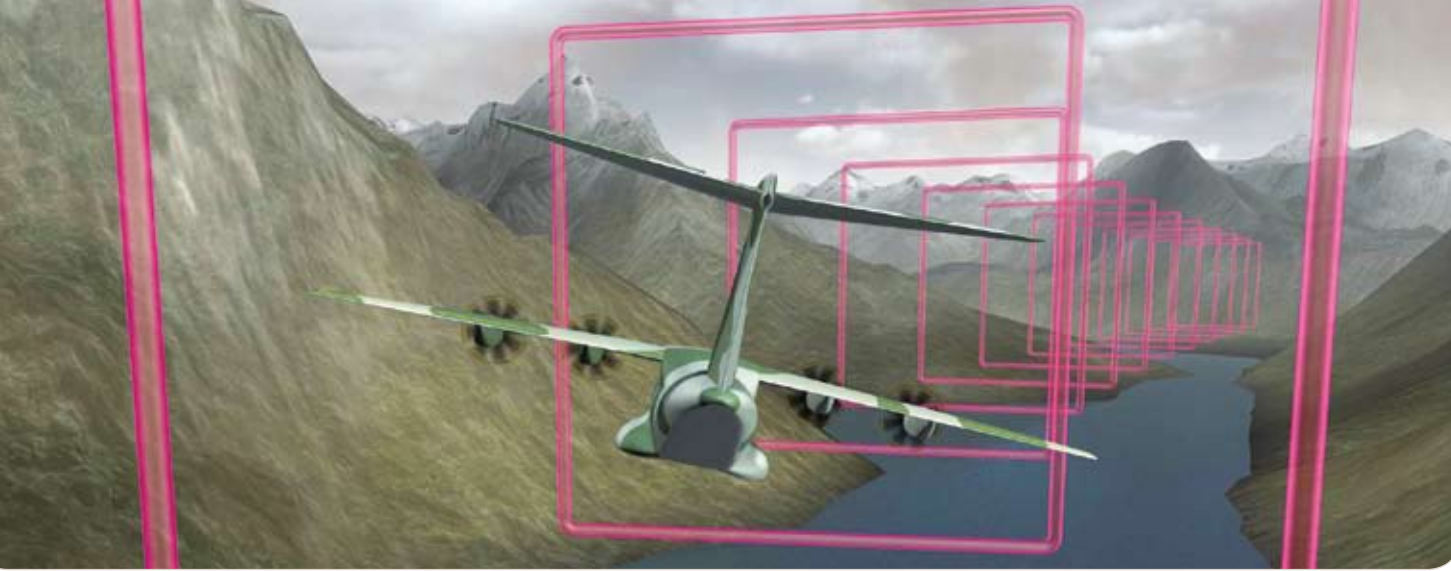
In modernen Systemen werden einfache „Ablaufsteuerungen“ durch selbstlernende und selbststeuernde Prozesse ersetzt. Häufig werden dabei Funktionen ausgeführt, die im Falle einer Fehlfunktion nicht nur erheblichen materiellen und damit wirtschaftlichen Schaden bewirken, sondern auch die Gesundheit und das Leben von Menschen in unmittelbarer oder auch in weiterer Umgebung gefährden können. Als Beispiel seien hier die Robotik in Produktionsstraßen, die Steuerung chemischer oder biologischer Prozesse oder der Transport kritischer Güter in bevölkerter Umgebung wie auf Baustellen, in der Produktion oder im Verkehr (Kräne) genannt.

Hier gelten die gleichen Anforderungen wie für Transportsysteme. Durch methodisch abgesicherte Entwurfsverfahren muss sichergestellt werden, dass die in den Embedded Systems realisierten Sensor- und Steuerfunktionen unbedingt funktional sicher sind und keine Hardware oder System bedingte Konflikte auftreten. Selbst bei Beeinträchtigungen durch widrige Umweltbedingungen wie Störeinstrahlung, fehlerhafte Informationsübertragung, Daten- und Timingkonflikte, muss das komplexe System ohne Gefährdung von Menschen und Umwelt in eine sichere Position gelangen.

4.3.1.3 Medizin

Die Bedeutung von Software als integraler Bestandteil der medizinischen Versorgung nimmt immer mehr zu. Softwaregestützte Systeme steuern, regeln und verwalten medizinische Prozesse. Vom Notarzt bis zur Rehabilitation - ohne Software wären viele Systeme heute nicht mehr funktionsfähig. Dieser Trend setzt sich durch die anhaltende Computerisierung nahezu aller Bereiche des Gesundheitswesens fort. Software wird in Zukunft eine zentrale Rolle bei der medizinischen Produktinnovation spielen, verbunden mit den Herausforderungen immer kürzerer Produktlebenszyklen und komplexer medizinischer Zulassungsverfahren.





In dem Positionspapier „Strategische Bedeutung des Software Engineering für die Medizin“⁷⁰ stellen die Autoren fest, dass Geräte der Medizintechnik, ob Großgeräte in den Kliniken oder transportable Diagnostik für den Massenmarkt, einen zunehmenden Teil ihrer Funktionalität über Software realisieren. Als typische Beispiele werden angeführt

- Steuerungen für medizinische Geräte (Herzschrittmacher, Teleoperationssaal)
- digitale Signalaufbereitung (für Bildgebung, Diagnostik und Monitoring)
- Visualisierung und neuartige Mensch-Maschine-Interaktionsformen
- Integration und Vernetzung der Geräte und Informationssysteme (OP-Integration, „body area network“)

„[...] Zentrale Anforderung an die Geräte sind die Sicherheit (Safety) für den Patienten. Patienten dürfen auch durch eine Fehlfunktion (speziell der Software) oder Fehlbedienung eines Gerätes nicht zu Schaden kommen.“⁷¹

Parallele Anforderungen „sind nur selten im vollen Umfang gleichzeitig zu erfüllen. So behindern z.B. Anpassbarkeitsmechanismen meist Performanz und Zuverlässigkeit. Die Ausfallsicherheit durch redundante Auslegung des Systems ist bei knappen Ressourcen nicht möglich, wenn z.B. nur wenig Speicherplatz zur Verfügung steht oder der Energieverbrauch beschränkt ist.“⁷²

Der funktionale Sicherheitsaspekt muss, wie in den früheren Beispielen auch, durch eine umfassende Analyse der funktionalen und nicht funktionalen Anforderungen zum Beginn der Entwicklungsarbeit bereitgestellt werden und über zwingende Prozesse in das Design der Embedded Systems einfließen. Die Verteilung sicherheitskritischer Funktionen in parallel arbeitenden neuartigen Multicore-Prozessor-systemen ermöglicht eine signifikante Steigerung der Leistungsfähigkeit bei geringerem Energieverbrauch. Die deterministische Auslegung bedarf jedoch noch grundlegender Forschungsarbeiten, bevor eine industrielle Nutzung abgesichert werden kann.

Durch überwachende „Sicherheitscomputer“ – interessanterweise wie im Fall der Luftfahrt – ist eine Absicherung gegen Fehlfunktionen und Fehlbedienungen möglich und sinnvoll. Sie muss jedoch in ihrer systemischen Gesamtwirkung unter den Sicherheitsaspekten genauer erforscht werden.

4.3.2 Sicherheit zum Schutz der Bevölkerung: Security

Aus der Hightech-Strategie der Bundesregierung⁷³: „Internationaler Terrorismus, organisierte Kriminalität, politische und wirtschaftliche Konflikte: Die Herausforderungen für die Sicherheit eines modernen, komplexen Industriestaates sind vielfältig. Gerade Deutschland als Gesellschaft mit praktizierter Freizügigkeit im Informations-, Personen- und Warenverkehr und als exportorientierte Wirtschaftsnation ist ihnen in besonderem Maße ausgesetzt. Hier sind vor allem die Infrastrukturen verwundbar, zu denen längst auch Internet und Telekommunikation gehören. Ziel der Sicherheitsforschung ist deshalb, die Freiheit der Bürger und der Gesellschaft auch durch geeignete Hochtechnologien und damit verbundene Handlungsstrategien vor Terrorismus, Sabotage, organisierter Kriminalität, den Folgen von Naturkatastrophen oder Unfällen besonderen Ausmaßes zu schützen. Dabei kommen neben der Prävention innovative Technologien vor allem für eine rasche und umfassende Krisenreaktion in Frage, um die Folgen von Anschlägen und IT-Vorfällen, aber auch Naturkatastrophen erheblich zu mindern. Hier können neue Sicherheitslösungen für Kommunikationsnetze, Industrieanlagen, Bauwerke, Versorgungs- und Logistiksysteme die Bundesrepublik robuster gegen Katastrophen und unattraktiver für Angreifer machen.“

⁷⁰[StraBeSEfM]

⁷¹[SPES 2020], Kapitel 7

⁷²[SPES 2020], Kapitel 7

⁷³[Hightech-Strategie], S. 36

Im Gegensatz zu passiven Schutzsystemen (z.B. Sicherheitsglas) und reaktiven Schutzsystemen (z.B. plötzliche Veränderung der Geometrie bei Schädigung) gibt es weiterhin die Möglichkeit der aktiven Schutzsysteme. Sie verfolgen im Fall hochdynamischer physikalischer Bedrohungen, z.B. bei Anschlägen, ein proaktives Konzept. Die Bedrohung wird im Fern-, Mittel- oder Nahbereich detektiert und mit geeigneten Aktuatoren physikalisch minimiert. Aktive Schutzsysteme sind für den Schutz von Fahrzeugen, Flugzeugen, Gebäuden, bis hin zu urbanen Infrastruktur-Arealen denkbar. Aktive Schutzsysteme können nur durch die Kombination zahlreicher, in hohem Maße selbst sicherheitskritischer Eingebetteter Systeme realisiert werden. Dabei sind die Anforderungen nach harter Echtzeit besonders herausfordernd, vor allem für die Minimierung der physikalischen Bedrohung. Andererseits könnten durch aktive Schutzsysteme Freiraum und Sicherheit zurückgewonnen werden. „Eine Gesellschaft, die den Bereich der zivilen Sicherheitstechnik nicht abdeckt, vergibt auch eine große Chance auf Zukunftsmärkte.“⁷⁴ In einer gemeinsamen Initiative der Europäischen Kommission und der EU-Mitgliedsstaaten wird dazu für die transnationale Ebene eine entsprechende „Joint European Security Research and Innovation Agenda (ESRIA)“ erarbeitet⁷⁵. An Hand dreier Szenarien veranschaulichen wir die Relevanz von Eingebetteten Systemen zur Schaffung neuer Sicherheitslösungen.

4.3.2.1 Szenario 1: Privacy of Data

Informations- und Kommunikationstechnologien sind das Rückgrat der modernen Industriegesellschaft. Sie sind kritische Infrastruktur für sich selbst, aber wesentlich auch für zentrale Funktionen und Dienstleistungen in nahezu allen Sektoren der Gesellschaft. Der Einfluss auf den Privatbereich des Bürgers ist weitreichend und in seinen Auswirkungen derzeit nur in ersten Ansätzen absehbar. Er reicht im negativen Fall von der unbefugten Nutzung von Informationen über die wirtschaftliche Situation, über Gesundheit, Einkaufs- und Surfverhalten im Internet, bis hin zu intimsten persönlichen Details und wird im Zweifelsfall als Belästigung, zunehmend häufiger aber auch als Schädigung des Individuums wahrgenommen. Unbefugten Nutzern ist der Zugang zu derartigen Informationen heute relativ leicht möglich, bis hin zur gewollten Verfälschung der Daten. Durch unbefugten Zugriff im Sinne von Wirtschaftsspionage entsteht der deutschen Wirtschaft nach Schätzungen ein jährlicher Schaden von mindestens 20 Mrd. €⁷⁶. Gefälschte Daten bewirken aber auch unerwartete und fehlerhafte Reaktionen. Hier hat der unerlaubte externe Zugriff Auswirkungen nicht nur auf Security, sondern auch auf die Sicherheit des Systems im Sinne der funktionalen Sicherheit (siehe 4.3.1).

Der Schutz gegen unerlaubten Zugriff muss durch komplexe Sicherheitsmechanismen signifikant verbessert werden. Embedded Systems werden bei der Identifizierung und Validierung des Zugreifenden, bei der Sicherung von Transaktionen und bei der Nachverfolgung eine zentrale Rolle spielen. Entsprechende Voraussetzungen bedürfen jedoch noch erheblichen Forschungs- und Entwicklungsaufwandes.

Aus dem Bedürfnis nach erhöhter Sicherheit (im Sinne von Security) resultiert eine zunehmende Video-Überwachung in weiten Bereichen des täglichen Lebens. Diese Bildinformationen werden zunehmend automatisiert ausgewertet und dienen sowohl zur Erhöhung des Safety- als auch des Securitybedarfs. Durch automatisierte Auswerteverfahren mittels schneller anonymisierender Verfahren kann hier durch Einsatz von Eingebetteten Systemen die Einschränkung der persönlichen Freiräume auf ein Minimum begrenzt oder sogar eine Ausdehnung des persönlichen Freiraumes bewirkt werden.



⁷⁴[Hightech-Strategie], S. 36

⁷⁵[ESRIE]

⁷⁶[BAIVS]

4.3.2.2 Szenario 2: Crisis Management

Gemeinwesen brauchen geeignete Informationen über potentielle Notfallsituationen, die innerhalb ihres Zuständigkeitsbereiches oder von außen auf ihren Bereich einwirken können. Das Krisen- bzw. Emergency Management gehört dabei zu den Kernfähigkeiten der modernen Gesellschaft. Mittels moderner Kommunikationssysteme muss im Notfall schnell ein gemeinsames, dienstübergreifendes Lagebild erstellt und fortlaufend aktualisiert werden. Dieses bildet die Basis für zu treffende Entscheidungen, für die Koordination der Einsatzpläne der beteiligten Kräfte, sowie für die Information der betroffenen Bevölkerung. Die Einsatzkräfte benötigen unbedingt ein gemeinsames Verständnis der Situation sowie eine gemeinsam implementierte Command- und Control-Struktur, um schnellstmöglich effiziente Maßnahmen ergreifen und durchführen zu können. Schnelle operative Unterstützung ist für die Notfalleinsatzkräfte von entscheidender Bedeutung, insbesondere in Bezug auf medizinische, psychosoziale und umweltstabilisierende Aspekte.

Hierzu bedarf es geeigneter Kommunikations- und Informationssysteme, die auch unter widrigen externen Bedingungen wie dem Ausfall der regulären Infrastrukturen (Energie, Kommunikation, Wasser etc.) sowie bei heterogener Informationslage eine schnelle und effiziente Arbeit ermöglichen. Mobile und kompakte Sensorik, intelligente Kommunikationsinterfaces mit entsprechenden Autorisierungsmechanismen und automatisierten Adaptoren, sowie mobile Simulatoren auf der Basis mobiler und energiesparender Embedded Systems, die auch den Aspekt der Datensicherheit gewährleisten, sind für diese Aufgaben zu entwickeln.



4.3.2.3 Szenario 3: Der Flughafen der Zukunft

Der Transport von Personen und Gütern bleibt in absehbarer Zukunft von zentraler Bedeutung für das wirtschaftliche Funktionieren der Gesellschaften. Deutschland als hoch vernetzte Industrienation hängt in hohem Maße vom regionalen und globalen Transport ab. Der Luftverkehr spielt bei der Überwindung mittlerer und langer Distanzen eine wichtige Rolle. Der Flughafen als kritische Anbindung des Lufttransportes ist Gegenstand besonderer Gefährdung durch sicherheitsbedrohende Eingriffe. Sowohl Gütertransport als auch Personentransport bedürfen als kritische Eintrittswege dabei besonderer Schutz- und Sicherheitsmaßnahmen. Über die Betriebs- und Servicefunktionen kommt es zu weiteren Eintrittsmöglichkeiten für direkte Gefährdungen. Damit sind alle Bereiche des Flughafens durch Securitymaßnahmen direkt betroffen. Die Einführung detaillierter Analysen, wie die Untersuchung der Passagiere und ihres Handgepäckes, sind derzeit nur in Teilbereichen und in unterschiedlicher Tiefe implementiert, bewirken jedoch starke Beeinträchtigungen des normalen Verkehrsflusses.



Eingebettete hoch integrierte Zugangssysteme sowie bessere Vernetzung mit Informationen aus dem Transitverkehr (ohne Neukontrollen) könnten beträchtliche Steigerungen des Transportdurchsatzes bei erhöhter Sicherheit erreichen. Hierzu bedarf es neben den vernetzten Informationssystemen insbesondere der Entwicklung neuartiger Sensor- sowie Erkennungs- und Identifikationssysteme. Damit können weiteres Wachstum und eine zunehmende Nutzung der spezifischen Vorteile des Luftverkehrs sichergestellt werden.

Die durch technisches Versagen, durch Verlust von Informationen oder durch fehlerhafte Daten für den Betrieb des Luftverkehrs entstehenden Sicherheitsrisiken, (ohne Betrachtung der terroristischen Bedrohungen) wurden im Kapitel 4.3.1 behandelt.

4.4 Umwelt und Energie

Durch moderne Produktions- und Verkehrssysteme, durch künstlich geschaffene Lebenswelten, die weitgehende Unabhängigkeit von klimatischen Bedingungen erlauben und durch Lebensstile, die enorm energieintensiv sind, hat die Umweltbelastung in den letzten Jahrzehnten stark zugenommen. Da die Infrastruktursysteme immer größer und komplexer werden, vergrößert sich auch das Gefahrenpotenzial von Naturkatastrophen. Gleichzeitig werden die Energieressourcen der Erde immer effizienter und drastischer ausgebeutet. Vor diesem Hintergrund sind der Schutz der Umwelt generell, der Schutz des Menschen vor Naturkatastrophen und die konsequente Schonung natürlicher Ressourcen von fundamentaler Bedeutung.

Technische Lösungen, oft basierend auf Embedded Systems, sind ein wirkungsvoller Ansatz, um diesen Herausforderungen zu begegnen. So werden verteilte intelligente Embedded Systems entscheidende Beiträge liefern, um die zeitgenaue Bereitstellung von Energie entsprechend der jeweiligen Nachfrage in den Griff zu bekommen und gleichzeitig einen effizienten Umgang mit den Ressourcen zu ermöglichen. Zum Beispiel, indem intelligente Embedded Systems in entsprechenden Stromzählern, sogenannten Smart Meters, den aktuellen Energiebedarf der Verbraucher dezentral erfassen und darauf aufbauende Optimierungsstrategien für die Energieumwandlung und -verteilung umgesetzt werden.

Ein weiteres sehr wichtiges Beispiel ist das große Gebiet der Steuerung von Energieverteilungssystemen: Ohne vernetzte Eingebettete Systeme werden stark dezentrale Systeme zur Energieumwandlung und -verteilung (vor allem auf Basis erneuerbarer Energiequellen) nicht effizient regelbar sein.



4.4.1 Szenario 1: Naturkatastrophen vorhersagen

Umweltmonitoring führt zunächst zu einem besseren Verstehen von Entwicklungen und Zusammenhängen klimatischer, aber auch geotektonischer Veränderungen. Ob die globale Erwärmung oder die Gefahr von Vulkanausbrüchen untersucht wird - ausgedehnte Sensornetze liefern die wesentlichen Daten. Auch die schnelle Warnung der Bevölkerung im Katastrophenfall – etwa bei einem Tsunami – basiert auf der Zugänglichkeit entsprechender Daten in Echtzeit.

Typische Anforderungen für Sensoren in solchen Netzen sind Zuverlässigkeit der Daten, Robustheit („harsh environment“), Langlebigkeit (am besten energieautark) und oftmals starke Miniaturisierung. Für die Beherrschung dieser Anforderungen sind geeignete Embedded Systems eine notwendige Voraussetzung, da sie optimale Miniaturisierung und Störunanfälligkeit bieten. Bei großen Stückzahlen kommen zudem Kostenvorteile zum Tragen.

4.4.2 Szenario 2: Schutz und Minimierung des Verbrauchs von natürlichen Ressourcen

Um den Energieverbrauch zu reduzieren, ist zunächst eine gute Transparenz der aktuellen Energienutzung erforderlich. Um zu verstehen, wie hoch der Energieverbrauch der einzelnen Geräte und Systeme in Produktionsanlagen, Verkehrsmitteln und Wohnungen wirklich ist, sind intelligente Messgeräte (Smart Meters) notwendig. Wenn diese Systeme zusätzlich eine aktive Komponente erhalten, mit der sie die Leistungsaufnahme in bestimmten Grenzen steuern können, wird ein großer Beitrag zur effizienten Energienutzung geleistet. Für solche Embedded Systems, die typischerweise in alle Energieverbraucher zu integrieren sind, sind geeignete Systemarchitekturen von entscheidender Bedeutung, da große Stückzahlen und robuste Algorithmen in Hardware gefordert werden.

Energieeinsparung kann auch dadurch realisiert werden, dass Systeme die für Ihre Funktion notwendige Energie aus der Umwelt beziehen, z. B. aus Vibrationen, Temperaturdifferenzen oder energetischen Feldern. Typischerweise ist die individuelle Energieeinsparung im Betrieb nicht sehr hoch, da diese Systeme auf minimalen Energieverbrauch ausgerichtet sind. Allerdings sind indirekte Energieeinsparungen (keine Leitungsverlegung, keine Batterie, kaum Service) signifikant höher, sodass bei großen Stückzahlen erhebliche Einsparungen erzielt werden. Auch für solche Lösungen sind Embedded Systems die Architektur der Wahl, weil hier Minimierung des Stromverbrauchs, Robustheit und Langlebigkeit am besten erreicht werden können.

Diese Beispiele zeigen, dass Embedded Systems für unterschiedlichste Lösungen in Umwelt- und Energie-Monitoring sowie für Energy Harvesting effiziente Lösungen bieten und als Technologiekonzept Vorteile besitzen, die andere Technologien nicht erreichen.

4.5 Wissensgesellschaft

Die Möglichkeit, einfach und schnell auf Informationen, Wissen und Wissensträger zuzugreifen, hat die Gesellschaft in den vergangenen Jahren verändert. Sprach man zunächst von einer Informationsgesellschaft, so ist heute erkannt, dass Informationen erst durch den Kontext ihren wahren Wert erhalten und somit zu „Wissen“ werden können. In einer idealen Wissensgesellschaft wird das Wissen zu einem handelbaren Gut, welches für alle Menschen leicht und schnell zugänglich ist. Die allgegenwärtige Zugriffsmöglichkeit auf Wissen soll dabei helfen, Arbeiten zu erleichtern, Ressourcen zu schonen und die Schaffung neuen Wissens zu beschleunigen.



Produkt- oder domänenspezifisches Wissen hilft dabei, Lösungen in einem spezifischen Fachkontext anzubieten. Eingebettete Systeme können Zugriff auf dieses Wissen bieten, Wissen nutzen, um ihre Funktion zu erfüllen, und schließlich dazu beitragen neues Wissen zu erzeugen. In der Wissensgesellschaft dienen Eingebettete Systeme als Zugangspunkt für Informationen und Erfahrungslieferant gleichermaßen. Eingebettete Systeme erfassen Daten mit Hilfe intelligenter Sensoren, verknüpfen diese Daten räumlich und zeitlich und liefern in Form der sich einstellenden Schlussfolgerungen neues Wissen. Dabei nutzen sie Dienste und Ressourcen größerer Informationssysteme sowie die Interaktionsmöglichkeiten mit ihrer Umgebung. Entscheidend ist, dass derartig erzeugtes neues Wissen eine hohe Qualität besitzt. So muss es z.B. verlässlich sein. Es muss zum richtigen Zeitpunkt vorliegen und darf nicht zur Verletzung vertraulicher Daten führen. Die Einhaltung derartiger Forderungen müssen Eingebettete Systeme, die an der Erzeugung des Wissens beteiligt sind, selbstständig leisten.

4.5.1 Szenario 1: Ferngestützte Diagnose

Eingebettete Systeme werden vielfach in Investitionsgütern eingesetzt, bei denen es auf hohe Produktivität und Verlässlichkeit ankommt. Zwar sind Eingebettete Softwaresysteme dieser Produkte mit einer Vielzahl von Sensoren und Aktuatoren verbunden und können umfangreiche Informationen zum Gesamtzustand des Systems liefern – allerdings sind der lokale Speicherplatz und die Rechenkapazität begrenzt. Außerdem werden viele Erfahrungen im Umgang mit dem Produkt erst während des Betriebs sowie weltweit verteilt gemacht. Bei der ferngestützten Diagnose können im Falle eines Fehlers über entsprechende Informationsdienste Diagnoseinformationen aus dem Wissenspool des Herstellers abgerufen werden und der Betreiber schnell über Reparaturzeit und -kosten informiert werden. Der Servicetechniker umgekehrt erhält Informationen über die vermutlich defekte Komponente und bekommt Hinweise zur schnellen Reparatur mit Hilfe von einschlägigen Unterstützungssystemen (Experience Management Systeme). So hilft die Infrastruktur der Wissensgesellschaft unter Einbeziehung Eingebetteter Systeme, die Produktqualität zu verbessern und die Arbeitsabläufe zu optimieren. Der Schutz des geistigen Eigentums und die Qualitätssicherung der Daten stellen zwei der großen Herausforderungen in diesem Kontext dar.

4.6 Globalisierung

Schnelle vielfältige Kommunikationswege und ständig verbesserte Reise- und Transportbedingungen führen zu einer zunehmend weltweiten Verflechtung aller Bereiche der Wirtschaft, Politik, Kultur, Umwelt und Kommunikation. Diese Verflechtung hat nachhaltige Auswirkungen auf Menschen, Unternehmen, Organisationen und Staaten. Ein weiterer Treiber ist die Liberalisierung des Welthandels. Eingebettete Systeme leisten in ihrer Funktion in vielen Geräten der Kommunikation und für den Transport und der Logistik indirekt ihren Beitrag zur Globalisierung.

**4.6.1 Szenario 1: Verbesserung der Lebensqualität in Entwicklungs- und Schwellenländern**

Eine der kritischen Folgen der Globalisierung ist die starke Auswirkung unterschiedlicher Zugangsmöglichkeiten zu digitalen Medien und Diensten in den verschiedenen Staaten. Langfristig wird es für noch nicht entwickelte Länder von größter Bedeutung sein, durch preisgünstige, aber leistungsfähige Geräte den Anschluss an die digitalen Medien zu bekommen. Dazu gehören preisgünstige Zugangsmöglichkeiten. Schon heute sind mobile Telefone weit verbreitet. Eine stärkere Integration der mobilen Telefone in weltweite Netze erlaubt auch unterentwickelten Ländern und ihren Menschen einen schnellen Zugang zu den digitalen Medien.

**4.6.2 Szenario 2: Delivery on Demand im Zeitalter der Globalisierung**

Schon heute existiert eine ganze Reihe von Unternehmen, die sich darauf spezialisiert haben, besondere Produkte gezielt und auf Anfrage zeitgenau aus allen Winkeln dieser Welt an Verbraucher und Kunden zu liefern. Entscheidend sind dabei die zielgerichtete Anforderung und deren schnelle Beantwortung sowie die Verfolgung der Logistikwege. Erforderlich ist hierbei auch, dass alle Beteiligten eine genaue Information über die Situation der Logistik bekommen und daraus ableiten können, zu welchem Zeitpunkt sie zuverlässig mit der Lieferung der gewünschten Ware rechnen können.



4.7 Urbanisierung

Vor diesem Hintergrund können Eingebettete Systeme über zusätzliche einfache Augmented Reality Techniken in Waren die Logistikwege langfristig verfolgen, bei Störungen in den Logistikketten schnell Entscheidungen über Änderungen treffen und eigenständig sowohl Lieferanten als auch Kunden über den Stand der Warenlieferungen in Kenntnis halten.

4.6.3 Szenario 3: Fabrik der Zukunft

Die Fabrik der Zukunft ist ausgerichtet auf nachhaltiges Wirtschaften und organisiert sich um die Prinzipien der Dienstleistungs- und Nutzenorientierung unter Einsatz erneuerbarer Ressourcen nach dem Effizienzprinzip und dem Prinzip der Recyclbarkeit. Dies erfordert Anpassung, Flexibilität, Adaptions- und Lernfähigkeit sowie Fehlertoleranz und Risikvorsorge.

In der Fabrik der Zukunft kann von einem hohen Automatisierungsgrad ausgegangen werden, in dem flexible Produktionssysteme, die aus einer Unzahl von Eingebetteten Systemen bestehen, miteinander vernetzt sind und auf diese Art und Weise umfangreiche Produktionsprozesse weitgehend automatisch steuern. Gleichzeitig kann davon ausgegangen werden, dass auch in den Produkten selbst schon während der Produktionsprozesse Eingebettete Systeme vorgesehen werden, die in Interaktion mit den Eingebetteten Systemen der Produktionssysteme treten und auf diese Art und Weise in nachhaltiger Weise gezielte Produkte zu produzieren erlauben – mit einem hohen Grad von Personalisierung, Individualisierung und mit hoher Effizienz und Effektivität. Dies erlaubt noch bis kurz vor der Produktion Anpassung an Kundenwünsche und direkte zielgenaue Lieferung.

Auch im 21. Jahrhundert bleiben die Städte die prägende Kraft in der gesellschaftlichen Entwicklung der Welt. Ein wichtiger Treiber dafür wird die IT-Technologie bleiben, und zwar im Zusammenspiel von lokaler Information und Informationsverarbeitung, die typischerweise durch Embedded Systems geleitet wird, mit großen IT-Systemen, die diese Informationen bewerten, damit eine Gesamttransparenz erzeugen und darauf aufbauend effiziente Steuerungs-, Regelungs- und generell Managementprozesse ermöglichen. Intelligente Embedded Systems werden somit auch in der wichtigen Anwendungsdomäne der Stadt- und Wohnraumentwicklung einen signifikanten Beitrag leisten, sodass auch in Zukunft eine hohe Wohnqualität sichergestellt ist, bei einem gleichzeitig effizienten Umgang mit den verfügbaren Umweltressourcen.

Neben dem unten ausführlich dargestellten Szenario Smart City sind Embedded Systems natürlich auch in der Automation einzelner Gebäude von Bedeutung. Embedded Systems tragen in großem Umfang zur Ressourceneffizienz in den Bereichen Energie, Wasser und Material sowie zur Umwelt- und Gesundheitsverträglichkeit von Gebäuden bei und sind damit ein entscheidender Faktor in der optimalen und effizienten Gebäudenutzung.

4.7.1 Szenario: Smart City

In einer „intelligenten Stadt“ werden Embedded Systems helfen, Alltagsprozesse einfach, sicher und zeitsparend zu gestalten. Von entscheidender Bedeutung ist hierbei die enge Verzahnung von Embedded Systems und deren Software mit den betrieblichen Prozessen bei der Entwicklung und Nutzung solcher Systeme.

4.7.1.1 Bürgernahe Anwendungen

Für den einzelnen Bürger eröffnen sich dadurch viele neue Möglichkeiten: Optimierung seiner Wege und Zeiten unter Berücksichtigung eigener und öffentlicher Verkehrsmittel und aktueller Verkehrsinformationen, die problemlose Abrechnung von Gebühren und Kosten auf Basis von Mikro-Payment und Pay-per-Use Konzepten, damit verbunden neue Dienstleistungen z. B. für Routineaufgaben wie Entscheidungshilfen beim Einkauf, Zuordnung von Berechtigungen und Identifikation von optimaler Beratung. Voraussetzung für solche Lösungen sind einerseits die eindeutige Identifikation, Befähigung (Empowerment) und Begleitung des Individuums in den entsprechenden Systemen.



Dies erfordert prinzipiell große netzorientierte Strukturen, die aber eine individuelle Zuordnung zur einzelnen Person haben. Diese individuelle Zuordnung erfolgt nach heutigem Kenntnisstand am effizientesten durch intelligente mobile Endgeräte mit einer eindeutigen und sicheren Zuordnung zu ihrem Träger – Lösungen auf Basis von Embedded Systems. Hierzu ist die Entwicklung einer neuen Generation von mobilen Endgeräten basierend auf Embedded-Technologien erforderlich, die zum Beispiel in einer alternden Gesellschaft durch disruptive Innovationen bei der Mensch-Geräte-Schnittstelle die hohen Anforderungen an Bedienung und Komfort erfüllen können.

4.7.1.2 Logistische Anwendungen

Städte sind immer ein riesiger Umschlagplatz von Gütern. Diese logistische Herausforderung wird durch den Trend zur Individualisierung von Produkten immer komplizierter. Der Logistikprozess ist oft auch mit Änderungen in der Eigentümerschaft verbunden. In diesem Umfeld wird immer wieder kriminelle Energie freigesetzt, um Eigentumsverhältnisse zu manipulieren. Für solche Probleme bieten Embedded Systems, oft basierend auf RFID-Technologie, völlig neue Lösungen, indem sie z. B. Objekte eindeutig positionieren, durch Tracking und Tracing in Echtzeit ihre Bewegungen registrieren und eine ständig aktualisierte Planung ermöglichen. Der Einsatz von Embedded Systems erlaubt auch eine eindeutige Zuordnung von Objekten zu Personen. Dadurch ist es z. B. möglich, Eigentumsübergänge zu dokumentieren und jederzeit das aktuelle Besitzverhältnis aufzuzeigen. Auch diese Prozesse erfolgen im Zusammenspiel eines umfassenden IT-Netzes mit lokalen und oft sehr stark miniaturisierten Endgeräten mit Embedded-Technologie.

Zur Realisierung dieser Szenarien besteht allerdings noch Forschungsbedarf. So ist z. B. das im PC-Bereich etablierte Konzept des Nachbesserns in Form von Batches oder Hot Fixes in solchen Einsatzszenarien nicht akzeptabel. Insbesondere bei Sicherheitsschwachstellen muss bei der Auslieferung verifizierbar ausgeschlossen werden, dass die persönlichen Daten missbräuchlich verwendet werden. Für die Verwaltung der Funktionalität von Eingebetteten Systemen müssen „Digital Rights Management“ (DRM) Dienste bereitgestellt werden. Zentrale Lösungen führen hier zu Skalierbarkeitsproblemen.

4.7.1.3 City-Management

Durch die zunehmende Vielfalt an Vorgängen und Strukturen in den Städten wird das City Management immer komplexer. Wechselwirkungen und gegenseitige Abhängigkeiten z. B. zwischen Verkehrsfluss, Luftqualität, Wetterbedingungen und geplanten oder ungeplanten Ereignissen (Baustellen, Unfälle) sind so vielschichtig und kompliziert, dass modernste Simulationen und Modellierungen benötigt werden. Diese erfordern aber eine sehr gute und stets aktuelle Datenbasis.

Eine solche Datenbasis, die z. B. Umweltbelastungen, Zugangsregelungen, Sicherheitsklassifizierungen, Verkehrsdynamik und Einsatzsituationen von Polizei und Rettungsdiensten in Echtzeit abbildet, ermöglicht eine Transparenz der aktuellen Lage, die mit entsprechenden IT-Systemen Entscheidungsvorbereitung und Reaktionsvorschläge in akuten Situationen ermöglicht, aber in längerfristigen Planungen auch Szenarien und Alternativen bewertbar macht. Die für die Datenbasis notwendigen Sensornetze werden typischerweise durch Aktuatornetze (für die Umsetzung von Entscheidungen z. B. in Verkehrssteuerungen) ergänzt. Die Sensoren und Aktuatoren – ob in drahtgebundenen oder drahtlosen Systemen – sind typischerweise Embedded Systems, die robust gegen mechanische und klimatische Bedingungen ausgelegt sein müssen.

Die drei oben dargestellten Themen zeigen, dass Embedded Systems eine Schlüsselrolle zukommt, wenn die Herausforderungen in unseren Städten gelöst werden sollen. Die Beispiele „Bürger“, „Logistik“ und „City Management“ adressieren die Stadt von Morgen aus unterschiedlichen Perspektiven und zeigen bei aller Unterschiedlichkeit die Schlüsselrolle von Embedded Systems, insbesondere im Zusammenspiel mit übergeordneten IT-Strukturen, auf.



Forschungsprioritäten

Für die Umsetzung der in Abschnitt 4 aufgezeigten Szenarien sind die in Abschnitt 5.1 dargestellten Technologieinnovationen für Eingebettete Systeme erforderlich. Die Entwicklung darauf aufsetzender Lösungen setzt zur Erreichung der zahlreichen nicht-funktionalen Anforderungen (siehe 5.2.1) auch Innovationen in Entwicklungsprozessen für Eingebettete Systeme voraus, die in Abschnitt 5.2 dargestellt werden. Damit kann die deutsche Führungsposition in der Entwicklung von Eingebetteten Systemen weiter ausgebaut und ein wichtiger Beitrag zur Sicherung von Deutschland als Hightech-Standort geleistet werden.

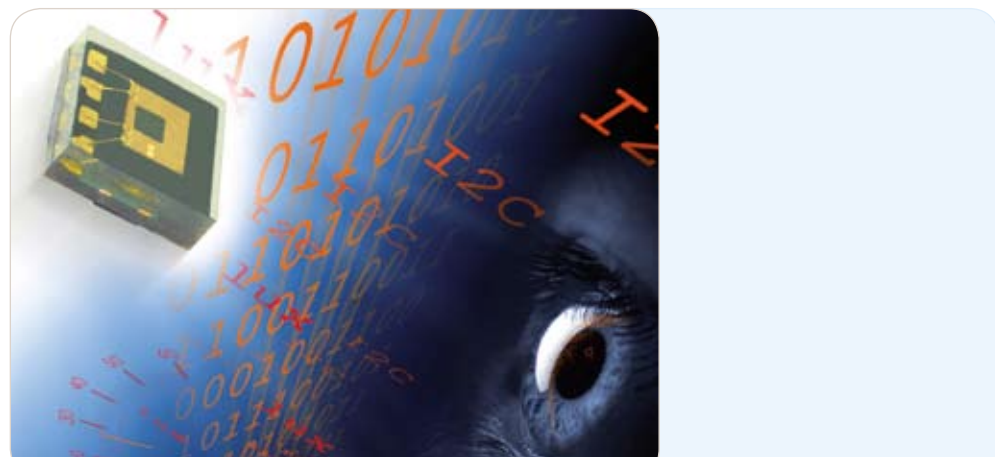
5.1 Technologieinnovationen Die nachfolgende Reihung der Technologieinnovationen folgt grob der Anordnung entlang eines Schichtenmodells.

5.1.1 Computing devices der Zukunft

Prozessoren Eingebetteter Systeme unterscheiden sich nicht grundsätzlich von solchen in PCs. Ihre Leistungsfähigkeit ist jedoch weiter gespreizt und die maximale Leistung liegt abhängig von der jeweiligen Anwendung in der Regel unter der neuester PC-Prozessoren. Es ist somit absehbar, dass sich die Architekturen eingebetteter Prozessoren ähnlich fortentwickeln werden, wie die universeller Prozessoren. Diese weisen in der Regel bereits heute mehrere Kerne auf.

Für das Jahr 2022 werden über 400 Processing Elements je System für stationäre Systeme und sogar weit über 1000 Processing Elements für mobile Systeme prognostiziert⁷⁷. Hierdurch wird dem steigenden Bedarf an Rechenleistung Rechnung getragen ohne die bereits erreichte Grenze abführbarer Wärme zu überschreiten. Somit ist kurzfristig auch für Eingebettete Systeme zu erwarten, dass die heute verwendeten Prozessoren von hochparallelen Architekturen abgelöst werden. Speziell für Eingebettete Systeme ergeben sich heraus kurzfristig wissenschaftliche Fragestellungen zur Parallelisierung und Verteilung sicherheitskritischer echtzeitfähiger Anwendungen auf heterogenen verteilten Architekturen. Dabei ist auch zu prüfen, inwieweit durch HW Unterstützung in Multicore-Architekturen für funktionale Sicherheit zentrale Eigenschaften wie Interferenzfreiheit von Applikationen unterstützt werden kann.

Neben dem Problem der Wärmeabfuhr wird die weitere Skalierung der Halbleitertechnologie neue wissenschaftliche Herausforderungen an den Entwurf Eingebetteter Systeme stellen: die Beherrschung von Alterungseffekten, der Degradation der Leistungsfähigkeit und Funktionssicherheit der Prozessoren in Technologien ab und unter 32 nm. Ein Verzicht auf die Forderung nach uneingeschränkter funktionaler Korrektheit aller Schaltelemente und Verbindungen wird sich sehr positiv auf die Herstellungskosten auswirken, bedarf aber neuer Architekturen, die entsprechende Fehlerdetektionsmonitore und Redundanzen sowie alterungshemmende Schaltungs-, Kommunikations- und Systemkonzepte beinhalten. Diese werden durch ein dynamisches Lastmanagement unterstützt werden, das neben der Einhaltung von Echtzeitbedingungen und der korrekten Funktion auch ein ausgewogenes Altern der Hardware ermöglicht. Die wissenschaftliche Herausforderung liegt in der integrierten Betrachtung der Hardware-Aspekte, des Laufzeitsystems sowie der nicht-funktionalen und der funktionalen Randbedingungen in hochparallelen Systemen.



⁷⁷[ITRS 2008]



5.1.2 Ressourcenoptimierende Technologien

Ressourcenoptimierende Technologien zeichnen sich insbesondere durch einen effizienten Umgang mit der Ressource Energie aus. Sie werden in Eingebetteten Systemen dann eingesetzt werden, wenn nur beschränkt Energie zur Verfügung steht, also z.B. in Sensor-Funknetzwerken, die sich selbst aus der Umgebung mit Energie versorgen müssen, oder trotz beschränkter Batteriekapazität möglichst lange arbeitsfähig sein sollen. Ein anderer Grund liegt vor, wenn nur beschränkt Wärme abgeführt werden kann. Solche Technologien können aufgrund ihrer physikalischen und architektonischen Eigenschaften selber inhärent ressourcenschonend sein, andererseits bedürfen sie geeigneter ressourcenoptimierender Entwurfstechnologien, um ressourcenoptimal zu arbeiten.

Solche Entwurfstechnologien sind heute im Entwurf von Hardwarekomponenten standardmäßig im Einsatz. Eine Ressourcenoptimierung auf höheren Abstraktionsebenen findet nicht in strukturierter Form und werkzeugunterstützt statt, obwohl sich gerade hier enorme Optimierungspotenziale erschließen lassen. Forschungsbedarf für strukturierte Entwurfsmethoden und -werkzeuge ergibt sich somit kurzfristig auf unterschiedlichen Ebenen:

Auf Anwendungsebene beispielsweise ist zu entscheiden, welche Qualitätsanforderungen zeitlicher Art und bezüglich der Datenqualität erforderlich sind. Dies wird auch eine dynamische Anpassung der Quality of Service an sich verändernde Parameter, wie z.B. verfügbare Energie oder Kosten der Datenübertragung einschließen. Ebenfalls auf der Anwendungsebene werden Optimierungen der Energieeffizienz der Anwendung unter Berücksichtigung der konkreten Zielarchitektur eine Rolle spielen.

Auf der Ebene des Laufzeitsystems werden eine dynamische Allokation und ein dynamisches Binden von Ressourcen an Applikationen erfolgen, welche die Energieeffizienz des Gesamtsystems unter Berücksichtigung von Echtzeitanforderungen optimieren. Dies schließt ggfs. auch den Transfer von Applikationen auf entfernte Ressourcen unter Berücksichtigung der Transferkosten ein.

Auf der Ebene einzelner Prozessorkerne wird ein dynamisches Energiemanagement Anwendung finden, das Korrelationen zwischen Anwendungen und innerhalb von Anwendungen berücksichtigt. Auch die einzelnen Komponenten eines Prozessorkerns und seine Koprozessoren werden durch ein geeignetes dynamisches Energiemanagement und statische strukturelle Verfahren optimiert. Es ergeben sich eine Reihe von Fragen zur Realisierung dieser Ebenen übergreifenden Optimierungen, z.B.: Auf welcher Modellbasis können die Entscheidungen auf Anwendungs- und Laufzeitebene getroffen werden? Wie können die Optimierungen auf Ebene der Prozessorkerne und deren Komponenten die Eigenschaften des zu erwartenden Anwendungsmixes berücksichtigen?

5.1.3 Referenzarchitekturen für Eingebettete Systeme

Fast alle Szenarien setzen eine in vielen Fällen drahtlose Vernetzung von Sensoren, Aktuatoren und Computing Devices voraus. Solche Vernetzungsarchitekturen müssen eine Vielzahl nicht funktionaler Anforderungen (z.B. Robustheit, Sicherheit, Quality-of-Service-Zusicherungen wie Mindestverfügbarkeiten und Durchsatz, Echtzeitanforderungen, Fehlererkennung und -eingrenzung, automatische Rekonfiguration zur Sicherstellung von Funktionssicherheit und Last-Adaptivität, dynamische

Erweiterbarkeit einschließlich Authentifizierungsprotokollen) erfüllen, welche heute nur partiell und meist in domänenspezifischen ad-hoc-Lösungen realisiert werden.

Ziel der Forschung in diesem Gebiet ist die Entwicklung von Referenzarchitekturen, die einerseits Garantien für diese Vielfalt von Qualitätsmerkmalen von Diensten geben, andererseits eine Virtualisierung von konkreten Zielarchitekturen unterstützen und damit Lösungen für die folgenden Forschungsfragen schaffen: Wie können emergente Systemcharakteristika von Zielarchitekturen wie Leistungsverbrauch, Kommunikationsbandbreiten, Verfügbarkeit, Latenzzeiten etc. so abstrahiert werden, dass Qualitätsgarantien von Diensten der Referenzarchitektur abgeleitet werden können? Wie können automatisch bei Ausfall von Teilsystemen Dienste so rekonfiguriert werden, dass Qualitätsgarantien erhalten bleiben? Wie können Trade-offs zwischen Maximierung der Wiederverwendbarkeit und Qualität der Instanzen von Referenzarchitekturen gestaltet werden? Wie können Skalierbarkeit und Modularität sichergestellt werden? Angesichts umfangreicher bestehender Lösungen ist dabei zum einen die Integration von Legacy-Systemen sicherzustellen, andererseits zu prüfen, ob der zunehmenden Proliferation von Endgeräten durch Standardisierung von gemeinsamen Teilfunktionen entgegenwirken kann.

5.1.4 Sichere und geschützte Eingebettete Systeme

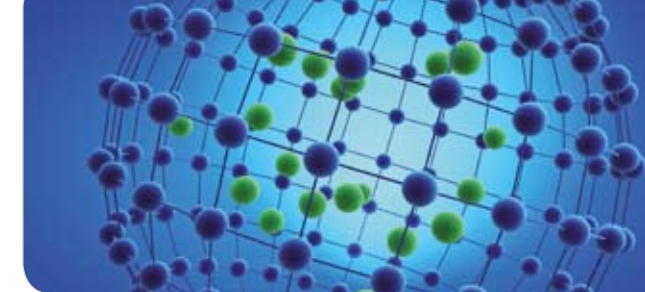
Die zunehmende Vernetzung Eingebetteter Systeme macht sie potenziell angreifbar für kriminelle informationstechnische Aktivitäten, welche im Hinblick auf das Einsatzspektrum der Systeme auch direkte Auswirkungen auf die Umwelt oder die funktionale Sicherheit haben können. Darüber hinaus können verlässliche Eingebettete Systeme selbst mit der Überwachung von Sicherheitsfunktionen betraut werden, um Kosten zu reduzieren und die Sicherheit insgesamt zu erhöhen. Deshalb ist die Absicherung solcher Systeme im Hinblick auf Angriffssicherheit (Security) wichtig. Der räumlich stark verteilte Einsatz, sowie das bislang mangelnde Bewusstsein für Security führen bei Eingebetteten Systemen zu entsprechenden Risiken.

Deshalb ist eine verlässliche Absicherung Eingebetteter Systeme gegen gegenwärtige und zukünftige informationstechnische Angriffe mit Schadensfolge wichtig. Eine zentrale Forschungsherausforderung hierzu ist die Bereitstellung von im Kontext von Eingebetteten Systemen verwendbaren Protokollen⁷⁸ zur Absicherung der Authentizität des Kommunikationspartners und der Sicherheit der Informationsübertragung, die zwar für allgemeine IT-basierte Security-Anwendungen bekannt sind, jedoch aufgrund der zusätzlichen nicht-funktionalen Anforderungen für Eingebettete Systeme im allgemeinen nicht übertragbar sind.

Eine besondere Herausforderung stellt dabei die Integration von Informationssystemen und Eingebetteten Systemen dar. Probleme im Bereich der Security können Gefährdungen im Sinne von Safety verursachen. Werden Daten bei der Übertragung über Netze intendiert oder unabsichtlich verfälscht, so kann das in einem darauf reagierenden Eingebetteten System zu gefährlichen Auswirkungen führen. Wie dieser Aspekt der Security auf Safety wirkt, ist weitgehend unerforscht. Daher sind zur seriösen Analyse von Safety in verteilten Systemen Forschungsergebnisse im Security-Bereich eine wichtige Voraussetzung. Dies betrifft insbesondere belastbare, quantifizierte Aussagen zur Security.

In industriellen Produkten könnten die eingebetteten Systeme auch im Kampf gegen Produktpiraterie genutzt werden, da sie die Realisierung eines produktinhärenten Kopier-Schutzes ermöglichen. Dies setzt allerdings voraus, dass die in Embedded Systems wirkende Software und die im Einsatz gesammelten Daten und Informationen selbst mit neuester Technologie vor Produktpiraten geschützt werden müssen. Technologien und Verfahren für „Embedded-know-how-Protection“ werden entscheidend sein für die Sicherstellung der internationalen Wettbewerbsfähigkeit exportintensiver Branchen.

⁷⁸wie etwa Leistungsaufnahme, Echtzeitanforderungen, Bandbreite, ...



5.1.5 Vernetzte Regelungen

Vernetzte Regelungssysteme, in denen Sensorik, Aktorik und verschiedene Regler räumlich verteilt und über eventuell dynamisch rekonfigurierbare digitale Kommunikationsnetze miteinander verbunden sind, bieten einerseits gegenüber den traditionellen, weitgehend aus lokalen, einschleifigen Regelkreisen aufgebauten Strukturen eine Vielzahl erst in Ansätzen genutzter Vorteile vor allem hinsichtlich Funktion, Zuverlässigkeit, Sicherheit, Architekturentwurf und Kosten. Auf der anderen Seite bringen sie neue Herausforderungen für den regelungs- und softwaretechnischen Entwurf mit sich.

Funktionsseitig gestatten vernetzte Regelungssysteme die Beherrschung komplexerer verteilter und interagierender Systeme, als dies alleine mit lokalen Reglern möglich wäre. Unerwünschte dynamische Effekte durch die gegenseitige Beeinflussung nicht kooperierender Regler über physikalische Verkopplungen (zum Beispiel Schwingungen) können vermieden und eine bessere Qualität des Gesamtsystemverhaltens erreicht werden. Ansatzweise wird dies z.B. im Automobil durch die Integration von einzelnen Regelungssystemen wie ESP oder aktiver Federung zu einem „Integrated Vehicle Dynamics Management“ erreicht. In Zukunft wird eine solche Vernetzung auch über die Grenzen von Systemen aus einzelnen Domänen hinaus möglich sein und neue Funktionen ermöglichen, z.B. in der Verkehrsleittechnik oder Automatisierungstechnik. Möglich werden dann auch dynamisch struktur- und topologieveränderliche Ensembles vernetzter Regelkreise, was zum Beispiel den Auf- und Abbau von ad-hoc-Regelkreisen in kooperativen Verkehrsszenarien beinhaltet.

Im Hinblick auf Zuverlässigkeit und Sicherheit eröffnen vernetzte Regelungssysteme neue Möglichkeiten der Überwachung und Fehlertoleranz, unter anderem durch multiples gegenseitiges Funktionsmonitoring von verteilten Reglern und durch Rerouting und Migration von Reglerfunktionalität bei Einzelausfällen. Der Aufwand beim Architekturentwurf und die Systemkosten können durch die Komposition skalierbarer vernetzter Regelungsstrukturen aus Standardkomponenten erheblich reduziert werden.



Die Herausforderungen beim Umgang mit vernetzten Regelungssystemen entstehen vor allem aus den unvermeidbaren Unzulänglichkeiten des digitalen Kommunikationsnetzes. Ausfälle von Verbindungen, Paketverluste oder (möglicherweise variierende) Latenzen, können erhebliche Auswirkungen auf das Regelkreisverhalten haben. Deshalb werden Modellierungs-, Entwurfs- und Analysetechniken benötigt, welche die Funktionsfähigkeit der Regelung unter Einbeziehung dieser Varianzen sowie der dynamischen Veränderung der Regelkreisstruktur sicherstellen. Dies schließt die Bereitstellung von gegen diese Effekte robusten, skalierbaren, hierarchisch organisierten und selbstrekonfigurierenden Regelungskonzepten ein, welche eine flexible Anpassung an statische wie dynamisch veränderliche Ressourcenbeschränkungen erlauben, beispielsweise an die verfügbaren Kommunikationsbandbreiten sowie an temporäre oder permanente Ausfälle in großen Sensornetzwerken. Im Hinblick auf regelungstechnische Eigenschaften wie Stabilität werden solche Fragestellungen zum ersten Mal in dem DFG-Schwerpunktprogramm „Regelungstheorie digital vernetzter Systeme“ untersucht. Die Herausforderungen sind aber weitreichender und umfassen zum Beispiel die Frage, wie solche Konzepte softwaretechnisch effizient unterstützt werden können.

5.1.6 Funktionale Sicherheit Eingebetteter Systeme

Eingebettete Systeme müssen funktional sicher (engl. safe) sein, das heißt, sie dürfen ihre Umwelt nicht gefährden. Eingebettete Software ermöglicht dabei, dass Systeme auf technische Fehler der Hardware in komplexer Weise reagieren und weitere Gefährdungen vermeiden, z.B. durch Teilabschaltung fehlerhafter Funktionen. Zudem werden vielfältige, meist sicherheitsrelevante Funktionen durch Software realisiert. Somit wird die Software selbst zu einem sicherheitsrelevanten Teil des Gesamtsystems und muss mit entsprechenden Qualitätsgarantien entwickelt werden.

Während grundsätzlich Prinzipien zum Aufbau fehlertoleranter Systeme bekannt sind und industriell eingesetzt werden, entstehen durch den Kostendruck einerseits und den daraus resultierenden Trend zur starken Wiederverwendung auch sicherheitsrelevanter Komponenten neue Forschungsfragen, welche nicht zuletzt auch zur Beherrschung der Gesamtkomplexität im Sicherheitsnachweis beitragen: So stellt sich im Entwurf von Komponentenarchitekturen die besondere Herausforderung, für noch unbekannte Zielarchitekturen Eigenschaften wie Selbstüberwachung, Selbstheilung oder zumindest kontrollierte

Degradierung sicherzustellen. Zusätzliche Fragestellungen entstehen aus automatischer Upgrade-funktionalität und selbstständiger Rekonfiguration auch sicherheitsrelevanter Systeme.

Weitere Herausforderungen ergeben sich aus der aus Kostengründen zunehmend erfolgenden Koalokation von sicherheitsrelevanten und von unkritischen Teilfunktionen. Die zunehmende Vernetzung von Systemen untereinander und die umfassendere Interaktion mit der Umgebung führen dabei zu einem exponentiellen Wachstum bei Softwareumfängen und der Kommunikation zwischen Komponenten. In diesem Zusammenhang wichtig ist das kosteneffiziente Beherrschen der Komplexität in Bezug auf die Spezifikation und den Sicherheits-Qualitätsnachweis. Letzterer erfordert ein genaues Verständnis des Gesamtsystems im Verhalten mit seiner Umwelt.

Technologische Innovationen sind erforderlich, um das Systemverhalten gegenüber seiner Umwelt so zu spezifizieren, dass Sicherheitsnachweise kosteneffizient vollständig erbracht werden können. Problematisch sind der Umfang und die Komplexität sicherheitskritischer Systeme sowie deren disziplinübergreifender Charakter. Dies führt dazu, dass manuelle Sicherheitsanalysen kaum noch durchführbar sind. Wie Sicherheitsanalysen stärker proaktiv in die Entwicklung integriert werden können und wie sie in einem höheren Maße automatisiert werden können, ist zu erforschen. Im Zuge der Integration von Teilsystemen in ein Gesamtsystem und im Hinblick auf Variantenbildung müssen zudem Techniken, Methoden und Werkzeuge bereitgestellt werden, um Sicherheitsanalysen modular handhaben zu können.

5.1.7 Kognitive Eingebettete Systeme

Die Fähigkeit, kognitive Systeme zu entwickeln, stellt eine zentrale Voraussetzung für die Realisierung einer Vielzahl von Szenarien dar: Sicheres Fahren wird dadurch ermöglicht, dass Fahrzeuge ein hinreichendes Situationsbewusstsein der Verkehrssituation haben, um Unfallpotentiale rechtzeitig zu identifizieren und zu reduzieren; Patienten-Überwachungssysteme in medizinischen Versorgungszentren treffen auf der Basis der fernerkassten Patientendaten Entscheidungen über eventuell notwendige Interventionen von Pflegepersonal, etc.

Die Entwicklung von kognitiven Eingebetteten Systemen verlangt somit eine sichere Situationserfassung in Form von mentalen Karten in der Regel auf Basis der Fusion von heterogenen Sensorquellen sowie Algorithmen zur Objektidentifikation in applikationsspezifischen Objektwelten – eine in der Regel multi-kriterielle Situationsbewertung – Strategien zu darauf aufsetzenden Entscheidungsfindungen sowie deren Umsetzung, sei es in Form von Benutzerinteraktionen oder in autonomen regelnden Eingriffen.



Während für vergleichsweise träge und einfach strukturierte Umgebungen die Verwendung von kognitiven Architekturen gut beherrscht wird, stellt die aus Applikationssicht oft gewünschte Übertragung dieses Architekturprinzips in hochdynamische und komplex strukturierte Umwelten eine besondere Forschungs herausforderung dar. In sicherheitsrelevanten Applikationen müssen darüber hinaus Architekturkonzepte zur Absicherung der Vertrauenswürdigkeit und Fehlerfreiheit der Entscheidungsprozessen zu Grunde liegenden mentalen Karten sowie der darauf aufsetzenden Entscheidungsalgorithmen gefunden werden. Darüber hinaus müssen in teilautonomen, assistierenden Anwendungen durch das Eingebettete System getroffene Entscheidungen für den Nutzer plausibel sein. Weitere Herausforderungen stellen in vielen Applikationen die Einhaltung von Echtzeitanforderungen sowie die Realisierung von adaptiven Strategien dar.

5.1.8 Innovative Interaktionsschnittstellen

Angesichts der hohen Komplexität von durch kognitive Eingebettete Systeme realisierten Assistenz- und Entscheidungsfunktionen und der in vielen Szenarien geforderten Bedienbarkeit durch Personen mit fehlenden technischen Kenntnissen stellt die Gestaltung der Interaktionsschnittstelle zwischen Menschen und Systemen die entscheidende Voraussetzung zur Nutzbarmachung von Technologieinnovationen dar.

In dem Maße, in dem der Nutzer selbst regelnd in das System eingreifen muss oder sogar als Rückfallebene in einer durch das technische System allein nicht mehr beherrschbaren Situation eingesetzt wird, muss dem Benutzer eine ausreichende Einsicht in Situationserfassung und -bewertung in einer sich intuitiv erschließenden Form angeboten werden, die situationsangemessene Eingriffe seitens des Benutzers auch unter Echtzeitbedingungen ermöglicht.

Zwar liegen hierzu im Bereich der Luftfahrt umfangreiche Erfahrungen vor, diese sind jedoch im Allgemeinen in Applikationen mit ungeschulten Benutzern nicht übertragbar. Entscheidende Herausforderung ist die Schaffung von intuitiv erfassbaren multimodalen Metaphern zur Vermittlung mehrdimensionaler Entscheidungsräume in Benutzer-adäquater Form. Dazu werden „klassische“ Formen der Eingabe durch Erkennung von Gesten oder Verwendung neuer Sensortechnologien (z.B. Bio-Sensoren, Brain-Computer-Interaction) ergänzt werden. Adaptive Interaktionsschnittstellen werden automatisch Qualifikationsprofile von Nutzern erkennen und Interaktionsstrukturen an diese anpassen.

5.1.9 Kooperative Eingebettete Systeme

Immer dann, wenn übergeordnete Zielsetzungen wie die Reduktion des Energieverbrauchs (wie etwa im Szenario 4.2.1), die Identifikation von Bedrohungen (Szenario 4.3.2.2), oder die Durchsatzsteigerung in Produktionsprozessen (Szenario 4.6.3) nur durch koordinierte Aktionen von durch kognitive Eingebettete Systeme gesteuerten Systemen (wie Fahrzeuge, autonome Flugkörper, Produktionsroboter) erreichbar sind, stellt sich die Herausforderung der Etablierung von abgestimmtem Gruppenverhalten.

Auch hier ist die Technologie in eingeschränkten und genügend trägen und statischen Umgebungen (etwa im Anwendungsgebiet der Fertigungsautomatisierung) weitgehend beherrscht. Herausforderungen für die Forschung ergeben sich in der Behandlung von sich dynamisch verändernden Einsatzkontexten. Schon allein das Zulassen von Menschen in Produktionsanlagen mit autonomen Fahrzeugen mit aus Sicht der Durchsatzoptimierung notwendigen Mindestgeschwindigkeiten führt zu neuen Forschungsfragen, die mit zunehmender Dynamik und zunehmender Anzahl der zu koordinierenden Teilsysteme neuartige Lösungen fordern.

Dabei stellen sich Herausforderungen wie die Etablierung von konsistenten Situationseinschätzungen und verteilte Entscheidungsfindungen im Kontext von „feindlichen“ Fremdsystemen unter Echtzeitbedingungen, der Einbeziehung des menschlichen Verhaltens (etwa Arbeiter in einer Produktionshalle, Autofahrer) sowie die Vermeidung von unerwünschtem Schwingungsverhalten.

5.2 Prozessinnovationen

5.2.1 Requirements Engineering

Ein entscheidender Erfolgsfaktor für die effiziente Entwicklung qualitativ hochwertiger und sicherer Eingebetteter Systeme ist die Qualität der Anforderungsspezifikation. Dies gilt umso mehr, wenn Aufgabenstellung und Umsetzung durch unterschiedliche Partner (z.B. OEM und Zulieferer) erfolgen. Im Bereich der Eingebetteten Systeme gelten hier deutlich höhere Anforderungen als in der IT, die beispielsweise die Zuverlässigkeit und Sicherheit der Systeme sowie Eigenschaften wie die Verfolgbarkeit von Anforderungen betreffen und in Normen wie z.B. der ISO 26262 verankert sind. Ein weiterer wichtiger Aspekt bei Eingebetteten Systemen ist die Berücksichtigung der verschiedenen Betrachtungsebenen, beispielsweise die konsistente und durchgängige Spezifikation der Anforderungen auf der System- und der Software-Ebene, unter Einbeziehung der entsprechenden funktionalen und nicht-funktionalen Umgebungsanforderungen und -bedingungen.

Wichtige Schwerpunkte zukünftiger Forschungsarbeiten auf dem Gebiet des Requirements Engineering für Eingebettete Systeme müssen sein:

■ Qualität von Requirements

Wichtige Qualitätskriterien sind insbesondere Vollständigkeit, Konsistenz, Korrektheit, Verifizierbarkeit und Verständlichkeit. Ein wesentlicher Forschungsbedarf besteht hier in einer geeigneten, praxisnahen Formalisierung von Anforderungsspezifikationen, wie sie beispielsweise durch den Ansatz des modellbasierten Requirements Engineerings verfolgt wird. Formalisierte Spezifikationen stellen darüber hinaus eine sehr gute Ausgangsbasis für eine automatisierte Qualitätssicherung, beispielsweise in Form von Konsistenz- und Korrektheitsprüfungen dar. Dabei muss die Formalisierung einerseits die Automatisierung von Prüfungen, andererseits die nutzergerechte effiziente Handhabung in der industriellen Praxis erlauben. Für die Qualitätsprüfung sind darüber hinaus geeignete, aussagekräftige und praxisrelevante Qualitätskriterien zu definieren.

■ Nicht-funktionale Requirements

Neben den funktionalen Anforderungen müssen auch die nicht-funktionalen Anforderungen an das zu realisierende System beschrieben werden. Hierzu zählen neben Aspekten wie Performance auch die Sicherheitsanforderungen, die an das System zu stellen sind, um mögliche vom System ausgehende Gefahren für Leib und Leben auszuschließen. Dabei müssen geltende Standards wie ISO 26262 berücksichtigt und umgesetzt werden. Derartige nicht-funktionale Anforderungen sowie das gewünschte Verhalten des Systems bei bestimmten unerwünschten Umgebungsbedingungen wie Fehlfunktionen von Sensoren werden heute nicht ausreichend berücksichtigt und müssen ein fester Bestandteil des modellbasierten Requirements Engineering werden. Weitere nicht-funktionale Anforderungen resultieren aus wirtschaftlichen und juristischen Interessen, wie etwa Installations- und Nutzungskosten einerseits und Ausschluss von wechselseitigen Interferenzen zwischen Teilsystemen, die durch unterschiedliche Zulieferer erstellt werden.

■ Requirements Management

Leistungsfähige Methoden und Werkzeuge sind unverzichtbar für die Organisation und Verwaltung von Anforderungen. Die größten Herausforderungen stellen hierbei die Verfolgbarkeit (Traceability) von Anforderungen über den gesamten Entwicklungsprozess und das Änderungsmanagement (Change Management) dar. Darüber hinaus muss eine über mehrere Partner verteilte Entwicklung über die gesamte Zulieferkette unterstützt werden. Auch hier ist ein hoher Formalisierungsgrad bei der Spezifikation der Anforderungen eine wichtige Voraussetzung, der insbesondere auch ein „verteiltes“ Requirements Management unterstützt.



5.2.2 Architektur – Entwurf und Bewertung

Architekturen gewinnen mit der Zunahme des Trends der Multifunktionalität zum einen und der Integration sowie Interoperabilität von Systemen zum anderen zunehmend an Bedeutung. Große umfangreiche Eingebettete Systeme sind typischerweise einmal in technische Architekturen strukturiert, die aus den Steuergeräten, Kommunikationsverbindungen, Aktuatoren, Sensoren und Nutzerschnittstellen bestehen. Im Gegensatz zu Softwaresystemen, die nicht eingebettet und typischerweise auf Standardbetriebsumgebungen laufen, sind harte Echtzeitanforderungen und das autonome Reagieren auf Ereignisse in Echtzeit typisch. Die Einbettung in technische und physische Systeme mit oft dedizierten Schnittstellen für die Mensch-Maschine-Interaktion erfordern besondere Entwicklungsmethodiken.

Je größer diese technischen Systeme werden, desto wichtiger ist es sie so zu gliedern, dass sie ein hohes Maß an Modularität aufweisen, um Qualitätsmerkmale wie Zuverlässigkeit, Performanz und Wartbarkeit abdecken zu können, sowie Techniken zur Bewertung von Architekturen gegenüber Qualitätsmerkmalen zu entwickeln. Zunehmend bedeutsam wird aber neben dem technischen Architekturverständnis auch die Architektur der auf diesen informationstechnischen Systemen ablaufenden Softwarestrukturen im Sinne von Softwarearchitekturen. Dies betrifft zum einen die Betriebssystemstrukturen wie Middleware, Plattformen und Kommunikationseinrichtungen, die stark nach Architekturprinzipien zu strukturieren sind.

Darüber hinaus nimmt auch die Frage der Applikationsarchitekturen eine zunehmende Bedeutung ein, in denen die Logik der Interaktion der verschiedenen Teilsysteme und ihrer Teilaufgaben nach architekturellen Prinzipien geordnet und dargestellt werden. Die Beherrschung des Entwurfs dieser Architekturen in Hinblick auf die immer weiter reichenden Anforderungen an Funktionalität und Qualität sowie eine langfristige Verwendung und Wiederverwendung ist eine der großen Herausforderungen im Umgang mit Systemen mit hohem Grad an eingebetteter Software. Dies hat besondere Bedeutung, wenn Teilsysteme, die für sich eingebettete Software enthalten, in Systeme integriert werden, in denen dann die Softwareteilsysteme zusammenspielen müssen. Solchen Herausforderungen an die Systemintegration kann nur durch die Beherrschung des Architekturentwurfs begegnet werden.

5.2.3 Systemanalyse

Zum Erlangen von Vertrauen in die Einhaltung definierter Eigenschaften Eingebetteter Systeme ist es erforderlich, die Systeme frühzeitig und möglichst unabhängig von der Implementierung im Hinblick auf Qualitätseigenschaften analysieren zu können. Dabei sind der gesamte relevante technische Rahmen eines Systems und die Gesamtheit der relevanten Wechselwirkungen mit Nutzern oder anderen technischen Systemen adäquat zu berücksichtigen – z.B. durch den Einsatz von Modellen.

Wesentliche Aufgabe der Systemanalyse ist die Entwicklung einer Systemarchitektur, welche eine Balance zwischen Nutzererwartungen, Anforderungen aus funktionaler, technischer oder administrativer Sicht sowie unter Beachtung existierender (Sicherheits-) Standards und weiterer Randbedingungen (Ökologie, Ökonomie etc.) gewährleistet.

Vor dem Hintergrund stetig wachsender Systemumfänge kommt einer automatisierten oder teilautomatisierten Analyse dabei eine besondere Bedeutung zu. Für eine belastbare Aussage ist neben der Definition der Qualitätsziele zudem eine Quantifizierung der Analyse, die im Idealfall eindeutige Ergebnisse liefern sollte, erforderlich. Beim gegenwärtigen Stand der Praxis sind hierfür noch einige Herausforderungen zu bewältigen:

Beispielsweise sind Systemanalysen im Zuge der Einbindung/Wiederverwendung von Alt-Systemen mit unvollständiger oder fehlerhafter Spezifikation bisher kaum möglich. Während bei klassischen IT-Systemen Reengineering-Ansätze existieren, sind diese bei Eingebetteten Systemen aufgrund der im Regelfall starken Abhängigkeiten zwischen Software, Elektronik und Mechanik sowie der Systemumgebung nicht verfügbar.



Des Weiteren sind Systemanalysen während der Entwicklung im Hinblick auf unvorhergesehene Eingaben oder Einsatzbedingungen sowie über Systemgrenzen hinweg (z.B. für Robustheit, Sicherheit) wichtig, aber schwierig – typischerweise lässt sich das Einsatzspektrum eines Eingebetteten Systems im Betrieb nicht vollständig vorhersagen. Schließlich erfordert der Trend hin zu dynamisch erweiterbaren, adaptiven oder autonomen Systemen Analysen zur Laufzeit (inkl. Diagnose) vor dem Hintergrund sich wandelnder Umweltbedingungen.

Die Entwicklung von Techniken, Methoden und Werkzeugen zur Quantifizierung nichtfunktionaler Systemeigenschaften, wie Sicherheit (Security, Safety), Robustheit oder Wartbarkeit stellen deshalb wichtige Bausteine zur Weiterentwicklung der System-Analytik dar. Dabei muss das Eingebettete System ganzheitlich mit seinen Software- und Hardware-Bestandteilen betrachtet werden.

Langfristig gesehen wird die Erforschung und Entwicklung neuer Entwicklungsparadigmen weg von der Funktionsentwicklung hin zur Verhaltensentwicklung von Systemen der System-Analytik zuarbeiten. Dazu gehört auch die Erforschung und Entwicklung von selbstheilenden/selbstdiagnostizierenden Systemen im Zuge einer in zukünftige Eingebettete Systeme integrierten System-Analyse.

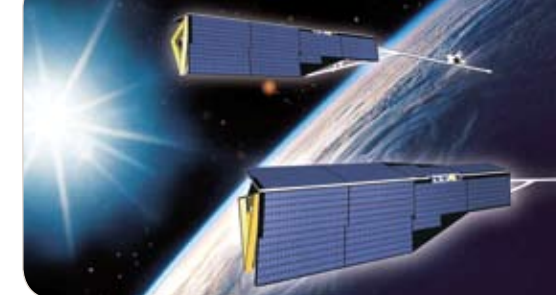
5.2.4 Modellgetriebene Entwicklung

Um Lösungen für technische Systeme frühzeitig absichern und die Effizienz der Entwicklung weiter steigern zu können, wird zunehmend auf die modellbasierte bzw. modellgetriebene Entwicklung gesetzt. Dabei wird in der Regel auf standardisierte Vorgehensmodelle für die Entwicklungsprozesse von Hardware und Software (z.B. V-Modell XT) aufgesetzt. Je nach Anwendungsdomäne (im Automobil zum Beispiel Antriebsstrang, Fahrwerk, Innenraum-Komfort, Infotainment) kommen mehr regelungstechnische, mehr steuerungstechnische oder mehr software-orientierte Modelle zum Einsatz, mit rechnergestützten Werkzeugen, die vielfach Quasi-Standards darstellen (z.B. Matlab/Simulink/ Stateflow oder UML-Werkzeuge).

Allerdings gibt es heute keine standardisierten Schnittstellen zwischen den Werkzeugen und nur punktuell eine Durchgängigkeit in der Werkzeugkette, so dass noch immer zeitaufwändige und fehleranfällige manuelle Entwicklungsschritte notwendig sind. Aufgrund des resultierenden hohen Aufwands und der zunehmenden Erfordernisse, Hardware und Software parallel und in optimierender Abstimmung zu entwickeln, ergibt sich die Notwendigkeit nach durchgängiger Virtualisierung der Entwicklung mit der Konsequenz, dass eine Vielzahl von Werkzeugen gekoppelt werden muss (von Unterstützung der Anforderungsspezifikation, über die Systemanalyse, den Systementwurf und dessen Optimierung, die Implementierung in Hardware- und Software-Modulen und deren Verifikation, der hierarchischen Integration und dem Test auf Subsystemebene bis zur Systemebene).

Um die durchgängige Virtualisierung realisieren zu können, sind geeignete Werkzeuge zu entwickeln, die über physikalische Modelle das System selbst und eine möglichst exakte Abbildung der späteren realen Arbeitsumgebung des Eingebetteten Systems ermöglichen. Um eine durchgängige virtuelle Entwicklung zu ermöglichen, sind verschiedene Werkzeuge zu koppeln. Dabei sollen die einzelnen Simulatorsysteme selbst so zusammenschalten sein, dass ein kompletter Test unter Echtzeitbedingungen möglich wird, und zwar durchgängig vom Hardware-in-the-loop-Test auf Modul- und Steuergeräte-integrationsebene bis hin zum Test des Gesamtsystems im Rahmen einer Fahr- oder Flugerprobung.

In der modellgetriebenen Entwicklung existieren bisher nur wenige Ansätze in Bezug auf nicht-funktionale Eigenschaften (z.B. funktionale Sicherheit, Betriebsschutz, Zuverlässigkeit, Energieeffizienz, Kosten, Auslegung des Kabelsatzes) und die korrekte Umsetzung des spezifizierten zeitlichen Verhaltens. Im Automobilbereich fehlen beispielsweise leistungsfähige Ansätze zur automatisierten Synthese und Analyse von Elektrik/Elektronik-Architekturen, zum automatischen Mapping von Funktionen auf Steuergeräte, zur automatischen Konfiguration der Kommunikations- und der Schedulingparameter, um die Integration der verschiedenen Steuergeräte in heterogenen Netzen zu vereinfachen und zu optimieren. Der modellgetriebene Ansatz muss über die Funktionalität hinaus die Beschreibung vielfältiger Aspekte von Hardware- und Software-Komponenten wie Fehlermodelle und zeitliches Verhalten erlauben, bzw. die Ableitung dieser Eigenschaften durch Kopplung mit geeigneten Werkzeugen unterstützen.



Ein mit zunehmendem Automatisierungsgrad verstärkt auftretendes Problem stellt die daraus resultierende Intransparenz der durch Entwurfswerkzeuge vorgenommenen Schritte dar. Wie können Entwurfswerkzeuge so gestaltet werden, dass dem Entwickler jederzeit die Plausibilität automatisierter Entwurfsschritte dargelegt werden kann? Wie kann diese Nachvollziehbarkeit gegenüber weitergehenden Anforderungen einschlägiger Sicherheitsstandards gewährleistet werden? Für den erfolgreichen Einsatz modellbasierter Entwicklung ist die Berücksichtigung solcher Anforderungen im Sinne eines Designer-zentrierten Tool Engineerings unverzichtbar.

5.2.5 Systematische Wiederverwendung

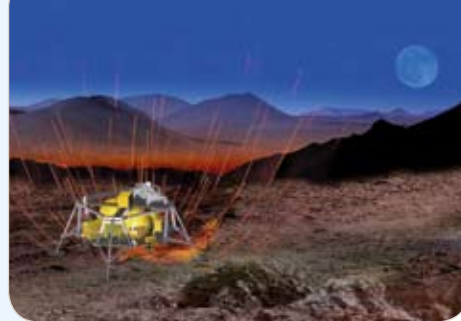
Die Industrie entwickelt heute nicht mehr nur für lokale Märkte sondern für den Weltmarkt. Aber der Weltmarkt besteht aus vielen lokalen Märkten und einzelnen Kunden, die alle ihre spezifischen Anforderungen haben. Deshalb ist das Beherrschen von Produktvielfalt und Variabilität ein entscheidender Wettbewerbsvorteil, wobei Variabilität in Embedded Systems in der Regel gleich zu setzen ist mit Variabilität in der Embedded-Software. Dies gilt ebenso für Halbfabrikate wie Plattformen, Produktlinien, etc.

Während es im Server- und PC-Bereich gelungen ist, mit wenigen Hardware- und Software-Standards eine weitgehende Standardisierung zu erreichen, sind solche Konzepte im Bereich Eingebetteter Systeme noch deutlich weniger verbreitet und stärker fragmentiert. Um das zweifellos auch im Embedded-Bereich vorhandene große Potential zur Effizienz- und Qualitätssteigerung durch systematische Wiederverwendung von Embedded-Bausteinen zu heben, sind jedoch neue innovative methodische und technologische Konzepte erforderlich.

Als Beispiele für Forschungsbedarf sind hier unter anderem zu nennen:

- Durchgängige Entwurfsverfahren, die Wiederverwendung bereits bei den Anforderungen mit berücksichtigen. Insbesondere eine systematische Methodik der Software-Erstellung, von der Anforderungsspezifikation bis zu Realisierung und Test, die auch die angrenzenden Domänen Elektronik, Mechanik etc. mit einschließt. Methoden und Tools aus dem Bereich der nicht eingebetteten Software sind nicht unmittelbar geeignet.
- Die Etablierung von Referenzarchitekturen und industriespezifischen und domänenübergreifenden Plattformen, wie AUTOSAR in der Automobiltechnik und IMA im Flugzeugbau.
- Methoden und Konzepte für die Integration von Eingebetteten Systemen in Bezug auf die zunehmende Verwendung von Open-Source-Software oder insgesamt von Dritten gelieferten externen Komponenten. Die derzeit vorhandenen Konzepte und Methoden für eine effiziente und auch effektive Integration sind nicht ausreichend, insbesondere bei sicherheitskritischen Embedded-Bausteinen.
- Semantische Beschreibung der Schnittstellen von Embedded-Bausteinen, um den Aufwand für die Integration und Vernetzung dieser Bausteine zu reduzieren.
- Selbstlernende und adaptive Systeme, die in der Lage sind, ihre Funktionalität und Services dynamisch an sich veränderte Umgebungen anzupassen.





5.2.6 Menschen-zentrierter Entwurf

Angesichts der zentralen Rolle von Interaktionsschnittstellen für die Nutzbarkeit der Technologieinnovationen in Assistenzapplikationen stellt die frühe Einbeziehung des Nutzers in den Entwurfsprozess eine fundamentale Voraussetzung für die Akzeptanz neuer Produkte dar. Dies setzt interdisziplinäre Forschung zur Bewertung von Ausgestaltungsvarianten von Interaktionsschnittstellen voraus, welche je nach Applikation weit über rein ergonomische Aspekte hinausgehen und etwa die Einbeziehung von Aspekten wie Stress, Müdigkeit und nachlassende Fähigkeiten zur Situationseinschätzung im Alter einbeziehen müssen.

Auch hier kann prinzipiell auf die Erfahrungen im menschenzentrierten Entwurf im Luftfahrtbereich zurückgegriffen werden, allerdings setzen die in dem in Abschnitt 4 anklingenden Szenarien voraus, dass die Nutzermodellierung für ungeschulte Nutzer und etwa wie in Szenario 4.1.1 oder 4.2.3 für Menschen mit eingeschränkten Wahrnehmungs- und Beurteilungsfähigkeiten erfolgen muss. Je nach Applikation (insbesondere 4.2.3) ist dabei das Risiko und die Auswirkung von Fehlbedienungen des Gesamtsystems Nutzer-Assistenzsystem-Systemumgebung unter Anwendung einschlägiger Sicherheitsstandards einzuschätzen und zu bewerten.

Neben Forschungsarbeiten, welche unmittelbar auf Nutzerinteraktionen zielen, sind für viele Handlungsfelder (Mobilität, Gesundheit, Krisenmanagement) Verhaltensmodelle von Menschen für den Systementwurf von Systems-of-Systems erforderlich – so etwa für die Vision des unfallfreien Fahrens, in der das Verhalten von Verkehrsteilnehmern wie Radfahrern oder Fußgängern durch Sicherheitssysteme eingeschätzt werden muss, um Ausweichmanöver zur Unfallvermeidung vorzuschlagen.

5.2.7 Life Cycle Management

Die Wertschöpfung eines Embedded Systems wird bestimmt durch den Lebenszyklus des übergeordneten technischen Systems oder Produkts. Deshalb ist das Life-Cycle-Management für Eingebettete Systeme eminent wichtig und darf nicht auf den Design- und Entwicklungsprozess reduziert werden.

Im Zuge einer zunehmenden Kundenorientierung müssen Embedded Systems immer besser auf die jeweiligen Kundenbedürfnisse zugeschnitten werden und damit über den gesamten Lebenszyklus veränderbar sein. Über den gesamten Lebenszyklus eines technischen Systems oder Produkts hinweg muss es möglich sein, einzelne Software-, Elektronik-, oder Mechanikkomponenten auszutauschen und dabei die Gesamtfunktionalität des Systems zu gewährleisten. Insbesondere bei sicherheitskritischen Anforderungen sollte dies mit möglichst geringem zusätzlichem Zertifizierungsaufwand erfolgen. Längerfristige Entwicklungszyklen, z.B. in der Mechanik, müssen mit relativen kurzen und iterativen Entwicklungszyklen, z.B. bei der Software, in Einklang gebracht werden.

Eine systematische, methodische Beherrschung der unterschiedlichen Innovations- und Wartungszyklen der verschiedenen Disziplinen Software, Elektronik und Mechanik, aber auch angrenzender Disziplinen wie Hydraulik oder Regelungstechnik ist deshalb von entscheidender Bedeutung und wird einen Schub neuer Innovationen ermöglichen. Das Problem des Auseinanderdriftens von Lebenszyklen in komplexen Technologiestacks muss behandelt werden, z.B. die unterschiedlichen Lebenszeiten von einzelnen Komponenten in Industrieanlagen und Fahrzeugen oder Prozessoren und Plattformen, die in Steuergeräten eingesetzt werden, sowie der Trend zum Softwareupdate im bestehenden laufenden Betrieb.

Erforderlich hierzu ist die Entwicklung von Konzepten und Anwendungen für das Produkt-Lebenszyklus-Management und das Entitlement-Management von Eingebetteten Systemen, sowie zum Management der Kompatibilität eingebetteter Software-Komponenten, z. B. Methoden und Tools für Versionsverwaltung, Änderungsmanagement und Release-Management. Weiter ist das Thema Nachhaltigkeit von sehr großer ökonomischer Bedeutung.



5.2.8 Prozessautomatisierung

Im Rahmen der stärkeren Automatisierung der Gesellschaft und der immer noch stärker zunehmenden Dienstleistungsstrukturen kommt zugeschnittenen Prozessen, die schnell und zielsicher ablaufen, eine immer höhere Bedeutung zu. Nur wenn es gelingt, diese Prozesse effizient und effektiv so zu organisieren, dass die menschliche Interaktion auf ein Minimum beschränkt bleibt und diese Prozesse in den unterschiedlichsten Situationen zuverlässig und störungsfrei agieren und zwar selbst bei starken Veränderungen der Rahmenbedingungen, wird es möglich sein, die heute komplexen Prozesse der Logistik, der Informationsversorgung, der Mobilität und Kommunikation sicherzustellen. Dabei kommt eingebetteten Softwaresystemen, die in den Systemen, in denen die Prozesse ablaufen, über Sensoren Informationen aufnehmen, diese abgleichen und über Aktuatoren Abläufe steuern, wachsende Bedeutung zu.

Die große Herausforderung ist es, die Logik solcher Systeme, die aus einer Vielzahl vernetzter Eingebetteter Systeme bestehen, im Sinne der Anwendungsanforderungen festzulegen und zuverlässig zu realisieren. Dies erfordert insbesondere eine verstärkte Aufmerksamkeit in Hinblick auf Mensch-Maschine-Konzepte, in denen die Interaktion von Menschen mit weitgehend automatisierten Prozessen stattfindet. Methodisch beherrscht werden muss die Frage des Entwurfs der Prozesse, der Zusammenstellung der entsprechenden Anforderungen und der Abbildung der Prozesse in weitgehend automatisierten Prozessketten, die stark durch eingebettete Softwaresysteme geprägt sind.

5.2.9 Prozessorganisation

Embedded Systems zeichnen sich häufig durch das Zusammenspiel verschiedener Disziplinen (Mechanik, Optik, Elektronik, Software, etc.), durch begrenzte Ressourcen und durch besondere Anforderungen an z.B. Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit oder Sicherheit aus. Diese Eigenschaften stellen besondere Anforderungen an die Vorgehensmodelle zur effektiven und effizienten Entwicklung von Embedded Systems, die von etablierten Entwicklungsprozessen nur teilweise bewältigt werden. Die Diskrepanz zwischen klassischer Softwareentwicklung und mustergetriebener Hardwareentwicklung und eine immer engere Vernetzung von Prozessen mit Entwicklungswerkzeugketten, sowie die Einbindung von "open source software" schaffen weitere Herausforderungen.

Zu untersuchen ist beispielweise, inwieweit Entwicklungsmethoden und -prozesse, die sich im nicht-Embedded-Bereich zurzeit etablieren (z.B. agile Software-Entwicklung oder Test-Driven-Development) dazu beitragen können, diese Diskrepanz zu beheben.

Großes Potenzial zu Steigerung der Kosteneffizienz liegt in der Zertifizierung von Embedded Systems insbesondere hybrider oder multitechnischer Systeme. Hier sind geeignete Zertifizierungsprozesse zu entwickeln, die eine kostengünstige Zertifizierung und auch Re-Zertifizierung von wieder verwendbaren Embedded Systems erlauben.

Ein weiterer wichtiger Forschungsbedarf betrifft neue Vorgehensmodelle, die die Vernetzung der Entwicklungsdisziplinen sowie die Synchronisation von Teilprojekten mit unterschiedlichen Lebenszyklen beherrschen und gleichzeitig besondere Prozess-Anforderungen (z.B. wegen Zuverlässigkeits- oder Sicherheitsanforderungen) einfach ein- oder ausblenden können.

Auch die Automatisierung von Prozessschritten, sei es automatische Code-, Testfall- oder Dokumentengenerierung, bedarf noch weiterer Forschungsaktivitäten. Dabei muss auch die zunehmende Integration der Entwicklungswerkzeuge untereinander, aber auch mit den Prozessen berücksichtigt werden.

Neben den Vorgehensfragen auf technologischer Ebene müssen wirtschaftliche und juristische Interessen berücksichtigt werden. Auch hier besteht großer Forschungsbedarf. Auf wirtschaftlicher Ebene muss z.B. geklärt werden, wie anfallende Installations- und Nutzungskosten auf die verschiedenen Beteiligten umgelegt werden, ob diese bereit sind, durch die Nutzung von Embedded Systems entstehende Risiken zu tragen, bzw. in welchem Umfang und ob und wie sie dafür kompensiert werden. Vorgehen zur Erstellung von Embedded System Business Cases müssen daher erstellt werden. Auf juristischer Ebene müssen ebenfalls Antworten zu Risiken, Haftung sowie Regelungen zur Nutzung anfallender Daten gefunden werden.

Empfehlungen

Im Spannungsfeld zwischen gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Herausforderungen einerseits, und den dafür benötigten Technologie- und Prozessinnovationen andererseits, schlagen wir vor, die Forschung im Bereich Eingebettete Systeme auf sechs Forschungsschwerpunkte zu fokussieren, die in den nachfolgenden Abschnitten beschrieben werden.

Für jedes der Forschungsfelder wird in Abschnitt 6.1 skizziert, welche Kompetenzen bzw. Fähigkeiten („Capabilities“) durch synergetische Verbindung von jeweils aufgeführten Technologie- bzw. Prozessinnovationen erreicht werden sollen, und wie diese zur Lösung der gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Herausforderungen beitragen.

Abschnitt 6.2 ordnet das in eine Roadmap ein, stellt also für jedes Forschungsfeld dar, in welchem Zeithorizont welches Leistungsmerkmal erreicht werden soll und gibt indikative Abschätzungen über die hierzu seitens der Industrie geplanten FuE-Aufwendungen. Weitere Empfehlungen zu Förderinstrumenten, zur Absicherung der Nachhaltigkeit der FuE-Ergebnisse sowie zu Standardisierungsaktivitäten werden in den Abschnitten 6.3 und 6.4 gegeben.



6.1 Prioritäre Strategielinien Die wesentlichen zukünftigen Herausforderungen im Bereich Embedded Systems können mit Hilfe von sechs Forschungsschwerpunkten (FSPs) bewältigt werden.

[1]

FSP Seamless Interaction: Überall genau die richtigen Informationen sicher zur richtigen Zeit zu erhalten, ist genauso relevant für die Überwachung von Patienten wie im Krisenmanagement, in intermodalen Logistikanwendungen, wie in Smart Shops, die quasi magisch Kundenwünsche maßgeschneidert erfüllen. Über bekannte IT-Lösungen hinaus sind dazu „Sprachbarrieren“ zwischen unterschiedlichsten technischen Systemen zu überwinden, Instrumente zur sicheren Authentifizierung solcher Systeme zu etablieren sowie schließlich „vordenkende“ selbsterklärende Interaktionsschnittstellen zu gestalten.

[2]

FSP Autonome Systeme: Wenn unter extremen Randbedingungen (Erschließung von Rohstoffen am Meeresboden, Krisen-/Katastrophenmanagement, im Weltall) kritische Funktionen weitestgehend ohne menschlichen Eingriff gesichert werden müssen, sind Autonome Systeme die Technologie der Wahl. Diese müssen sich selbst so anpassen können, dass sie in kaum vorhersehbaren Umgebungen und unter kaum genau spezifizierbaren Randbedingungen eine spezifizierte Leistung selbständig erbringen

[3]

FSP Verteilte Echtzeit-Situationserkennung und Lösungsfindung: Koordinierte Lagebewertungen und Lösungsstrategien sind unverzichtbar in so unterschiedlichen Handlungsfeldern wie Krisenmanagement, Patientenüberwachung, oder in der koordinierten Fahrzeugführung zur Reduktion der Umweltbelastung und Erhöhung der Verkehrssicherheit. Dies setzt voraus, dass zwischen den handelnden (semi-autonomen) Teilsystemen ein genügend genaues gemeinsames Lagebild unter Echtzeitbedingungen auf der Basis von integrierter heterogener intelligenter Sensorik und statischem Lagewissen etabliert werden kann, damit durch koordinierte Manöver in Echtzeit Konfliktlösungen realisiert werden können.

[4]

FSP Sichere Systeme: Herstellung und Aufrechterhaltung des Vertrauens in Embedded Systems sind unabdingbare Voraussetzung für die Akzeptanz von komplexen, vernetzten, eingebetteten Systemen, wie sie zur Lösung der gesellschaftlichen und ökonomischen Herausforderungen benötigt werden. Bisherige IT-Sicherheitskonzepte sind hier nützlich, aber nicht ausreichend, da sie oft auf den Aspekt Security fokussieren. Für Embedded Systems sind die Aspekte Safety sowie Auswirkungen von (mangelnder) Security auf Safety zentrale Themen.

[5]

FSP Architekturprinzipien: Umweltverträgliche Mobilität im Automobil durch Minimierung von Emissionen und Energieverbrauch („Green Mobility“) ist nur ein Beispiel für Anwendungen, in denen Lösungen aus verschiedenen Domänen und Branchen zu komplexen Systemen integriert werden müssen. Dazu sind standardisierte, beherrschbare, branchenunabhängige Architekturen zentraler Schlüssel zur Erreichung eines Wettbewerbsvorteils (Qualität, Kosten, Time-to-Market) und zur Erhaltung von Arbeitsplätzen.

[6]

FSP Virtual Engineering: Um die benötigten, auf Embedded Systems basierenden Anwendungen mit den geforderten Qualitäten realisieren zu können, sind verbesserte Entwicklungsprozesse, -methoden und -werkzeuge notwendig, durch die eine erhöhte Effizienz, die frühzeitige Absicherung von Konzepten, Produktivitätsgewinne in Bezug auf Qualität, Kosten, Zeit, Sicherheit und Zuverlässigkeit sowie die Beherrschung der Komplexität domänenübergreifender Systeme ermöglicht wird.

6.1.1 Seamless Interaction

Derzeit werden signifikante Fortschritte erzielt auf dem Weg hin zu einer allgegenwärtigen Fähigkeit, sich immer und überall informieren und kommunizieren zu können. Diese Fähigkeit ist teilweise in beeindruckender Form bereits auf dem Markt verfügbar. Als Beispiele seien hier Geräte wie das iPhone mit seinen diversen Applikationen oder ähnliche Produkte (u.a. Blackberry) genannt. Mit Hilfe der drahtlosen Kommunikationstechnik permanent angebunden an zentrale Server, zusammen mit der Georeferenzierung über ein globales Positionsbestimmungssystem (GPS, Galileo), werden umfassende Informationen über Ereignisse oder Gegenstände in der unmittelbaren Umgebung verfügbar gemacht.

Alternativ kann ein Objekt über eine eingebaute Kamera erfasst und mittels schneller Bildverarbeitung analysiert und identifiziert werden, um dann die zugeordneten Informationen und Kontexte nahezu zeitgleich einzuspielen oder dem Nutzer akustisch verfügbar zu machen. Alle diese Kontextinformationen basieren auf der permanenten Anbindung an zentrale Server sowie der Verfügbarkeit der gesuchten Informationen in diesem Server als Dienstleistung.

Seamless Interaction beschreibt und fordert eine weitergehende Fähigkeit: Der Nutzer kann über drahtlose Kommunikation mit lokalen Informationsanbietern, Dienstleistern oder Geräten aller Art interagieren, ohne auf einen zentralen Dienstleister zugreifen zu müssen. Damit wird die Datenallmacht der zentralen Informationsbroker unterlaufen und eine lokale Hoheit, mindestens als Ergänzung oder Alternative, wieder hergestellt. Ferner sind technische Defizite eines zentralen Dienstes behebbar, z.B. die Abschattung in Gebäuden, Fahrzeugen o.ä.. Als Vision ist eine nahtlose Interaktion über ein einziges Kommunikationsgerät möglich, welches sowohl für Unterhaltungszwecke, aber auch zur Diagnose, Steuerung und Information dienen soll.

Im Rahmen des Forschungsschwerpunktes sollen dazu insbesondere folgende Fähigkeiten entwickelt werden:

1. Seamless Data Acquisition

Echtzeitzugriff auf Informationen und zeitnahe Integration von Daten aus unterschiedlichen heterogenen Quellen, und aktive adaptive drahtlose Kommunikation unter Verwendung von vereinheitlichten Interaktionsprotokollen, offenen Interoperabilitätsstandards und energieeffizienter „ultra low-power“ Signalerzeugung und Verarbeitung.

2. Seamless User Interaction

Intuitive Mensch-Maschine-Schnittstellen, welche Nutzer unterschiedlichster Qualifikationsprofile mit selbsterklärenden situations- und rollenangepassten Interaktionsformen unterstützen.

3. Seamless Authentication

Sichere Authentifizierung der interagierenden Systeme sowohl innerhalb eines dynamisch evolvierenden einheitlichen Systems, insbesondere aber über proprietäre Systemgrenzen hinweg in heterogenen Umgebungen bei gleichzeitiger Sicherstellung der Unversehrtheit der persönlichen Daten und der Privatsphäre.



Solche Fähigkeiten sind insbesondere für Szenarien 1, 2 und 4 des Handlungsfeldes Alternde Gesellschaft und Gesundheit, für Szenarien 2 und 3 im Handlungsfeld Mobilität, Szenario 2 und 3 im Handlungsfeld Sicherheit, in Szenario 1 des Handlungsfeldes Wissensgesellschaft, und im Szenario Smart City des Handlungsfeldes Urbanisierung notwendig.

Hierfür sind Prozess- und Technologieinnovationen im Bereich der Sicherheit (zeitnahe autonome Authentifizierung in heterogenen eingebetteten Systemen), im modellbasierten nutzerzentrierten und automatisierten Systementwurf, basierend auf Requirements in vereinheitlichten Modellbeschreibungen, innovative Interaktionsschnittstellen (mit intuitiv erfassbaren multimodalen Metaphern zur Vermittlung mehrdimensionaler Entscheidungsräume), neue Sensortechnologien (z.B. Bio-Sensoren, Brain-Computer-Interaction), adaptive Interaktionsschnittstellen und Computing Devices (Höchstintegration von analogen und digitalen Schaltkreisen, kognitive, intelligente adaptive HF- und Opto-Kommunikationsschnittstellen) erforderlich.

6.1.2 Autonome Systeme

Systeme heißen autonom, wenn ihre Funktionalität vollständig oder teilweise darauf ausgerichtet ist, in kaum vorhersagbaren Umgebungen und unter kaum genau spezifizierbaren Bedingungen eine spezifizierte Leistung weitgehend ohne menschliche Intervention zu erbringen. Typische Beispiele für die Eigenschaften solcher Systeme sind Mechanismen zur Selbstadministration, Möglichkeiten zur Selbstdiagnose, in der Systeme aufgetretene Fehler und Mängel innerhalb oder außerhalb des Systems erkennen, und die Fähigkeit zur Selbstheilung durch Maßnahmen, die die Systemfunktionalität trotz Beeinträchtigungen noch weitgehend zu erbringen erlauben.

Charakteristische Anwendungen sind autonome Systeme, die weitgehend ohne explizite Nutzereingriffe über einen längeren Zeitraum vorgegebene Ziele verfolgen, eine spezifizierte Funktionalität erbringen und sich dabei an sich ändernde Rahmenbedingungen anpassen. Dies erfordert eine umfassende Modellierung der Einsatzumgebung und eine Festlegung der Reaktion der Systeme in spezifischen Kontexten. Dazu sind Techniken der Adaptivität und der Kontext-Awareness zu erforschen.

Zentrale Techniken zur Erbringung von Autonomie sind Kontextadaptivität und autonome Lernverfahren. Bei Kontextadaptivität werden die Rahmenbedingungen, in denen die Systeme ihre Leistung zu erbringen haben, durch so genannte Kontextmodelle erfasst, in denen Informationen über die Systemumgebung gespeichert werden. Zusätzlich werden Sensoren und weitere Informationsquellen eingesetzt, um den Kontext ständig zu aktualisieren. Im Idealfall reagieren dann die Systeme funktions- und nutzergerecht, ohne dass der Nutzer explizit eingreifen muss. Dies erfordert besondere Techniken des Entwurfs der Mensch-Maschine-Interaktion.

Besondere Bedeutung kommt der Vernetzung zu, wenn mehrere autonome Systeme in Kooperation autonom komplexe Funktionalität erbringen. Langfristige Ziele dabei sind stabil funktionierende Netzwerke autonomer Systeme, die sich flexibel an sich ändernde Rahmenbedingungen anpassen und Beeinträchtigungen durch Fehler über Adaptivität auspendeln. Dies führt auf Konzepte wie Schwarmintelligenz, bei der sich autonome Systeme adaptiv koordinieren und kooperieren und daher auf Fähigkeiten des Forschungsfeldes Verteilte Echtzeit-Situationserfassung und Lösungsfindung aufsetzen. Dies erfordert auch Lernkomponenten, die Systemverhalten generieren, das über die ursprünglich in der Programmierung explizit vorgesehenen Verhaltensmuster hinausgeht.





Im Rahmen des Forschungsfeldes Autonome Systemen sollen die folgenden Fähigkeiten etabliert werden

1. Adaptivität:

Die Fähigkeit eines Systems, sich im Betrieb (in gewissem Rahmen) eigenständig an veränderte Rahmenbedingungen anzupassen. Diese aus biologischen Systemen inspirierte Fähigkeit wird in verschiedensten Handlungsfeldern benötigt, wie z.B. im Bereich Sicherheit (ad-hoc-Vernetzung von Teilsystemen im Krisenfall) oder Urbanisierung (situative Vernetzung von Teilsystemen z.B. bei Großereignissen oder Einsätzen von Rettungsdiensten/Polizei).

Sie subsumiert die Fähigkeit zur **Selbst-Organisation**, also zur dynamischen situationsbedingten Rekonfiguration (einschließlich der Verwendung an den aktuellen Systemzustand angepasster Protokolle). Sie erfordert Technologieinnovation in den Bereichen Verteilte Regelungen (Steuerung von Teilaspekten des Gesamtverhaltens an verschiedenen Stellen), Kooperative Eingebettete Systeme (Steuerung des Verhaltens von zusammengesetzten Systemen), Referenzarchitekturen (Standards für das Abfragen von hinzukommenden Systemteilen, Klassifizierung von Verhaltensalternativen), Innovative Nutzerschnittstellen (Interaktionsmöglichkeiten für Nicht-Experten, falls menschlicher Eingriff nötig).

2. Selbst-Heilung:

Die (ebenfalls von biologischen Systemen inspirierte) Fähigkeit eines Systems, sich selbst zu „heilen“, d.h. Störungen oder Ausfall von Systemteilen zu erkennen und auch im Mangelfall noch (ggf. eingeschränkt) zu funktionieren. Sie baut auf der Fähigkeit zur **Selbstdiagnose**, also der automatischen Überwachung der Verfügbarkeit aller zur Aufrechterhaltung der eigenen Funktionsfähigkeit notwendigen Systemparameter auf. Diese Fähigkeiten werden in den verschiedensten Bereichen benötigt, wie etwa Urbanisierung/Smart City (fortgesetzter Betrieb bei schwer zu erreichbarer Infrastruktur), Mobilität (fortgesetzter Betrieb von Transportsystemen oder zumindest ungefährliches Beenden des Betriebs) sowie Alternde Gesellschaft und Gesundheit (fortgesetzter Betrieb oder sicheres Abschalten von medizinischem Gerät).

Dazu werden Technologieinnovationen in den Feldern Kognitive Eingebettete Systeme (Erkennen fehlerhafter Zustände, Erstellen von Handlungsoptionen), Verteilte Regelungen (Möglichkeit der Verlagerung von Steuerungsaufgaben an andere Stellen), sowie Referenzarchitekturen (Annotation von alternativen, möglichen Systemkonfigurationen) benötigt.

6.1.3 Verteilte Echtzeit-Situationserfassung und Lösungsfindung

In fast allen Handlungsfeldern bereiten Eingebettete Systeme Entscheidungen vor oder treffen diese autonom, um übergeordnete Dienste zu unterstützen. So werden im Szenario „flächendeckende gesundheitliche Betreuung“ Biodaten und Bewegungsdaten von Patienten erfasst und ausgewertet, um bei Bedarf Interventionen von Ärzten oder Pflegepersonal zu veranlassen. Die „Vision vom unfallfreien Fahren“ baut darauf, dass Fahrzeuge nicht nur aufgrund der eigenen Sensorik, sondern durch Austausch von Information mit anderen Verkehrsteilnehmern (Fußgänger, Radfahrer, Fahrzeuge) oder Verkehrsinfrastruktur (Verkehrsschilder, Ampeln) entweder assistierend oder im Notfall automatisch und gegebenenfalls sogar koordinierend geführt werden. „Crisis Management“ setzt voraus, dass dem Einsatzpersonal eine aktuelle Situationserfassung etwa auf der Basis von in Gebäuden integrierten Sensornetzwerken ergänzt um Personenbeobachtungen vorliegt, usw.

Gemeinsam ist diesen Szenarien, dass sie auf folgenden, in der Regel unter harten Echtzeitanforderungen zu realisierenden Fähigkeiten aufsetzen, die zu erreichen zentrale Herausforderungen dieses Forschungsschwerpunktes bilden:

1. Echtzeit-Lageerfassung und -Bewertung in dynamischen verteilten Systemen:

Wie können räumlich verteilte, unsichere Informationen so aggregiert werden, dass zwischen den beteiligten Systemen ein gemeinsames genügend genaues Bild der zu überwachenden Wirklichkeit erstellt wird, welches vorgegebenen bzw. durch rechtliche und normative Rahmenbedingungen geforderten Qualitätsmerkmalen genügt, um damit als Basis für Situationsbewertungen zu dienen?

Die Etablierung dieser Fähigkeit erfordert insbesondere Innovationen in den Bereichen Computing Devices der Zukunft, Ressourcen optimierende Technologien, Sicherheit eingebetteter Systeme, innovativer Interaktionsschnittstellen sowie kognitiver Eingebetteter Systeme.

2. Koordinierte Lösungsstrategien:

Wie können hierauf aufsetzend insbesondere durch koordinierte Handlungsweisen der Teilsysteme Lösungen zur Umsetzung der übergeordneten Zielsetzungen (etwa Sicherheit von Verkehrsteilnehmern) unter Berücksichtigung der aus der Dynamik und Teilautonomie resultierenden Planungsunsicherheit gefunden werden?

Dies erfordert insbesondere Innovationen im Bereich der kooperativen Eingebetteten Systeme und verteilter Regelungsstrategien, etwa zur Etablierung von koordiniertem Schwarmverhalten.

3. Embedded Services:

Wie können die unter 1. gewonnenen Informationen mit Web- oder Datenbank-basierten Applikationen unter Berücksichtigung normativer und regulativer Informationen angereichert und in übergeordnete Services zur Entscheidungsfindung bzw. -vorbereitung unter Berücksichtigung vorgegebener oder durch rechtliche und normative Rahmenbedingungen geforderter Qualitätsmerkmale integriert werden (Bsp. Integration mit Patientendaten)?

Dies erfordert insbesondere Innovationen im Bereich der Referenzarchitekturen sowie zur Sicherheit (im Sinne von Security) der Systeme.

Die Komplexität der hierfür benötigten „Systems-of-Systems“ kann nur beherrscht werden, wenn signifikante Prozessinnovationen in den Bereichen Requirements Management, Systemanalyse, Architektorentwurf- und Bewertung, sowie Life Cycle Management erzielt werden.

6.1.4 Sichere Systeme

Eingebettete Systeme sind häufig lokal und auch weiträumig vernetzt. Daher ist es erforderlich, dass **Security und Safety in offenen Systemen** garantiert werden kann. Dies betrifft einerseits Security – z.B. die sichere Authentifizierung, den Zugriffsschutz und die Integrität von Daten – als auch die Wirkung von Security-Lücken auf Safety. Durch Security-Probleme dürfen keine unangemessen hohen Restrisiken im Sinne von Gefährdungen entstehen. Diese Fähigkeit ist relevant in allen Bereichen, in denen sicherheitskritische Eingebettete Systeme Informationen nutzen, die aus anderen Informationsquellen über Netze bezogen werden.

Sie muss darüber hinaus erweitert werden in Bezug auf die **Integration und Segregation multikriterieller Anwendungen**. Anwendungen, die aus stark unterschiedlichen Bereichen stammen, z.B. sicherheitskritische Steuerungen einerseits und Informationssysteme andererseits, werden zunehmend miteinander verbunden. Dies erfordert sowohl eine aus Sicht der Anwendung nahtlose Integration unter Garantie von Eigenschaften, als auch eine hinreichende Segregation, um zu verhindern, dass sich unerwünschte Einflüsse über Teilsystemgrenzen hinweg ausbreiten können. Die Integration und Segregation multi-kriterieller Anwendungen ist wichtig für alle Anwendungsbereiche, in denen Teilsysteme zusammenwirken, die nach unterschiedlichen Kriterien für unterschiedliche Einsatzzwecke entwickelt wurden und daher erst oft im Nachhinein integriert werden. Ein typischer Anwendungsfall ist die Integration von Internetschnittstellen in Automobile.



Darauf aufbauend ist die Fähigkeit zur **modularen Zertifizierbarkeit von Security und Safety** erforderlich. Ziel ist die Erreichung der Kompositionalität der Eigenschaften Security und Safety jeweils für sich sowie in ihrer Wechselwirkung. Dabei bezieht sich die Komponierbarkeit auf unterschiedliche Modulumfangs (Bauteil, Baugruppe, Modul, System). Es müssen Sicherheitsgarantien auf übergeordneten Ebenen aufgrund der Sicherheitseigenschaften ihrer Komponenten hergeleitet werden können.

Dies bildet die Basis für die Fähigkeit zur **aktiven Herstellung von Safety und Security durch Rekonfiguration**. Zusätzlich zur Fähigkeit der modularen Zertifizierbarkeit erfordert dies einen Vollautomatismus sowie ein valides Selbstbild des eingebetteten System, die Fähigkeit zur Vorausbestimmung der Eigenschaften der rekonfigurierten Architektur und eine stabile Strategie zur Rekonfiguration.

Während die Fähigkeit, mit Hilfe von Rekonfiguration Sicherheit im gewünschten Bereich zu halten, Aktivitäten eines Eingebetteten Systems erfordert und daher weitgehend steuerbar ist, erfordern unkontrollierte Veränderungen zusätzliche Methoden. Die Sicherstellung von **Security und Safety in dynamisch veränderlichen Systemen** erfordert die Fähigkeit zur aktiven Herstellung von Safety- und Security durch Rekonfiguration allerdings auch in jenen Fällen, in denen auf Veränderungen von außen reagiert werden muss. Dies kann im Regelfall nicht durch das Eingebettete System beeinflusst werden und stellt daher eine zusätzliche Schwierigkeit dar.

Die im Forschungsschwerpunkt entwickelten Fähigkeiten sind relevant für die Handlungsfelder Alternde Gesellschaft und Gesundheit (alle Szenarien), Mobilität (Vision vom unfallfreien Fahren), Sicherheit (Safety in Transport, Automation, Medical, Security: Privacy of Data, Crisis Management) und Wissensgesellschaft (ferngestützte Diagnose).

Die genannten Fähigkeiten erfordern Technologieinnovationen in den Bereichen Referenzarchitekturen, Sicherheitsanalysen und Autonomie/Kooperation. Prozessinnovationen sind in den Bereichen Requirements Engineering, Architektur, Systemanalyse und systematische Wiederverwendung erforderlich.

6.1.5 Architekturprinzipien

Essentielle Fähigkeiten zukünftiger Architekturen für Eingebettete Systeme sind die Wiederverwendbarkeit in Teilen oder im Ganzen sowie die **Erweiterbarkeit**. Dies setzt voraus, dass eine solche Architektur sich aus einzelnen Bausteinen mit **standardisierten Schnittstellen** zusammensetzen lässt. Über die Standardisierung hinaus ist es zur Beherrschung der Komplexität erforderlich, dass sowohl funktionale wie auch nicht-funktionale Eigenschaften von Architekturen systematisch aus den Eigenschaften von Teilsystemen gewonnen werden können. Diese Fähigkeit wird im Englischen als **Composability** beziehungsweise **Predictability** bezeichnet. Dazu sollte das Verhalten dieser Blöcke abgeschlossen und exakt **beschreibbar** sein. Diese Beschreibung muss dabei auch nicht-funktionale Komponenten wie Kosten, Qualität und Wartbarkeit enthalten. Da verschiedene Varianten der Zielsysteme unter Umständen eine große Spanne von Funktionen beinhalten, ist zudem die Skalierbarkeit eine wichtige Fähigkeit, um je nach Anforderung und Randbedingung effizient eine jeweils optimal angepasste und dimensionierte Lösung zu entwickeln.

Eingebettete Systeme zeigen in zunehmendem Maße eine hohe **Heterogenität** sowohl auf Komponentenebene (z.B. Sensoren, Aktuatoren, Steuergeräte) als auch bezüglich der einbezogenen Bereiche (Automotive, Infotainment). Um derartige Systeme effizient entwickeln und „zusammenbauen“ zu können, werden branchenübergreifende **Referenzarchitekturen** und **Interoperabilitätsstandards** benötigt. Diese Fähigkeiten sind wiederum notwendige Bedingungen, um aus einzelnen Systemen wiederum übergeordnete Systeme (**Systems of Systems**) entwickeln, zusammensetzen oder idealerweise generieren zu können.

Die genannten Fähigkeiten im Bereich der Architektur sind insbesondere zur Bewältigung der Herausforderungen in den Bereichen Mobilität und Sicherheit von entscheidender Bedeutung. Beispielsweise müssen zukünftige Systeme für Unfallvermeidung sowohl in High-End-Fahrzeugen als auch in Volumenbaureihen verfügbar sein (Skalierbarkeit) und dabei zum Beispiel Informationen aus unterschiedlichen Datenquellen (Fahrzeugsensoren, Kameras, Verkehrsinfrastruktur) verarbeiten.

Im Bereich Sicherheit (sowohl im Sinne von Safety als auch im Sinne von Security) sind geeignete Architekturen eine notwendige Voraussetzung zur Erzielung der gewünschten Systemeigenschaften.

Die genannten Fähigkeiten erfordern die Entwicklung von entsprechenden Referenzarchitekturen. Für die Entwicklung sicherer, verteilter und kooperativer Eingebetteter Systeme sind sie wiederum eine notwendige Voraussetzung. Die wichtigsten Prozessinnovationen sind die Systematische Wiederverwendung, Architektorentwurf und -bewertung, das Life Cycle Management sowie Hardware-Virtualisierung.

6.1.6 Virtual Engineering

Die Abschnitte 3 und 4 der Roadmap haben dargelegt, dass alle Lebensbereiche in naher Zukunft von Embedded Systems durchdrungen werden. Damit werden diejenigen Bereiche, die mit der Erzeugung, dem Betrieb sowie mit der Diagnose und Wartung der vernetzten und interagierenden Embedded Systems befasst sind, von entscheidender Bedeutung. Insbesondere diese Bereiche werden nicht ohne eine umfangreiche Unterstützung durch „embedded intelligence“ auskommen.

Noch immer sind die wichtigsten Daten bei der Systementwicklung allgemeine Dokumente mit allen Problemen einer dokumenten-zentrierten Arbeitsweise, z.B. Arbeitsweise, Aktualität, Konsistenz der Dokumente, sowie Unzulänglichkeit der sprachlichen Ausdrucksmittel. Für die Beherrschung der rapide wachsenden Komplexität in der sowohl geographischen als auch organisatorisch verteilten Entwicklung von Embedded Systems stößt diese dokumenten-zentrierte Arbeitsweise zunehmend an ihre Grenzen. Eine durchgängige modellzentrierte Systemumgebung wird nötig sein, um die zukünftigen Herausforderungen bei der Entwicklung von dynamisch vernetzten Embedded Systems zu meistern.

Die Lösung der geschilderten Probleme liegt in einer virtuellen Entwicklungsmethodik für Embedded Systems mit vollständiger standardisierter Datenintegration. Hierdurch könnten gleichzeitig auch noch die Entwicklungszeit und -kosten deutlich reduziert und die Qualität und Zuverlässigkeit von Embedded Systems erhöht werden.

Um dieser Lösung näher zu kommen sind unter anderem die Entwicklung durchgängiger digitaler Werkzeugketten für die virtuelle Entwicklung und Erprobung von Embedded Systems notwendig. Sie basieren auf einer einheitlichen Modellierung oder zumindest der Interoperabilität der Modelle beim Multidomain Engineering. Im Automobilbau sind dies z.B. die Verbindung verschiedener Domänen (Fahrwerk, Bordnetz, Klima, etc.) in einer durchgängigen Werkzeugkette auf Basis eines Modellierungs- und Simulationskerns sowie die Entwicklung von Analyse-, Simulations- und Optimierungssystemen entlang der virtuellen Entwicklung, Erprobung und Inbetriebnahme, aber auch Instrumente zur Bewertung der Lebenszykluskosten.

Voraussetzung hierfür sind nicht nur systemtechnische Schnittstellen zwischen verschiedenen Domänen und Prozessschritten, sondern auch organisatorische Schnittstellen. Entlang der Produktentstehung müssen Großunternehmen, KMUs, kurz: alle Beteiligten der Wertschöpfungskette, in abgestimmten Vorgehensweisen organisatorisch, methodisch und technisch in der Lage sein, ihre eigenen Aufgaben optimal zu lösen, wie auch im Verbund miteinander effiziente Kooperationsformen zu verwirklichen.





Im Rahmen des Forschungsschwerpunktes sollen insbesondere die folgenden Kernkompetenzen entwickelt werden.

1. Virtuelle Konzeptfindung:

Methoden und Werkzeuge zur Erfassung funktionaler und nicht-funktionaler Anforderungen, welche sowohl den Ansprüchen leichter Kommunizierbarkeit, einer nutzergerechten effizienten Handhabung in der industriellen Praxis wie auch systematischer Sicherstellung von Konsistenz und Vollständigkeit genügen, etwa auf der Basis formalisierter visueller Anforderungssprachen und Domänenmodellierungssprachen.

2. Virtuelle Systemintegration:

Methoden und Werkzeuge für die modellbasierte virtuelle Produktintegration aus heterogenen Quellen, insbesondere mechatronischer Systeme einschließlich Metamodellierung und Fähigkeiten zur Ko-Simulationsbasierten Validierung.

3. Modellbasierte Analyse:

Methoden und Werkzeuge für die formale Analyse funktionaler und nicht-funktionaler Anforderungen einschließlich modellbasierter Test- und Verifikationsverfahren sowie zur Entscheidungsunterstützung bei Design- und Fertigungsalternativen.

4. Prozessautomatisierung:

Methoden und Werkzeuge zur Produktivitätssteigerung in modellbasierten Entwicklungsprozessen, insbesondere automatische Konfiguration und Synthesewerkzeuge, Methoden zur Maximierung der Wiederverwendung (Produktlinien-Entwurf, komponenten-basierte Entwurfstechniken), vor allem unter Berücksichtigung nicht-funktionaler Anforderungen. Dabei ist besonderes Gewicht auf die Plausibilisierung und Nachvollziehbarkeit von automatisierten Entwurfsschritten, wie sie durch einschlägige Standards erforderlich sind, zu legen.

5. Prozessintegration über die Zulieferketten:

Transparente Integration von Prozessketten über Unternehmensgrenzen, insbesondere auch das geographisch verteilte Arbeiten mit konsistenten Modellen, dies betrifft vor allem das Anforderungsmanagement, Konfigurations- und Änderungsmanagement unter Abstützung auf modellbasierte Entwurfsprozesse, unter besonderer Berücksichtigung der in den Innovationsfeldern Life-Cycle Management und Prozessorganisation dargelegten Forschungsfragen.

6. Reference Technology Plattform (RTP):

Methoden und Werkzeuge zur Sicherung der semantikgestützten Interoperabilität von heterogenen Entwurfswerkzeugen auf der Basis offener Integrationsstandards, welche insbesondere eine semantische Integration industriell genutzter Entwurfswerkzeuge für Entwurf und Entwicklung Eingebetteter Systeme erlaubt (siehe auch Abschnitt 6.4).

Diese Kernkompetenzen werden für alle Anwendungen benötigt, in denen Eingebettete Systeme in vernetzten Umgebungen miteinander interagieren. Dies ist vor allem der Fall in den Bereichen Urbanisierung, Umwelt und Energie sowie Mobilität und Gesundheit.

Die genannten Fähigkeiten erfordern Technologieinnovationen im Bereich modellbasierte Entwicklung z.B. von Referenzarchitekturen oder eine Reference Technology Plattform zur Entwicklung und Erprobung von Embedded Systems sowie in den Bereichen Autonomie/Kooperation und Kognition.

Prozessinnovationen sind hierfür vor allem in den Bereichen Requirements Engineering, Systematische Wiederverwendung, Lifecycle Management, Systemanalyse, modellbasierte Entwicklung und Prozessorganisation erforderlich.

6.2 Roadmap

Die folgende Grafik gibt für jeden der sechs Forschungsschwerpunkte eine zeitliche Einordnung der kurz- (bis 2015), mittel- (bis 2020) und langfristig (bis 2025) zu erreichenden Qualitäten sowohl der zu entwickelnden Embedded Systems (Eigenschaften) als auch der Prozesse und Methoden (Kernkompetenzen) wieder. Diese Abbildung definiert damit den Kern der Roadmap Embedded Systems.

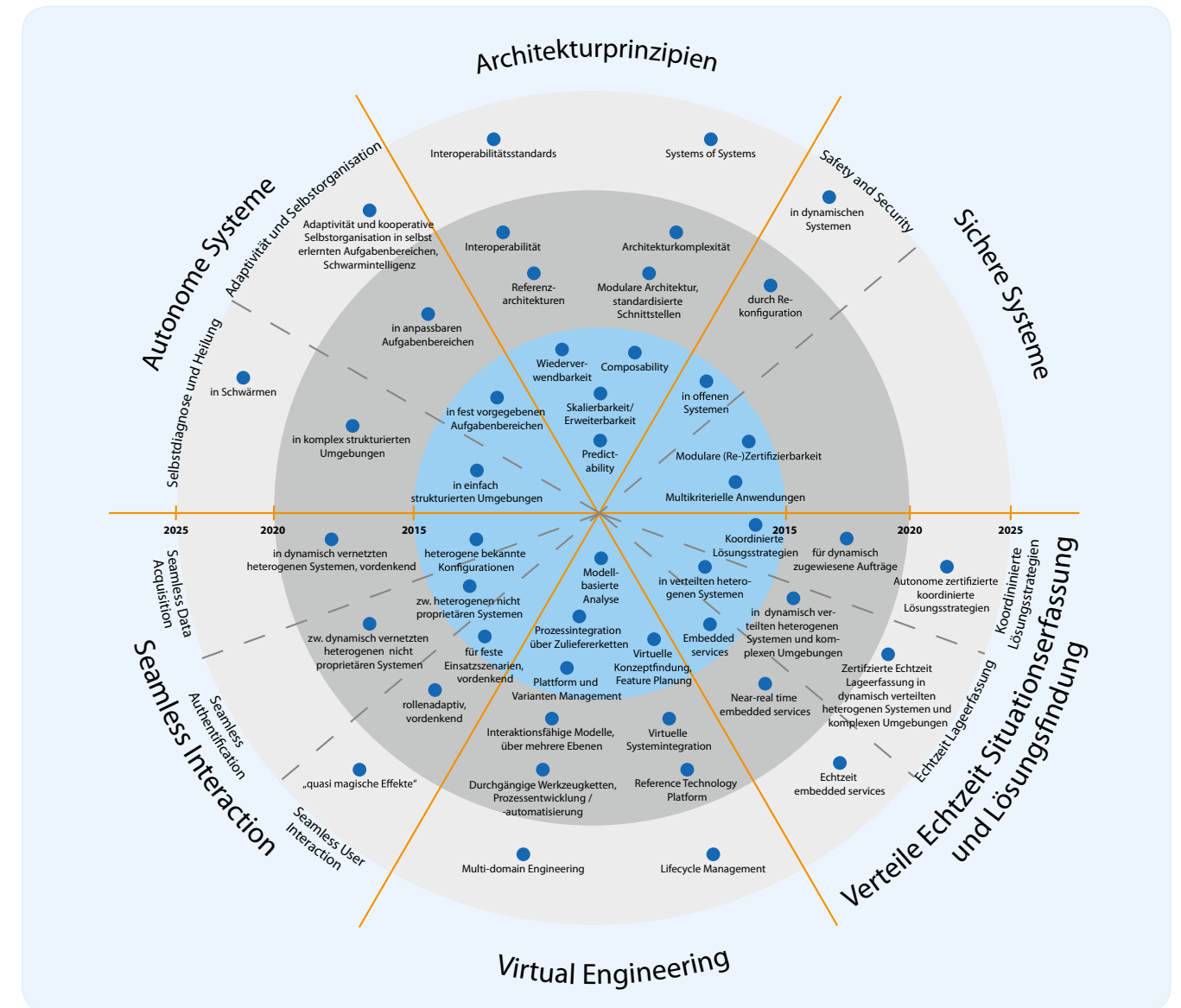


Abbildung 1: Roadmap Embedded Systems in Deutschland

Insgesamt wird die deutsche Industrie in den kommenden 10 Jahren Forschungsmittel von mindestens 2,5 Mrd. € in die Erreichung dieser Ziele investieren⁷⁹. Hiervon entfallen jeweils mehr als 500 Mio. € auf die Forschungsschwerpunkte Autonome System, Architekturprinzipien, Virtual Engineering und Verteilte Echtzeit-Situationserfassung und Lösungsfindung, und jeweils über 200 Mio. € auf die Forschungsschwerpunkte Seamless Interaction und Sichere Systeme.

⁷⁹ Eigene Berechnungen auf Grundlage einer Befragung der industriellen Mitglieder der Expertenworkshops.

6.3 Forschungsförderinstrumente

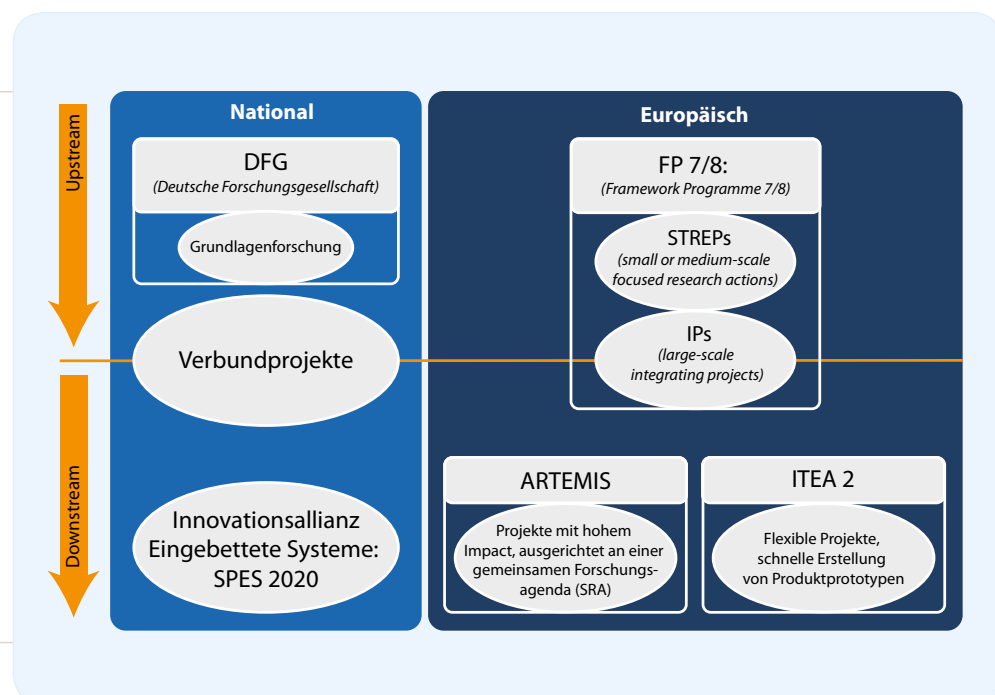


Abbildung 2: Wichtigste Forschungsförderinstrumente für den Bereich Embedded Systems

Die in Abbildung 2 dargestellten wichtigsten Forschungsförderinstrumente im Bereich Embedded Systems bilden eine ausgezeichnete Grundlage sowohl für Upstream⁸⁰- als auch für Downstream⁸¹-Forschungsprojekte auf nationaler und auf europäischer Ebene. Die unterschiedlichen Schwerpunktsetzungen der einzelnen Programme erlauben dabei eine exakte Positionierung der jeweiligen Forschungsaktivitäten in Abhängigkeit von den jeweils spezifischen Zielsetzungen. Kriterien für eine Platzierung in europäischen Programmen sind dabei oft das Vorantreiben von Standardisierung, ein Knowledge Sharing und die Beschleunigung von Innovationszyklen, während Projekte zur Steigerung der lokalen Wettbewerbsfähigkeit oft eher in den nationalen Programmen platziert werden..

Die Kombination der nationalen und europäischen Förderinstrumente ermöglicht damit die Schaffung von Spitzen-Innovationen in Deutschland und die Beeinflussung dafür maßgeblicher internationaler Standards. Voraussetzung hierzu ist jedoch eine entsprechende finanzielle Ausstattung all dieser Instrumente, von der Grundlagenforschung bis hin zur produktnahen Anwendungsforschung.

⁸⁰ Upstream: Aus Ideen werden Erkenntnisse.

⁸¹ Downstream: Aus Erkenntnissen werden prototypische Anwendungen.



6.4 Weitere Empfehlungen

Zur Stärkung der deutschen Führungsposition in der Beherrschung von Embedded Systems als zentraler Querschnittstechnologie stellen sich folgende Herausforderungen.

1. Innovationsblockierend, insbesondere in Bezug auf die zunehmende Konvergenz von Endgeräten, aber auch zur Lösung gesellschaftlicher Herausforderungen etwa in den Feldern Gesundheit, Mobilität, Smart City und Sicherheit wirkt sich das Fehlen von offenen, branchenübergreifenden Interoperabilitätsstandards aus. Nur durch Schaffung geeigneter regulatorischer Rahmen auf europäischer Ebene – in Abstimmung mit den nationalen Regelungen – können die branchenübergreifenden Innovationspotenziale der Strategielinien erschlossen werden. Solche Standards würden darüber hinaus den Markt der Anbieter von Werkzeugen und Lösungen zur Entwicklung eingebetteter Systeme, welche heute oft nur einzelne Branchen bedienen, durch signifikante Erweiterung des potentiell adressierbaren Marktes stärken. In diesem Kontext bietet sich an, entsprechende Initiativen europaweit unter dem Dach der Joint Undertaking ARTEMIS zu harmonisieren.
2. Zur Sicherung der Nachhaltigkeit der FuE-Ergebnisse wird der Aufbau weniger sogenannter Referenz-Technologie-Plattformen vorgeschlagen, die in FuE-Vorhaben geschaffene Technologie- und Prozessinnovationen von hoher branchenübergreifender Relevanz über die Laufzeit einzelner Vorhaben hinaus auf der Basis branchenübergreifender Interoperabilitätsstandards bündeln und für weiterführende FuE-Vorhaben bereitstellen.

Sie stellen darüber hinaus ein wertvolles Instrument dar, um einer Fragmentierung des Marktes von Anbietern von Lösungen und Entwurfswerkzeugen zur Entwicklung von Eingebetteten Systemen, sowie einer Monopolstellung einzelner Anbieter entgegenzuwirken. Auch hier bietet sich von Fall zu Fall an, entsprechende Aktivitäten mit Initiativen der Joint Undertaking ARTEMIS zu koordinieren.

3. Eine weitere Herausforderung stellt die Sicherung eines ausreichenden Angebotes qualifizierter Fachkräfte dar. Es gibt nur wenige Studiengänge, die die Bandbreite der für den Bereich Eingebettete Systeme notwendigen Wissensdomänen integrieren. Darüber hinaus ist der Bereich Systems-Engineering in der klassischen Ausbildung zu wenig verankert. Hier sind verstärkt koordinierte Anstrengungen zur Sicherstellung entsprechender Ausbildungsangebote auf allen Ausbildungsebenen einschließlich der beruflichen Weiterbildung erforderlich.
4. Die im Kontext der Erstellung der Roadmap identifizierten Potentiale zur Lösung gesellschaftlicher Herausforderungen sollten durch eine enge Zusammenarbeit zwischen Experten der Embedded Systems-Technologien und der verschiedenen Handlungsfelder (Gesundheit, Mobilität, Energie,...) zu einer auf diese Herausforderungen fokussierten, abgestimmten übergreifenden Strategie weiter verfeinert werden. Dabei sind ebenfalls Fragestellungen der Wirkungsforschung mit einzubeziehen.



Anhang

7.1
Mitglieder
des Steuerkreises

Dr. Reinhold Achatz / Klaus Beetz
Siemens AG
Otto-Hahn-Ring 6
81739 München

Prof. Dr. Dr. h.c. Manfred Broy
TU München
Boltzmannstraße 3
85743 Garching

Prof. Dr. Heinrich Dämbkes
EADS DE OPES
Wörthstraße 85
89077 Ulm

Prof. Dr. Werner Damm
OFFIS e.V.
Escherweg 2
26121 Oldenburg

Dr. Klaus Grimm
Daimler AG
HPC G025-BB
71059 Sindelfingen

Prof. Dr. Peter Liggesmeyer
Fraunhofer IESE
Fraunhofer Platz 1
67633 Kaiserslautern

7.2
Mitglieder
des Expertenkreises

Dr. Christian Allmann, Audi AG
Ottmar Bender, EADS Deutschland GmbH
Norbert Binzer, Astrium GmbH

Dr. Anselm Blocher, Deutsches Forschungszentrum
für Künstliche Intelligenz DFKI GmbH

Prof. Dr. Jens Braband, Siemens AG

Dr. Götz-Philip Brasche,
European Microsoft Innovation Center EMIC GmbH

Dr. Udo Bub, European Center for Information and
Communication Technologies EICT GmbH

Dr. Christian Buckl, Fortiss GmbH

Henning Butz, Airbus Deutschland GmbH

Volker Debus, Astrium GmbH

Knut Degen, BITKOM e.V.

Dr. Bernhard Diegner,
ZVEI - Zentralverband Elektrotechnik-
und Elektronikindustrie e.V.

Prof. Dr. Rolf Ernst, TU Braunschweig

Prof. Dr. Ursula Goltz, TU Braunschweig

Dr. Thorsten Graf, Volkswagen AG

Stephan Gurke,
ZVEI - Zentralverband Elektrotechnik-
und Elektronikindustrie e.V.

Adrian Hanussek, Robert Bosch GmbH

Dr. Yvo Häring, Fraunhofer Institut für
Kurzzeitdynamik

Dr. Oliver Heid, Siemens AG

Dr. Hans-Jürgen Herpel, Astrium GmbH

Prof. Dr. Gerhard Hirzinger,
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt DLR e.V.

Knut Hufeld, Infineon Technologies AG

Prof. Dr. Stefan Jähnichen, TU Berlin

Prof. Dr. Alois Knoll, TU München

Dr. Ralf Köppe, KUKA Roboter GmbH

Horst Kornemann, Continental Teves AG & Co. OHG

Prof. Dr. Stefan Kowalewski, RWTH Aachen

Dr. Alexander Kröner, Deutsches Forschungszentrum
für Künstliche Intelligenz DFKI GmbH

Dr. Vera Lauer, Daimler AG

Prof. Dr. Karsten Lemmer,
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt DLR e.V.

Prof. Dr. Jürgen Lehold, Volkswagen AG

Christopher Martin, Robert Bosch GmbH

Werner Mohr, Nokia Siemens Networks

Prof. Dr. Klaus Müller-Glaser, Universität Karlsruhe

Heinrich Munz, KUKA Roboter GmbH

Prof. Dr. Barbara Paech, Universität Heidelberg

Gerd Piel,
IBM Deutschland Research & Development GmbH

Herbert Rödig, Infineon Technologies AG

Dr. Gerd-Ulrich Spohr, Siemens AG

Prof. Dr. Klaus Thoma,
Fraunhofer Institut für Kurzzeitdynamik

Thomas Wahl,
IBM Deutschland Research & Development GmbH

7.3
Weitere Mitwirkende

Franziska Böde, SafeTRANS e.V.

Katja Bonhagen, SafeTRANS e.V.

Prof. Dr. Wolfgang Nebel, OFFIS e.V.

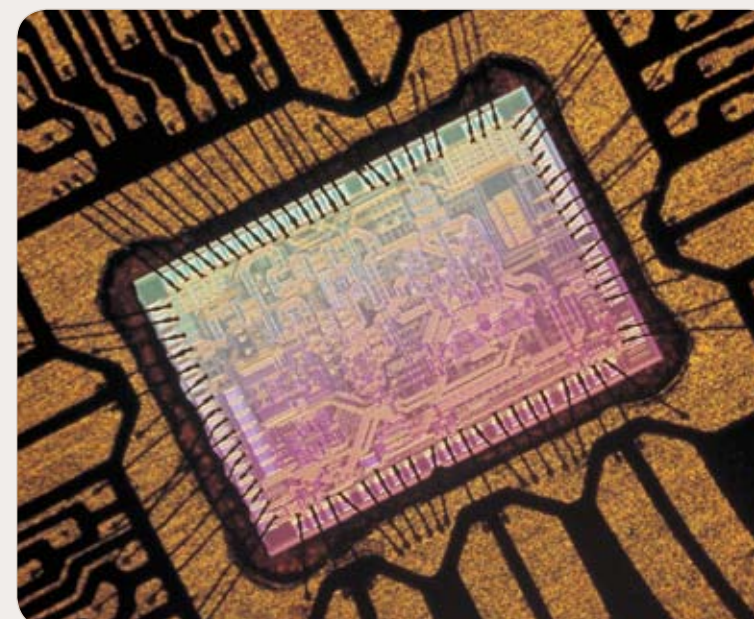
Jürgen Niehaus, SafeTRANS e.V.

Reiner Schönrock, Siemens AG

Dr. Heinrich Stuckenschneider,
Siemens AG

Dieter Westerkamp,
VDI Verein Deutscher Ingenieure e.V.

Prof. Dr. Ingo Wolff, VDE Verband der Elektrotechnik
Elektronik Informationstechnik e. V.



7.4
Quellen

[Airbus 2007]	Thierry Pardessus. EICOSE – Enabling Safe Transportation through Embedded Systems. Vortrag in der niedersächsischen Landesvertretung in Brüssel anlässlich der Veranstaltung „Safety in Transportation through Embedded Systems“ zur deutschen Ratspräsidentschaft, 21.06.2007	[Hightech-Strategie]	Bundesministerium für Bildung und Forschung. Die Hightech-Strategie für Deutschland. Berlin. 2006
[Alter&Gesellschaft]	Prof. Dr. Nehen, H. G.. Alter und Gesellschaft. Essen 2009	[IKT2020]	Bundesministerium für Bildung und Forschung. IKT 2020. Forschung für Innovationen. 2007
[ARTEMIS MASP]	ARTEMIS Multi Annual Strategic Plan and Research Agenda 2009	[ITEARoadmap3]	ITEA Roadmap for Software-Intensive Systems and Services, 3rd edition. ITEA Office Association. Eindhoven. 2009
[ARTEMIS RDA]	ARTEMIS Strategic Research Agenda. Reference Designs and Architectures. Priority and Analysis. 2006	[ITRS2008]	International Technology Roadmap Semiconductor. http://www.itrs.net (Zugriffsdatum: 10.08.2009)
[ARTEMIS SCM]	ARTEMIS Strategic Research Agenda. Seamless Connectivity and Middleware. Priority and Analysis. 2006	[JournalHypertonie]	Journal für Hypertonie 2003; 7 (4). Pittrow D et al.
[ARTEMIS SDMT]	ARTEMIS Strategic Research Agenda. System Design Methods and Tools. Priority and Analysis. 2006	[Mercer]	Jan Dannenberg and Christian Kleinhaus. The Coming Age of Collaboration in the Automotive Industry. Mercer Management Journal 17
[BerichtSachverständigenrates]	Sachverständigenrat zur Begutachtung der Entwicklung im Gesundheitswesen. Koordination und Integration – Gesundheitsversorgung in einer Gesellschaft des längeren Lebens – Sondergutachten 2009. Bonn. 2009	[SPECTARIS_Branchenbericht2009]	Branchenbericht 2009 – Hightech, Innovation und Wachstum – Die optische, medizinische und mechatronische Industrie in Deutschland. SPECTARIS. Berlin. 2009
[BITKOM 2008]	Studie zur Bedeutung des Sektors Embedded Systems für Deutschland. BITKOM. 2008	[SPES2020]	Projektantrag für SPES 2020
[BITKOM 2005]	Zukunft der digitalen Wirtschaft, BITKOM, 2005	[Statistisches BA]	Statistisches Bundesamt. Unfälle und Verunglückte im Straßenverkehr. http://www.destatis.de/jetspeed/portal/cms/Sites/destatis/Internet/DE/Content/Statistiken/Verkehr/Verkehrsunfaelle/Tabellen/Content75/UnfaelleVerunglueckte,templateid=renderPrint.psm, (Zugriffsdatum: 11.08.2009
[BAFVS]	Bundesamt für Verfassungsschutz/Arbeitsgemeinschaft für Sicherheit in der Wirtschaft (mündliche Berichte, 10/2009)	[Statistisches BA]	Statistisches Bundesamt. Bevölkerungsvorausberechnung. https://www.ec.destatis.de/csp/shop/sfg/bpm.html.cms.cBroker.cls?cmspath=struktur,n0000.csp&treeid=12400, (Zugriffsdatum: 11.08.2009
[BASE]	Berliner Altersstudie. Mayer, KU / Balthes PB (Hrsg). Berlin: Akademie; 1996.	[Stifterverband]	Stifterverband für die deutsche Wissenschaft. FuE Datenreport 2009
[BMW Bericht]	BMW. Bericht des Koordinators für die Deutsche Luft- und Raumfahrt, August 2009	[StraBeSEfM]	Glesner, Broy, Rumpe, Paech, Wetter, Winter, Jähnichen. Strategische Bedeutung des Software Engineering für die Medizin. Fassung vom 31.12.2006
[BVMed_AnnualReport08/09]	Annual Report 2008/2009. BVMed. Berlin. 2009	[StudyTrends]	Study of Worldwide Trends and R&D Programmes in Embedded Systems in View of Maximising the Impact of a Technology Platform in the Area. FAST GmbH. TU München. 2005
[CATRENE PartA]	Cluster for Application and Technology Research in Europe on Nanoelectronics (CATRENE). White Book Part A: Rationale and Organisation. MEDEA Office. Paris. 2007	TUM 2009]	Pressemitteilung der TU München. http://portal.mytum.de/pressestelle/pressemitteilungen/news_article.2009-04-22.5726756518 (Zugriffsdatum 22.10.2009
[CATRENE PartB]	Cluster for Application and Technology Research in Europe on Nanoelectronics (CATRENE). White Book Part B: Applications and Technologies. MEDEA Office. Paris. 2007	[VDE Trendreport]	VDE-Trendreports. Innovationen, Märkte, Nachwuchs, 2008
[Dt. Netzwerk Versorgungsforschung]	Ständige Kongresskommission des Deutschen Netzwerks für Versorgungsforschung, Memorandum II zur Versorgungsforschung in Deutschland: „Konzeptionelle, methodische und strukturelle Voraussetzungen der Versorgungsforschung“, 2005	[VDI 2009]	VDI. Ingenieurmarktsurvey 2008/09 – Fachkräftelücke, Demografie und Ingenieure 50Plus, Köln, April 2009
[Energietechnik]	Energietechnik im ZVEI: Präsentation zur Pressekonferenz Hannover Messe 2009, 21.04.2009, https://www.zvei.org/fileadmin/user_upload/Fachverbaende/Energietechnik/Energietechnik-PK_HM_21-4-2009-Final_Druck-Folien.pdf (Zugriffsdatum 10.08.2009	[VDI 2009b]	VDI. Automation 2020 – Bedeutung und Entwicklung der Automation bis zum Jahr 2020, Juni 2009
[ESRIF]	European Security Research & Innovation Forum. Final Report Part 1 (Draft). 2009, http://www.esrif.eu/documents/esrif_final_report_part_i.pdf (Zugriffsdatum 16.11.2009	[VDC 2008]	VDC Research, 2008 Embedded Software Market Intelligence Program, Track 3: Embedded Systems Market Statistics, Volume 1: Automotive/Transportation; Volume 3: Industrial Automation; and Volume 4: Medical Devices.
[ESWachstum]	Embedded Systems mit hervorragender Wachstumsperspektive. Schreier, Jürgen. 2008, http://www.maschinenmarkt.vogel.de/themenkanale/automatisierung/fertigungsautomatisierung/articles/118845/ (Zugriffsdatum: 10.08.2009	[VDMA 2009]	VDMA. Maschinenbau in Zahl und Bild 2009. Frankfurt am Main
[EUROP SRA]	European Robotics Technology Platform (EUROP). Robotics Vision to 2020 and beyond. The Strategic Research Agenda for Robotics in Europe. Brüssel. 2007	[VDMA 2008]	VDMA Tendenzbefragung. Bedeutung der IT und Automatisierungstechnik im Maschinenbau. 2008
[EUEconomicReport]	EU Economic Report. European Automobile Manufacturers' Association (ACEA). 2009	[VDMA2007]	VDMA. Maschinenbau in Zahl und Bild 2007. Frankfurt am Main
[EXPERTON]	Experton Group. 2008. Industry Report Handel	[Zukunft]	Münchener Kreis e.V., Deutsche Telekom AG, TNS Infratest GmbH, EICT GmbH. Zukunft und Zukunftsfähigkeit der deutschen Informations- und Kommunikationstechnologie: Abschlussbericht der ersten Projektphase, Dezember 2008
[FeldafingerKreis]	Feldafinger Kreis. Software-intensive eingebettete Systeme und ihre Vernetzung: Potentiale, Herausforderungen, Handlungsbedarf. 2009		



7.5
Glossar

Aktoren / Aktuatoren	Aktoren (wegen des englischen Begriffs „actuator“ oft auch Aktuatoren genannt) im hier verwendeten Sinne sind technische Komponenten als Bestandteil eines Eingebetteten Systems, mit denen dieses seine Umwelt beeinflussen kann. Beispiele sind elektronisch ansteuerbare Motoren, Ventile, etc.
Augmented Reality	Unter Augmented Reality (Erweiterter Realität) versteht man die computergestützte Erweiterung der Realitätswahrnehmung. Diese Information kann alle menschlichen Sinnesmodalitäten ansprechen, häufig wird jedoch unter erweiterter Realität nur die visuelle Darstellung von Informationen verstanden.
CATRENE	Cluster for Application and Technology Research in Europe on NanoElectronics (www.medeaplus.org), (aktuelles Programm unter EUREKA)
CT	Computer-Tomographie
Direct Digital Control	Eine Direct Digital Control, kurz DDC, ist eine einem Computer ähnliche elektronische Baugruppe, die für Steuerungs- und Regelungsaufgaben eingesetzt wird.
EIENOVA	Durch das BMBF im Rahmen der Hightech-Strategie geförderte Innovationsallianz Automobilelektronik (www.eenova.de)
Energy Harvesting	Als Energy Harvesting (wörtlich übersetzt Energie-Ernten) bezeichnet man die Erzeugung von Strom aus Quellen wie Umgebungstemperatur, Vibrationen oder Luftströmungen. (WIKIPEDIA)
IT	Information Technologies
ITEA 2	EUREKA-Cluster-Programm im Bereich Software-intensive Services und Systeme
IKT	Informations- und Kommunikationstechnologien
IKT 2020	Förderprogramm für IKT des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (www.bmbf.de)
Joint Technology Initiative ARTEMIS	Die JTI ARTEMIS ist ein europäisches Public-Private-Partnership Programm zur JTI Förderung der Forschung im Bereich Eingebetteter Systeme
Joint Undertaking ARTEMIS	Das JU ARTEMIS ist die exekutive Institution zur Koordinierung und Strukturierung der Interessen der europäischen Akteure in der JTI ARTEMIS
Micro-Payment	Der Begriff Micropayment, Kleinbetrag bzw. eingedeutscht Mikrozahlung bezeichnet ein Zahlungsverfahren geringer Summen, die z.B. beim Kauf eines Brötchens oder dem Erwerb eines digitalen Musikstückes oder Zeitungsartikels anfallen würden. Nach herrschender Meinung fallen hierunter Beträge zwischen 0,01 und 5,00 €.
MRI	Magnetic Resonance Imaging, ein bildgebendes Verfahren zur Darstellung der Gewebestrukturen im Körperinneren. (WIKIPEDIA)
Multimodal	Mehrere Modalitäten (z.B. visuelle Wahrnehmung, akustische Wahrnehmung, Tasten, Gestik,...) nutzend.
Open Source Software	Open Source (engl.) bzw. quelloffen ist eine Palette von Lizenzen für Software, deren Quelltext öffentlich zugänglich ist und durch die Lizenz Weiterentwicklungen fördert

RFID	Der englische Begriff Radio Frequency Identification (RFID) bedeutet im Deutschen Identifizierung mit Hilfe von elektromagnetischen Wellen. RFID ermöglicht die automatische Identifizierung und Lokalisierung von Gegenständen und Lebewesen und erleichtert damit erheblich die Erfassung und Speicherung von Daten. Strategische Forschungsagenda im Bereich Robotics
Robotics SRA	
Sensoren	Sensoren im hier verwendeten Sinne sind technische Komponenten als Bestandteil eines Eingebetteten Systems, mit denen dieses seine Umwelt detektieren kann. Beispiele sind Temperatur-, Beschleunigungs- und Lichtsensoren.
SPES 2020	Durch das BMBF im Rahmen der Hightech-Strategie geförderte Innovationsallianz Software Plattform Embedded Systems

