

Fachbereich Informatik  
AG Datenbanken und Informationssysteme  
Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. Theo Härder

Integriertes Seminar  
Thema: Mobile and Context-aware Database Technologies and  
Applications  
Sommersemester 2007

## **Sensoren und Sensordatenaufbereitung**

Markus Rahm  
m\_rahm@informatik.uni-kl.de

Betreuer: Dipl.-Inf. Karsten Schmidt

**Zusammenfassung** Diese Ausarbeitung befasst sich mit den Konzepten der Sensoren und Sensordatenaufbereitung, sowie den daraus resultierenden Anwendungsgebieten. Sensoren können für die Kontextbestimmung relevante Informationen liefern, welche dann mit Ortserkennungsverfahren oder Anwendungen zur Kontextermittlung verarbeitet werden. Diese Daten müssen erst durch mehrere Schritte bereinigt und zusammengefasst werden, bevor sie effizient weiterverarbeitet werden können. Damit mit mobilen Geräten überhaupt auf diese Daten zugegriffen werden kann, existieren verschiedene drahtlose Übertragungsverfahren. Zusätzlich können Sensoren auch zu selbstorganisierenden Multi-Sensornetzen zusammengeschlossen werden, um so Auswertungen über große Flächen zu ermöglichen. Dabei greifen sie auch auf drahtlose Übertragungstechniken, sowie auf komplexe Routing-Verfahren zurück. Sensoren erwiesen sich nach näherer Betrachtung als essentiell, um überhaupt einen Bezug zum Kontext herzustellen. Sie bilden deshalb eine Grundvoraussetzung für das mobile, kontextbewusste Computing.

## 1 Einleitung

Im Bereich des kontextbewussten mobilen Computing besteht ein hoher Bedarf an Informationen von verschiedensten Sensorquellen zur Erzeugung und Verarbeitung von Umgebungs- und Kontextdaten. Hierbei werden verschiedenste Sensorarten unterschieden, vom einfachen Messfühler bis zum komplexen Berechnen einer GPS Koordinate. Doch wie können mobile Geräten wie beispielsweise PDAs Zugang zu solchen Sensordaten bekommen? Hierzu gibt es einige verschiedene drahtlose Übertragungstechniken wie beispielsweise Wireless LAN, Bluetooth oder ZigBee. Ein weiteres Problem stellt die genaue Ortsbestimmung zur Ermittlung relevanter Kontextinformationen dar. Dazu ist es nicht immer möglich, auf globale Satellitennavigation zurückzugreifen, wie beispielsweise bei der Lokalisation innerhalb geschlossener Gebäude. Hierzu kann auf Verfahren wie RFID, GSM oder Ultraschall zurückgegriffen werden. Zusätzliche Probleme treten auf, sobald aus den gewonnen Rohdaten Informationen über den aktuellen Kontext gewonnen werden sollen. Wie lassen sich solche Rohdaten kombinieren, welche Probleme treten dabei auf, und sind solche Daten auch immer fehlerfrei? Können Sensoren auch untereinander effizient kommunizieren? Ziel dieser Ausarbeitung ist es, den Funktionsumfang der verschiedenen Sensorquellen zu erläutern, sowie einen Überblick über die verschiedenen Verfahren der Datenerzeugung und Datenaufbereitung zu geben.

## 2 Sensortechnologien

Ein Sensor (v. lat. sentire, fühlen, empfinden), (Messgrößen-)Aufnehmer oder (Mess-)Fühler ist ein technisches Bauteil, das bestimmte physikalische oder chemische Eigenschaften (z. B.: Wärmestrahlung, Temperatur, Feuchtigkeit, Druck, Schall, Helligkeit oder Beschleunigung) und/oder die stoffliche Beschaffenheit

seiner Umgebung qualitativ oder als Messgröße quantitativ erfassen kann. Diese Größen werden mittels physikalischer oder chemischer Effekte erfasst und in weiterverarbeitbare Größen (meist elektrische Signale) umgewandelt. [Wik07]

## 2.1 Funktionsweise eines Sensors

Sensoren werden anhand ihres Funktionsprinzips zwischen aktiven und passiven Sensoren unterschieden.

*Aktive Sensoren* wandeln physikalische Energie wie z.B. Bewegung, Temperatur oder Chemische Reaktion in elektrische Energie um. Sie erzeugen dabei eine Spannung und benötigen keine externe Stromquelle. Anhand der erzeugten Spannungen lassen sich Rückschlüsse auf die zu messenden Eigenschaften schließen und diese können bequem weiterverarbeitet werden. Gängige aktive Sensoren sind aktive Druck-, Temperatur- oder Stromsensoren.

*Passive Sensoren* hingegen benötigen eine externe Spannungsquelle und bestehen nur aus passiven Elementen wie Spulen, Kondensatoren oder Widerständen. Um eine bestimmte Eigenschaft zu messen werden hierbei Änderungen der elektrischen Eigenschaften der passiven Elemente beobachtet. Oft vorzufinden sind passive Sensoren bei Bewegungsmeldern, Feuchte- oder Distanzsensoren.

Da die meisten Sensoren analoge Messergebnisse zurückliefern, wird für die digitale Weiterverarbeitung der Einsatz von Signalverstärkern und analog / digital Wandlern benötigt. Sensoren die neben der eigentlichen Messgrößenerfassung auch die komplette Signalaufbereitung und Signalverarbeitung vereinigen, heißen **smart-sensors**. Der Einfachheit halber gehen wir in folgenden Betrachtungen nur noch von smart-sensors aus, um die Messergebnisse direkt verarbeiten zu können. [Kar07]

## 2.2 Grenzen / Probleme bei Fehlfunktion oder Ausfall

Sensoren liegen den physikalischen Gesetzen zu Grunde. Von daher können äußere Einflussfaktoren dafür sorgen, dass es zu Fehlfunktionen oder Ausfällen führen kann. Um diese so gering wie möglich zu halten helfen regelmäßiges Eichens und technisches Warten dabei, potentielle Fehlerquellen zu eliminieren. Durch den Einsatz von redundanten Sensoren können durch Interpolation der Ergebnisse Mittelwerte erzeugt werden, wodurch einzelne fehlerhafte Messwerte kompensiert werden. Dafür muss aber bei der Werteverarbeitung eine Toleranz der erwarteten Werte gewährleistet sein.

## 3 Ortserkennung in- und outdoor

In der Vision des Ubiquitous Computing spielt die Ortserkennung eine große Rolle. Mobile Geräte generieren anhand von Ortsinformationen und Bewegungsdaten Kontextinformationen, um dem Benutzer hilfreich zur Seite zu stehen. Um diese Ortserkennung überhaupt zu ermöglichen, gibt es mehrere verschiedene Verfahren zur Bestimmung einer Position.

Prinzipiell wird zwischen Indoor- (innerhalb von Gebäuden) und Outdoor- (außerhalb von Gebäuden) Positionsbestimmung differenziert. Heutzutage liegt das Hauptaugenmerk auf der Indoorpositionsbestimmung, da durch Satellitennavigation die Outdoorpositionsbestimmung bereits hervorragende Ergebnisse liefert. Im Folgenden Abschnitt werden nun die Technologien RFID, GPS, sowie weitere Verfahren wie WLAN, GSM, Infrarot oder Ultraschall erläutert.

### 3.1 RFID

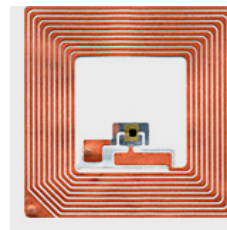
RFID steht für Radiofrequenz-Identifikation. Die Technologie basiert auf der Möglichkeit, Daten mittels Radiowellen (Frequenzbereich von 1kHz - 3GHz) berührungslos und ohne Sichtkontakt zu übertragen. Hauptbestandteil der Technologie ist ein Transponder, welcher aus einem kleinen Mikrochip mit einer Antenne besteht. Geläufiger sind solche Transponder unter dem Namen **Tag**. Solche RFID-Tags werden zum Beispiel in Etiketten oder Plastikkarten integriert und speichern in der Regel eine ID-Nummer (Siehe Abbildung 1). Damit die Daten auf dem Transponder ausgelesen werden können, wird eine Sende-Empfangeinheit, welche über eine passende Frequenz mit dem Chip kommuniziert benötigt. Ähnlich den Sensoren gibt es auch hier eine Unterscheidung zwischen aktiven und passiven Transpondern:

**Aktive Transponder** zeichnen sich durch eine eigenständige Energieversorgung, meist durch eine Batterie, aus und bieten hohe Reichweite und Speicherkapazität. Sie sind aber durch die Abhängigkeit der Energieversorgung in ihrer Nutzungsdauer begrenzt und erfordern höhere Kosten bei der Herstellung gegenüber den passiven Transpondern.

**Passive Transponder** hingegen haben durch die Energieversorgung über die Funkwellen des Lesegeräts eine nahezu unendliche Lebensdauer. Sie sind zwar günstig herzustellen, doch ist ihre Reichweite und Speicherkapazität deutlich geringer gegenüber aktiven Transpondern. Passive RFID Transponder arbeiten in den Frequenzbändern LF (Niederfrequenz), HF (Hochfrequenz) und UHF (Ultrahochfrequenz). Je höher das eingesetzte Frequenzband ist, desto höher sind Reichweite und Übertragungsrate. Während bei UHF Reichweiten von bis zu 7 Metern überbrückbar sind, schaffen es aktive Transponder sogar auf mehrere Hundert Meter im GHz Frequenzbereich. Dadurch ist die RFID Technologie sehr flexibel bezüglich ihrer Einsatzmöglichkeit.

Eine Weiterentwicklung der normalen Speichertansponder führte zu **intelligenten Transpondern** (*Smart-Tags*) welche Mehrfachbeschreibbarkeit sowie Zusatzfunktionalität wie zum Beispiel Verschlüsselung bieten. Die RFID-Technologie ist zwar schon praxistauglich, jedoch besteht noch ein hoher Entwicklungsbedarf auf dem Gebiet der Datensicherheit, der Frequenzvergabe und Standardisierung, sowie bei der Herstellung der Transponder.

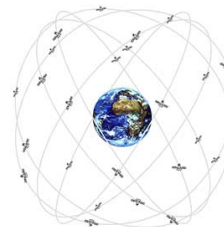
Prinzipiell sind RFID-Tags zur automatischen Identifizierung von Gegenständen und Lebewesen gedacht. So wird die RFID Technologie bereits seit 1970 zur Tieridentifikation in der Landwirtschaft genutzt. Doch durch technologische Entwicklung und Fortschritte in der Fertigung besteht seit ca. 2000 ein enormes Wachstum im Absatz der RFID-Tags, was auf einen erhöhten Einsatz im Logistik- und Warenwirtschaftsbereich zurückzuführen ist. Zusätzlich zu der Funktion Informationen zu speichern wird die RFID Technologie zur Positionsbestimmung zweckentfremdet. Durch den Einsatz mehrerer stationärer Lesegeräte können RFID-Tags auch zur Ortsbestimmung verwendet werden. Durch mehrfache Abstandsmessung und Richtungspeilung lässt sich die Entfernung des Transponders ermitteln und somit seine relative Position bestimmen. [RFI07]



**Abbildung 1.**  
Schematische Darstellung eines RFID-Transponders

### 3.2 GPS

GPS (Global Positioning System) bezeichnet das bisher einzig funktionierende, globale satellitengestützte Navigationssystem der Welt. Gestartet wurde das Projekt bereits 1973 durch das amerikanische Verteidigungsministerium unter dem Namen **NAVSTAR GPS**. Ursprünglich nur für militärische Zwecke gedacht erreichte das Projekt 1995 volle Funktionsbereitschaft. Um nicht autorisierte Benutzer von einer genauen Positionsbestimmung auszuschließen wurde die Genauigkeit des Systems durch eine Funktion namens Selective Availability (SA) künstlich verschlechtert. Hierzu wurde die vom Satelliten übermittelte Uhrzeit, sowie die Positionsdaten leicht verfälscht. Nur Geräte mit passendem Schlüssel konnten die volle Funktionalität nutzen. Am 1.5.2000 wurde SA schließlich deaktiviert und somit konnten alle zivilen Geräte eine Genauigkeit von mindestens 4m erreichen.



**Abbildung 2.**  
Umlaufbahnen der GPS Satelliten

Das Prinzip der satellitengestützten Ortsbestimmung basiert auf mindestens 24 Satelliten, die die Erde auf einer nominellen Höhe von 20200km umkreisen (Siehe Abbildung 2). Diese Satelliten senden zyklisch ihren Namen, Position, ein atomuhrbasiertes Zeitsignal, sowie Informationen über ihre Umlaufbahn. Zur Bestimmung einer Position vergleicht ein GPS Empfänger das Zeitsignal mit der lokalen Zeit und errechnet anhand der Differenz seinen Abstand zum Satelliten. Durch die Entfernungsdaten von mindestens 3 Satelliten kann der Empfänger durch das Verfahren der **Trilateration** seine Position auf der Erdoberfläche bestimmen. Hierbei bilden die Entfernungsdaten der 3 Satelliten einen eindeutigen Schnittpunkt auf der Erde, an dem der Empfänger sich befinden muss. Durch die Auswertung von mindestens 4 Entfernungsdaten lässt sich zusätzlich noch die

Höhe über NN berechnen. Bei der Auswahl der Trägerfrequenz mussten mehrere Bedingungen berücksichtigt werden:

- Frequenzen über 2GHz benötigen Richtantennen in den Empfangsgeräten.
- Ionosphärische Verzögerungen sind in den Frequenzbereichen kleiner 100 MHz und größer 10 GHz enorm hoch.
- Je tiefer die Frequenz ist, desto mehr weicht sie in der Ausbreitungsgeschwindigkeit in Medien von der Lichtgeschwindigkeit ab.
- Die gewählte Frequenz sollte in einem Bereich liegen, in dem die Signalausbreitung nicht durch Wetterphänomene wie Wolken, Regen oder Schnee gestört werden kann.

Daraufhin wurde für GPS eine Trägerfrequenz im L-Band (1000-2000MHz) mit 1575,42 MHz gewählt, damit die Signalausbreitung nicht erheblich gestört werden konnte. Dennoch ist eine Positionsbestimmung nur außerhalb von Gebäuden zufriedenstellend möglich, da ein ungestörter Sichtkontakt zu den Satelliten gewährleistet sein muss. Andere Fehlerquellen wie Reflexionen, Uhrenungenauigkeit oder Rundungsfehler lassen sich auf Kosten der Genauigkeit kompensieren. Der maßgebende Vorteil von GPS ist die globale Verfügbarkeit der Satelliten. So kommt es zum Einsatz in Seefahrt, Luftfahrt und als Navigationshilfe im Kraftfahrsektor. Den einzigen Nachteil stellt die fehlende Indoorfähigkeit dar. Sofern das System auch in Zukunft gewartet wird, ist GPS von hoher Zuverlässigkeit und Zukunftssicherheit. [KW07]

### 3.3 Weitere Verfahren

Weitere Verfahren, die zur Ortsbestimmung verwendbar sind, sind beispielsweise Wireless-Lan, GSM (Global System for Mobile Communications), Infrarot oder Ultraschall. Bis auf Ultraschall basieren diese Verfahren auch auf dem Prinzip der Trilateration zur Positionsbestimmung, womit viele Sende-Empfangseinheiten verfügbar sein müssen. Wireless-Lan (WLAN) bietet neben der Möglichkeit zur Ortsbestimmung noch eine Funkdatenübertragung, um mobilen Geräten Zugriff auf Internet oder LAN zu geben (Siehe Kapitel 4). Eine Besonderheit unter diesen weiteren Verfahren ist die GSM-Technologie, welche im Mobilfunksektor angewendet wird. Mobilfunknetze sind mittlerweile nahezu flächendeckend in Großteilen der Industrieländer verfügbar. Ein riesiges Netz von Sendemasten stellt eine hohe Erreichbarkeit der Systeme sicher. Für die Ortserkennung hat GSM den Vorteil, dass die hohe Signalstärke der Sendemasten den Empfang der GSM-Frequenzen auch innerhalb von Gebäuden ermöglicht. Jedoch ist die Ortung innerhalb von Mobilfunknetzen noch den Netzbetreibern vorenthalten. Es gibt aber bereits Ansätze mit Kartendaten, in denen die Sendemasten verzeichnet sind, mit denen dann ein GSM Mobilgerät anhand der empfangbaren Sender selbst seine ungefähre Position bestimmen kann. Ein weiterer Nachteil ist dabei, dass eine GSM-Ortung nur mit einer Vielzahl von Sendemasten im Ortungsbereich eine hohe Genauigkeit erreichen kann. Somit ist die Einsatzfähigkeit zur präzisen Ortsbestimmung nur unter bestimmten Bedingungen sinnvoll.

[OVLL05]

Bei der Ultraschalltechnologie basiert die Ortsbestimmung auf der Auswertung von Wellenreflexionen. Ein Ultraschallsendegerät emittiert Ultraschallwellen und errechnet auf der Basis der Zeitabstände zwischen den Reflexionen der Wellen eine Entfernung zu einem Objekt. Da solche Ultraschallwellen leicht abgelenkt werden können, und mehrere Sendegeräte das Zielobjekt nicht eindeutig identifizieren können, ist diese Technik nur bedingt für die Ortsbestimmung im Szenario des Ubiquitous Computing einsetzbar. Diese Technik findet allerdings hohe Verwendung im Bereich der Nautik in Systemen wie Echolot oder Sonar. [HHS<sup>+</sup>99]

### 3.4 Zusammenfassende Betrachtung der Verfahren im Vergleich

Anhand der Kriterien In-/Outdoortauglichkeit, Genauigkeit, und Sichtabhängigkeit lässt sich folgender Vergleich der Verfahren ermöglichen:

| Verfahren   | Indoortauglichkeit | Outdoortauglichkeit | Genauigkeit     | Sichtabhängigkeit |
|-------------|--------------------|---------------------|-----------------|-------------------|
| RFID        | vorhanden          | vorhanden           | metergenau      | nein              |
| GPS         | nicht vorhanden    | vorhanden           | < 1 Meter       | ja                |
| GSM         | vorhanden          | vorhanden           | funkzellengenau | nein              |
| WLAN        | vorhanden          | bedingt vorhanden   | metergenau      | nein              |
| Infrarot    | bedingt vorhanden  | bedingt vorhanden   | milimetergenau  | ja                |
| Ultraschall | bedingt vorhanden  | bedingt vorhanden   | milimetergenau  | ja                |

Zusätzlich ist zu erwähnen, dass prinzipiell alle Verfahren auch mit Bewegung und Richtungsänderung umgehen können, sofern das Scanintervall kurz genug ist. Jedoch praxistauglich funktioniert dies am Besten bei GPS. Daraus ergibt sich, dass die Verfahren RFID im Indoorbereich, sowie GPS im Outdoorbereich das höchste Potential für die Positionsbestimmung im Szenario des Ubiquitous Computing haben. [SH02]

## 4 Datenaufbereitung und Datenübertragungsmöglichkeiten

Um Sensordaten auf mobilen Geräten wie z.B. PDAs kontextbewußt nutzen zu können, müssen diese erst aufbereitet werden. Um von der physikalischen Ebene der Sensormesswerte zu abstrahieren existiert folgende Schichtenarchitektur:

**Sensoren:** Auf dieser Ebene lässt sich zwischen physischen Sensoren und logischen Sensoren unterscheiden. *Physische Sensoren* sind reelle, aktive bzw. passive Sensoren die physische Daten der Umgebung wie z.B. Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Helligkeit usw. messen. Der Zugang zu diesen Daten wird meist über A/D Wandler und Mikrocontroller hergestellt, bzw. sind durch smart-sensors bereits verfügbar. Sensordaten, die das Mobile Gerät schon kennt (beispielsweise Zeit, Datum oder selbsterfasste Werte), werden hier als *logische Sensoren* deklariert. Anschließend wird für jeden Sensor dieser Schicht eine Funktion definiert, die

entsprechend des Wertes einen Vektor-, Skalar- oder symbolischen Wert zurückliefert. Zugleich werden diese Funktionen auf sinnvolle Messbereiche beschränkt, um bereits grobe Messfehler zu eliminieren.

**Signalfunktionen:** In dieser Schicht wird jedem Sensor mindestens eine Signalfunktion zugeordnet. Diese Signalfunktionen werten nun die Werte der Sensoren aus der Sensorschicht aus und erzeugen symbolische Werte. Z.B. wird ein ausgelesener Temperaturwert von 22°C zu dem symbolischen Wert *angenehme Temperatur* verarbeitet.

**Kontexte:** Ein Kontext wertet nun diese Signalfunktionen aus und erstellt eine Sammlung von Umgebungsdaten zum Beschreiben der aktuellen Situation, in der sich der Benutzer bzw. das Gerät gerade befindet.

Ein Beispielszenario hierfür wäre die Erkennung anhand von Lichtsensordaten, ob sich eine Person oder Gerät innen oder außen aufhält. Nach einer Lichtintensitätsmessung eines Fotosensors ergibt sich ein Rohwert von 150 Candela. Der Fotosensor misst mit etwa 100 Byte pro Sekunde. Die Signalfunktion verarbeitet nun diese Werte zu einer Symbolischen Aussage wie *Tageslicht*. Eine andere Luftfeuchte- und Luftdrucksensorverarbeitung liefert den Wert *Regen* zurück. Nun kann sich der Kontext auf diese Aussagen beziehen und daraus ableiten, dass die Person oder das Gerät sich wohl außen aufhält. Je mehr redundante Sensoren auftreten, desto wahrscheinlicher ist eine korrekte Auswertung des Kontextes.

Durch diese 2-stufige Abbildung von Sensor auf Signalfunktion und von Signalfunktion auf Kontext können die Rohdaten der physikalischen Sensoren einfach auf verschiedene Kontexte angewandt werden. Da im Optimum eine Vielzahl verschiedenster Sensoren vorhanden ist, wäre eine explizite Einzelauswertung zur Kontextgewinnung äußerst umfangreich. Genau genommen ergeben die Signalfunktionen unabhängig betrachtet noch keine Kontextinformationen. Erst die Vielzahl unterschiedlicher Symbolwerte ergibt nach einem Lernprozess über die Umweltbedingungen verschiedener Kontexte einen echten Zusammenhang zum eigentlichen Kontext. [SBG99]

Damit ein mobiles Gerät mit verschiedenen Sensoren kommunizieren kann, wurden zahlreiche drahtlose Datenübertragungsverfahren je nach Anwendungsgebiet entwickelt. Im folgenden Abschnitt werden nun die gängigsten solcher Verfahren erläutert.

#### 4.1 Funkübertragungsverfahren

Um den Gedanken der Smart-tags aus Kapitel 3.1 nochmal aufzugreifen können auch mittels **RFID**-Technologie Sensordaten drahtlos übertragen werden. Dafür steckt in den smart-tags außer den Identifikationsdaten noch ein eingebetteter Sensor um zusätzlich Informationen über die Umgebung zu erfassen. Ein mobi-



les Gerät, welches mit einem RFID-Lesegerät ausgestattet ist, kann somit auch über Smart-tags und der RFID-Technologie drahtlos auf Sensordaten zur Kontextbestimmung zugreifen.

Ein weiteres drahtloses Übertragungsverfahren ist **ZigBee**. Es handelt sich hierbei um einen neuen Wireless Personal Area Network (WPAN) Standard, der besonders für niedrige Datenraten, und gerade im Mikroelektronik Bereich wichtigen geringen Energieverbrauch, konzipiert ist. Basierend auf dem seit Dezember 2004 verfügbaren IEEE 802.15.4 Standard wurde ZigBee für die Vernetzung von Heimgeräten entwickelt. Hier soll es ermöglichen, Haushaltsgeräte oder Sensoren auf kurzen Distanzen von bis zu 80m zu verbinden. Solche Geräte lassen sich in 3 Rollen unterteilen.

Einfache **Endgeräte** wie z.B. ein Lichtsensor verwenden nur einen Teil des Protokolls und werden auch Reduced Function Devices (**RFD**) genannt. Diese melden sich dann bei einem Router in der Nähe an und treten dem Netzwerk bei. Solche **Router** sind entweder separate Geräte, nur für den Zweck des Routings, oder Full Function Devices (**FFD**) die zusätzlich eine Routingfunktion übernehmen. Zuletzt wird einer der Router als **Coordinator** festgelegt, welcher dann den Netzaufbau sowie die Datenverbindungen verwaltet.

ZigBee findet vor allem bei der Gebäudeautomatisierung Einsatz, um abhängig von Sensordaten, bestimmte Aktionen auszulösen. Beispielsweise kann mit Hilfe von Temperatursensoren die Heizung geregelt werden, oder durch Bewegungssensoren die Raumbeleuchtung gesteuert werden. Hat nun ein mobiles Gerät via ZigBee Zugang zu solchen Gebäudeautomatisierungssystemen, hat es Zugriff auf eine Vielzahl von Umweltinformationen, wie zum Beispiel eine Belegung der Räume, ermittelt durch Bewegungssensoren, die gerade im Indoorbereich zur Kontextgewinnung genutzt werden können. [TR07]

## **Bluetooth**

Im Nahbereich für drahtlose Übertragungen hat sich der Standard **Bluetooth** durchgesetzt. Hauptsächlich dafür gedacht, um Kabelverbindungen zwischen Geräten zu ersetzen. So findet es Einsatz in vielen Peripheriegeräten wie Scanner, Drucker, Tastaturen im PC-Bereich. Aber auch im Mobiltelefon- und PDA-Bereich hat Bluetooth ein breites Anwendungsspektrum. Bei Bluetooth sind die Geräte in **Piconetzen** von bis zu 8 Geräten organisiert. Eines davon, übernimmt die Rolle des **Masters**, welcher dann die Slaves koordiniert. Überlappen sich solche Piconetze, durch unterschiedliche Reichweiten der Geräte, bilden sich so genannte **Scatternetze**, in denen Geräte dann zeitgleich Master und Server sein können. Bluetooth nutzt den 2,4GHz Frequenzbereich und überbrückt Reichweiten von bis zu 100 Metern. Ähnlich einer MAC-Adresse besitzen Bluetooth Geräte eindeutige Identifizierungscodes zur Koordinierung und dauerhaften Kopplung zwischen Geräten. Erwähnenswert ist hierbei noch die Tatsache, das Bluetooth regelmäßige Frequenzwechsel durchführt, und somit auch mit Hilfe von Datenverschlüsselung ein Stören und Abhören der Verbindung erschwert. [Hei06]

## WLAN

Der bekannteste Vertreter der drahtlosen Funkübertragung ist Wireless Local Area Network, kurz WLAN. Gemäß dem Standard IEEE 802.11 arbeitet WLAN überwiegend im 2,4 GHz Bereich. Im Gegensatz zu WPAN haben WLAN Netze größere Reichweiten und bieten höhere Übertragungsraten. Datenraten von bis zu 300 Mbps sind mit dem neuesten Standard IEEE 802.11n möglich. Somit eignen sich WLAN Funkverbindungen hervorragend zu einer drahtlosen Internetanbindung, bzw. um schnellen Zugang zu großen Datenmengen herzustellen. Generell gibt es eine Unterscheidung der WLAN Netze in Infrastruktur Modus, Ad-Hoc Modus und Repeater Modus.

Der **Infrastruktur-Modus** ist ähnlich dem Aufbau in GSM Systemen. Eine Basisstation (Access Point) übernimmt die Koordination aller Clients und sendet zyklisch, ca. 10-mal pro Sekunde, sogenannte **Beacon Frames**, welche Informationen über das Funknetz beinhalten, wie z.B. den Network Service Set Identifier (**SSID**), Prioritäten und Sendeerlaubnisse für einzelne Stationen, sowie Daten über Empfangsstärke oder Art der Verschlüsselung. Dadurch sind ein einfacher Verbindungsaufbau und eine Aufrechterhaltung der Verbindung möglich.

Im **Ad-Hoc-Modus** gibt es keine Access Points wie beim Infrastrukturmodes, die den Datenverkehr regeln. Hier sind alle Stationen gleichberechtigt, in Bezug auf Senderecht oder Verbindungsaufbau. Der entscheidende Nachteil beim Ad-Hoc-Modus ist, dass nur eine kleine Anzahl an Stationen effizient kommunizieren kann. Durch den Mangel an Beacon Frames ist es den Stationen nicht möglich festzustellen, ob alle anderen Stationen desselben Modus innerhalb ihrer Reichweite liegen. Daher eignet sich der Ad-Hoc-Modus nur für eine geringe Anzahl von Stationen, welche sich in physischer Nähe befinden. Von daher werden für die Vernetzung mobiler Endgeräte im Ad-Hoc Modus Verfahren wie Bluetooth eher bevorzugt.

Um höhere Reichweiten zu erreichen können mit Geräten im **Repeater-Modus** die Funkdaten sozusagen weitergereicht werden. Dafür werden die einzelnen Datenpakete empfangen, aufbereitet, und wieder gesendet. Durch die Reichweite des Repeaters werden so die Pakete über die Reichweite des Access-Points hinaus weiter verteilt. Hierbei ist zu erwähnen, dass sich solch eine Weiterleitung nicht unendlich kaskadieren lässt. Aufgrund von Zeitslots und time-to-live Zeitschranken sollte sich das Weiterreichen der Pakete auf ca. 3-4 Hops beschränken, um noch eine akzeptable Performanz zu erhalten. [PK06]

## GPRS

Aus dem Bereich des Mobilfunk ist die Übertragungstechnologie des General Packet Radio Service (**GPRS**) hervorgegangen. Dieses Verfahren nutzt die Datenübertragung in GSM Netzen um Nutzdaten zu übertragen. Anstelle einer Telefongesprächverbindung werden statt Gesprächsdaten Nutzdaten wie Internetinhalte oder Multimedienachrichten ausgetauscht. So kann mit mobilen Ge-

räten über GSM ein Zugriff auf Internetinhalte erfolgen, um auch an Orten ohne Funkdatenverbindungen, wie beispielsweise WLAN, Zugriff auf relevante Informationen zu erhalten. Zwar ist die Datenübertragungsrate bei GPRS recht bescheiden, jedoch gibt es mittlerweile Fortschritte und neue Standards wie das *Universal Mobile Telecommunication System (UMTS)*, welche dafür ausgelegt sind, breitbandigere Datenverbindungen zu ermöglichen. Zukünftig gesehen besteht dadurch die Möglichkeit, auch unterwegs, wo auch immer ein GSM Signal verfügbar ist, schnellen Zugriff auf Nutzdaten jeglicher Art zu bekommen. [Lim07]

## 5 Multi-Sensor-Datenfusion

Unter optimalen Umständen hat ein mobiles Gerät wie z.B. ein PDA Zugriff auf sehr viele Sensoren und die damit verbundenen Sensordaten. Doch woran kann erkannt werden, welche Daten relevant sind? Um Informationen über den momentanen Kontext zu erhalten, müssen viele dieser Sensordaten sinnvoll ausgewertet werden. Dazu hat sich die Verfahrensweise der **Multi-Sensor-Datenfusion** entwickelt, welche eine Zusammenführung und Aufbereitung der zusammenhanglosen Sensordaten zu einem homogenen, kontextbezogenen Datensatz versuchen.

Dazu müssen die Daten zuerst anhand einiger Kriterien strukturiert werden. Oftmals werden für eine genaue Lagebetrachtung mehrere zum Teil völlig unterschiedliche Sensordaten ausgewertet. Diese Sensorrohdaten müssen, bevor sie überhaupt erst kombinierbar sind, durch Vorgehensweisen wie die Schichtenarchitektur zur Datenaufbereitung (Siehe Kapitel 4) auf eine semantische Ebene gebracht werden. Erst danach ist ein Rückschluss auf den Umgebungskontext möglich. Beispielsweise können erst nach Kenntnis von Lichtintensität, Luftdruck und Luftfeuchte sinnvolle Aussagen über die Wetterverhältnisse getroffen werden.

Ein weiterer Aspekt der Datenfusion ist die Diskrepanz zwischen den verschiedenen Zeiträumen, aus denen Sensordaten sein können. Bei einem Zugriff auf gespeicherte Sensordaten können diese bereits veraltet sein, wodurch es im Zweifelsfall zu Fehlentscheidungen kommen kann. Hierbei muss eine Entscheidung getroffen werden, ob ein Ergebnis einer Datenfusion mit veralteten Daten besser ist, als ein Ergebnis das ohne die Verwendung solcher erstellt wurde. Für diese Entscheidung gibt es bereits mehrere Ansätze, die auf lernfähiger Softwaresimulation beruhen. Die Entwicklung solcher lernfähigen Entscheidungssysteme ist schwierig, da sie anhand von speziell für den Einsatzbereich zugeschnitten Testszenarien trainiert werden müssen. Ein Beispielszenario aus dem Umfeld des Ubiquitous Computing hierfür wäre folgendes: Ein PDA soll seinen Benutzer bei der Auswahl seiner Kleidung unterstützen. Der letzte Zugriff auf wetterrelevante Sensordaten war am Abend zuvor, vor dem Betreten des Hauses. Schlägt das PDA dem Benutzer jetzt nach einem regnerischen Vortag, ohne Kenntnis der

aktuellen Wetterinformationen, regensichere Kleidung vor, obwohl es evtl. ein sonniger Tag ist? Hierbei sollte der Benutzer dann seinem PDA beibringen, das es ihm evtl. den Vorschlag macht, aber daraufhin weißt, dass die Empfehlung aufgrund älterer Daten inkorrekt sein kann.

Als eine zusätzliche Hürde ist die Priorisierung und Gewichtung der Informationen zu werten. Hierbei müssen je nach Anwendungsfall geeignete Abschätzungen getroffen werden, um zum bestmöglichen Auswertungsergebnis zu gelangen. Beispielsweise sind mehrere gleiche Sensoren an verschiedenen Standorten verfügbar, wodurch sich manche besser zur korrekten Datengewinnung eignen. Von daher muss bei einer Auswahl aus vielen Sensorquellen eine kontextabhängige Gewichtung gegeben sein. Zum Beispiel liefern entfernte Wetterstationen präzisere Werte, als welche die lokal von einem PDA bestimmt wurden.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass mit der Multi-Sensor-Fusion eine starke Verbesserung der Nutzbarkeit von Sensordaten erreicht werden kann. Zwar gibt es noch keine universale Lösung zur Verwendung der Datenfusion, jedoch sind bereits einige anwendungsspezifische Lösungen verfügbar. [GKKS04]

## 6 Multisensornetze

Bisher war es nur möglich, Sensoren einzeln zu adressieren, oder auf Sensordaten aus Datenbanken zuzugreifen. Da bei solch einer zentralisierten Lösung jeder Sensor eine Verbindung zu einer Basisstation haben muss, lassen sich oft nur begrenzte Szenarien modellieren. In einem nächsten Schritt der Entwicklung werden nun Sensoren zu Sensornetzen zusammengefasst. Ziel dabei ist es, das die Sensoren miteinander kommunizieren, und sich somit ein ganz neues Anwendungsspektrum eröffnet. Im folgenden Abschnitt werden nun diese Ansätze sowie die Anforderungen an Hard- und Software erläutert.

### Hardware

Basierend auf der Idee der smart-sensors bilden sich aus Sensor-, Prozessor-, Kommunikations- und Energieversorgungseinheit sogenannte Sensorknoten. Eine Sensoreinheit besteht dabei aus einem, oder mehreren verschiedenen Messfühlern, zur Ermittlung der gewünschten Umfeldinformationen. Die Prozessoreinheit beinhaltet einen Mikrocontroller, der die ermittelten Sensordaten aufbereitet. In der Kommunikationseinheit wird dann für einen Austausch der Daten mit anderen Knoten oder einer Basisstation gesorgt. Letztlich kümmert sich die Energieversorgungseinheit um eine möglichst langlebige, konstante Spannungsversorgung, um eine langfristige Lebensdauer der Sensorknoten zu ermöglichen. Gerade dieser Aspekt der Energieversorgung ist jedoch das Hauptproblem der Sensornetze, da Sensorknoten für viele Anwendungsszenarien möglichst klein und effizient sein sollen. Daher wird gerade bei der Wahl der verwendeten Mikrocontroller, oder der Auswahl der Kommunikationstechnologie hoher Wert auf bestmögliche Energieeffizienz gelegt.

## Software

Auch seitens der Software für Sensorknoten soll ein schonender Umgang mit Ressourcen bewerkstelligt werden. Daher hat sich das Open-Source Betriebssystem **TinyOS**, ein speziell auf Hardwaresysteme mit knappen Ressourcen zugeschnittenes Softwaresystem, als Grundlage für drahtlose Sensornetze etabliert. Des Weiteren muss, um die vielen Sensorknoten miteinander zu verknüpfen, noch ein geeignetes Routing-Verfahren gewählt werden. Sensornetze bilden Ad-Hoc Netze, das heißt Netze die dezentral organisiert sind. Es gibt keinen zentralen Vermittlungspunkt der die Verbindungen untereinander koordiniert. Die einzelnen Sensorknoten sind dabei mit einem oder mehreren Nachbarn in Reichweite verbunden. Dabei entsteht eine Multi-Hop-Kommunikation, bei der die Nachrichten von Knoten zu Knoten weitergereicht werden, bis der gewünschte Zielknoten erreicht ist. Die Netzstruktur zeichnet sich hierbei durch ein dynamisches Verhalten aus, da Anzahl, Sendestärke oder Position der einzelnen Knoten variieren kann. Daher muss ein geeignetes Netzwerkprotokoll eingesetzt werden, das möglichst effizient arbeitet, und gleichzeitig die Ressourcen der Sensorknoten schont, indem sie beispielsweise lange Schlafzeiten realisieren, oder leistungshungrige Bauteile wie die Kommunikationseinheit möglichst selten verwenden.

Ein Beispiel einer kommerziellen Umsetzung solcher Sensorknoten ist die **Sun Small Programmable Object Technology** (SunSpot, siehe Abbildung 3). Die Firma Sun Microsystems möchte mit der SunSpot-Technologie das Potential drahtloser Multi-Sensor-Netze ausreizen und sie in alltäglichen Anwendungen einsetzen. Bisherige Umsetzungen von Sensorknoten waren primitiv und schwer zu programmieren. Deshalb versucht Sun eine massenmarkttaugliche, einfache Lösung zu entwickeln. Durch flexible Ausstattung der Hardware soll ein breites Einsatzgebiet in Robotik, Umgebungsüberwachung, Paketverfolgung etc. gefunden werden. Besonderes Merkmal ist hierbei, dass Sun gegenüber anderen Plattformen eine eigene, eingebettete Umgebungsentwicklung namens Squawk VM verwendet. Diese ermöglicht es, die CPU direkt, ohne Betriebssystem, zu programmieren. Dies reduziert den Overhead und erhöht wiederum die Perfor-

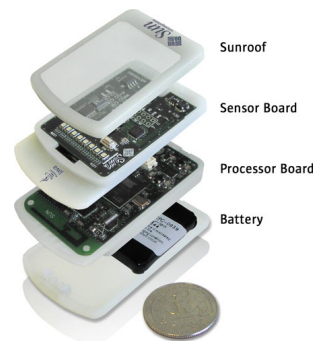


Abbildung 3. Ein SunSpot Sensorknoten

mance. Des Weiteren hat der Endbenutzer selbst die Möglichkeit, eigene Implementierungen auf den SunSpot Knoten zu verwenden. Somit bietet die SunSpot Entwicklung eine flexible Alltagslösung für den Aufbau eigener Multi-Sensor-Netze.

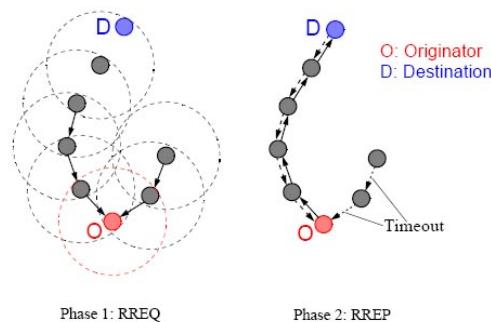
Da die Anwendungsgebiete für Sensornetze sehr unterschiedlich sind, wird es wahrscheinlich nie ein richtig universales Protokoll für Routing in Multi-Sensor-Netzen geben. Es existieren mittlerweile über 70 konkurrierende Entwürfe für solche Routingprotokolle unterschiedlichster Anwendungsgebiete. Dennoch hat sich mit dem **Ad-Hoc On-demand Distance Vector** Routingalgorithmus (AODV) ein viel verwendetes Routing-Protokoll in mobilen Ad-Hoc Netzen etabliert. [ASSC02]

AODV zeichnet sich durch eine aggregierte Sicht auf den Netzzustand aus. Das heißt mehrere Knoten werden zu logischen Einheiten zusammengefasst. Des Weiteren unterstützt es eine dynamische Anpassung auf Änderungen des Netzzustandes, sowie eine Ermittlung der Leitwege nur nach Bedarf. Dadurch lässt sich eine erhebliche Reduzierung des Kontrollnachrichtenovertheads bewerkstelligen. Voraussetzung für die Anwendung von AODV ist allerdings die Möglichkeit einer bidirektionalen Kommunikation zwischen den Knoten, welche je nach Anwendungsgebiet nicht immer gegeben ist. Basierend auf dem Bellmann-Ford Distanzvektorverfahren werden in jedem Knoten Routingtabellen angelegt. Darin werden Adressen der Zielknoten, der nächste Hop Richtung Zielknoten, sowie die Anzahl der Hops bis zum Zielknoten gespeichert. Diese Tabellen sind initial leer und füllen sich nach und nach durch die Entdeckung neuer Nachbarn. Diese Nachbarn teilen dann ihre Informationen über weitere Knoten im Netz. Im Optimalfall kennt also jeder Knoten jeden Knoten im gesamten Netz. Damit nun Knoten untereinander kommunizieren können, müssen Leitwege zueinander ermittelt werden.

AODV benutzt hierfür folgendes Verfahren:

Jeder Knoten führt eine eigene, stets wachsende Sequenznummer. Diese wird bei jeder Kommunikation mitgeschickt. Wird nun ein Leitweg zu einem entfernten Knoten benötigt, schickt der Quellknoten per Broadcast eine Route Request Nachricht (**RREQ**) an alle Nachbarknoten in seinem Sendebereich. Jeder Knoten der das **RREQ** erhalten hat, und nicht der Zielknoten selbst ist, leitet es nun per Broadcast weiter, sofern er nicht schon einen aktuellen Leitweg zum Zielknoten hat. Jedoch wird das **RREQ** nur einmal pro Knoten gesendet, falls es durch Überlappung der Reichweiten zu redundantem Empfang kommt. Hierbei merken sich die weiterleitenden Knoten, von welchem Knoten das **RREQ** kam. Befindet sich der Zielknoten noch im Netz, so empfängt er nach endlich vielen Hops das **RREQ**. Daraufhin antwortet dieser mit einem Unicast Route Reply (**RREP**) an den Knoten, von dem das **RREQ** kam. So addiert sich zu jedem **RREP** zurück zum Quellknoten der korrekte Leitweg zum Zielknoten. Abbildung 4 zeigt einen

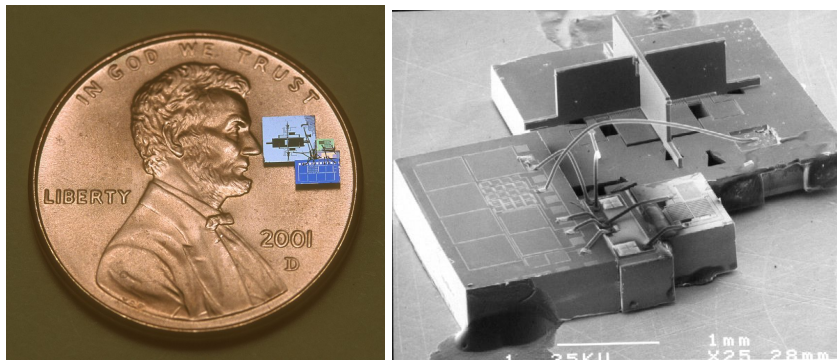
beispielhaften Ablauf einer Routing Anfrage. Der Originator (O) sendet seinen RREQ, der dann von den nachfolgenden Knoten bis zum Destinator (D) weitergereicht wird. Danach wird durch RREP Pakete der Leitweg ermittelt. Damit es bei einer Abwesenheit des Zielknotens im Netzwerk zu keiner Endlosflut von Broadcast Nachrichten kommt, müssen geschickte Timeout-Parameter gewählt werden. Ein guter Ansatz hierbei ist das Verfahren des Expanding Ring Search, bei dem zur Begrenzung der RREQ-Pakete ein Time-To-Live Parameter nach und nach vergrößert wird. Besteht nun ein Leitweg vom Quellknoten zum Zielknoten, so werden bei jeder Benutzung die Sequenznummern aktualisiert. Im Falle eines Linkbruches zweier benachbarter Knoten wird an alle RREQ zum verlorenen Knoten dieser Linkbruch mit einer Fehlermeldung (**RERR**) signalisiert, wobei dann ein neuer Routing Versuch über evtl. andere Routen versucht werden kann. [PBRD03]



**Abbildung 4.** Routing in AODV

Das Potenzial und die Forschungsentwicklung solcher Sensornetze lässt sich gut am **Smart-Dust** Forschungsprojekt der Universität Berkeley zeigen. Der Name *intelligenter Staub* weist schon auf das dahinter stehende Konzept hin. Ziel ist es, kleinste Sensorknoten, die dann wie Staub verteilt werden können, zu entwickeln, um großflächig Daten zu sammeln und weiterzugeben. Diese Staubkörner sollen die Größe von  $1\text{mm}^3$  nicht überschreiten, selbstorganisierend sein, und dabei noch möglichst lange funktionieren. Potentielle Anwendungsmöglichkeiten sind hierfür beispielsweise ein System zur Bestimmung von Waldbränden, oder im militärischen Bereich die risikofreie Überwachung und Spionage in feindlichen Gebieten. Doch um diese Anforderungen zu erfüllen müssen Smart-Dust Knoten grundlegende Eigenschaften wie minimalsten Energieverbrauch, ausreichende Rechenleistung zur Verarbeitung der Sensordaten, sowie eine Möglichkeit zur Kommunikation auf einem angestrebten Raummaß von  $1\text{mm}^3$  unterstützen können. Hierbei ist der Aspekt der Kommunikation am schwierigsten zu bewerkstelligen, da im Millimeterbereich keine effiziente Funklösung mehr mach-

bar ist. Deshalb soll bei Smart-Dust das Konzept der optischen Kommunikation verwendet werden. Hierbei werden gebündelte Laserstrahlen mittels winziger Richtspiegel empfangen und moduliert reflektiert. Somit kann über einem Gebiet ausgestreuter Smart-Dust Knoten z.B. mit Hilfe eines Satelliten die Sensorwerte ausgelesen werden. Ein alternativer Ansatz sieht noch eine Laserstrahl Erzeugung auf den einzelnen Smart-Dust Knoten vor, womit dann die Knoten wie in einem Multi-Sensor-Netz untereinander kommunizieren können. Der Nachteil hierbei ist aber der erhöhte Energieverbrauch zur Erzeugung des Laserstrahls, sowie die Tatsache, dass eine direkte Sichtverbindung untereinander bestehen muss.



**Abbildung 5.** Größenvergleich und Detailaufnahme eines Smart-Dust Knotens

Das Smart-Dust Projekt wurde 2001 beendet, da die Entwicklung in der Mikrofertigung einfach noch nicht weit genug war, um das gewünschte Ziel der Größe vom  $1\text{mm}^3$  zu erreichen. Dennoch sind aus der Idee zahlreiche Umsetzungen hervorgegangen, die die Konzepte in der Praxis zumindest auf Tauglichkeit testen konnten, wenn auch nur mit Kubikzentimeter großen Sensorknoten. Abbildung 5 zeigt ein Beispiel für eine solche Umsetzung. Sollte die Mikrofertigung eines Tages dazu in der Lage sein, solche Konzepte zu einer technischen Reife zu bringen, dann eröffnet dies ungeahnte neue Möglichkeiten für die verschiedensten Anwendungsmöglichkeiten. Datenschützer kritisieren jedoch die Möglichkeit, dass sich diese Technologie hervorragend zur unbemerkten Spionage benutzen lässt, und somit ein heftiger Eingriff in die Privatsphäre eines jeden Menschen sei. [KKP99]

## **7 Umgang mit ungenauen und widersprüchlichen Rohdaten und Kontextinformationen**

Um genaue Kontextinformationen zu gewinnen, müssen unter Umständen sehr viele verschiedene Sensordaten ausgewertet werden. Dabei entsteht die Proble-



matik, dass solche Sensordaten nicht immer korrekt sein können. Solche verfälschten Daten heißen **dirty data** (schmutzige Daten). Diese lassen sich generell in 2 Formen unterscheiden:

**Verpasste Antworten:** Sensoren bestehen oft aus Bauteilen niedriger Qualität, damit die Produktionskosten so gering wie möglich bleiben. Deshalb kann es bei der Abfrage der Sensorwerte regelmäßig zu Ausfällen kommen, dass also überhaupt kein Messwert ausgegeben wird. Beispielsweise zeigte ein Experiment des Intel Research Lab der Universität Berkeley, das in einem drahtlosen Sensornetz ein Sensor nur durchschnittlich 42% der angeforderten Daten lieferte. Dies kann in komplexen Verarbeitungssystemen zu Problemen führen, da solche oftmals auf zeitgenaue Messwerte angewiesen sind.

**Fehlerhafte Antworten:** Oft kommt es vor, dass Sensordaten unpräzise oder unmögliche Ergebnisse zurückliefern. Beispielsweise meldet ein Sensor weiterhin seine Daten, auch nach einem Hardwaredefekt der Messeinheit, wobei diese dann dauerhaft falsch sind. Beispielsweise waren bei einem Experiment in Sonoma County, CA 8 von 33 Temperaturfühlern ausgefallen, sendeten aber weiterhin Werte über 100°C. Bei temperaturabhängigen Steueranlagen könnte dies dann zu ernsthaften Problemen führen, wie zum Beispiel einer Überlastung von Kühlaggregaten in einem sensorgeregelten Kühlhaus.

Um diese Effekte entsprechend zu mildern, müssen die fehlerhaften Daten bereinigt werden, bevor diese weiterverarbeitet werden. Dazu bietet es sich an, noch bevor verschiedene Applikationen auf die Sensordaten zugreifen, diese in einem Zwischenschritt entsprechend aufzubereiten. Um den Effekt der verpassten Antworten zu kompensieren empfiehlt es sich beispielsweise, einen Durchschnittswert über alle Werte der letzten 5 Sekunden zu ermitteln. Für die verfälschten Daten sollte dann entsprechend ein sinnvolles Wertintervall definiert werden, um zumindest Werte außerhalb des Messbereiches zu eliminieren. Dennoch lassen sich solche Verfahren nicht universell einsetzen. Es müssen jeweils anwendungsspezifische Annahmen getroffen und realisiert werden, um einen optimalen Ablauf zu gewährleisten. Einen relativ gut einsetzbaren Ansatz stellt dabei das Extensible Stream Processing (ESP) dar. ESP ist ein Framework zur Sensordatenbereinigung in verschiedenen Applikationen. Basierend auf der Idee, in einer Datenbank gespeichert Sensordaten durch geschickte Anfragen aufzubereiten, verarbeitet ESP die Daten in 5 Schritten:

1. **Point:** Hierbei werden einzelne Werte anhand einfacher Filterregeln überprüft.
2. **Smooth:** Hierbei werden, basierend auf chronologisch fortlaufenden Werten, Ausreißer und verlorengegangene Werte mit Hilfe von Aggregatfunktionen angeglichen.
3. **Merge:** Ähnlich der Smooth Stufe fasst Merge gleichartige Daten verschiedener, identischer Sensoren zusammen, gruppiert nach ihrer räumlichen Anordnung.

4. **Arbitrate:** Die Arbitrate Phase eliminiert Duplikate, die durch verschiedene Messbereichsüberlappungen auftreten können. Beispielsweise in der Schnittmenge zweier gegenüberliegender RFID-Lesegeräten, nachdem deren Datensätze zusammengefasst wurden.
5. **Virtualize:** Schließlich werden in der Virtualize Stufe nochmal Datensätze mit extra zur Bereinigung angelegten Datensätzen verglichen und kombiniert.

Somit können in einer Zwischenstufe, noch bevor eine Applikation auf die Sensordatenbank zugreift, die bereinigten Daten eingespielt werden. [JAF<sup>+</sup>06]

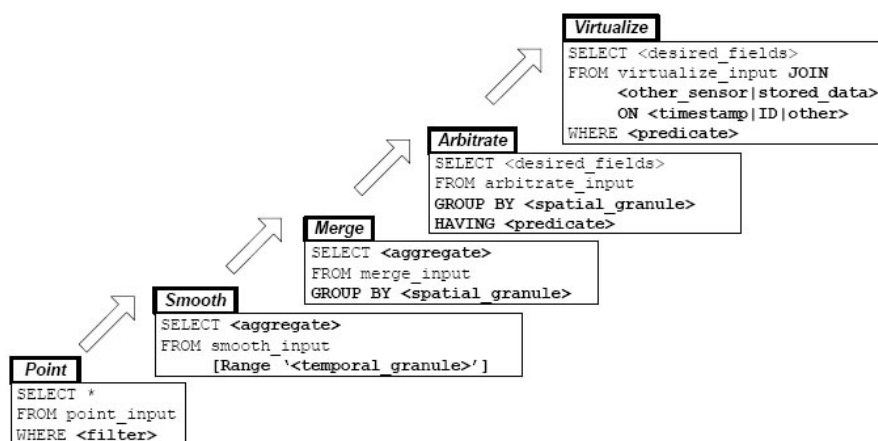


Abbildung 6. Typischer Ablauf der 5 Bereinigungsstufen mit Beispieldatenanfragen

## 8 Fazit

Neben einer Einführung in die Problemfelder der Sensoren und Sensordatenaufbereitung wurden in Kapitel 2 die elementare Funktionsweise von, sowie die Anforderungen an verfügbare Sensortechnologien erläutert. Auf Basis dieser Sensorhardware wurden dann die verschiedenen Verfahren zur Ortserkennung verglichen. Der Fokus lag hierbei auf den Verfahren RFID, GPS und GSM, da diese besonders im Bereich des mobilen Computing mehrfach eingesetzt werden können.

Die Verfahren in Kapitel 4 sollten einen Überblick über die Möglichkeiten der kontextbewussten Datenaufbereitung, sowie der verschiedenen Datenübertragungsmöglichkeiten geben. Der Schwerpunkt lag hierbei auf den drahtlosen Übertragungsverfahren wie ZigBee, Bluetooth, WLAN und GPRS. Die Aspekte der Kontextermittlung wurden nur rudimentär behandelt, da es dazu noch eine ausführlichere Seminararbeit geben wird. Nachdem nun die Möglichkeiten

der Sensordatenerzeugung, und die Zugangsverfahren zu solchen geklärt waren, konnten in einem nächsten Schritt die Verfahren, um eine Vielzahl verfügbarer Daten sinnvoll auszuwerten, genauer beschrieben werden. Hierbei spielten Kriterien wie eine zusammenhängende Strukturierung, unterschiedlich alte Daten, sowie eine entsprechende Priorisierung und Gewichtung der Informationen eine große Rolle. In einem weiteren Schritt konnten dann einzelne Sensoren zu großen Sensornetzen fusionieren, welche sich dann ohne existierende Infrastruktur selbstständig durch reaktive Routingverfahren organisieren konnten. Des Weiteren wurde der Ansatz der flächendeckenden Vernetzung am Beispiel der Smart-Dust Idee näher gebracht. Somit fehlte nur noch ein Überblick über die Möglichkeiten, diese Fülle von mittlerweile verfügbaren Datensätzen zu bereinigen, damit ungenaue oder widersprüchliche Informationen eine Auswertung solcher nicht verfälschen.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass mit Hilfe von Sensoren nahezu jede Messgröße eines potenziellen Szenarios erfasst werden kann. Durch Jahrhunderte alte Erfahrungen und Entwicklungen aus dem Bereich der Elektrotechnik konnte das reine Erfassen der Messwerte nahezu perfektioniert werden. Doch die Erfassung der Daten, Vernetzung der Sensoren oder die Informationsgewinnung zur Kontexterstellung bieten noch einen hohen Forschungsbedarf. Gerade im Bezug auf die immer kleiner werdenden Sensorknoten ergeben sich ganz neue Einsatzmöglichkeiten. Am Beispiel der Smart-Dust Idee konnte man bereits sehen, dass in einer nicht allzu weit entfernten Zukunft nahezu alles vernetzt sein kann. Somit kann, mit Hilfe ausgereifter Software, zukünftig die Lebensqualität vieler Menschen entscheidend verbessert werden. Angefangen bei Unterstützungen im täglichen Arbeitsbereich, wie beispielsweise eine automatische Anpassung von Licht oder Temperatur nach den Bedürfnissen eines Benutzers in seinem Büro, über medizinische Frühwarnsysteme die beispielsweise Vitalfunktionen eines Benutzers auswerten. Kontextbewusste Systeme werden die Gesellschaft verändern. Beziehungsweise sie haben es bereits. So nutzen heutzutage nahezu jeder LKW-Fahrer, viele Berufskraftfahrer, ja sogar mittlerweile viele ambitionierte Privatpersonen satellitengestützte Navigationssysteme, welche nichts anderes als eine Kontextbewusste Applikation darstellen. Und wohl kaum jemand würde behaupten, dass durch die Benutzung der intelligenten Navigationssysteme, die mittlerweile sogar relevante Echtzeit-Verkehrsinformationen in ihre Routenberechnungen einfließen lassen, keine Verbesserung der Lebensqualität der benutzenden Menschen stattfinden würde. Bleibt nur noch die berechtigte Furcht der Gesellschaft vor heimlicher Überwachung und der auf Dauer stärker werdenden Technikabhängigkeit. Dies sind mitunter zwei der Kernprobleme, die die Entwicklung neuer Systeme mit sich bringen, weshalb auch hier noch erhöhter Forschungsbedarf besteht. Was die Zukunft bringt, wird sich zeigen. Einen Ausblick darauf, liefert ein Zitat von Kris Pister, dem Entwickler der Smart-Dust Idee:

In 2010 Micro-Electro-Mechanical System sensors will be everywhere, and sensing virtually everything. Scavenging power from sunlight, vibration, thermal

gradients, and background RF, sensors motes will be immortal, completely self contained, single chip computers with sensing, communication, and power supply built in. Entirely solid state, and with no natural decay processes, they may well survive the human race. Descendants of dolphins may mine them from arctic ice and marvel at the extinct technology.[KKP99]

## Literatur

- ASSC02. AKYILDIZ, Ian F. ; SU, Weilian ; SANKARASUBRAMANIAM, Yogesh ; CAYIRCI, Erdal: Wireless sensor networks: a survey. In: *Computer Networks* 38 (2002), Nr. 4, S. 393–422
- GKKS04. GORODETSKY, Vladimir ; KARSAEV, Oleg ; KOTENKO, Igor ; SAMOILOV, Vladimir: Multi-Agent Information Fusion: Methodology, Architecture and Software Tool for Learning of Object and Situation Assessment., 2004
- Hei06. HEIN, Ludwig: *Bluetooth - Die Grundlagen*. <http://www.all-about-security.de/artikel+M5061159e32a.html>. Version: 2006. – [Online; Stand 16. Juni 2007]
- HHS<sup>+</sup>99. HARTER, Andy ; HOPPER, Andy ; STEGGLES, Pete ; WARD, Andy ; WEBSTER, Paul: The Anatomy of a Context-Aware Application. In: *MOBICOM*, 1999, S. 59–68
- JAF<sup>+</sup>06. JEFFERY, Shawn R. ; ALONSO, Gustavo ; FRANKLIN, Michael J. ; HONG, Wei ; WIDOM, Jennifer: Declarative Support for Sensor Data Cleaning. In: *Pervasive*, 2006, S. 83–100
- Kar07. KARLSRUHE, Carl-Engler-Schule: *ComputerUnterstützte Labor-Messtechnik*. <https://ces.karlsruhe.de/culm/messtechnik/sensoren/einteilung.htm>. Version: 2007. – [Online; Stand 16. Juni 2007]
- KKP99. KAHN, Joseph M. ; KATZ, Randy H. ; PISTER, Kristofer S. J.: Next Century Challenges: Mobile Networking for „Smart Dust“. In: *MOBICOM*, 1999, S. 271–278
- KW07. KÖHNE, Anja ; WÖSSNER, Michael: *Wie funktioniert GPS. Alles Wissenswerte*. <http://www.kowoma.de/gps/index.htm>. Version: 2007. – [Online; Stand 16. Juni 2007]
- Lim07. LIMITED, MorganDoyle: *GPRS Tutorial*. [http://www.item.ntnu.no/fag/tm8100/Pensumstoff2004/GPRS\\_Tutorial.pdf](http://www.item.ntnu.no/fag/tm8100/Pensumstoff2004/GPRS_Tutorial.pdf). Version: 2007. – [Online; Stand 16. Juni 2007]
- OVLL05. OTSASON, Veljo ; VARSHAVSKY, Alex ; LAMARCA, Anthony ; LARA, Eyal de: Accurate GSM Indoor Localization. In: *UbiComp*, 2005, S. 141–158
- PBRD03. PERKINS, C. ; BELDING-ROYER, E. ; DAS, S.: *Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing*. <http://www.ietf.org/rfc/rfc3561.txt>. Version: 2003. – [Online; Stand 16. Juni 2007]
- PK06. PIETZKO, Stephan ; KALKBRENNER, Andreas: *Wireless LAN (WLAN)*. <http://wiki.uni-konstanz.de/wlan>. Version: 2006. – [Online; Stand 16. Juni 2007]
- RFI07. RFID, Informationsforum: *Basiswissen RFID*. [http://www.info-rfid.de/downloads/basiswissen\\_rfid.pdf](http://www.info-rfid.de/downloads/basiswissen_rfid.pdf). Version: 2007. – [Online; Stand 16. Juni 2007]
- SBG99. SCHMIDT, Albrecht ; BEIGL, Michael ; GELLERSEN, Hans-Werner: There is more to context than location. In: *Computers & Graphics* 23 (1999), Nr. 6, S. 893–901
- SH02. STAUDINGER, Martin ; HASELGRÜBLER, Bernhard: *Die Genauigkeit der Ortsbestimmung mit Mobilfunkgeräten bei der automatischen Standortbestimmung in Notfällen*. [ftp://ftp.geoinfo.tuwien.ac.at/staudinger/staudinger\\_haselgruebler\\_agit2002.pdf](ftp://ftp.geoinfo.tuwien.ac.at/staudinger/staudinger_haselgruebler_agit2002.pdf). Version: 2002. – [Online; Stand 16. Juni 2007]
- TR07. TUTORIAL-REPORTS.COM: *Zigbee Tutorial*. <http://www.tutorial-reports.com/wireless/zigbee/>. Version: 2007. – [Online; Stand 16. Juni 2007]

Wik07. WIKIPEDIA: *Sensor* — *Wikipedia, Die freie Enzyklopädie*. <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Sensor&oldid=33187321>.  
Version: 2007. – [Online; Stand 16. Juni 2007]