

# Intelligente RFID – mehr als Identifizierung

Walter Lang, R. Jedermann, C. Behrens, A. Sklorz, W. Benecke, R. Laur  
MCB - Microsystem Center Bremen, Universität Bremen  
wlang@imsas.uni-bremen.de

## Kurzfassung

In den letzten Jahren entwickelt sich die Logistik zu einem neuen wichtigen Anwendungsfeld der Mikrosystemtechnik. Ein Grund dafür ist die Einführung der RFID (Radio Frequency Identification Devices) Technologie. Dazu kommt, dass in der Logistik neue Prozesse entwickelt werden, bei denen die Überwachung und Steuerung des Transportes durch das Transportgut selbst erfolgt bzw. durch intelligente Mikrosysteme, die mit dem Gut verbunden sind. Durch die Selbststeuerung werden logistische Prozesse für Transport und Produktion einfacher und effizienter. In der folgenden Untersuchung wird ein Überblick über den Stand dieser Entwicklung sowie die Möglichkeiten und Trends gegeben.

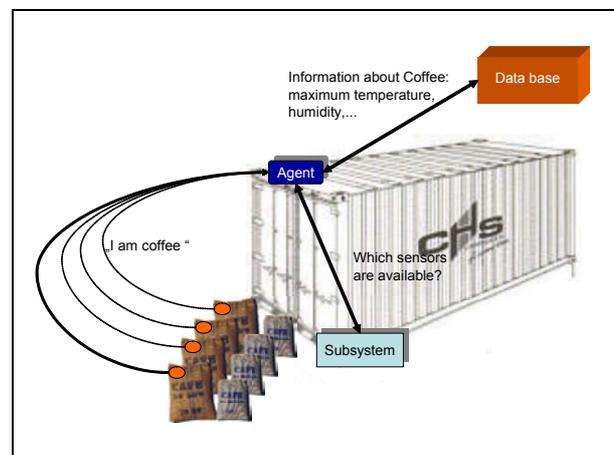
## 1 Selbststeuerung in der Logistik

In der Logistik vollziehen sich zur Zeit zwei Revolutionen. Die eine ist die Einführung der RFIDs (Radio Frequency Identification Devices) [1]. Smart tags erlauben die drahtlose Identifikation und sie können Information speichern. Die zweite ist die Idee der Selbststeuerung logistischer Prozesse [2]. Heute sind Transportgüter passiv. Nehmen wir eine Ladung Erdbeeren aus Polen, die nach Holland soll. Heute wird die Temperatur des Kühllasters überwacht. In Zukunft werden die Güter von Systemen begleitet sein, die den Transport überwachen, rückverfolgbar dokumentieren und gegebenenfalls eingreifen. Ein Sensornetzwerk in der Ladung überwacht den Zustand der Erdbeeren. Wenn abzusehen ist, dass die Ladung morgen bei der Ankunft in Holland verdorben sein wird – das erkennt man an der vermehrten Produktion von Ethylen – dann wird Alarm gegeben und der Fahrer steuert z.B. die nächste Konfitürefabrik in Deutschland an.

Welche Hardware muss entwickelt werden, damit die Idee der Selbststeuerung Wirklichkeit werden kann? Zunächst ist verteilte Intelligenz und Sensorik nötig. Sensornetzwerke müssen die Ladung überwachen, die Knoten müssen miteinander und mit übergeordneten Systemen kommunizieren. Hier ist der Berührungspunkt zur RFID-Technologie, die eine Kommunikationsplattform für kurze Distanzen bereitstellt, mit der man nicht nur Identifikationsnummern, sondern auch Messdaten weiterleiten kann.

Die Möglichkeiten der Selbststeuerung in der Logistik werden im Sonderforschungsbereich 637 „Selbststeuerung logistischer Systeme – ein Paradigmenwechsel und seine Grenzen“ untersucht. In diesem auf 12 Jahre angelegten Projekt der Deutschen Forschungsgemeinschaft arbeiten Logistiker, Informati-

ker, Wirtschaftswissenschaftler, Kommunikationswissenschaftler und Mikrosystemtechniker zusammen. Im Teilprojekt der MST entsteht ein hierarchisches modulares Netzwerk, mit dem die Idee der Selbststeuerung auf der Ebene eines Containers oder eines Lasters demonstriert werden kann. Bild 1 zeigt die Vision eines intelligenten Containers [3].



**Bild 1** Ein intelligenter Container, der die Güter identifiziert und den Transport überwacht.

## 2 RFID und Sensorik

### 2.1 Stand der Entwicklung der intelligenten RFID

Die passiven RFID-Tags, die heute in großer Stückzahl eingesetzt werden, bestehen aus einem RFID-Chip, der zusammen mit einer Antenne auf einen Träger integriert ist. Der Chip ist in Siliziumtechnologie gefertigt. In der Regel wird die Dünnschichttechnologie eingesetzt. Das Silicium wird auf einige zehn  $\mu\text{m}$  abgedünnt, so dass die Chips biegsam sind. Die Systeme sind passiv, das bedeutet, der Chip wird durch die elektrische Leistung seiner Antenne versorgt. Der Chip hat eine Kennnummer gespeichert, die er an das Lesegerät sendet. Die Datenübertragung erfolgt im einfachsten Falle durch das getaktete Erden der Antenne. Der kleine Energieverlust des Feldes, der entsteht, wenn die Antenne geerdet ist, wird vom Sender im Lesegerät als zusätzliche Dämpfung wahrgenommen. Ein RFID-Chip heutiger Technologie benötigt nur 10  $\mu\text{W}$  Leistung. Die Lesegeräte senden mit einer typischen Leistung von 500mW. Auf diese Weise kann man die Identifizierung im Meterbereich durchführen. Die möglichen Reichweiten mit heutiger Technologie liegen bei ca. 10 m.

Komplexe Smart Cards verfügen über einen beschreibbaren Speicher und können vom Lesegerät Daten übernehmen. In diese Kategorie gehören auch die Zahlkarten, wie sie im öffentlichen Nahverkehr oder in Kantinen gerne verwendet werden. Die Reichweite ist hier jedoch meist auf einige Zentimeter beschränkt.

Die Kopplung von RFIDs mit Sensoren wird weltweit von vielen Arbeitsgruppen betrieben. Es gibt bereits Temperaturdatenlogger [4] sowie eine Reihe von berührungslosen Sensoren für Druck und Temperatur, die insbesondere in der Medizintechnik eingesetzt werden [5].

### 2.2. Randbedingungen und ihre Konsequenzen für Sensorsysteme

#### 2.2.1 Wege zur Sensorankopplung

Während ein Identifikationschip mit einigen  $\mu\text{W}$  betreiben werden kann, brauchen Sensoren und Sensorelektronik mehr Leistung. Ein digitaler Temperatursensor benötigt 35 $\mu\text{W}$ , ein Beschleunigungssensor 50  $\mu\text{W}$ . Diese Energie kann man nur über wenige cm

übertragen. Für die Sensorankopplung ergeben sich folgende Möglichkeiten:

1. Passives Sensor-RFID: Die Speisung des Sensors aus dem Feld des Lesegerätes ist möglich, aber nur über wenige cm. Bedeutung hat dies vor allem in der Medizintechnik. Hirndrucksensoren, Augeninnendrucksensoren und andere implantierte Sensoren können direkt gespeist werden. Eine weitere Anwendung sind Sensoren in Maschinen oder Motoren. Hier kommt es nicht darauf an, große Strecken zu überbrücken, sondern man will Kontakt zu Sensoren auf drehenden Teilen herstellen oder man will bei Montage und Reparatur keine Kabel verlegen.
2. Aktives Sensor-RFID. Hier wird der Sensor durch eine Batterie betrieben. Solche Systeme können mit einer Batterie jahrelang arbeiten. Wichtig ist ein gutes Energiemanagement. Oft wird der Sensor getaktet betrieben. Wird ein Temperatursensor alle 5 Minuten für 50 ms betrieben, so hat man ein Taktverhältnis von 1:6000 verbunden mit der entsprechenden Energieeinsparung. Allerdings stellt sich heraus, dass der Funkkontakt des Sensorknotens nach außen sehr energieintensiv ist.
3. Beim gemischten Betrieb mit einer Stützbatterie wird der Tatsache Rechnung getragen, dass die Kommunikation zuviel Energie braucht und damit die Batterielebensdauer reduziert. Ein Beispiel ist der Temperaturdatenlogger im Scheckkartenformat [4]. Die Batterie speist einen Sensor und die Datenspeicherung. Ausgelesen wird das System über ein Lesegerät, die Energie zur Datenübertragung kommt aus dem Feld des Lesegerätes.

#### 2.2.2 Hierarchische Systeme

Einfache passive Identifikationstags sind billig, komplexe aktive Sensortags sind teuer. Wie kann man die komplexe Funktion erhalten und doch nur den billigen Preis bezahlen? Der Weg dazu sind hierarchische Netzwerke. Man kann sich das folgendermaßen vorstellen: Ein Packung Tiefkühlfish ist mit einem einfachen passiven Tag ausgestattet, das eine Identifikationsnummer und einen kleinen Speicherbereich bereitstellt, aber keine Sensorik. Die Packung wird in einen intelligenten Kühlcontainer geladen. Beim Einladen besteht Funkkontakt zwischen dem Lesegerät des Containers und dem RFID. Der Container überwacht Temperatur und Feuchte ortsaufgelöst und weiß auch, an welcher Stelle das Paket mit dieser Identnummer liegt. Beim Ausladen hat das RFID wieder Kontakt, der Container schreibt auf den Speicher den

der Container schreibt auf den Speicher den Verlauf von Temperatur und Feuchte am Ort des Paketes. Damit ist für das Paket die Aufgabe der Rückverfolgbarkeit und der lückenlosen Nachweisbarkeit des gesamten Transportweges erfüllt.

Um Selbststeuerung zu verwirklichen, werden Entscheidungen auf der niedrigsten Ebene gefällt, auf der sie möglich sind. Auch die energetische Analyse führt zum gleichen Ergebnis: es ist besser, auf niedriger Ebene die Daten zu reduzieren und weniger zu kommunizieren, denn Kommunikation ist, energetisch gesehen, teurer als Rechenleistung. Andererseits kann man aus Kostengründen die große Anzahl an Knoten nicht mit allen Fähigkeiten ausstatten. Daher werden die Sensorensysteme modular und hierarchisch strukturiert sein.

### 2.2.3 Knotendichte und Multi-Hopping

Wie eng müssen die Knoten liegen? Es zeigt sich, dass nicht unbedingt die Maschengröße des Sensor-netzes die Dichte der Knoten bestimmt. Unter Umständen wird es mehr Knoten als Sensoren geben. Der Grund ist wieder im Energieverbrauch zu suchen. Man kann ein Signal von Knoten zu Knoten weiterreichen (Multi-Hopping). So gibt es mehr Kommunikationsvorgänge, aber über kürzere Entfernung. Da die benötigte Energie in erster Näherung mit den Quadrat der Entfernung wächst, wird so insgesamt weniger Energie aufgewandt.

## 3 Anforderungen der Logistik

Welche Größen müssen erfasst werden um Gütertransport und Lagerung zu überwachen? Das Folgende beruht auf einer Umfrage unter Logistikfirmen, von denen die meisten auf dem Gebiet des Lebensmitteltransportes arbeiten.

### 3.1 Sensorik

Die Temperatur ist die wichtigste Kenngröße. Bei Kühltransporten wird die Temperatur garantiert und überwacht. Verlässt die Temperatur nachweislich den spezifizierten Bereich, so ist der Transporteur regresspflichtig. Trotzdem gibt es in heutigen Kühlcontainern nur drei Temperaturmessstellen. Dies ist sicher zu wenig, um das Transportgut wirklich zu überwachen. Dieses Manko kann durch ein Sensornetzwerk überwunden werden. Temperatursensoren mit hoher Genauigkeit und geringem Energieverbrauch sind auf dem Markt verfügbar.

Ein zweite Messgröße mit ebenfalls höchster Priorität ist die Feuchte. Viele Transportgüter sind hygroskopisch, insbesondere gilt das bei getrockneten Lebensmitteln. Diese geben an die Umgebung Wasser ab oder nehmen es auf, bis sie mit der Feuchte der Luft im Gleichgewicht stehen. Dieses Gleichgewicht ist jedoch stark temperaturabhängig. Ein Container, der z.B. Trockenfrüchte enthält, wird am Tag von der Sonne aufgeheizt und die Früchte geben Wasser ab. Wenn in der Nacht die Wand des Containers kalt wird bildet sich Schwitzwasser, das auf das Obst tropft. So kann es passieren, dass im Inneren das Obst austrocknet während es außen naß ist. Wird es zu trocken, wird das Obst zerstört. Übersteigt die Feuchte die Schimmelgrenze, die in der Regel bei 75% relativer Feuchte liegt, verdirbt die Ladung. Daher ist eine orts aufgelöste Messung nötig.

Temperatur und Feuchte werden im Wesentlichen vom konvektiven Wärme- und Stofftransport bestimmt. In gekühlten Systemen wird die Konvektion durch ein Gebläse erzwungen. Man muss jedoch sicherstellen, dass der kalte Luftstrom durch das Kühlgut strömt und nicht daran vorbei. Bei unsachgemäßer Stauung gibt es Hohlräume, die Shortcuts bilden. Daher ist es wichtig, die Konvektionsströmung zu überwachen. Dies kann durch Strömungssensoren geschehen oder durch die Auswertung des Temperaturprofils. Dazu sind verteilte Messpunkte sowie ein numerisches Modell nötig.

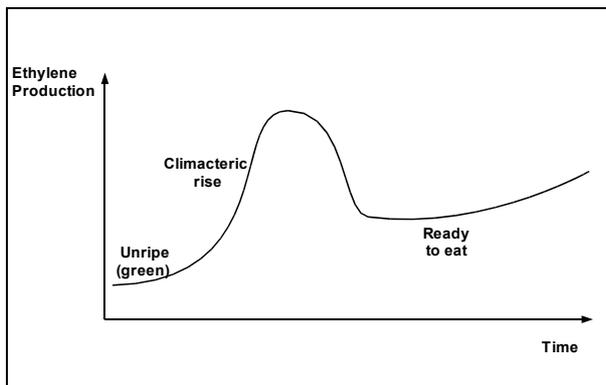
Ein erheblicher Teil der Transportschäden entsteht rein mechanisch, wenn ein Karton herunterfällt. Um festzustellen, wer den Schaden trägt und um die Prozesse zu verbessern, muss man wissen, wann dies geschah. Die Beschleunigungsmessung stellt deswegen ein Problem dar, weil kontinuierlich gemessen werden muss. Während bei den anderen Messgrößen eine Messung pro Minute ausreicht und das System die meiste Zeit im Sleep-Modus Energie sparen kann, kommt ein Stoß unvorhergesehen und ist kurz. Auch wenn der Sensor nur 50µA braucht, wird die Batterie mit 36mAh im Monat belastet.

Neben diesen Messungen stehen eine Reihe von Aufgaben aus der Biosensorik wie z.B. der Nachweis von Bakterien und Pilzen, die das Transportgut befallen können, weiterhin chemische Sensorik für Kohlendioxid und Ethylen.

### 3.2 Die Rolle des Ethylen

Eine besondere Rolle bei Obst und Gemüse spielt das Ethylen. Es stellt für die Pflanzen ein Reifehormon dar. Reifendes Obst gibt Ethylen ab, andererseits wird

durch Ethylen der Reifeprozess getriggert. So kommt es, dass sich in Laderäumen „Reifenester“ ausbilden, die sich schnell ausbreiten und die Ladung zerstören. Bei den sogenannten „klimakterischen Früchten“, wie z.B. der Banane, verläuft die Entwicklung von Ethylen wie in Bild 2 skizziert. Nach einem langsamen Anstieg gibt es ein deutliches Maximum, das Klimakterium. Danach ist die Frucht reif zum Essen, aber nur noch sehr kurze Zeit haltbar. Um das Klimakterium zu erkennen, genügt ein Nachweis im Bereich von einigen ppm (parts per million). Dies ist mit Infrarotspektrometern und mit einigen Gassensoren möglich. Zur Transportüberwachung ist es jedoch nötig, den langsamen Anstieg vorher zu messen und zu analysieren. Dazu muss eine Nachweisgrenze im Bereich von ppb (parts per billion) erreicht werden. Die Messverfahren sind dann wesentlich komplizierter, miniaturisierte Systeme gibt es noch nicht. Aussichtsreiche Kandidaten sind die Gaschromatographie und die photoakustische Spektroskopie. Miniaturisierte Gaschromatographen wurden bereits für die Messung von Schadgasen in Gebäuden (sick building syndrom) entwickelt [6]. Diese Systeme erreichen eine Nachweisgrenze von wenigen ppb.



**Bild 2** Verlauf der Ethylenproduktion klimakterischer Früchte

## 4 Literatur

- [1] Klaus Finkenzeller: RFID Handbuch, Hanser 2002
- [2] M. Freitag et al.: RFID Technology Enables Autonomous Logistic Processes. MST News 5/04. P.42-44.
- [3] R. Jedermann et al.: Applying Autonomous Sensor Systems in Logistics. Eurosensors, Barcelona 2005, to be published
- [4] RFID Journal, 2004:  
[www.rfidjournal.com/article/articleprint/448/1/1](http://www.rfidjournal.com/article/articleprint/448/1/1)
- [5] M. Meiners et. al.: Rf Smart-Sensor for Venous Ulcer Treatment. Transducers 2005, Seoul, Technical Digest 453-456
- [6] J. Stürmann et. al.: A Micromachined Gas Chromatographic Column to Optimize the Gas Selectivity for a Resistive Thin Film Gas Sensor. Transducers 2005, Seoul, Technical Digest 2083-2086