

Bernd Junghans

Internet der Dinge – Auf dem Wege zur ubiquitären Elektronik

Mit der enormen Entwicklung auf dem Gebiet der Elektronik im Laufe der vergangenen hundert Jahre haben zunehmend auch technische „Sinnesorgane“ – Sensoren – in Gebäuden, Fahrzeugen, Anlagen aller Art, insbesondere in der Produktionssphäre (speziell bei Robotern), Einzug gehalten. Damit wurden die Funktionalität und Produktivität technischer Vorrichtungen und Verfahren erheblich verbessert.

Gegenwärtig zeichnet sich eine völlig neue Qualität des Einsatzes solcher Sensoren ab, im wesentlichen dank ihrer massenhaften Verfügbarkeit, mehr noch dank der ihnen neuerdings eigenen Kommunikationsfähigkeit. Diese Fähigkeit zur drahtlosen bzw. drahtgebundenen Kommunikation lässt grundsätzlich neue Systemkonzepte zu. Mit Sensoren ausgestattete Gerätesysteme bieten die Chance, Daten über den eigenen Zustand und denjenigen ihrer Umgebung zu erfassen und direkt oder über andere Gerätesysteme an Aktoren bzw. Datenerfassungszentren zu vermitteln. Damit entstehen Systeme, die über lokale Zustände räumlich und zeitlich unbegrenzt und u.U. ohne direkte menschliche Einflussnahme miteinander kommunizieren können: das Internet der Dinge („Things That Think“ [1]). Die unbegrenzte Verbreitung solcher Systeme führt zum Konzept der „ubiquitären Elektronik“, gelegentlich auch als „ambient intelligence“ [2] bezeichnet. Damit ist die allgegenwärtige Präsenz elektronischer Systeme gemeint, die ihre Umwelt (einschließlich des eigenen Zustandes) permanent erfassen und darüber miteinander – soweit erforderlich – auch mit Personen kommunizieren können.

Die technische Realisierung solcher Systeme stellt große Anforderungen an alle Systemkomponenten – ausgehend von den Sensoren über die Datenverarbeitung im Sensorknoten bis hin zur Kommunikationstechnologie sowie zur Energieversorgung. Derzeit werden weltweit enorme Forschungs- und Entwicklungskapazitäten eingesetzt, um die Systeme kleiner, robuster, energiesparender und kostengünstiger herstellen zu können und deren Anwendungen voran zu treiben.

Anwendungsbeispiele

Ein prominentes Beispiel der Anwendung dieser Technologie ist die Umweltüberwachung im weitesten Sinne, d.h. von der Überwachung größerer Landschaftsareale u.a. zum Zwecke des Umweltschutzes bis zur Überwachung militärischer Kampfgebiete. Tatsächlich wurde diese Entwicklung vom Militär initiiert, um mit Tausenden von Miniatursensoren, die über einer Kampfzone abgeworfen wurden, Informationen über den Zustand am Boden (Strahlen, Temperatur, Chemie, Erschütterungen usw.) zu gewinnen und dank der Kommunikationsfähigkeit der Sensoren drahtlos bis zu einer zentralen Leitstelle weiter zu geben. Die als Silicon Dust bekannten winzigen autonomen Sensorknoten („motes“) wurden seit 1997 an der Universität von Californien in Berk-

ley durch K. Pister im Rahmen eines DARPA-Projektes („Smart Dust“) entwickelt und werden inzwischen von der Firma Dust Networks Inc. [3] kommerziell vermarktet. Ein spezielles ereignisbasiertes Betriebssystem (TinyOS) wurde eigens dafür ebenfalls an der Universität von Californien in Berkley entwickelt und wird heute von einem Konsortium interessierter Firmen und Institutionen weiterentwickelt [4].

Die Weitergabe der Informationen im beobachteten Gebiet erfolgt zunächst zwischen benachbarten Knoten in einem so genannten Maschennetzwerk mit der Möglichkeit, die Daten auch über andere Kommunikationssysteme weiterleiten zu können. In Abbildung 1 ist ein Beispiel eines solchen Überwachungssystems für Umweltdaten dargestellt. Die Datenerfassung vor Ort kann sich auf Daten für den Umweltschutz beziehen, wie etwa die Verunreinigung von Böden und Gewässern, kann aber auch für die präzise Düngung und Bewässerung von Anbauflächen zur Erzielung optimaler Erträge bei minimalem Ressourcenverbrauch genutzt werden (sogenannte „Präzisionslandwirtschaft“). Die Überwachung kann durch mehrere Systeme in abgestimmter Weise gleichzeitig erfolgen, d.h. lokale ermittelte Daten können mit großflächigen Beobachtungssystemen (z.B. Satelliten) kombiniert werden.

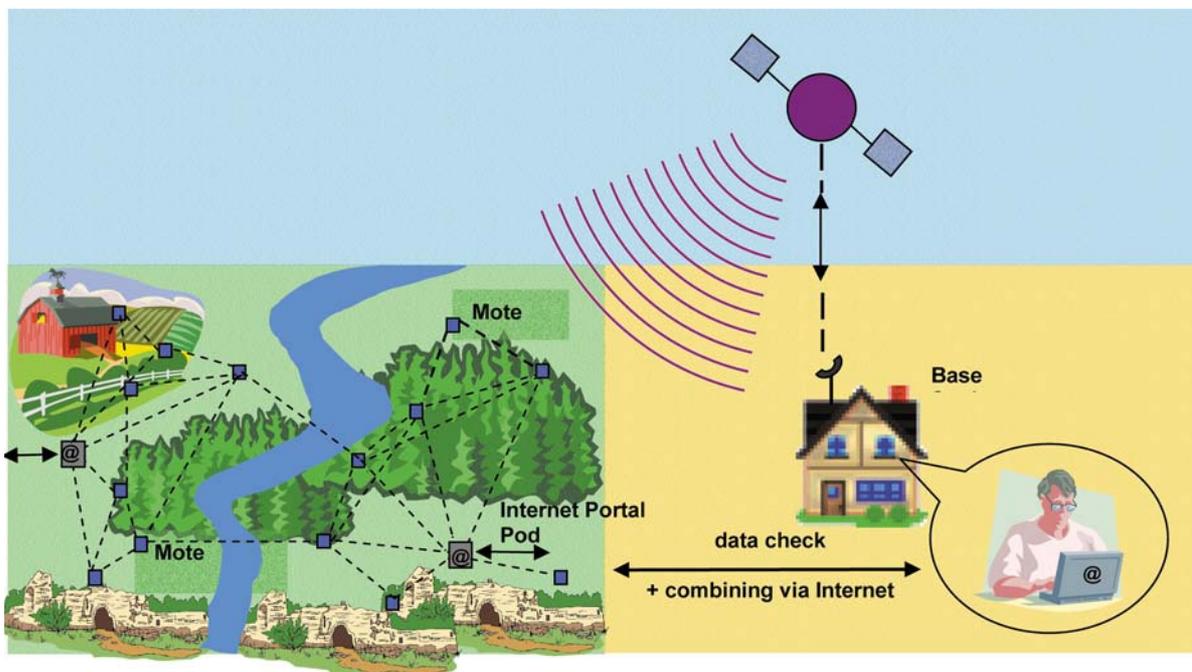


Abb. 1: Umweltüberwachung durch lokales Sensornetzwerk und Satelliten

Ein anderes Anwendungsgebiet mit hohen Wachstumsraten ist die Telemedizin, indem Körperfunktionen von Patienten zeitweilig bzw. unbefristet von Sensoren – im oder am Körper fixiert – überwacht und die Ergebnisse drahtlos an solche Erfassungsstationen weitergeleitet werden, die über weitere Kommunikationsschnittstellen (Mobilfunk, Festnetz, Internet) verfügen und im Bedarfsfall kritische Zustände sofort an den Arzt vermitteln können. Mit einer Verbesserung der Patientenversorgung können dabei zugleich die Kosten für das Gesundheitswesen gesenkt werden [5]. Abbildung 2 zeigt die Vernetzung der Sensorsysteme zur Überwachung von Körperfunktionen mit anderen Systemen. Neben der weiteren Vervollkommnung der technischen Lösungen bedarf eine allgemeine Verbreitung dieser Systeme jedoch der Lösung einer Vielzahl

gesellschaftlich relevanter Probleme, z.B. die Gewährleistung des Datenschutzes oder die juristische Handhabung der anfallenden Patientendaten insbesondere im Notfall.

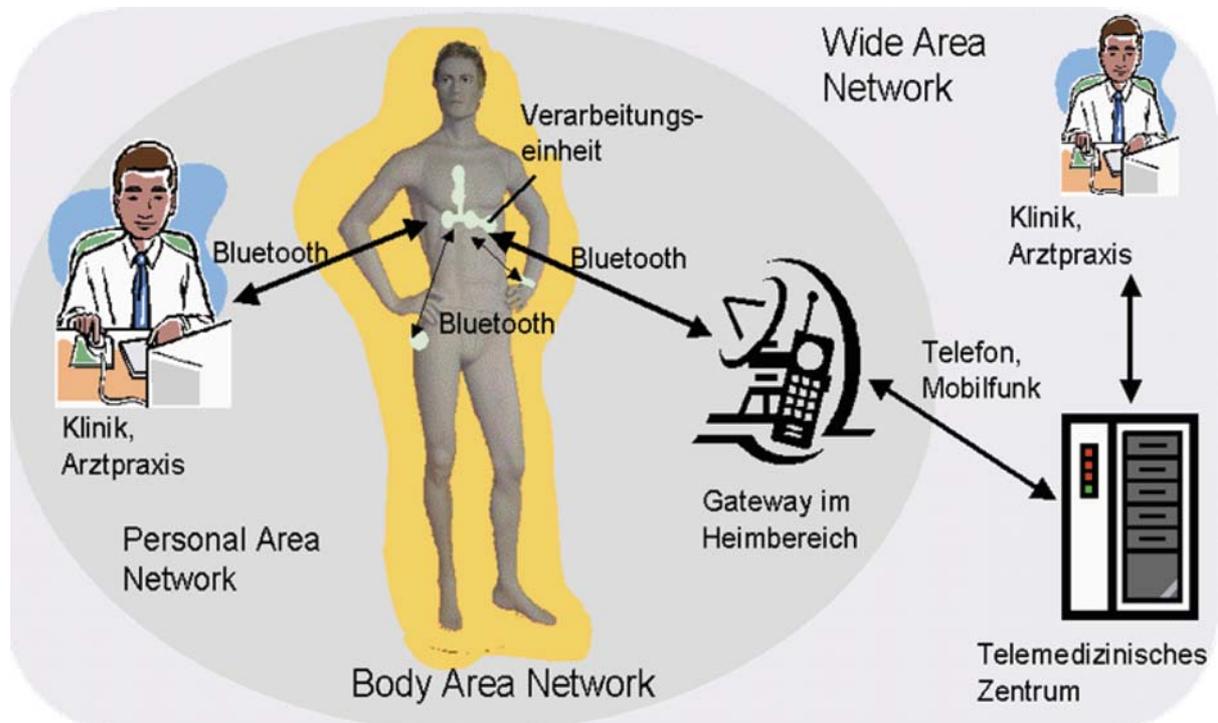


Abb. 2: Vernetzung telemedizinischer Sensorsysteme [5]

In der Haus- und Gebäudeautomatisierung ist gleichfalls ein umfangreicher Einsatz von drahtlosen Sensornetzwerken zu erwarten. Allein in den USA und Westeuropa sind ca. 200 Millionen Haushalte mit derzeit potentiell je ca. 100 Sensoranwendungsmöglichkeiten denkbar, die ein Potential von rund 20 Mrd. Sensormodulen repräsentieren. Deren Integration in Sensornetzwerken ermöglicht die Steuerung des Klimas im Haus, ebenso wie die Beleuchtung, die Sicherheitsüberwachung, die Kommunikation mit den Haushaltsgeräten bis hin zum Anschluss an das Internet. Wobei hier besonders deutlich der Gedanke des Internets der Dinge zum Tragen kommt, wenn beispielsweise Heizkörper untereinander kommunizieren, um die Optimierung des Energieverbrauchs bei gleichzeitiger Sicherung des gewünschten Wohlbefindens zu gewährleisten. Andererseits schafft die Verwendung über Sensorelemente drahtlos gesteuerter Beleuchtungskörper neue Freiheitsgrade für die Innenarchitektur und den Umbau von Gebäuden, da z.B. Lichtschalter ohne Leitungsverlegung an jeder beliebigen Stelle im Raum befestigt und problemlos umgesetzt werden können.

Für den Aufbau solcher Sensornetzwerke existieren bereits erprobte Lösungen, die industriell vertrieben werden, z.B. von den Firmen Diehl [6] und Zensys [7]. Inzwischen ist ein Kommunikationsstandard (IEEE 802.15.4) erarbeitet worden, der sich speziell an den Bedürfnissen von Sensornetzwerken mit deren spezifischen Anforderung an geringsten Leistungsverbrauch, höchste Verfügbarkeit und Maschennetzwerkfähigkeit orientiert und bereits in Produkten der Mitglieder der ZigBee-Allianz [8] Eingang gefunden hat (Abbildung 3).

Heating and Cooling
Air-Handling Unit
Pumps
Fans
Energy Control
Remote Control
Security System
Fan Coils
Utility Monitoring
(Elec./Water/Gas/Oil)
Light Control

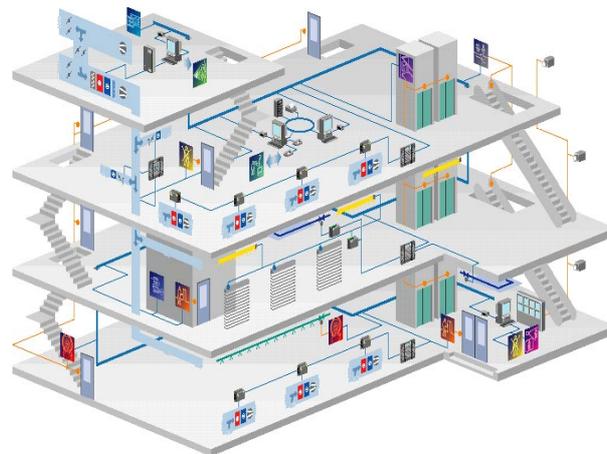


Abb. 3: Sensornetzwerke für die Hausautomatisierung [8]



Abb. 4: Information eines Fahrzeuges an andere Fahrzeuge über abnormen Fahrbahnzustand [14]

Im Verkehrswesen nimmt derzeit der Einsatz von Sensoren gleichfalls erheblich zu. So werden Kraftfahrzeuge mit einer wachsenden Anzahl von Sensoren zur Fahrzeugüberwachung (z.B. Beschleunigungssensoren für Airbags), des Fahrzustandes (z.B. ABS, ESP) sowie des Abstandes zu Hindernissen und anderen Fahrzeugen (Einparkhilfen, Abstandsradar) ausgestattet, wodurch der Fahrkomfort verbessert, insbesondere aber die Fahrsicherheit entscheidend erhöht werden [9-13]. Im weiteren erschließt die Einbindung der Fahrzeuge in infrastrukturelle Sensornetzwerke („car-to-x“) eine neue Dimension für die Fahrsicherheit und den Fahrkomfort. Fahrzeuge kommunizieren untereinander („car-to-car“) oder mit Einrichtungen der Infrastruktur, wie Verkehrsleitsysteme-

men und Ampeln, („car-to-infrastructure“) ggf. auch ohne direkte Einbeziehung des Fahrers und erhöhen damit die Verkehrssicherheit spürbar. In Abbildung 4 ist beispielhaft eine Situation dargestellt, in der durch unmittelbare Information über den aktuellen Straßenzustand durch ein – als Folge einer Öllache ins Schleudern geratenes – vorausfahrendes Fahrzeug nachfolgende Fahrzeuge vor Unfällen zu bewahren hilft. In diesem Zusammenhang wird derzeit über die rechtlichen Probleme einer zunehmenden Überlassung von unter Umständen lebenswichtigen Entscheidungen in kritischen Fahrsituationen an die Fahrerassistenzsysteme noch kontrovers diskutiert.

Ein enormes Produktivitätspotential erschließt sich durch die eingebaute Überwachung der Funktionstüchtigkeit von technischen Einrichtungen und Ausrüstungen (Structural Health Monitoring: SMH). Dabei werden Maschinen und andere Einrichtungen, einschließlich Bauwerken, mit Sensoren ausgestattet, die ständig den Zustand des Systems sowie kritischer Bauteile überwachen und diesen Zustand weiter kommunizieren, um so katastrophalen Ausfällen vorzubeugen, die Wartungskosten zu senken und dennoch Materialkosten sowie Entwicklungsaufwand zu sparen [15].

In der Logistik haben Sensorsysteme ebenfalls ein beträchtliches Rationalisierungspotential. Damit sind die Logistikprozesse besser zu automatisieren, weniger fehlerbehaftet und präziser, insbesondere wenn die Kennzeichnung der Produkte durch RFID-Chips erfolgt. So ist durchaus möglich, die Entnahme z.B. einer Getränkedose aus einem Automaten über das Sensornetzwerk dem Lieferanten zeitnah mitzuteilen, so dass die zugleich rechnergestützte Nachschuborganisation zum optimalen Zeitpunkt erfolgen kann. Gleiches trifft auf die wesentlich komplexeren Prozesse in automatisierten Fertigungsstätten zu [16].

Sensoren

Obwohl Sensoren für unterschiedliche physikalische Größen (Druck, Temperatur, usw.) seit mehr als 100 Jahren im Gebrauch sind, hat die Einführung von Sensorsystemen einen enormen Entwicklungsschub für alle Arten von Sensoren ausgelöst. Nicht nur die Vielfalt der zu identifizierenden Größen (physikalische, chemische, biologische) hat beträchtlich zugenommen, sondern auch die Anforderungen an die Leistungsparameter der Sensoren selbst sind dramatisch gestiegen. Mit der Entwicklung von autonomen Sensorknoten für drahtlose Systeme sind Kleinheit, Robustheit, Wartungsfreiheit und in ganz besonderem Maße minimaler Energieverbrauch in den Vordergrund der Entwicklungsanstrengungen gerückt. Da zur Erfüllung der höchst anspruchsvollen Zielparame-ter auch neue Wirkprinzipien gefordert sind, hat sich hier für Nanotechnologien ein interessantes Forschungs- und Applikationsfeld eröffnet.

Druck- und Temperatursensoren gehören zu den am weitesten verbreiteten Sensoren. Derzeit überwiegen Sensoren, welche die druck- und temperaturabhängigen Eigenschaften des Siliziums zum Nachweis dieser physikalischen Größen nutzen. Dem Vorteil der Robustheit und Integrierbarkeit in mikroelektronische Systeme stehen Nachteile in der Empfindlichkeit und Genauigkeit gegenüber. Letztere werden jedoch heute durch eine nachgeschaltete, ausgeklügelte Signalbearbeitungselektronik wettgemacht. Auch hierbei eröffnet die Nanotechnologie neue Perspektiven. So eignen sich Zinkoxid-Nanostrukturen als piezoelektrische Drucksensoren bis hinab zum Piconewton-Bereich, mit der gleichzeitigen Möglichkeit der Integration dieser Sensoren in eine elektronische Schaltung auf der Basis von Zinkoxid-Nanostrukturen [17].

Mikroelektronische Sensoren sind heute für nahezu alle physikalischen Parameter und für sehr viele chemische Elemente und Verbindungen verfügbar. Mit der weiteren Verkleinerung der mikroelektronischen Strukturen in den Nanometer-Bereich werden die Dimensionen biologischer

Objekte (einige 10 nm für Viren und 2-3 nm für DNA) erreicht. Damit lassen sich auch leistungsfähige Sensoren für mikrobiologische Objekte herstellen [18].

In der Regel geht die Miniaturisierung mit einer Verringerung des Leistungsverbrauchs dieser Sensoren einher. Das ist ein wichtiger Beitrag zur Schaffung noch leistungsfähigerer Sensorsysteme, deren autonome Energieversorgung eine große Herausforderung darstellt.

Autonome Energiequellen

Das Ziel, weitgehend wartungsfreie Sensorsysteme auch an schwerzugänglichen Orten in der Natur oder in Bauwerken und Anlagen einzusetzen, erfordert langzeitstabile, autonome Energiequellen zur Spannungsversorgung der elektronischen Komponenten der Sensorknoten. Die aussichtsreichste Methode dieses Ziel zu erreichen besteht in der Entwicklung geeigneter Energiewandler, die Energie aus der Umgebung des Sensorknotens in elektrische Energie umwandeln („energy harvesting“). In den letzten Jahren sind sowohl interessante neue Konzepte dafür entwickelt, als auch beachtliche Fortschritte in der praktischen Nutzung geeigneter Energiewandler erzielt worden.

Die nutzbaren Energiequellen sind sehr breit gefächert und bieten die Möglichkeit, für jeden Einsatzfall von Sensorsystemen die optimale Energiewandlung auszuwählen. Beispielsweise kann in bewegten Systemen – in Fahrzeugen, im fließenden Wasser usw. – die Umwandlung mechanischer in elektrische Energie von Vorteil sein. Wo Sonnenlicht in ausreichender Intensität zur Verfügung steht, können ggf. auch traditionell photovoltaische Elemente ausreichend sein. Derzeit sind Energiequellen, die nach unterschiedlichen Prinzipien in elektrische Energie gewandelt werden können, Gegenstand intensiver Forschung und Entwicklung [19].

- Mechanische Energie
 - piezoelektrisch
 - elektromagnetisch
 - kapazitativ
- Strahlungsenergie
 - photovoltaisch
 - Ableitung elektrischer Feldenergie
- Chemische Energie
 - mittels chemischer Brennstoffzellen
- Biologische Energie
 - mittels biologischer Brennstoffzellen
- Thermische Energie
 - thermovoltisch
 - thermomechanisch
 - thermoelektrisch.

Auch bisher nicht in Betracht gezogene Methoden, wie die Nutzung der Kernenergie, werden für die autonome Energieversorgung untersucht. Interessant sind Betastrahler (z.B. Promethium) in Kombination mit Zellen aus Boriden [20], die die enorme Energiedichte von etwa 1000 Wh/g aufbringen (zum Vergleich: Lithium-Batterien haben eine Energiedichte von ca. 0,1 Wh/g), wobei das Strahlenrisiko beherrschbar scheint.

Die für einen Sensorknoten benötigte Energie wird von der Art der Anwendung bestimmt, insbesondere davon, wie oft Informationen übertragen werden müssen und welchen Anteil am Betriebsmodus der „Schlafzustand“ des Moduls hat. Der Energiebedarf für die drahtlose Übertragung eines Bits über eine Entfernung von 50 m beträgt rund 1 mJ. Die Technologie wird ständig in Richtung leistungsarmer Schaltungstechnik und intelligenter Software für das Energiemanagement weiterentwickelt. Die Größenordnung des Energiebedarfs eines Sensorknotens liegt derzeit bei durchschnittlich einigen Milliwatt. Das ist durchaus im Bereich der heute mit Energiewandlern bereits erreichbaren Energiedichten: Strahlenenergie (elektromagnetische Felder, Licht) kann mit einer Ausbeute von ca. 10 mW/cm² in elektrische Energie umgewandelt werden, Thermogeneratoren und mechanische Wandler (Spannungen, Vibration, Bewegung) erreichen 10-100 mW/cm³.

Ein Beitrag zur Lösung der Energieversorgungsprobleme autonomer Sensorknoten besteht auch darin, innerhalb des Sensornetzes ein Energiemanagement zu betreiben, das den Knoten Aufgaben in Abhängigkeit von deren Energieressourcen zuweisen kann. So können Knoten mit niedrigem Energievorrat von den Aufgaben zur Informationsweiterleitung im Maschennetzwerk entbunden werden. Das schließt ggf. auch die Möglichkeit ein, innerhalb des Netzes Energie zwischen benachbarten Knoten drahtlos auszutauschen.

Sensorsysteme

Die Kommunikationsfähigkeit der Sensorknoten untereinander und mit der Außenwelt ist die entscheidende Voraussetzung für den Aufbau von Sensorsystemen, also einer ubiquitären Elektronik. Diese Systeme müssen über sehr lange Zeiträume weitgehend störungs- und wartungsfrei arbeiten („place and forget“). Deshalb sind die wichtigsten Anforderungen an ein solches System:

- Selbstkonfiguration und dynamische Adaption im System,
- Selbstdiagnose und -reparatur im Falle auftretender Störungen,
- Störungsfreiheit und Sicherheit der Datenübertragung,
- Datenübertragung bidirektional und in alle Richtungen ohne zentralen Knoten, aber mit definierten Zugängen für Daten und Befehle.

Strukturell sind dazu Maschennetzwerke bestens geeignet.

Darin kann jeder Knoten als Relaystation dienen und Informationen weiterleiten. Das ist mit der Informationsweiterleitung im Internet vergleichbar und bietet einen hohen Schutz gegen den Totalausfall des Systems. Bei Ausfall eines Knotens übernehmen benachbarte Knoten diese Aufgabe. Aus Kosten- oder Systemgründen können auch Knoten mit reduzierter Kommunikationsfähigkeit (RF: reduced function) in Systeme mit ansonsten voll ausgebauten Sensorknoten (FF: full function) integriert werden (Abbildung 5).

Der speziell für Sensornetzwerke entwickelte Kommunikationsstandard IEEE 802.15.4 ermöglicht es, bis zu 64.000 Sensorknoten in ein solches Netz einzubinden. An der weiteren Entwicklung dieses Standards wird ebenso gearbeitet, wie an anderen Netzwerklösungen („Silicon Dust“). In nicht allzu ferner Zukunft werden Sensornetzwerke im Haus, in Unternehmen und öffentlichen Räumen ebenso allgegenwärtig sein wie in der Natur. Daraus erwachsen jedoch auch neue Probleme, welche die ganze Gesellschaft betreffen.

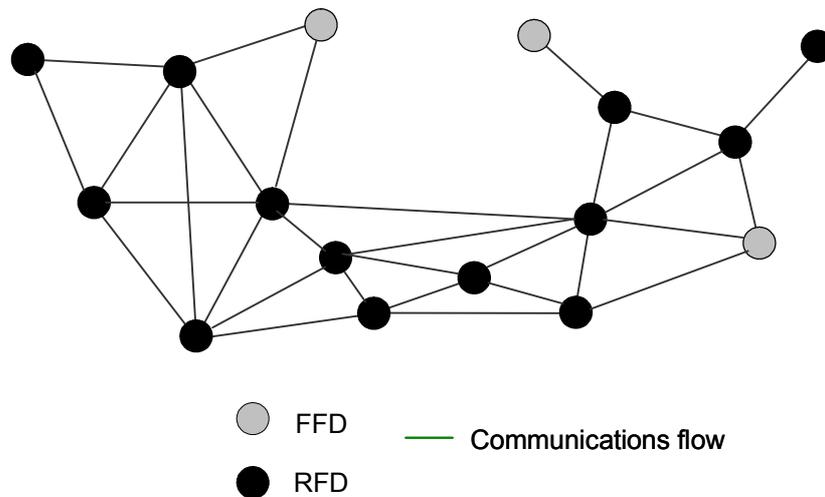


Abb. 5: Topologie eines Maschennetzwerkes für Sensorsysteme mit universellen Knoten (FF) und solchen mit eingeschränkter Funktion (RF)

Gesellschaftliche Aspekte

Die gesellschaftlichen Aspekte berühren nicht nur juristische Probleme wie die Wertung von Entscheidungen, die im fließenden Verkehr von Fahrerassistenzsystemen getroffen werden, oder die komplexen Probleme der Telemedizin. Auch der Schutz der Privatsphäre stellt ein wesentliches Problem gesellschaftlicher Akzeptanz dar.

Gravierende Auswirkungen einer erkennbar zunehmend allgemeinen Einführung der ubiquitären Elektronik sind jedoch aus der enormen Steigerung der Produktivität in nahezu allen Bereichen menschlicher Aktivitäten zu erwarten. So wie die erste industrielle Revolution durch die massenhafte Einführung von Kraftmaschinen die moderne Industriegesellschaft hervorgebracht hat und die Schaffung global vernetzter Computer die gesamte Weltwirtschaft bis heute nachhaltig verändert, so wird der allumfassende Einsatz vernetzter Sensorsysteme eine neue Arbeits- und Lebenswelt zur Folge haben.

Während die Einführung der Kraftmaschinen und Computertechnik dazu geführt hat, dass in den entwickelten Industriestaaten heute lediglich noch 2 bis 3% der Bevölkerung in der Landwirtschaft tätig sind und dennoch einen Überschuss an Nahrungsgütern produzieren, so wie mit abnehmender Tendenz nur noch ca. 20% der berufstätigen Bevölkerung in der Industrie auch in diesem Bereich alle benötigten Produkte im Überfluss produzieren, so wird die ubiquitäre Elektronik die bislang mit Computerintelligenz, nunmehr zusätzlich mit Sensoren als „Sinne“ ausgestatteten und zudem miteinander kommunizierenden Maschinen, nicht nur die Produktivität in der Industrie weiter dramatisch steigern, sondern auch die Dienstleistungsbereiche revolutionieren und nur noch vergleichsweise wenigen Mitgliedern der Gesellschaft bezahlte Arbeit in diesen Bereichen bieten. Die große Herausforderung für die künftige Gesellschaft ergibt sich daher aus der Frage, wie mit dem Reichtum, dem Überfluss an allen denkbaren Gütern und Dienstleistungen umgegangen wird, wenn nur noch ein geringer Bruchteil der Bevölkerung in diesen Wertschöpfungsprozess einbezogen sein wird.

Ein weiteres Auseinanderdriften in eine wohlhabende Oberschicht und eine verarmende Unterschicht kann nicht im Interesse der inneren und äußeren Stabilität der Gesellschaft sein. Hierüber sollte eine wesentlich breitere gesellschaftliche Diskussion ebenso geführt werden wie auch über andere gesellschaftliche Aspekte dieser brisanten technischen Entwicklung [21] – nicht zuletzt der mit einer nahezu uneingeschränkten elektronischen Vernetzung gegebenen Risiken technischer Havarien oder unzulässiger Manipulationen. Alle Erfahrungen aus der Geschichte belegen, dass sich produktivitätssteigernde Mittel und Verfahren unaufhaltsam und gegen alle Widerstände durchsetzen. Es ist an der Gesellschaft, die Folgen derartiger Entwicklungen rechtzeitig zu erkennen und darauf zu reagieren.

Literatur

- [1] TTT consortium, MIT Media Lab; <http://ttt.media.mit.edu/>
- [2] H. De Man: „Ambient Intelligence: A Giga-Scale Dream Facing Nano-Scale Realities“; Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät (der Wissenschaften zu Berlin), Band 90, S. 181-199, 2007
- [3] Dust Inc.; <http://www.dust-inc.com/about/>
- [4] TinyOS Alliance; <http://sing.stanford.edu/doc/tinyos-alliance.pdf>
- [5] W.-J. Fischer, H.-G. Despang, H.-J. Holland, D. Wiedemuth: „Body Area Networks – Anwendung in telemetrischen Systemen“; Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät (der Wissenschaften zu Berlin), Band 90, S. 217-227, 2007
- [6] P. Kalisch; 3rd Leibniz Conference of Advanced Science, 2006, http://www.leibniz-institut.de/cms/pdf/Kalisch-Drahtlose_Funksysteme_zur_Ablesung_von_Verbrauchswert.pdf
- [7] Zensys Inc.; <http://www.zen-sys.com/>
- [8] ZigBee Alliance; <http://www.zigbee.org/en/index.asp>
- [9] W. König, P. Knoll: „Intelligente Sensoren in prädikativen Fahrerassistenzsystemen“; 3rd Leibniz Conference of Advanced Science, 2006, http://www.leibniz-institut.de/cms/pdf/Koenig-Knoll_Intelligente_Sensoren_in_praedikativen_Fahrerassistenzsystemen.pdf
- [10] H. Winkler: „Kamerabasierte Sensorik für Fahrerassistenzsysteme“; 3rd Leibniz Conference of Advanced Science, 2006, http://www.leibniz-institut.de/cms/pdf/Winkler-Kamerabasierte_Sensorik_fuer_Fahrerassistenzsysteme.pdf
- [11] W. Specks: „Das Auto lernt sehen“; 11. Internationaler Fachkongress „Fortschritte in der Automobil-Elektronik“, Ludwigsburg, 2007
- [12] M. Lütz: „Kamerabasierte Assistenzsysteme für mehr Komfort und Sicherheit“; 11. Internationaler Fachkongress „Fortschritte in der Automobil-Elektronik“, Ludwigsburg, 2007
- [13] J. Tarabba: „Die Frontkamera als multifunktionaler Fahrerassistenzsensor – für Safety und Komfort“; 11. Internationaler Fachkongress „Fortschritte in der Automobil-Elektronik“, Ludwigsburg, 2007
- [14] Car2Car Communication Consortium; <http://www.car-to-car.org/index.php?id=137>
- [15] N. Meyendorf: „Neue Konzepte für Bauteil- und Materialüberwachung in der Verkehrstechnik – speziell in Bahn und Flugzeug“; LIFIS ONLINE, 2007, http://www.leibniz-institut.de/cms/pdf_pub/meyendorf_04_05_07.pdf

- [16] U. Meinberg: „Sensorsysteme in Wertschöpfungsnetzen“, 3rd Leibniz Conference of Advanced Science, 2006;
http://www.leibniz-institut.de/cms/pdf/Meinberg-Sensorsysteme_in_Wertschoepfungsnetzen.pdf
- [17] J. Toon: „Nano-Piezotronics: Zinc Oxide Nanowires Allow New Class of Nanoelectronics“; Semiconductor International, 2007,
<http://www.semiconductor.net/article/CA6428420.html?q=Nano%2DPiezotronics>
- [18] R. DeJule: „Biological Sensors Take Advantage of silicon Processes“; Semiconductor International, 2007,
<http://www.semiconductor.net/article/CA6455485.html?q=biological+Sensors>
- [19] M. Ashauer: „Energiegewinnung für autarke Mikrosysteme“; 3rd Leibniz Conference of Advanced Science, 2006,
http://www.leibniz-institut.de/cms/pdf/Ashauer-Energiegewinnung_fuer_autarke_Mikrosysteme.pdf
- [20] T. Aselage, D. Emin: „Solid-state Nuclear-to-electric Energy Conversion: Beta-voltaic Cells of Icosahedral Borides“; US-Patent 6,479,919
- [21] G. Banse, C. Lorenz: „Sensornetze im Spannungsfeld zwischen technischem Fortschritt und gesellschaftlicher Entwicklung“; 3rd Leibniz Conference of Advanced Science, 2006,
http://www.leibniz-institut.de/cms/pdf/Banse-Lorenz-Sensornetze_im_Spannungsfeld.pdf

[14.08.07]

Anschrift des Autors:

Prof. Dr. Bernd Junghans
Simtek GmbH
Ammonstr. 74
D – 01067 Dresden