



acatech DISKUTIERT

# > CYBER-PHYSICAL SYSTEMS

INNOVATION DURCH SOFTWARE-  
INTENSIVE EINGEBETTETE SYSTEME

MANFRED BROY (Hrsg.)



Springer



acatech

DEUTSCHE AKADEMIE DER  
TECHNIKWISSENSCHAFTEN

acatech DISKUTIERT

## > CYBER-PHYSICAL SYSTEMS

INNOVATION DURCH SOFTWARE-  
INTENSIVE EINGEBETTETE SYSTEME

MANFRED BROY (Hrsg.)

Prof. Dr. Dr. h. c. Manfred Broy  
Technische Universität München  
Institut für Informatik  
85748 Garching bei München

acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften, 2010

Geschäftsstelle  
Residenz München  
Hofgartenstraße 2  
80539 München

acatech Hauptstadtbüro  
E-Werk  
Mauerstraße 79  
10117 Berlin

T +49(0)89/5203090  
F +49(0)89/5203099

T +49(0)30/206309610  
F +49(0)30/206309611

E-Mail: [info@acatech.de](mailto:info@acatech.de)  
Internet: [www.acatech.de](http://www.acatech.de)

ISSN 1861-9924/ISBN 978-3-642-14498-1/e-ISBN 978-3-642-14901-6

DOI 10.1007/978-3-642-14901-6

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie;  
detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2010

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes. Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten waren und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Redaktion: Dr. Ulrich Glotzbach, Samia Salem  
Koordination: Prof. Dr. Manfred Broy, Dr. Ulrich Glotzbach  
Layout-Konzeption: acatech  
Konvertierung und Satz: Fraunhofer-Institut für Intelligente Analyse- und Informationssysteme IAIS,  
Sankt Augustin  
Einbandgestaltung: WMX Design GmbH, Heidelberg

Gedruckt auf säurefreiem Papier

[springer.com](http://springer.com)

acatech DISKUTIERT

# > CYBER-PHYSICAL SYSTEMS

INNOVATION DURCH SOFTWARE-  
INTENSIVE EINGEBETTETE SYSTEME

MANFRED BROY (Hrsg.)

# INHALT

|  |     |
|--|-----|
| > GRUSSWORT<br>Georg Schütte   | 7   |
| > EINLEITUNG<br>Manfred Broy   | 13  |
| > CYBER-PHYSICAL SYSTEMS – WISSENSCHAFTLICHE<br>HERAUSFORDERUNGEN BEI DER ENTWICKLUNG<br>Manfred Broy                        | 17  |
| > INNOVATION IM MITTELSTAND AM BEISPIEL DER SENKUNG VON<br>MOBILITÄTSKOSTEN DURCH „SCHWARMINTELLIGENZ“<br>Hieronymus Fischer | 33  |
| > DIE WIRTSCHAFTLICHE BEDEUTUNG VON CYBER-PHYSICAL SYSTEMS<br>AUS DER SICHT EINES GLOBAL PLAYERS<br>Klaus Beetz              | 59  |
| > NATIONALE ROADMAP EMBEDDED SYSTEMS<br>Werner Damm et al.   | 67  |
| > AUTORENVERZEICHNIS   | 137 |

## > GRUSSWORT

### Keynote-Rede des Staatssekretärs im Bundesministerium für Bildung und Forschung anlässlich des acatech-Symposiums Cyber-Physical Systems am 02.02.2010 in München

GEORG SCHÜTTE

Sehr geehrter Herr Akademiepräsident Kagermann,  
Sehr geehrte Mitwirkende,  
Sehr geehrte Damen und Herren,

wenn man sich die Bedeutung eines Rohstoffes oder einer technischen Schlüsselkomponente vor Augen führen will, kann es hilfreich sein, sich die Welt ohne diesen speziellen Baustein vorzustellen.

Auf meinem Weg zu dieser Veranstaltung heute Morgen habe ich versucht, die Folgen eines solchen Gedankenexperiments am Beispiel von Embedded Systems auszumalen und mir eine Welt ohne Embedded Systems vorzustellen.

Heutige Passagierflugzeuge sind große Netzwerke aus Bordcomputern und den Embedded Systems in vielen einzelnen Aggregaten. Ohne diese Embedded Systems ließen sich nicht einmal die Turbinen starten. Bei der Deutschen Bahn hätte ich auf den ICE verzichten müssen, der nicht fährt ohne Bordrechner und die eingebetteten Kontrollsysteme - etwa an den Bremsen. Als letzte Möglichkeit wäre für die Fahrt nur ein Auto infrage gekommen ohne Airbag, ohne ABS und ohne die anderen elektronischen Standardbausteine. Ich hätte daher wahrscheinlich auf einen Oldtimer zurückgreifen müssen.

Das Ergebnis dieses Gedankenexperiments ist somit eindeutig: Wir haben uns daran gewöhnt, dass die in unseren Alltagsgeräten verborgenen Embedded Systems diese Produkte sicher, sparsam und enorm leistungsfähig machen. Ohne Embedded Systems würde nur noch ein kleiner Teil der Techniksysteme in unserem Alltag funktionieren, ohne Embedded Systems wäre ich jetzt nicht hier bei Ihnen.

#### I.

Embedded Systems sind die intelligenten Steuerzentralen in vielen der heutigen technischen Produkte und Anlagen. Wie die Beispiele soeben zeigten, sind wir mit unseren Mobilitätsvorstellungen ganz wesentlich auf Embedded Systems angewiesen. Genauso wichtig sind sie für unsere Gesundheit, weil Medizinische Geräte – vom Herzschrittmacher über ein Endoskop bis zum Computer-Tomographen – nicht zu konstruieren und zu betreiben wären ohne die zahlreichen darin eingebauten Embedded Systems. Die Mini-

aturisierung erlaubt es, Telemonitoring-Funktionen in die Lebensumwelt zu integrieren, um ältere oder gehandicapte Mitmenschen bei einem selbstbestimmten Leben in ihrer gewohnten Umgebung zu unterstützen. Energiesysteme und Produkte mit intelligenter Steuer- und Regelungstechnik auf Basis von Embedded Systems schließlich sind der Schlüssel zu einer wesentlich effizienteren Energienutzung, als eine Antwort auf den Klimawandel.

Diese Rolle von Embedded Systems lässt sich auch in wirtschaftlichen Daten ausdrücken. In Deutschland erzielen Embedded Systems zurzeit einen jährlichen Umsatz von 17 Mrd. Euro, der bis 2020 auf geschätzt über 40 Mrd. Euro anwachsen wird. Allein die Anwenderbranchen in Deutschland verarbeiten derzeit Embedded Systems im Wert von rund 4 Mrd. Euro pro Jahr. Ihre eigene Wertschöpfung wird auf etwa 15 Mrd. Euro geschätzt. Der deutsche Markt für Embedded Systems ist der drittgrößte hinter den USA und Japan.

Die Bedeutung für den Arbeitsmarkt ist dementsprechend hoch: Bei den Anbietern von Embedded Systems in Deutschland sind ca. 40.000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter beschäftigt, vorrangig Elektrotechniker und Technische Informatiker. Dazu kommen noch einmal über 250.000 Beschäftigte in Anwenderbranchen, die Embedded Systems in Endprodukte integrieren und individuelle Software für das jeweilige Einsatzszenario entwickeln.

## II.

Diese Daten und Fakten beschreiben den Zustand heute. Embedded Systems sind für den Wirtschaftsstandort Deutschland von unverzichtbarer Bedeutung. Die Entwicklung dieser Systeme schreitet ebenfalls rapide voran. Embedded Systems sind komplexer geworden und kommunizieren verstärkt miteinander. Damit wächst zugleich die Komplexität der gesamten Systeme und die Anforderungen an deren Produktion. Das wirft die Frage auf, ob die Produzenten und Anwender von Embedded Systems auf diesen Wandel vorbereitet sind. Die Kernelemente dieses Wandels werden deutlich, wenn wir der Frage nachgehen, wann die ansonsten verborgenen Embedded Systems auffällig werden.

1. Auffällig werden Embedded Systems für Kunden natürlich dann, wenn sie ausfallen - wenn etwa das neue Auto stehen bleibt. Probleme mit Embedded Systems waren im Jahr 2005 einer Studie zufolge für 50% der Garantiekosten bei Neuwagen verantwortlich. Zuverlässigkeit und Sicherheit von Embedded Systems sind daher von allergrößter Wichtigkeit. Vernetzte Embedded Systems, die zu Tausenden in einem komplexen Gesamtsystem arbeiten und kommunizieren, setzen eine ganz neue Qualität von Zuverlässigkeit und Sicherheit voraus. Das gilt für den Haftungsfall für die Zertifizierung und damit letztlich den Beweis von Sicherheit des Gesamtsystems mit allen seinen Einzelteilen. Das gilt ebenso für die Sicherheit vernetzter Embedded Systems gegen Manipulationen von außen.

2. Auffällig werden Embedded Systems für Entwickler und Manager, wenn es um ihre Entwicklungsbedingungen geht: Warum werden Module nicht systematischer wiederverwendet, warum muss so oft neu entwickelt werden? Deutschlands Stärke sind individuelle Lösungen für anwendungsspezifische Anforderungen. Nur vier Prozent aller Anbieter von Embedded Systems in Deutschland bieten ausschließlich Standardprodukte an. Diese Stärke ist aber immer dem Risiko ausgesetzt, dass jeder Konkurrent mit flexiblen Modulen, intelligenten Standards und hoher Wiederverwendung von Lösungen kostengünstiger anbieten kann. Gemeinsame technische Standards und passfähige Architekturen sind die konzeptionellen Grundlagen für niedrigere Entwicklungskosten und bessere Konkurrenzfähigkeit der Anbieter.
3. Auffällig sind Embedded Systems heute für Unternehmensstrategen. Embedded Systems der Zukunft sind keine Einzelsysteme mehr, sondern grundsätzlich miteinander vernetzt. Dies ist auch ein ganz wesentlicher Grund für den neuen Begriff der „Cyber-Physical Systems“. Vernetzung erfordert Gemeinsamkeit: gemeinsame Standards und Kommunikationsprotokolle, und die dazu nötigen Architekturen. Vernetzung bedeutet auch die Verbindung zu neuen Anbietern und Kunden, zu neuen Märkten mit anderen Bedingungen. Wer diese Chancen nutzen will, muss qualitativ besser und wirtschaftlich effizienter sein.

Alle diese einzelnen Beobachtungen lassen sich auch reduzieren auf einen einzigen grundlegenden Faktor: Für Produktion und Anwendung von Embedded Systems hat deren Software die zentrale Rolle übernommen. Die Denk- und Arbeitsweise in der Softwareentwicklung, ihre Produktionsbedingungen und ihre Potentiale bestimmen die Zukunft der Embedded Systems-Branche. Nur, wenn wir Entwicklung und Anwendung von Embedded Systems neu denken aus der Perspektive der Softwareentwicklung, können wir der Zukunft gerecht werden.

### III.

Dies sind die Gründe für den grundlegenden Wandlungsprozess, in dem sich Produzenten und Anwender von Embedded Systems heute befinden. Viele Produktionsweisen müssen sich ändern, die Verfahren sind neu zu bestimmen, Marktteilnehmer müssen sich auf neue Ziele verständigen. Wenn Deutschland in den nächsten Jahren in seinen wichtigsten Wirtschaftszweigen der Hochtechnologie konkurrenzfähig bleiben will, die allesamt auf Embedded Systems angewiesen sind, dann sind hier große gemeinsame Anstrengungen nötig.

Das Bundesministerium für Bildung und Forschung hat sich dieser wichtigen Aufgabe im Rahmen seiner Hightech-Strategie angenommen.

Die heutige Leistungsfähigkeit der gesamten Embedded Systems-Branche, auf die ich zu Beginn eingegangen bin, ist eine Stärke, die wir erhalten und ausbauen müssen. Diese Stärken in den Anwendungen müssen wir verbinden mit den Herausforderungen, denen wir bei der Beherrschung des Softwareentwicklungsprozesses für Embedded Systems gegenüberstehen.

- Das BMBF unterstützt dazu das Fördervorhaben SPES 2020. Das Projekt ist ausgerichtet an der Professionalisierung des Entwicklungs- und Produktionsprozesses von Software für Embedded Systems nach industriellen Maßstäben in Luftfahrt, Medizin, Energie, Fahrzeugbau, und Automatisierungstechnik.
- Letzte Woche ging der Spitzencluster „MicroTEC Südwest“ in Baden-Württemberg erfolgreich aus der Auswahlsitzung hervor. Für diesen Cluster ist in den nächsten Jahren die Förderung von insgesamt 33 Verbundprojekten durch das BMBF geplant. Dabei werden viele der für Embedded Systems wesentlichen Aspekte untersucht. Auch hier wird es darauf ankommen, Softwareentwicklungsmethoden weiterzuentwickeln (und sich mit anderen Partnern auszutauschen).
- Der Wandel der Produktionsbedingungen von Embedded Systems bedeutet verstärkte Forschungsanstrengungen, die realen Erfordernissen entsprechen müssen. Das BMBF hat daher Fachleute dazu motiviert, diese Forschungsbedarfe zu strukturieren und zu ordnen und so Ende 2009 eine Nationale Roadmap Embedded Systems zu entwickeln
- Zum 4. IT-Gipfel am 8. Dezember 2009 haben nun Wirtschaft, Wissenschaft und Politik, das heißt das BMBF, eine Strategische Forschungsagenda Embedded Systems vorgelegt, die Sicherheit und Zuverlässigkeit und die wirtschaftliche Produktion nach industriellen Anforderungen in den Mittelpunkt stellt.

#### IV.

Der 4. IT-Gipfel ist aber nur ein Beispiel für die Arbeit der Bundesregierung, Forschung und Innovation stärker in den Mittelpunkt zu rücken. Zentrales Aktionsfeld dafür ist die Hightech-Strategie. Mit der Hightech-Strategie verfolgt die Bundesregierung ehrgeizige Ziele: mehr Qualität und mehr Effizienz in das Zusammenspiel von Wissenschaft, Wirtschaft und Politik zu bringen, Leitmärkte zu schaffen und die Rahmenbedingungen für Innovationen in der Wirtschaft zu verbessern.

Diesen Weg werden wir konsequent weiter beschreiten. Deshalb hat sich die Bundesregierung nachdrücklich zur Priorität für Bildung und Forschung bekannt. Wir werden die Ausgaben für diese beiden zentralen Handlungsfelder bis 2013 um 12 Milliarden Euro erhöhen. Bei der Auswahl der Schwerpunkte werden wir uns auf solche Bereiche konzentrieren, die in Breite in unsere Wirtschaft und Gesellschaft hineinwirken.

Der 4. IT-Gipfel in Stuttgart macht deutlich: Informations- und Kommunikationstechnologien spielen dabei eine zentrale Rolle. Dabei werden wir die Innovationspolitik in Zukunft noch stärker auf die Bedarfswelder Klima/Energie, Gesundheit/Ernährung, Mobilität, Kommunikation und Sicherheit ausrichten. Das bedeutet in besonderem Maße für den IKT-Bereich, die dort entwickelten neuen Lösungen - etwa für mehr Sicherheit im Straßenverkehr, ressourcenschonenden Warentransport, moderne Medizin sowie altersgerechte Assistenzsysteme - zu fördern und besser zu nutzen. Diese Bedarfswelder sind zugleich die typischen Anwendungswelder für Embedded Systems. Embedded Systems sind also ein zentraler Baustein in der Hightech-Strategie. Und überall dort, wo wir in die Forschung investieren, müssen wir auch geeignete Rahmenbedingungen schaffen, um neuen Technologien den Weg in die Märkte zu ebnet. Schließlich gilt es außerdem, mehr Nachwuchs und Fachkräfte im MINT-Bereich zu gewinnen, denn sie sind es, die FuE für Innovationen betreiben.

Ein Erfolg wird sich nicht einstellen durch Arbeiten in den jeweils einzelnen Feldern, sondern nur dadurch, Embedded Systems nach gemeinsamen, branchenübergreifenden Standards zu entwickeln und zu produzieren. Wenn Software zur entscheidenden Komponente von Embedded Systems geworden ist, dann setzen zuverlässige, nach wirtschaftlichen Maßstäben produzierte Embedded Systems auch eine Softwareproduktion voraus, die wirtschaftlich ist und auch bei höchster Komplexität zuverlässige Ergebnisse liefert. Das BMBF hat die Absicht, Forschungsarbeiten für die Zukunft der Embedded Systems zu fördern, bei denen diese branchenübergreifende Kooperation umgesetzt wird und die das Ziel haben, gemeinsame Grundlagen für Embedded Systems zu schaffen.

Dieses Symposium ist ein Ort, auf dem wichtige der bisher schon geleisteten Arbeiten vorgestellt werden sollen und über die notwendige Kooperation diskutiert werden soll.

Wenn wir uns die Bedeutung von Embedded Systems entweder anhand meines kleinen Beispiels zu Beginn vor Augen führen oder anhand der wirtschaftlichen Bedeutung für den Industriestandort Deutschland, dann wird deutlich, wie wichtig eine solche Debatte ist. Wichtiger noch sind konkrete Vorschläge und Ideen, um ein gemeinsames Ziel zu erreichen. Ich möchte Sie daher ermuntern, sich nicht nur heute, sondern auch in der Zukunft zu beteiligen, damit dieses heutige Symposium zu einem dauerhaften Erfolg führt.

## > EINLEITUNG

MANFRED BROY

Seit der Erfindung programmierbarer Rechner durch Konrad Zuse vor kaum 70 Jahren haben programmierbare Informationsverarbeitungssysteme einen atemberaubenden Aufschwung genommen. Das Mooresche Gesetz mit seiner exponentiellen Steigerung der Leistungsfähigkeit der Hardware in Hinblick auf Rechen-, Speicher- und Übertragungsleistung liefert dafür die technische Grundlage. Die Flexibilität programmierbarer Software ergänzt sich dazu ideal – schafft sie doch die Möglichkeiten und die Voraussetzungen dafür, dass sich diese Systeme in praktisch allen Anwendungsfeldern einsetzen lassen.

Waren anfänglich die Rechner- und Softwaresysteme vornehmlich darauf ausgerichtet, isoliert in Labors und Rechenzentren, getrennt von den eigentlichen Abläufen der physikalischen Welt Berechnungen durchzuführen oder Informationen zu verwalten, so wurden Rechner bald im verstärkten Maße für Aufgaben der Kontrolle und Steuerung physikalischer Vorgänge eingesetzt. Ein erstes bedeutendes Einsatzgebiet waren Vermittlungsrechner in der Telekommunikation. Aber auch für eingebettete Systeme zur Regelung und Steuerung der unterschiedlichsten technischen Vorgänge konnten sich programmierbare Steuergeräte schnell durchsetzen.

Gleichzeitig entwickelten sich über die ersten Schritte der programmierbaren Rechner in die Kommunikationssysteme die weltweiten Netze zur Übertragung digitaler Daten, heute am augenfälligsten vertreten durch das Internet und das World-Wide-Web. Hier kamen die Möglichkeiten weltweit entstehender Infrastrukturen, die auf Basis von digitalen Netzen und schnellem Austausch von Informationen möglich machten, kombiniert mit Standards, wie vor allem das Internetprotokoll, aber auch standardisierten Möglichkeiten der Darstellung von Informationen und der Übertragungen von Informationen. Damit wurden elektronische Post und das flexible Zurverfügungstellen und Abrufen von Daten über Server und Browser die Grundlage für eine einzigartige weltumspannende Informationsinfrastruktur. Auf dieser Basis konnten ganz neue Industrien entstehen wie weltumspannende Dienste, etwa durch Suchmaschinen, die wiederum völlig neue Geschäftsmodelle möglich machen.

Die über einen längeren Zeitraum weitgehend getrennt laufenden Entwicklungen im Bereich der weltumspannenden Netze und der eingebetteten Systeme auf Basis programmierbarer Steuergeräte wachsen seit einigen Jahren betonend verstärkt zusammen. Stichworte wie das Internet der Dinge oder Cyber-Physical Systems stehen für diese Entwicklung. Damit kombinieren sich die für sich gesehen schon fast unbeschränkten Möglichkeiten weltweit digitaler Netze mit den Potentialen eingebetteter softwarebasierter Systeme für die Überwachung und Steuerung der unterschiedlichsten physikalischen Vorgänge. Die weltweiten Netze gestatten es dann, aus großer Entfernung unmittelbar auf physikalische Vorgänge einzuwirken, über Sensoren Informationen aufzunehmen und diese mit weiteren Vorgängen zu verknüpfen. Dies schafft eine technische Plattform für die unterschiedlichsten Anwendungen und damit ein Innovationsgebiet höchsten Ranges.

Für die Bundesrepublik Deutschland ist das Thema der Cyber-Physical Systems von herausragender Bedeutung. Die Gründe dafür liegen auf der Hand. Die erfolgreichsten Exportindustrien sind stark softwareintensiv und softwarebasiert, auch wenn es sich primär auch um Ergebnisse des Maschinenbaus handelt. Heute sind moderne Erzeugnisse des Maschinenbaus immer stärker durch programmierbare Steuergeräte ergänzt, so dass für die Produkte mittlerweile bis zu einem Drittel ihrer Wertschöpfung unmittelbar in eingebetteten Systemen liegt. In den unterschiedlichsten Anwendungsgebieten, sei es im Verkehr, etwa im Automobil oder in der Luftfahrt, sei es in der Produktionstechnik, etwa in der Produktionsautomatisierung oder der Robotik oder etwa in der Medizintechnik, ist der Trend, die eingebetteten Systeme untereinander zu vernetzen, aber auch in übergeordnete digitale Netze einzubinden, augenfällig. Dies schafft ein ungeheures Anwendungspotential, wirft aber auch zahlreiche und weitreichende wissenschaftliche und technische Herausforderungen auf.

Einem solchen Potential und diesen Herausforderungen kann sich acatech nicht verschließen. Vor diesem Hintergrund hat das acatech Symposium zum Thema Cyber-Physical Systems Innovation durch softwareintensive eingebettete Systeme im Februar 2010 in München stattgefunden. Ziel des Symposiums war es, die hohen wissenschaftlichen und technischen Potentiale und Herausforderungen dieses sich schnell entwickelnden Gebietes umfassend darzustellen und gewissermaßen einen Startschuss zu geben für intensivere Diskussionen innerhalb von acatech im Hinblick auf dieses Gebiet. Besonders erfreulich ist es in diesem Zusammenhang, dass es gelungen ist, die nationale Roadmap Embedded Systems, die aus einer Initiative der Wissenschaft mit der Industrie im letzten Jahr entstanden ist, einzubinden und vollständig in diesem Band abzdrukken. Damit wird umfassend dargestellt, welche hohe Bedeutung das Gebiet hat und wie wichtig eine nachhaltige Auseinandersetzung mit dieser Thematik für die Zukunft des Technologie-, Wissenschafts- und Wirtschaftsstandorts Deutschlands ist.

Bei dieser Gelegenheit möchte ich mich ganz herzlich bei den Mitautoren der nationalen Roadmap eingebetteter Systeme, bei den Herren Werner Damm, Reinhold Achatz, Klaus Beetz, Heinrich Daembkes, Klaus Grimm und Peter Liggesmeyer für ihre konstruktive und kompetente Mitwirkung bedanken.

Danken möchte ich auch den Mitarbeitern der acatech, allen voran Herrn Glotzbach, für die nachhaltige Unterstützung des Projektes und allen Mitwirkenden, die zum Erfolg der Tagung Cyber-Physical Systems beigetragen haben.

Manfred Broy

München, im Juli 2010

# > CYBER-PHYSICAL SYSTEMS – WISSENSCHAFTLICHE HERAUSFORDERUNGEN BEI DER ENTWICKLUNG

MANFRED BROY

## ABSTRACT

Cyber-Physical Systems adressieren die enge Verbindung eingebetteter Systeme zur Überwachung und Steuerung physikalischer Vorgänge mittels Sensoren und Aktuatoren über Kommunikationseinrichtungen mit den globalen digitalen Netzen (dem „Cyberspace“). Dieser Typus von Systemen ermöglicht über Wirkketten eine Verbindung zwischen Vorgängen der physischen Realität und den heute verfügbaren digitalen Netzinfrastrukturen. Dies erlaubt vielfältige Applikationen mit hohem wirtschaftlichen Potential, und mit starker Innovationskraft. Die vollständige Ausschöpfung des Potentials erfordert aber gezielte wissenschaftliche Anstrengungen bei der Entwicklung solcher Systeme im Hinblick auf Methodik, Technologie, Kostenbeherrschung und funktionale Angemessenheit.

## 1 DIE DIGITALE REVOLUTION

Wenig hat unsere technische und gesellschaftliche Welt in den letzten 40 Jahren so tiefgreifend verändert wie Funktionen auf Basis digitaler Hardware und Software. Ausgehend von der Zielvorstellung, umfangreiche Rechenaufgaben nicht länger manuell bearbeiten zu müssen und die Verwaltung großer Mengen von Datenbeständen weitgehend zu automatisieren hat die digitale Informationsverarbeitung beginnend in den 40er Jahren des letzten Jahrhunderts einen atemberaubenden Aufschwung genommen. Kaum jemand hat in den frühen Jahren der Computer vorhergesehen, welche Umwälzung diese Technologie auslöst und wie stark sie unsere Gesellschaft und Wirtschaft verändern würde.

### 1.1 INNOVATION DURCH EINGEBETTETE SOFTWARE

Softwareintensive Systeme sind Innovationstreiber. Sie ermöglichen neuartige Funktionalitäten in den unterschiedlichsten Anwendungsgebieten.

Die Innovationskraft softwareintensiver Systeme und die durch sie vorangebrachten Innovationen unterliegen häufig dem gleichen Muster. Am Anfang steht oft eine nahe liegende Vorstellung, ein unbefriedigend gelöstes Problem mit der Unterstützung von digitaler Informationsverarbeitung zu lösen und zu automatisieren. Bei der Erarbeitung einer entsprechenden Lösung stellt sich dann nicht selten heraus, dass das Problem zumindest in bestimmten Teilbereichen komplizierter ist als im ersten Moment erwartet