

# Perspektiven und Forschungsbedarfe eingebetteter Systeme in Deutschland

*Ergebnisse eines Strategieworkshops „Eingebettete Systeme“ des BMBF-Referats ‚Softwaresysteme und Wissenstechnologien‘ am 20.2.2008 im BMBF [1]*

**M. Broy**<sup>(1)</sup>, **S. Jähnichen**<sup>(2)</sup>, **H. Schlingloff**<sup>(3)</sup>

## Einleitung

Der Innovationsgehalt und die Wertschöpfung in technischen Systemen und Produkten sind heute ganz wesentlich durch die systematische Integration von Informationstechnik geprägt. Digitale Komponenten übernehmen immer weiterführende Steuer- und Regelungsaufgaben und schaffen zusätzliche innovative Funktionalität. Technische Systeme werden dadurch flexibler und leistungsfähiger. Diese Integration von Hardware und Software prägt den Begriff der eingebetteten Systeme, in denen eine informationsverarbeitende Komponente – verbunden mittels Sensorik und Aktuatorik – fester Bestandteil eines technischen Systems ist. Die differenzierte, oft adaptive und kontextbedingte, „intelligente“ Funktionalität wird dabei durch spezialisierte Hardware- und Softwarekomponenten (technisch durch so genannte Steuergeräten) erbracht. Dabei wird die Funktionslogik der Systeme durch die Software bestimmt.

Der Begriff des „eingebetteten Systems“ beschreibt sehr anschaulich die Einbettung von Informations- und Kommunikationstechnologie in technische Systeme und Produkte. Dabei entstehen über den Einsatz umfangreicher Software beständig neue Funktionalitäten – vielfach mit entscheidendem Mehrwert. Ohne Software wären beispielsweise die hohen Anforderungen an die Umweltverträglichkeit, Sicherheit und den Komfort heutiger Kraftfahrzeuge gar nicht mehr realisierbar. Ohne Software fliegt kein Flugzeug, funktioniert kein Mobiltelefon und kein Computertomograph, und ohne Software sind die komplexen Planungsaufgaben in einer modernen Produktions- und Automatisierungsumgebung nicht zu lösen. Die drastisch erweiterte Funktionalität insbesondere multifunktionaler (Beispiel Mobiltelefon und PDA) und flexibel einsetzbarer (Beispiel Robotik, Produktionsautomatisierung) Systeme und Produkte ist ohne leistungsfähige Software undenkbar. Die eingebetteten Systeme werden zunehmend untereinander und nach außen vernetzt. In der Zukunft werden im Sinne der Metapher „System of Systems“ vernetzte verteilte eingebettete Systeme entwickelt werden, in denen mobile und stationäre Endsysteme und Endgeräte (wie Fahrzeuge, digitale Assistenten oder Facilities) über drahtlose und drahtgebundene Kommunikationseinrichtungen zu Systemen mit Koordinations-, Überwachungs- und Steuerungsfunktionalität (Beispiel: Logistik, Verkehrssteuerung, Produktionssteuerung etc.) integriert werden.

In Deutschland werden eingebettete Systeme bislang hauptsächlich als Teil der Primärbranchen wie Automobil, Maschinenbau oder Medizintechnik angesehen; daher werden sie in der Öffentlichkeit nicht als eigenständiger Wachstumsmarkt wahrgenommen. Übereinstimmung herrscht jedoch in der Einschätzung, dass die eingebettete Software der entscheidende Innovationstreiber für die Produkte ist und oftmals den eigentlichen Mehrwert darstellt. In diesem Sinne bilden „eingebettete Systeme“ den eigentlichen Wachstumsmarkt der kommenden beiden Jahrzehnte. Die Studie „Die Zukunft der digitalen Wirtschaft“ von Roland Berger im Auftrag des Bitkom schätzt das weltweite Marktvolumen eingebetteter Software auf 138 Mrd. € und das jährliche Wachstum bis 2010 auf 9 Prozent. [2]

---

<sup>1</sup> Technische Universität München

<sup>2</sup> Technische Universität Berlin, Fraunhofer FIRST

<sup>3</sup> Humboldt-Universität zu Berlin, Fraunhofer FIRST

## Branchen und Herausforderungen

Wesentlicher Treiber der Innovation im Bereich eingebetteter Systeme ist das Zusammenwachsen und die Durchdringung der traditionellen Ingenieursdisziplinen und moderner Dienstleistungen mit Informatik. Aus der Einbettung in die verschiedenen Anwendungsdomänen resultieren aber auch die wesentlichen technischen und wirtschaftlichen Herausforderungen zur Gestaltung und Entwicklung innovativer Produkte. Die Wettbewerbsfähigkeit ist in diesem Bereich eindeutig durch die Effektivität der verfügbaren Konstruktionstechnik für komplexe eingebettete Software geprägt, die sowohl eine schnelle Marktreife als auch eine hohe Qualität der Systeme garantieren muss [3]. Dabei muss das Zusammenspiel konventioneller Technik mit Informationstechnik modelliert, analysiert, im Frühstadium simuliert und dann korrekt realisiert werden. Speziell in Deutschland sind an eingebettete Systeme die gleichen hohen Produktivitäts- und Qualitätsansprüche zu stellen wie an sonstige technische Systeme mit dem Gütesiegel „Made in Germany“. Die Beherrschung der damit verbundenen Herausforderungen ist ein entscheidender Vorteil für deutsche Produkte im europäischen und internationalen Wettbewerb und damit essentiell für den Erhalt und die Schaffung neuer Arbeitsplätze. Hinzu kommt, dass gerade die Exportstärke Deutschlands in hohem Maße in den Anwendungsdomänen des Werkzeugmaschinenbaus, der Produktionsautomatisierung, Medizintechnik, Gebäudeautomatisierung, Anlagenbau, Haushalts- und Unterhaltungstechnik, bei Telekommunikation, bei Verkehrssteuersystemen, bei Schienenfahrzeugen, Automobilen und Luftfahrzeugen liegt.

Eingebettete Systeme finden wir also in fast allen bedeutsamen Branchen unserer und der internationalen Industrie. Daher ist eine strategische Positionierung Deutschlands in diesem Gebiet dringend erforderlich. Im Sinne der Hightech-Strategie der Bundesregierung macht es aber wenig Sinn, den Einsatz innovativer Entwicklungstechnologien breit und unspezifisch zu fördern, sondern es ist zielführender, sich auf die Branchen zu konzentrieren, in denen Deutschland traditionell stark ist und in denen auch international ein Wettbewerbsvorteil zu erkennen ist. Folgende Branchen sind dabei für die deutsche Industrie besonders relevant (ohne dass damit bereits eine Vorauswahl präjudiziert werden soll):

- Verkehr: Automotive, Bahn, Avionik
- Automatisierungstechnik: Produktionsanlagen, Logistik, Maschinenbau/Robotik
- Medizintechnik, persönliche Gesundheitsfürsorge
- Konsumentenware: Unterhaltungselektronik, (Mobil-)Kommunikation, Infotainment

Da in allen diesen Schlüsselindustrien am Standort Deutschland traditionell eine breite technische Infrastruktur vorhanden ist, sind auch hervorragende Bedingungen gegeben, um in diesen Branchen die Informationsverarbeitung zu verstärken und damit langfristig wettbewerbsfähig zu gestalten. Und gerade hierin liegt auch das nationale Potential. Eine nationale Innovationsallianz ist daher thematisch an der Professionalisierung des domänenübergreifenden Produktionsprozesses zu orientieren, und zwar hauptsächlich an den klassischen Zielen des Software Engineering – Produktivität und Qualität.

Die Hauptherausforderungen liegen dabei im sicheren Zusammenwirken verschiedener Steuergeräte (beim Bereich Verkehr sowohl innerhalb eines Fahrzeugs als auch zwischen Fahrzeug und Umgebung), in der Interaktion zwischen physikalischer und virtueller Welt, und bei der Ausrichtung der Technologie auf die Bedürfnisse der Menschen.

## Nationale und europäische Aktivitäten

Auf Grund seiner strategischen Bedeutung wird das Thema „eingebettete Systeme“ bereits in verschiedenen aktuellen Programmen und Ausschreibungen untersucht.

**IKT 2020:** In Deutschland gibt es, aufbauend auf dem Programm „IT 2006“, seit 2007 auf dem beschriebenen Gebiet das BMBF-Förderprogramm „IKT 2020“ und die Hightech-Strategie der Bundesregierung. Die Forschungsthemen sind hier in Leitinnovationen und Technologieverbände zusammengefasst; der Bereich „eingebettete Systeme“ wird allerdings bislang nur in Einzelaktivitäten betrachtet. Der Umfang der Förderung wird trotz der deutlichen Verbesserung der Situation der grundlegenden Bedeutung der Thematik in Hinblick auf die strategische Wettbewerbsfähigkeit und dem Potential bislang noch nicht gerecht.

**ITEA 2 / ARTEMIS:** Deutschland ist beteiligt an diesen beiden europäischen Initiativen. ITEA 2 fokussiert dabei hauptsächlich auf software-intensive Systeme und Dienste, während ARTEMIS das ubiquitäre Rechnen, bei dem allgegenwärtige eingebettete Systeme miteinander vernetzt werden, im Vordergrund steht. Schwerpunkte im ersten Call (April 2008) sind im Bereich Methoden und Prozesse sicherheitsrelevanter eingebetteter Systeme und Berechnungsumgebungen für eingebettete Systeme.

**FP7:** Das siebte Rahmenprogramm der EU enthält im ICT-Arbeitsplan vor allem allgegenwärtige sichere Netze und Infrastrukturen, Mobilität, Nachhaltigkeit und ähnliche Themen, aber keine speziell auf eingebettete Systeme ausgerichtete Forschungsziele.

Wie weiter unten ausgeführt wird, sind wesentliche und für den Standort Deutschland und die oben genannten Branchen besonders wichtige Bereiche durch die europäischen Programme nicht hinreichend abgedeckt.

Trotz und gerade wegen der Forschungsaktivitäten auf europäischer Ebene ist daher in Anbetracht der Bedeutung dieses Themas für die Industrie und Deutschland eine spezifische Förderung angeraten – einerseits, um Lücken zu füllen, andererseits um auch im europäischen Rahmen Wettbewerbsposition Deutschlands zu schaffen, zu sichern und auszubauen.

## Forschungsbedarfe in Deutschland

Aus den bisherigen Ausführungen ist klar, dass gerade für Deutschland ein hoher Bedarf an Forschung im Bereich eingebetteter Systeme besteht. Die Notwendigkeiten lassen sich fast ausnahmslos zwei wesentlichen Erfordernissen zuordnen: der Steigerung der *Produktivität* und der Garantie von *Qualität* (insbesondere der Zuverlässigkeit und guten Nutzbarkeit der eingebetteten Software). Auf Grund der Tatsache, dass immer mehr Funktionalität durch Software erbracht wird, nimmt der erforderliche Umfang und die Komplexität der Programme und damit die Entwicklungskosten immer mehr zu. (Die Situation der eingebetteten Software ist ähnlich wie die der Arbeitsplatzsoftware zu Beginn der so genannten „Softwarekrise“). Für die genannten Branchen ist die zeitnahe Erstellung von korrekter Software essentiell. Innovative Ideen müssen schnell zu Produkten umsetzbar sein, und besonders bei sicherheitskritischen Applikationen und im Massenmarkt jederzeit zuverlässig funktionieren.

Zur Erhöhung der Produktivität in der Software-Entwicklung gibt es zwei hauptsächliche Vorgehensweisen. Zum Einen ist dies die Verbesserung der *Entwicklungsprozesse und -methoden*; bei eingebetteten Systemen werden in Deutschland derzeit modellbasierte Vorgehensweisen zur Entwicklung eingebetteter Systeme favorisiert. Zum Anderen versucht

man, die Präzision, die Eignung und den Abstraktionsgrad der *Beschreibungsmittel* zu erhöhen und zur Erhöhung der Modularität standardisierte Schnittstellen einzuführen; Stichworte sind hier serviceorientierte Architekturen (SOA) und offene Systemarchitekturen (OSAR). Ziel ist eine umfassende, integrierte, durchgängige Werkzeugunterstützung mit hohem Automatisierungsgrad auch für verteilte Entwicklung.

Forschungsbedarf gibt es bei Prozessen vor allem im Bereich der verteilten Systementwicklung (Zulieferer-Hersteller-Betreiber; Ingenieur-Informatiker-Anwender; Anwendungsprogrammierer-Systemarchitekt-Boarddesigner usw.), der Integration von Methoden und Werkzeugketten, sowie bei der domänenspezifischen Modellierung und Prozessdefinition (zum Beispiel für Zulassungszwecke). Ungelöste Probleme bei der Abstraktion gibt es in der formalisierten Anforderungserfassung, bei der umfassenden Architekturmodellierung als Basis für Arbeitsteilung, Systembeherrschung und passgenaue Integration, in der Unterstützung von Produktlinien und der Evolution Systemen, bei der Vernetzung und Verteilung von Funktionen („System von Systemen“) sowie im Bereich der Fehlertoleranz.

Bei der Qualitätssicherung denkt man heute meist zuerst an die analytischen Methoden, bei denen für ein Produkt in den verschiedenen Entwicklungsstadien die geforderten funktionalen und nichtfunktionalen Eigenschaften nachgewiesen werden. Gängige Verfahren für eingebettete Systeme sind der Test und die formale Verifikation, aber auch die Simulation und der damit verbundene experimentelle Nachweis von Eigenschaften. Forschung auf dem Gebiet der analytischen Qualitätssicherung befasst sich mit der Automatisierung von Testverfahren, z.B. durch Generierung von Testdaten und Testorakeln. Für eingebettete Systeme wird speziell das Problem der Verifikation des Realzeitverhaltens sowie der gemischt analog/digitalen Systeme untersucht. Weitere Forschungsthemen sind der Nachweis von Eigenschaften durch abstrakte Interpretation, durch Software-Modellprüfung und durch die formale Beweisführung mit interaktiven Theorembeweisern. Auf Grund der wissenschaftlichen Fortschritte bei diesen Themen könnten sich entsprechende Verfahren innerhalb des nächsten Jahrzehnts als übliche Standards der Qualitätssicherung eingebetteter Systeme etablieren.

Bisher weniger erforscht und praktisch umgesetzt sind die konstruktiven Verfahren zur Qualitätssicherung. Unter konstruktiven Verfahren versteht man Techniken, die die Qualitätssicherung in den Entwicklungsprozess integrieren. Eine einfache, aber durchaus gängige Praxis ist beispielsweise die Verwendung so genannter Programmierrichtlinien, mit denen die Verwendung unsicherer Programmkonstrukte eingeschränkt wird. Bei spezifikationsbasierten und anforderungsgetriebenen Entwicklungsverfahren erzeugt man die ausführbaren Artefakte korrekt durch Transformation und Generierung. Insbesondere für die modellbasierte Entwicklung mit automatischer Codegenerierung gibt es hier viel Potential und noch einen hohen Forschungsbedarf.

Eine weitergehende Interpretation des Begriffs „Qualität“ orientiert sich an den Bedürfnissen der Menschen: qualitativ hochwertige Produkte stellen die Anforderungen der Nutzer in den Mittelpunkt. Im Bereich eingebettete Systeme gibt es ein hohes Potential für neuartige intelligente Mensch/Maschine-Interaktion, die z.B. auf Gestik, Mimik, Sprache, ja sogar Stimmungslage der Benutzer reagieren. Geräte können anhand ihrer Lage, Beschleunigung oder Position die Intention der Anwender erkennen und ihr Verhalten entsprechend anpassen. Forschungen auf diesem Gebiet können dazu führen, vollkommen neue Funktionen, Produkte und letztlich Märkte zu erschaffen.

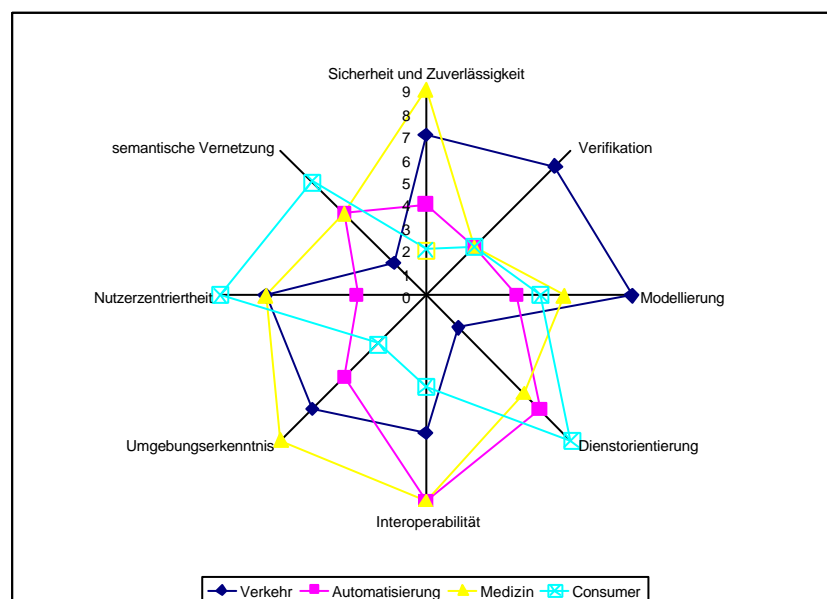
## Strategische Priorisierung und Roadmaps

Um einen optimalen Nutzen zu erzielen, muss der strategische Schwerpunkt einer nationalen Forschungsförderung im Bereich eingebetteter Systeme letztlich die Ebnung des Kooperations- und Transferprozesses mit den primären Industrien sein. Es geht darum, Mauern zwischen ingenieurorientierten Wirtschaftszweigen und Softwaretechnik abzubauen und eine interdisziplinäre, ganzheitliche Sichtweise zu etablieren. Dieser Prozess sollte sich prinzipiell an Produktivitäts- und Qualitätsgesichtspunkten orientieren, d.h. nicht die bloße Integration von Informationstechnik in Produkte ist förderungswürdig, sondern Methoden und Projekte, die zur Erhöhung von Produktivität und Qualität eingebetteter Systeme der entsprechenden Branche führen. Nur dadurch lässt sich eine nachhaltige Wirkung der eingesetzten Mittel erreichen

Unter diesem Gesichtspunkt lassen sich die im vorherigen Abschnitt genannten Forschungsbedarfe wie folgt strukturieren und einordnen:

- Systems Engineering: Verzahnung von Ingenieur- und Informatiktechnologien zu einem ganzheitlichen Entwurfsansatz
- Nutzerzentrierte Anforderungsdefinition, anforderungsgetriebene Entwicklung
- Domänenspezifische und domänenübergreifende Aspekte: Modellierungssprachen, Werkzeuge, Standards
- Durchgängige Prozessketten, integrierte Frameworks, Werkzeugwelten
- Produktlinien-Design, Software-Produktlinien, Software-Evolution, Komponenten-Wiederverwendung
- Funktionale Dekomposition, Kooperation von Steuergeräten, Vernetzung
- Zuverlässigkeit, Ausfallsicherheit, Fehlertoleranz
- Testautomatisierung, spezifikationsbasierter Test
- Software-Modellprüfung, abstrakte Interpretation, statische Analyse
- Transformationelle Entwicklung, automatische Codegenerierung

Natürlich finden sich in jeder Branche auch spezifische Affinitäten zu Technologien, die somit auch je nach Branche unterschiedlich priorisiert werden müssen. Das folgende Schaubild gibt einen Eindruck von der Priorisierung unterschiedlicher Technologien in ausgewählten Branchen.



Eine nationale Innovationsallianz „eingebettete Systeme“ kann sicherlich nicht alle Branchen und Technologien gleichermaßen berücksichtigen (siehe oben). Hier gilt es, geeignete Industriezweige (Innovatoren) für die Erarbeitung und Erprobung neuer Verfahren auszuwählen, damit die Resultate auf weitere Industriezweige („fast follower“) übertragbar sind. Betrachtet man die wirtschaftliche Relevanz der in Deutschland vertretenen Industrien, so spielt in der Verkehrsbranche die Automobilindustrie zwar eine überragende Rolle, es ist jedoch sicher angebracht, den Transferprozess in mehreren der oben genannten Industrien gleichzeitig anzustoßen. In der Automatisierungstechnik ist Deutschland in etlichen Branchen führend; hier sind die Bereiche Robotik und Logistik besonders zukunftsrelevant. Bei der Medizintechnik steht sicherlich der persönliche Gesundheitsbereich im Vordergrund, während in den Consumer-Branchen Hersteller von personalisierbaren, adaptiven Komponenten (z.B. SmartCard- und RFID-Anwendungen, in der Gebäudetechnik, in Hausgeräten, in der Bekleidung usw.) eine zukunftssträchtige Rolle spielen.

Zentrales Thema für solch eine Innovationsallianz könnte in allen Branchen „Nachhaltigkeit“ mit den Unterthemen „Effizienz“ und „Sicherheit“ sein. Diese Themen sollten für die einzelnen Branchen in griffigen Anwendungsvisionen gebündelt werden und somit einfach kommunizierbar sein. Beispiele sind für den Automobilbereich „unfall-, stau- und emissionsfrei fahren“, für den Maschinenbau „früher Produzieren durch virtuelle Integration“ oder „flexible Produktionssteuerung“, für den Medizinbereich „fünf Jahre länger zu Hause leben“, und andere.

### **Roadmap: Architekturen**

Die Roadmaps für die Förderung der beiden grundlegenden Arbeitsbereiche Produktivität und Qualität eingebetteter Software innerhalb der kommenden zehn Jahre richten sich sehr wesentlich nach der absehbaren Entwicklung der verfügbaren Architekturen (Plattformen nebst Sensorik/Aktuatorik), die wiederum der steigenden Systemkomplexität folgen.. Bereits heute werden komponentenorientierte Architekturen eingebetteter Systeme verwendet, dieser Trend wird sich auch in den nächsten Jahren fortsetzen. Durch Standardisierung gelangt man innerhalb der nächsten Jahre zu Referenzarchitekturen, die für eine bestimmte Domäne oder einen bestimmten Typ von Steuergeräten vorherrschend sind (z.B. intelligente Sensorik, fehlertolerante Middleware etc.). Mittelfristig wird es (besonders bei der Vernetzung mehrere Steuergeräte) notwendig sein, von einer komponentenorientierten zu einer funktions- oder dienstorientierten Sicht überzugehen, wobei ein Dienst auf beliebige Steuergeräte verteilt sein kann. Die Organisation von Produkt-Architekturen gemäß kohärenter Produktlinien-Architekturen ist bereits jetzt für einige Industrien absolut erforderlich und wird sich mittel- bis langfristig auch breit durchsetzen. Der nächste Schritt könnte es sein, innerhalb von Produktlinien die Variabilität zu erhöhen, und die Architektur adaptierbar zu gestalten (z.B. durch Architekturbeschreibungssprachen und flexible HW/SW-Partitionierung mit programmierbarer Hardware). Langfristig wird die Architektur von der Semantik getrieben werden, d.h. aus den Anforderungen werden die Architekturen nebst Partitionierung und die weiteren Artefakte der Systeme (automatisch) abgeleitet.

<b>Roadmap: Architektur</b>	<i>kurzfristig</i>	<i>2 Jahre</i>	<i>mittelfristig</i>	<i>5 Jahre</i>	<i>langfristig</i>	<i>10 Jahre</i>
Komponentenarchitektur						
Referenzarchitekturen						
Dienstorientierung						
Produktlinien						
adaptierbare Architekturen						
semantische Architektur						

### **Roadmap: Produktivität**

Zur softwaretechnischen Realisierung der durch die jeweiligen Architekturen bedingten Herausforderungen existieren heute überwiegend einzelne Spezialwerkzeuge (Modellierungstools, Code- und Layoutgeneratoren, Checker). Ein deutlicher Trend zur Steigerung der Produktivität ist jedoch die Integration in Entwicklungsumgebungen (z.B. Eclipse). Mittelfristig wird hier eine Durchgängigkeit der gesamten Entwicklungsprozesse benötigt. Aus verschiedenen Gründen sind statt universeller Entwurfsverfahren (z.B. UML) in einzelnen Industrien domänenspezifische Varianten (Profile) zu etablieren. Langfristig werden heterogene Werkzeugwelten benötigt, bei denen für jede Aufgabe die jeweils optimalen Konstruktionsmöglichkeiten (Transformatoren) zur Verfügung stehen.

<b>Roadmap: Produktivität</b>	<i>kurzfristig</i>	<i>2 Jahre</i>	<i>mittelfristig</i>	<i>5 Jahre</i>	<i>langfristig</i>	<i>10 Jahre</i>
Spezialwerkzeuge						
Werkzeugintegration						
Durchgängigkeit						
Domänenspezifika						
Werkzeugwelten						

Folgende Themen sind dabei mittel- und langfristig von besonderer Bedeutung:

- Komplexitätsbeherrschung bei organisatorischer Vernetzung und Arbeitsteilung
- Automatisierung durch durchgängige Werkzeug- und Prozessketten
- Systematische Wiederverwendung, Unterstützung von Produktlinien
- Domänenspezifische Sprachen und Entwurfsparadigmen

### **Roadmap: Qualität:**

Im Bereich der Qualität ist nach wie vor die wichtigste Methode der systematische Test; ein Ziel muss es sein, die Testautomatisierung (Auswahl, Durchführung und Auswertung von Tests) weiter voranzutreiben. Mittelfristiges ist es anzustreben, dass Tests vollkommen automatisch aus Spezifikationen abgeleitet und ausgeführt werden. Wichtige Verfahren zur funktionalen Validierung sind derzeit für Software die abstrakte Interpretation und für Hardware die Modellprüfung; hier ist kurz- bis mittelfristig eine Verbindung und Weiterentwicklung der Methoden notwendig. Die Methoden zur formalen Verifikation sind derzeit nur beschränkt praktisch einsetzbar und müssen auf den Bereich eingebetteter Systeme zugeschnitten werden. Mittelfristiges Ziel ist dabei eine effektive und effiziente Validierung hybrider Systeme, d.h. die Interaktion von Hard- und Software sowie die Interaktion des eingebetteten Systems mit einer offenen Umgebung. Langfristiger Forschungsbedarf besteht in konstruktiven, transformationellen Methoden zur sicheren Entwicklung eingebetteter Systeme aus Anforderungen, Modelltransformation, und Zulassungsproblematik. Die Frage, wie die Technologie optimal auf den Menschen ausgerichtet werden kann, ist von aktueller und gleichbleibender Bedeutung für den gesamten Bereich der eingebetteten Systeme.

<b>Roadmap: Qualität</b>	<i>kurzfristig</i>	<i>2 Jahre</i>	<i>mittelfristig</i>	<i>5 Jahre</i>	<i>langfristig</i>	<i>10 Jahre</i>
automatisierter Test						
spezifikationsbasierter Test						
funktionale Validierung						
hybride Validierung						
Transformation						
menschzentrierte Interaktion						

Folgende Themen sind im Bereich Qualität besonders zukunftsorientiert:

- Proaktives, konstruktives Qualitätsmanagement
- Komplexitätsbeherrschung bei technischer Vernetzung
- Abstrakte Beschreibung von Systemverhalten und Interaktion
- Validierung, Verifikation und Zertifizierung

## Partner und Themen

...

## Zusammenfassung

„Eingebettete Systeme“ ist die treibende Kraft für innovative Technologien und Märkte des 21. Jahrhunderts. Damit Deutschland seine Spitzenposition in klassischen Industrien behaupten kann, ist eine strategische Positionierung in diesem Bereich dringend erforderlich. Für eine nachhaltige Wirkung der Maßnahmen ist nicht die Förderung einzelner Produkte, Produktgruppen oder Branchen wichtig, sondern die Förderung von Methoden und Prozessen zur effizienten Konstruktion sicherer Software und Systeme. Zur Beherrschung der zunehmenden Komplexität und zur menschengerechten Technikgestaltung ist dabei eine interdisziplinäre Zusammenarbeit von Ingenieuren und Designern mit Informatikern unabdingbar. Schwerpunkte einer deutschen Innovationsallianz könnten dabei die beiden Themengebiete „Produktivität“ und „Qualität“ beim Entwurf eingebetteter Systeme sein.

## Literatur

- [1] R. Jansen, W. Damm, K. Grimm, B. Schätz, M. Weber, S. Jähnichen, U. Grote: Beiträge im Strategieworkshop „Eingebettete Systeme“ des BMBF-Referats ‚Softwaresysteme und Wissenstechnologien‘ am 20.2.2008 im BMBF, 53175 Bonn, Heinemannstr. 2
- [2] Studie "Die Zukunft der Digitalen Wirtschaft" von Roland Berger im Auftrag des BITKOM, zitiert nach Markt&Technik 12/2008 vom 20.3.2008: „BITKOM baut Aktivitäten zu Embedded Software aus“; <http://www.pressebox.de/pressemeldungen/bitkom-bundesverband-informationswirtschaft-telekommunikation-und-neue-medien-ev/boxid-156163.html>
- [3] Fraunhofer-IuK-Verbund: Pressegespräch über Software-Trends für Eingebettete Systeme auf der „Embedded World 2008“, 26.2.2008, Nürnberg, [http://www.iuk.fraunhofer.de/index2.html?Dok\\_ID=63&Sp=1&MID=1562&PHPSESSID=efb290bc07](http://www.iuk.fraunhofer.de/index2.html?Dok_ID=63&Sp=1&MID=1562&PHPSESSID=efb290bc07)
- [4] M. Broy, M. Jarke, M. Nagl, D. Rombach: Dagstuhl-Manifest zur strategischen Bedeutung des Software Engineering in Deutschland, [http://www.sse-tubs.de/publications/Dagstuhl\\_Manifest\\_SE.pdf](http://www.sse-tubs.de/publications/Dagstuhl_Manifest_SE.pdf)
- [5] S. Glesner, S. Jähnichen, B. Paech, B. Rumpe, T. Wetter, A. Winter: Strategische Bedeutung des Software Engineering für die Medizin. In: Wolf-Gideon Bleek, Jörg Raasch, Heinz Züllighoven (Hrsg.), Software Engineering 2007 – Fachtagung des GI-Fachbereichs Softwaretechnik, 27. - 30.03.2007, Hamburg, Springer Lecture Notes in Informatics Vol. 105, pp. 25-28
- [5] H. Schlingloff, Modellbasiertes Testen fordert einen differenzierten Blick, Computer Zeitung vom 29. Oktober 2007, [http://computerzeitung.de/loader?path=/articles/2007044/31264777\\_ha\\_CZ.html&art=/articles/2007044/31264777\\_ha\\_CZ.html&thes=&pid=ee54f3c7-0de1-40f5-bb23-2cfd022aee5](http://computerzeitung.de/loader?path=/articles/2007044/31264777_ha_CZ.html&art=/articles/2007044/31264777_ha_CZ.html&thes=&pid=ee54f3c7-0de1-40f5-bb23-2cfd022aee5)