

Drahtlose Sensornetze als Werkzeug zur Echtzeiterkennung und -verarbeitung von Events in der Supply Chain

1	Einleitung	3
2	Drahtlose Sensornetztechnologie	4
3	Echtzeiterkennung und -verarbeitung von Events in der Supply Chain	8
4	Drahtlose Sensornetze in der Logistik – Status Quo	12
5	Fazit.....	14
6	Danksagung.....	14
	Literatur.....	14

* Dipl.-Wirtsch.-Inform. Sebastian Zöller studierte Wirtschaftsinformatik an der Technischen Universität Darmstadt. Seit 2009 ist er wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Multimedia Kommunikation von Prof. Ralf Steinmetz an der Technischen Universität Darmstadt. Dort ist er Mitglied der Forschungsgruppe Mobile and Event-Based Services und befasst sich u.a. mit dem Einsatz drahtloser Sensornetze in der Logistik.

** Dr.-Ing. Marek Meyer arbeitete bei SAP Research und promovierte am Lehrstuhl für Multimedia Kommunikation an der Technischen Universität Darmstadt. Seit 2008 leitet er die Forschungsgruppe Mobile and Event-Based Services des Lehrstuhls und befasst sich u.a. mit Technologien des Internets der Dinge, Location Based Services und Smartphone-Applikationen.

*** Prof. Dr.-Ing. Ralf Steinmetz war über neun Jahre in der industriellen Forschung und in der Entwicklung von verteilten Multimediasystemen und -anwendungen tätig. Seit 1996 ist er Professor für Multimedia Kommunikation an der Technischen Universität Darmstadt. Mit über 20 Forschern arbeitet er an der Verwirklichung seiner Vision der echten „nahtlosen Multimedia Kommunikation“. Er wurde zum IEEE und ACM Fellow ernannt und ist Beauftragter für Informations- und Kommunikationstechnologie des Landes Hessen.

1 Einleitung

Mit der Technologie der drahtlosen Sensornetze ist in den letzten Jahren eine Technologie entstanden, die u.a. eine Erkennung und Verarbeitung von Events in der Supply Chain in Echtzeit ermöglicht. Im Folgenden wird dargestellt, wie eine solche Eventerkennung und -verarbeitung aussehen kann, welche Herausforderungen mit der Realisierung eines solchen Systems verbunden sind und welche Vorteile, gerade auch im Hinblick auf die Nutzung im Kontext des Supply Chain Event Managements (SCEM), sich hierdurch bieten. Eine einleitende kompakte Darstellung der Technologie soll als Grundlage hierfür dienen. Der aktuelle Stand hinsichtlich des Einsatzes von drahtlosen Sensornetzen in der Logistik wird abschließend skizziert.

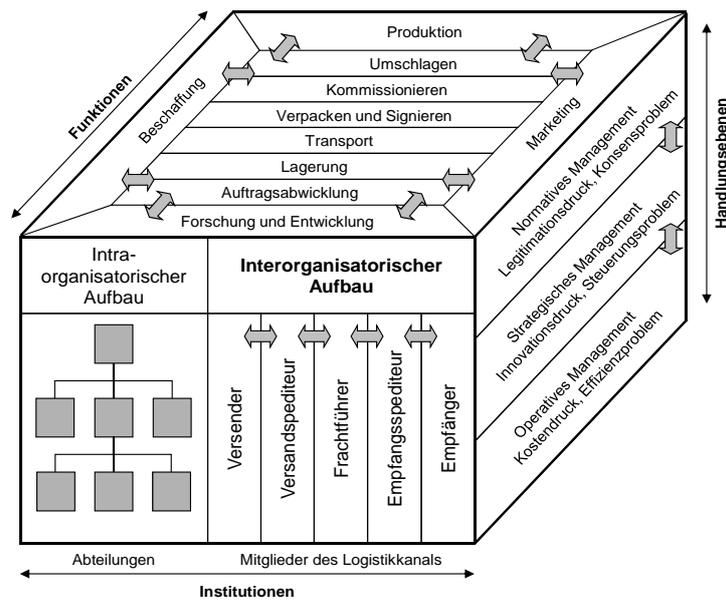


Abbildung 1: Logistikvariablen. Quelle: Pfohl 2004: 26.

Drahtlose Sensorknoten und die sich aus diesen zusammensetzenden drahtlosen Sensornetze ermöglichen das Erfassen und Überwachen verschiedenster Umweltdaten, aber auch die Verarbeitung und Speicherung der entsprechenden Daten sowie die drahtlose Datenübertragung, z.B. während eines Gütertransports. Dementsprechend können bei einer Gesamtbetrachtung der in der Logistik vorherrschenden Komplexität, wie sie bspw. Pfohl vornimmt (vgl. Pfohl 2004: 25f., Pfohl 1997: 645f. sowie Abb. 1), drahtlose Sensornetze als unterstützende Instrumente im Bereich der Handlungsebenen der Logistik eingesetzt werden. In diesem Kontext können drahtlose Sensornetze sowohl vorteilhaft im Rahmen des operativen Logistikmanagements als auch im Rahmen des strategischen Logistikmanagements genutzt werden. Beispielhaft ermöglicht der Einsatz drahtloser

Sensornetze eine schnelle Erfassung und Benachrichtigung über Events, z.B. eine kritische Temperaturüberschreitung, und somit eine umgehende Prozessanpassung als Reaktion auf dieselben. Entsprechend erscheint auch die Nutzung drahtloser Sensornetze im Rahmen des Supply Chain Event Managements (vgl. hierzu auch Abschnitt 3) vielversprechend. Die durch die drahtlosen Sensoren erfassten Events und Daten können weiterhin auch für eine langfristige bzw. historienbasierte Supply Chain-Beobachtung und -Analyse genutzt werden. Hierbei können die erhobenen Daten eine Grundlage für Prozessverbesserungen und für eine unternehmensübergreifende und partnerschaftliche Performanceanalyse bilden.

2 Drahtlose Sensornetztechnologie

Die Grundlage jedes drahtlosen Sensornetzes sind einzelne drahtlose Sensorknoten (vgl. Abb. 2). Diese drahtlosen Sensorknoten kommunizieren miteinander und bilden so ein drahtloses Sensornetz. Entsprechend wird in diesem Abschnitt zunächst auf den drahtlosen Sensorknoten als Basis-komponente drahtloser Sensornetze eingegangen und darauf aufbauend die Technologie drahtloser Sensornetze beschrieben.

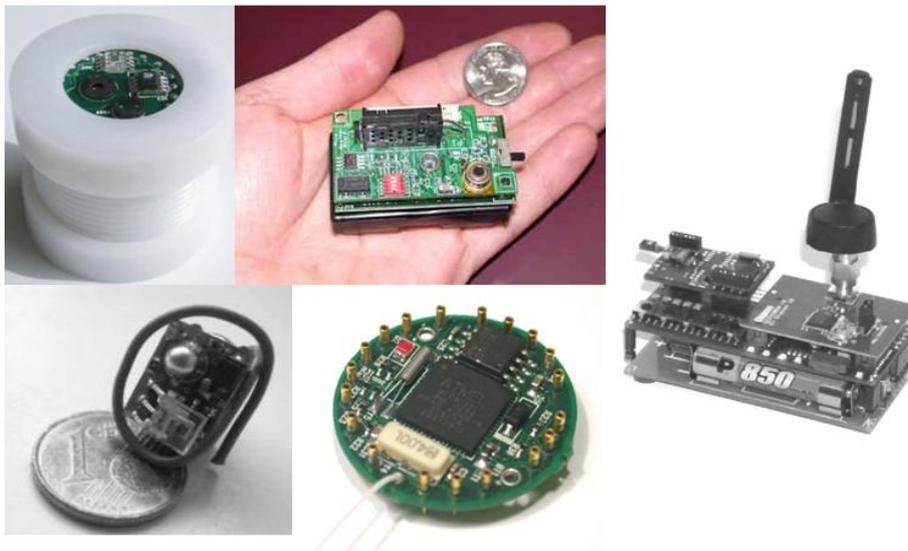


Abbildung 2: Drahtlose Sensorknoten. Quellen: Culler et al. 2004: 42, Stankovic 2008: 628, Beigl et al. 2005, Jedermann et al. 2006: 159.

Ein drahtloser Sensorknoten besteht i.d.R. aus drei Hauptkomponenten, die durch eine *Energieversorgungseinheit*, die die zum Betrieb des drahtlosen Sensorknotens benötigte Energie zur Verfügung stellt, ergänzt werden (vgl. Abb. 3). Darüber hinaus ist eine Erweiterung um zusätzliche, in bestimmten Anwendungsfällen benötigte Komponenten i.Allg. möglich.

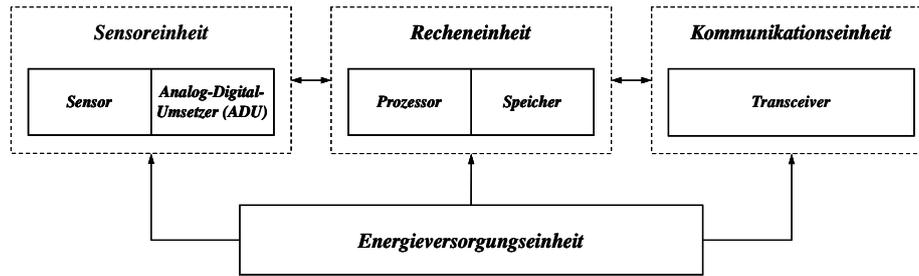


Abbildung 3: Zentrale Komponenten eines drahtlosen Sensorknotens. Quelle: In Anlehnung an Akyildiz et al. 2002: 399.

Die *Sensoreinheit* misst die zu überwachenden Umweltparameter. Hierbei existiert eine Vielzahl unterschiedlicher, mit der aktuell verfügbaren Sensortechnologie erfassbarer Umweltparameter, die u.a. Temperatur, Feuchtigkeit, Licht, akustische Signale, Vibrationen, Druck und Bewegung umfassen (vgl. z.B. Karl/Willig 2007: 3, Akyildiz et al. 2002: 395, Estrin et al. 1999: 264). Zur Umwandlung der analogen Messdaten in digitale Daten verfügt die Sensoreinheit über einen Analog-Digital-Umsetzer (vgl. Akyildiz et al. 2002: 399 und Culler et al. 2004: 44f.).

Die *Recheneinheit* zeichnet verantwortlich für die Verarbeitung aller innerhalb eines drahtlosen Sensorknotens anfallenden Daten. Hierzu gehören bspw. die Auswertung und Bearbeitung der Messdaten der Sensoreinheit und Daten, die von anderen drahtlosen Sensorknoten empfangenen wurden, aber auch die Ausführung unterschiedlicher Programme und die Entscheidung welche Daten an andere Knoten innerhalb des drahtlosen Sensornetzes übermittelt werden (vgl. Karl/Willig 2007: 19). Zur Speicherung entsprechender Daten beinhaltet die Recheneinheit neben der Prozessoreinheit noch eine Speichereinheit. So können z.B. auch zu übertragende Daten zwischengespeichert werden bis eine Kommunikationsverbindung hergestellt werden kann und eine Verarbeitung historischer Daten, bspw. zur Ermittlung von Mittel-, Höchst- oder Tiefstwerten oder auch des zeitlichen Verlaufs eines Parameters, wird so ebenfalls ermöglicht. Sowohl Prozessoreinheit als auch Speichereinheit weisen allerdings i.Allg. eine bedeutend geringere Leistungsfähigkeit bzw. Speicherkapazität als die Prozessor- und Speichereinheiten von Laptops oder PCs auf.

Die *Kommunikationseinheit* stellt die Kommunikationsverbindung eines drahtlosen Sensorknotens zu den anderen Knoten eines drahtlosen Sensornetzes dar. Hierbei wird sowohl für den Datenempfang als auch für den Datenversand üblicherweise ein integriertes Bauteil genutzt, das als Sender (engl. *Transmitter*) und auch als Empfänger (engl. *Receiver*) agiert und dementsprechend mit dem Begriff *Transceiver* bezeichnet wird (vgl. Karl/Willig 2007: 21). Für die konkrete drahtlose Datenübertragung können u.a. Funk, Infrarot oder verschiedene optische Medien verwendet werden. Grundsätzlich gilt, dass in einem drahtlosen Sensorknoten die Datenübertragung den höchsten Energieverbrauch aufweist. Dementsprechend wird i.d.R. darauf geachtet, möglichst energiesparende Transceiver in drahtlosen Sensorknoten zu verwenden, die u.a. verschiedene Betriebsmodi aufweisen mit denen ihr Energieverbrauch beeinflusst werden kann (vgl. Karl/Willig 2007: 40).

Die *Energieversorgungseinheit* stellt die Energie für den Betrieb von Sensoreinheit, Recheneinheit und Kommunikationseinheit bereit. Hierbei kann die benötigte Energie mittels Energiespeichern zur Verfügung gestellt werden oder aber durch die Energiegewinnung aus der Umwelt (vgl. Puccinelli/Haenggi 2005: 23 und Akyildiz et al. 2002: 400). Batterien stellen ein Beispiel für eine Energiequelle in Form eines Energiespeichers dar, wohingegen z.B. Sonnenlicht und Vibrationen Möglichkeiten darstellen, um Energie aus der Umwelt zu gewinnen (vgl. Culler et al. 2004: 44 und ergänzend bspw. Roundy et al. 2003). Die momentan verfügbaren drahtlosen Sensorknoten verwenden i.d.R. AA- oder AAA-Batterien oder Knopfzellen als Energiequellen.

Vor dem Hintergrund, dass drahtlose Sensorknoten prinzipiell eine möglichst kleine Bauform aufweisen sollen (vgl. z.B. Akyildiz et al. 2002: 400 und Mattern/Römer 2003: 191), müssen demzufolge die einzelnen dargestellten Komponenten entsprechend klein sein. In Verbindung mit der üblichen Verwendung von Batterien als Energiequellen und der Tatsache, dass diese momentan i.d.R. der größtenbestimmende Faktor für einen drahtlosen Sensorknoten sind, bedeutet dies z.B. für die Energieversorgungseinheit, dass nur eine möglichst geringe Anzahl Batterien, die zusätzlich noch möglichst klein sein sollten, verwendet werden darf und somit die Energieressourcen von drahtlosen Sensorknoten i.Allg. stark eingeschränkt sind.

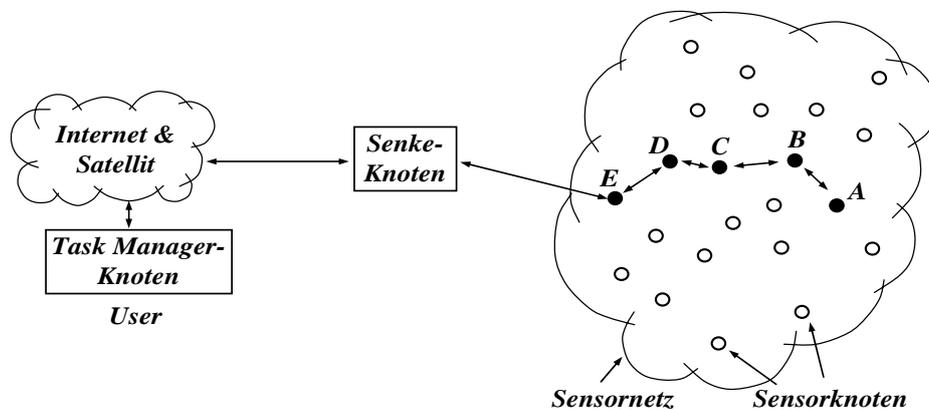


Abbildung 4: Schematische Darstellung eines drahtlosen Sensornetzes. Quelle: In Anlehnung an Akyildiz et al. 2002: 405.

Ein drahtloses Sensornetz setzt sich aus mehreren verteilten drahtlosen Sensorknoten zusammen, die die relevanten Umgebungsparameter überwachen und entsprechende Daten übertragen (vgl. Akyildiz et al. 2002: 401, 403-405 sowie Abb. 4). Ein zentrales Element stellt hierbei der so genannte *Senke-Knoten* dar, zum Teil auch einfach nur als *Senke* oder als *Basisstation* bezeichnet (vgl. Puccinelli/Haenggi 2005). Der Senke-Knoten ist der zentrale Empfänger der von den einzelnen drahtlosen Sensorknoten erfassten und übertragenen Daten. Weiterhin stellt der Senke-Knoten i.d.R. die Datenverbindung zu anderen Netzwerken, wie bspw. dem Internet, her, sodass die von dem Senke-Knoten empfangenen Daten nach einer etwaigen Weiterverarbeitung innerhalb des Senke-Knotens, wie z.B. der Aggregation der von den einzelnen Sensorknoten empfangenen Da-

ten, entsprechend vom Senke-Knoten auch in andere Netzwerke übertragen werden bzw. über diese abgerufen werden können. Neben der Verwendung eines einzelnen Senke-Knotens können in einem drahtlosen Sensornetz auch mehrere Senke-Knoten zum Einsatz kommen, die einen so genannten *Gateway-Knoten* nutzen, um eine Verbindung zu anderen Netzwerken herzustellen (vgl. Akyildiz et al. 2002, Verdone et al. 2008: 1-4 sowie Abb. 5). Die Kommunikation zwischen den einzelnen drahtlosen Sensorknoten und einem Senke-Knoten kann entweder in direkter Form, d.h. ein drahtloser Sensorknoten übermittelt seine Daten direkt an den Senke-Knoten, oder indirekt, die Datenübermittlung eines drahtlosen Sensorknotens an den Senke-Knoten erfolgt mittels drahtloser Sensorknoten, die zwischen dem übertragenden Knoten und dem Senke-Knoten liegen und die entsprechenden Daten weiterleiten, erfolgen. Ersteres wird als *Single-Hop-Datenübertragung* bezeichnet, Letzteres als *Multi-Hop-Datenübertragung*.

Die konkrete Datenübertragung innerhalb drahtloser Sensornetze geschieht i.d.R. auf Basis des Kommunikationsstandards *802.15.4* der IEEE in Verbindung mit dem so genannten *ZigBee-Standard*, der von der mehr als einhundert Unternehmen umfassenden *ZigBee-Allianz*¹ entwickelt und promotet wird. Zunächst wurde auch erwogen, die Datenübertragung mittels des *Bluetooth-Standards* zu realisieren, allerdings wies dieser signifikante Nachteile, z.B. bei Energieverbrauch und Produktionskosten, auf, sodass sich die Kombination aus IEEE-Standard 802.15.4 und ZigBee-Standard immer mehr durchsetzt (vgl. Sohraby et al. 2007: 8, 50f. u. 116f., Karl/Willig 2007: 139f. und Tubaishat/Madria 2003: 20).

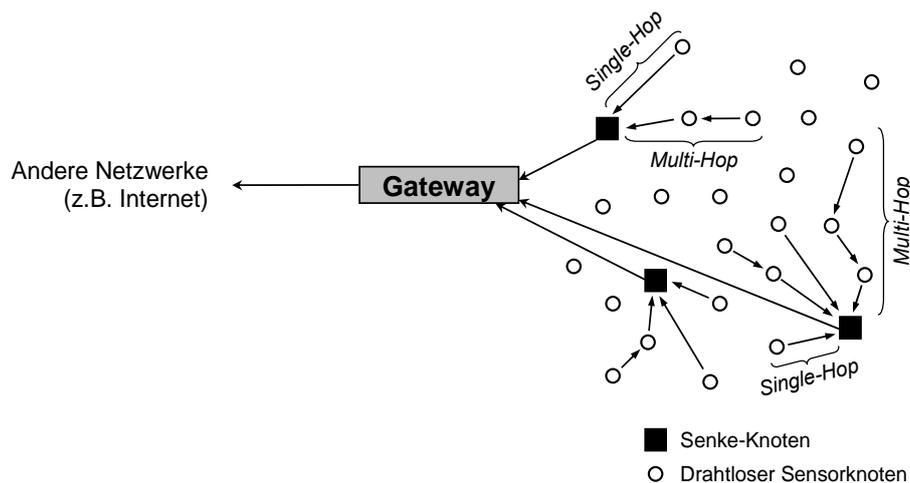


Abbildung 5: Kommunikationsmöglichkeiten innerhalb eines drahtlosen Sensornetzes. Quelle: In Anlehnung an Verdone et al. 2008: 3.

¹ <http://www.zigbee.org>.

3 Echtzeiterkennung und -verarbeitung von Events in der Supply Chain

Die arbeitsteilige Gestaltung von Wertschöpfungsketten und die Minimierung von Bestands- und Zeitpuffern in Verbindung mit einem hohen interorganisationalen Integrationsgrad in der Supply Chain führt zu erhöhten Eintrittswahrscheinlichkeiten von unvorhergesehenen Ereignissen und vergrößert deren Tragweite. Vor diesem Hintergrund kommt der möglichst frühzeitigen Erkennung von kritischen Ereignissen, auch Events genannt (vgl. Bretzke/Klett 2004: 147 als auch Stölzle 2008: 542), in der Supply Chain, und der damit verbundenen Möglichkeit rechtzeitig entsprechend auf diese zu reagieren, eine entscheidende Bedeutung für den Erfolg der Supply Chain Akteure zu. Dies wird u.a. im Konzept des *Supply Chain Event Managements* (SCEM) reflektiert (vgl. Heusler et al. 2006: 19).

Ein Instrument mit dessen Hilfe Events in einer Supply Chain in Echtzeit erkannt und verarbeitet werden können, stellen drahtlose Sensoren, und die von diesen gebildeten drahtlosen Sensornetze, mit ihren hoch entwickelten Mess-, Kommunikations- und Datenverarbeitungsfunktionalitäten (vgl. Abschnitt 2), dar. Aufgrund der Kommunikationsmöglichkeiten, die drahtlose Sensorknoten bieten, können sie bzw. die von ihnen erhobenen Daten mithilfe von Technologien des *Internets der Dinge* (engl. *Internet of Things*; vgl. hierzu z.B. Fleisch/Mattern 2005 und Christin et al. 2009) direkt an unterschiedliche Systeme der einzelnen Supply Chain Teilnehmer angebunden werden. Derart ist eine Integration der Sensordaten in die Geschäftsprozesse der Supply Chain Akteure möglich, sodass sowohl eine automatisierte kurzfristige Geschäftsprozessanpassung als Reaktion auf ein aufgetretenes Event als auch eine entsprechende längerfristige Geschäftsprozessverbesserung auf Basis dieser Daten vorstellbar ist (vgl. Abb. 6). Entsprechend können drahtlose Sensoren und drahtlose Sensornetze gerade auch für eine signifikante Erhöhung der unternehmensübergreifenden Visibilität logistischer Prozesse, die u.a. im Kontext des SCEM von zentraler Wichtigkeit ist (vgl. Nissen 2002: 477 und Heusler et al. 2006: 19f.), einen bedeutenden Beitrag leisten.

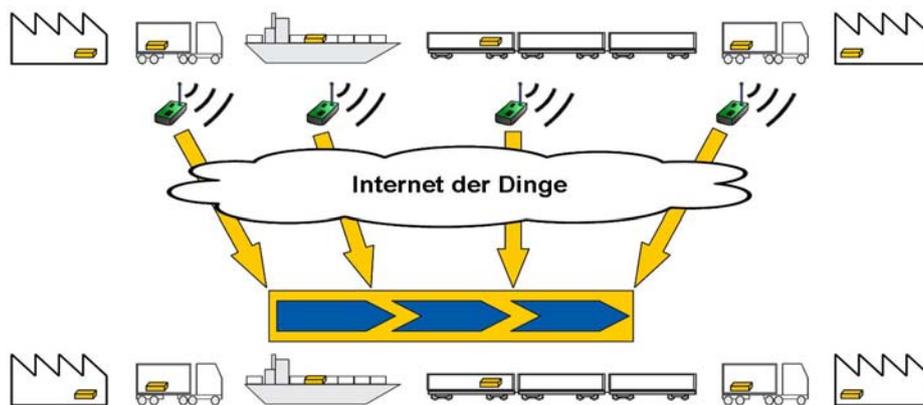


Abbildung 6: Integration drahtloser Sensordaten in Geschäftsprozesse in einem Logistikkontext.

Im Vergleich zur heutigen Situation, in der Daten zur Erkennung etwaiger während des Transportprozesses aufgetretener Events entweder an Umschlagknoten oder erst beim Empfänger ausgelesen werden, stellt eine Echtzeiterkennung und -verarbeitung von Events mittels drahtloser Sensornetze eine signifikante Verbesserung dar. Die Zeitspanne zwischen dem Auftreten eines Events und dessen Erkennen bzw. der Benachrichtigung eines Verantwortlichen über das Auftreten des Events, der entsprechend auf dieses reagieren muss, würde durch die Echtzeiterkennung von Events mittels drahtloser Sensornetze entscheidend verkürzt und könnte möglicherweise auf nahezu Null reduziert werden (vgl. Abb. 7). Dies wirkt sich entsprechend positiv auf die einem Entscheider, der über eine Reaktion auf ein Event befinden muss, zur Verfügung stehende Reaktionszeit aus und vergrößert somit i.d.R. auch seinen Handlungsspielraum (vgl. hierzu auch Bretzke/Klett 2004: 148f. u. 154 und Karrer 2003: 189f.).

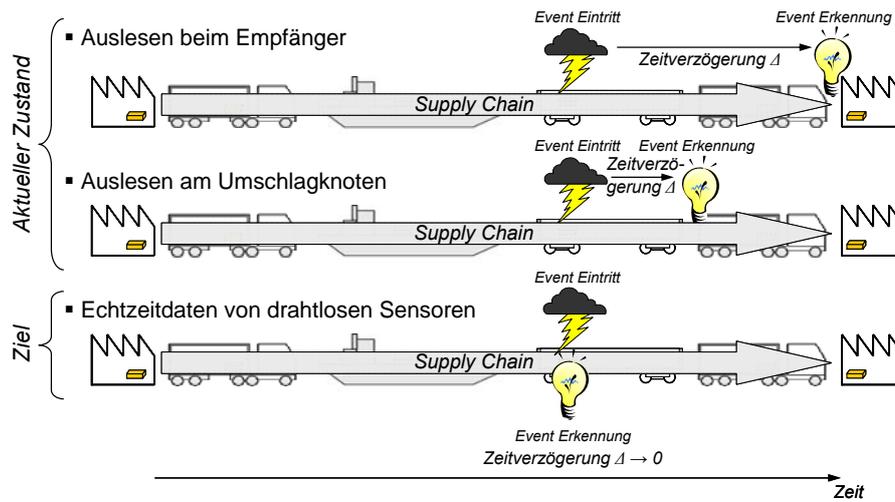


Abbildung 7: Zeitvorteile bei der Eventerkennung durch den Einsatz drahtloser Sensoren.

Gerade im Zusammenhang mit der Implementierung eines SCEM-Systems können drahtlose Sensornetze nutzbringend eingesetzt werden und mehrere Funktionsaspekte eines solchen Systems unterstützen bzw. technologisch umsetzen. Als Funktionsaspekte eines SCEM-Systems können die Grundfunktionen *Monitor*, *Notify*, *Simulate*, *Control* und *Measure* unterschieden werden (vgl. Stölzle 2008: 543, Nissen 2002: 477f. sowie Heusler et al. 2006: 22f.). Hierbei beschreibt die Monitor-Funktion die Prozessüberwachung in deren Kontext die Erhebung von Statusinformationen und deren Abgleich mit Soll-Werten und vorgegebenen Toleranzgrenzen zur Eventerkennung stattfindet. Wurde durch das Monitoring ein Event erkannt, so zeichnet die Notify-Funktion für die entsprechende Benachrichtigung eines zuständigen Entscheiders verantwortlich. Anschließend werden im Rahmen der Simulate-Funktion Möglichkeiten zur Reaktion auf das gemeldete Event analysiert und bewertet. Die Auswahl der vielversprechendsten Handlungsoption und deren Umsetzung ist Aufgabe der Control-Funktion. Letztlich wird mittels der Measure-

Funktion ein Messen und Aufbereiten von Performanceindikatoren zur prozessbegleitenden Prozesskontrolle ermöglicht.

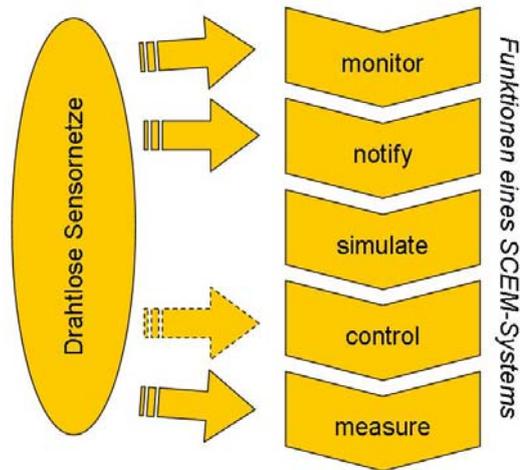


Abbildung 8: Einsatzmöglichkeiten für drahtlose Sensornetztechnologie in einem SCEM-System. Quelle: In Anlehnung an Placzek 2004: 38.

Drahtlose Sensornetztechnologie kann sowohl im Bereich der Monitor-Funktion als auch der Notify- und der Measure-Funktion eingesetzt werden und eingeschränkt auch noch im Rahmen der Control-Funktion (vgl. Abb. 8). Drahtlose Sensorknoten bieten die Möglichkeit unterschiedlichste Umweltparameter, wie z.B. Temperatur, Feuchtigkeit, Erschütterungen und Licht zu erheben (vgl. Abschnitt 2). Mithilfe dieser Messungen kann bspw. der Zustand transportierter Wache überwacht werden. In Verbindung mit den Möglichkeiten zur Datenspeicherung und Datenverarbeitung, die drahtlose Sensorknoten besitzen, können die erhobenen Sensordaten auf dem drahtlosen Sensorknoten mit vorher festgelegten und auf dem Sensorknoten gespeicherten Soll-Werten und zugehörigen Toleranzgrenzen abgeglichen werden, sodass drahtlose Sensorknoten durchaus die Monitor-Funktion eines SCEM-Systems realisieren bzw. zumindest entscheidend unterstützen können. Unter Verwendung der Datenübertragungsschnittstellen drahtloser Sensorknoten, und eventuell unter Verwendung von anderen, benachbarten Knoten in einem drahtlosen Sensornetz (vgl. hierzu auch Abschnitt 2), kann nach der Erkennung eines Events der drahtlose Sensorknoten im Sinne der Notify-Funktion entweder den Prozessverantwortlichen direkt benachrichtigen und ihm die relevanten Daten übermitteln oder zumindest die Benachrichtigung und die entsprechenden Daten an eine Stelle übertragen, die eine direkte Verbindung zum Prozessverantwortlichen herstellen kann. Die Control-Funktion eines SCEM-Systems kann eingeschränkt und in einfachen Fällen ebenfalls von drahtlosen Sensorknoten unterstützt bzw. sogar realisiert werden. Unter Ausnutzung der Speicherkapazität und der Datenkommunikationsmöglichkeiten eines drahtlosen Sensorknotens ist es prinzipiell möglich für einige Events angemessene Reaktionen auf einem Sensorknoten zu spei-

chern. Besteht nun zwischen dem drahtlosen Sensornetz und einem entsprechenden Steuerungssystem (*Aktor*; vgl. hierzu z.B. Verdone et al. 2008: 4-6) eine Kommunikationsverbindung, kann ein drahtloser Sensorknoten eine notwendige Änderung als Reaktion auf ein erkanntes Event durch das Steuerungssystem veranlassen. Beispielsweise ist es vorstellbar, dass ein drahtloses Sensornetz zur Überwachung eines Kühltransportes eingesetzt wird und drahtlos mit der Kühlungssteuerung verbunden ist. Wird nun das Erreichen einer kritischen Temperatur erkannt, könnte als automatische Reaktion hierauf das drahtlose Sensornetz die Kühlungssteuerung dazu veranlassen, die Temperatur neu einzuregeln. Letztlich können mittels der Datenspeicherkapazität von drahtlosen Sensorknoten auch längerfristig Daten auf diesen vorgehalten werden, und mittels der Berechnungsmöglichkeiten drahtloser Sensorknoten auch nach Bedarf aggregiert werden, auf deren Basis Auswertungen bezüglich verschiedener Performance-Indikatoren zur Prozesskontrolle durchgeführt werden können, sodass die Measure-Funktion eines SCEM-Systems entsprechend auch unterstützt werden kann.

Trotz des vorhandenen, hier skizzierten, Anwendungspotenzials der drahtlosen Sensornetztechnologie im SCEM-Kontext und für die Eventerkennung und Verarbeitung in der Supply Chain ist für einen entsprechenden erfolgreichen Einsatz und eine hohe Akzeptanz dieser Technologie in der Logistikdomäne die umfassende Berücksichtigung verschiedener Anforderungen aus unterschiedlichsten Bereichen notwendig (vgl. Abb. 9).

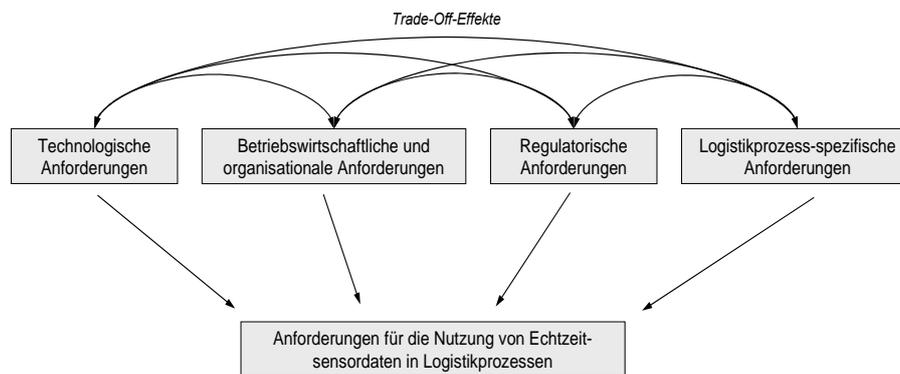


Abbildung 9: Anforderungen für den Einsatz drahtloser Sensornetze in Logistikprozessen.

Hierbei gilt es sich von einer momentan stark technologisch basierten Sichtweise zu lösen und den Blickwinkel deutlich zu erweitern. Selbstverständlich sind weiterhin technologische Einschränkungen und Anforderungen zu berücksichtigen, allerdings müssen darüber hinaus auch die Einbettung der Technologie in den organisationalen Kontext der Unternehmungen, die an einer Supply Chain teilnehmen und auch deren allgemeine ökonomischen Zwänge ausreichend Berücksichtigung finden. Außerdem gilt es regulatorische Bestimmungen verschiedenster Bereiche und auch die Eigenheiten logistischer Prozesse möglichst vollumfänglich zu berücksichtigen.

Beispielsweise ist davon auszugehen, dass die verschiedenen Supply Chain Akteure jeweils bereits über eine umfangreiche IKT-Infrastruktur verfügen, sodass die Möglichkeit einer Integration der drahtlosen Sensornetztechnologie in die vorhandenen Systeme zu gewährleisten ist. Bezüglich der allgemeinen ökonomischen Zwänge, derer sich Supply Chain Teilnehmer i.d.R. ausgesetzt sehen, ist u.a. darauf zu achten, dass der Einsatz drahtloser Sensornetze möglichst kostengünstig realisierbar ist. Zu berücksichtigende regulatorische Anforderungen können z.B. unterschiedliche nationale Regulierungen im Telekommunikationsbereich, die sich dann entsprechend auf die einsetzbaren Kommunikationstechnologien bzw. Übertragungsfrequenzen auswirken würden, oder auch Bestimmungen hinsichtlich des Umgangs mit Waren während des Transports, die z.B. beeinflussen ob und wie drahtlose Sensoren bspw. bei Lebensmitteltransporten oder beim Transport von Pharmazeutika eingesetzt werden können, umfassen. In Bezug auf zu beachtende Logistikprozess-spezifische Anforderungen ist u.a. zu nennen, dass der Einsatz eines drahtlosen Sensornetzes nicht auf ein konkretes Transportmittel und spezifische Länder ausgerichtet sein darf, sondern vielmehr ein Maß an Flexibilität zu gewährleisten ist, das intermodale und grenzüberschreitende Transporte unterstützt und darüber hinaus auch mit einer für Logistikprozesse durchaus typischen, vergleichsweise hohen Anzahl an verschiedenen Prozessbeteiligten umgegangen werden kann. Letztlich gilt zu berücksichtigen, dass zwischen den genannten Bereichen durchaus auch Abhängigkeiten bestehen bzw. eine gegenseitige Beeinflussung festgestellt werden kann, sodass entsprechende Trade-Off-Effekte zu identifizieren und jeweils individuell angemessen auszubalancieren sind. All dies muss vor dem Hintergrund der Ressourcenbeschränktheit, die typisch für drahtlose Sensorknoten ist (vgl. Abschnitt 2), und dem in der Logistikdomäne herrschenden Kostendruck geschehen.

4 Drahtlose Sensornetze in der Logistik – Status Quo

Den zentralen Schwerpunkt sowohl von aktueller Anwendung als auch von aktueller Forschung im Bereich drahtloser Sensornetze in der Logistik bildet die Temperaturüberwachung.

Im Bereich der konkreten industriellen Anwendung existieren zurzeit allerdings nur einige wenige Projekte. Zu diesen gehört *SmartSensor Temperature*² von DHL (vgl. DHL Innovation Center 2008). Hierbei handelt es sich um ein Produkt, das eine durchgehende Temperaturüberwachung bietet. Die von DHL entwickelte Lösung nutzt passive RFID-Technologie und einen batteriebetriebenen drahtlosen Temperatursensor. Der Temperatursensor wird vom Kunden dem Paket mit der zu überwachenden Ware beigelegt und erfasst alle zehn Minuten die aktuelle Temperatur und speichert die entsprechenden Daten. Das Auslesen der Temperaturdaten geschieht in Abhängigkeit des vom Kunden gewählten Servicegrades entweder, wenn das Paket beim Empfänger eingetroffen ist oder an vorab festgelegten Punkten während des Transports. Aufgrund der eingesetzten RFID-Technologie kann das Auslesen mithilfe eines RFID-Lesers ohne Öffnen des Pakets geschehen. Über ein Webportal werden die ausgelesenen Daten anschließend dem Kunden über das Internet

² <http://www.smartsensor-temperature.de/>.

zur Verfügung gestellt. Im Falle einer erkannten Temperaturüberschreitung wird der Kunde per E-Mail hierüber informiert. Wenn die Temperaturdaten bereits regelmäßig während des Transportes ausgelesen werden, kann die Benachrichtigung entsprechend auch schon geschehen, während das Paket noch transportiert wird, andernfalls erst nach dem Eintreffen des Paketes beim Empfänger. Letztlich zeigt der der Ware beigelegter Temperatursensor mittels einer LED an, ob während des Transports eine Temperaturüberschreitung festgestellt wurde oder nicht, sodass dies sofort nach Öffnen des Pakets überprüft werden kann.

Mit dem Fokus auf die Kühlkettenüberwachung befindet sich Lufthansa Cargo momentan in der Entwicklungsphase einer Lösung mithilfe derer eine Kommunikation, Identifikation und auch eine steuernde Überwachung von Kühlcontainern online ermöglicht werden soll (vgl. Witte/Portele 2009). Hierdurch soll insbesondere die Erfüllung der umfangreichen Dokumentationspflichten hinsichtlich Produktstatus für die pharmazeutische Industrie vereinfacht werden. Neben der Erfassung der Temperatur sollen die einzusetzenden drahtlosen Sensoren auch noch Feuchtigkeitsdaten erfassen und weiterhin Daten bezüglich der aktuellen Containerposition bereitstellen. Die Messdaten sollen von einem zentralen Helpdesk analysiert werden, das dann letztendlich im Falle des Eintretens kritischer Zustände entsprechende Gegenmaßnahmen einleiten soll.

Die *DB SCHENKERsmartbox*³ von DB Schenker stellt dem Kunden einen Container zur Verfügung, der mit einem GPS-Modul und verschiedenen Sensoren ausgestattet ist. DB Schenker bietet so seinen DB SCHENKERsmartbox-Kunden die Möglichkeit Temperaturdaten, Feuchtigkeitsdaten sowie Daten bezüglich Erschütterungen und unbefugten Öffnens des Containers zu überwachen. Hierdurch soll die Transparenz der Supply Chain für die Kunden erhöht werden. Momentan wird die DB SCHENKERsmartbox-Lösung vorrangig in der Seefracht eingesetzt und ist nur für ausgewählte Güter, wie z.B. aus der Kategorie der hochwertigen Güter, verfügbar.

Wie eingangs bereits erwähnt liegt nicht nur der Schwerpunkt der konkreten industriellen Anwendung von drahtlosen Sensornetzen in der Logistik auf der Temperaturüberwachung sondern auch die einschlägigen Forschungsprojekte haben ihren Schwerpunkt auf diesem Gebiet und beschäftigen sich hierbei vorrangig mit den Themen Kühlkettenüberwachung und Lebensmittellogistik. Ein bedeutendes Forschungsprojekt in diesem Bereich ist das *Intelligent Container-Projekt*⁴. Im Rahmen dieses Projektes arbeitet die Universität Bremen in Kooperation mit verschiedenen Anwendungspartnern, z.B. Cargobull und Dole, daran ein autonomes System zur Transportüberwachung zu entwickeln mithilfe dessen der Übergang von zentralen Kontroll- und Überwachungssystemen hin zu dezentralen Entscheidungssystemen vollzogen werden soll (vgl. z.B. Jedermann et al. 2006).

An den Universitäten Twente in den Niederlanden und der Universidad Politécnica de Madrid wird ebenfalls im Bereich der drahtlosen Sensornetze mit einem Schwerpunkt auf deren Anwendung in der Logistik geforscht (vgl. z.B. Marin-Perianu 2008 und Ruiz-Garcia et al. 2007).

³ http://www.dbschenker.com/site/logistics/dbschenker/com/de/ueber__dbschenker/kompetenzportfolio/impuls/gps.html.

⁴ <http://www.intelligentcontainer.com>.

5 Fazit

Im vorliegenden Beitrag wurde zunächst in die Grundlagen der Technologie drahtloser Sensornetze eingeführt. Auf dieser einleitenden Darstellung aufbauend wurde das Potenzial dieser Technologie für den Einsatz zur Echtzeiterkennung und -verarbeitung von Events in der Supply Chain und im Zusammenhang mit dem SCEM herausgearbeitet, aber auch relevante Anforderungen, die im Zusammenhang mit einem solchen Einsatz von drahtlosen Sensornetzen in der Logistik zu berücksichtigen sind, aufgezeigt. Abschließend wurden einschlägige aktuelle Industrieprojekte und Forschungsaktivitäten skizziert.

Drahtlose Sensornetztechnologie stellt eine vielversprechende Möglichkeit zur Erkennung und Verarbeitung von Events in der Supply Chain dar. Allerdings konnte festgestellt werden, dass der Einsatz dieser Technologie in der Logistikdomäne noch nicht sehr weit verbreitet ist. Dies liegt möglicherweise u.a. darin begründet, dass zum jetzigen Zeitpunkt zumeist ein starker Fokus auf die Technologie der drahtlosen Sensorknoten und der drahtlosen Sensornetze selbst gelegt wird und z.B. allgemeine betriebswirtschaftliche Anforderungen und domänenspezifische Besonderheiten, bspw. die Eigenheiten logistischer Prozesse, vernachlässigt werden.

Die verschiedenen erwähnten innovativen Projekte und auch erste Ansätze hinsichtlich der Entwicklung und Etablierung eines *Mobile Supply Chain Event Managements* (vgl. hierzu z.B. Schmidt 2006 und auch Teuteberg/Weberbauer 2006) verdeutlichen aber, dass die drahtlose Sensornetztechnologie und die Entwicklungen auf diesem Gebiet durchaus in der Logistikbranche wahrgenommen werden und auch ein grundlegendes Interesse am Einsatz dieser Technologie in der Branche vorhanden ist. Hierauf aufbauend gilt es nun zukünftig Anforderungskomplexe, die im Zusammenhang mit dem Einsatz drahtloser Sensornetztechnologie in der Logistik über die technologischen Anforderungen hinaus bestehen, explizit zu berücksichtigen.

6 Danksagung

Dieser Beitrag entstand im Rahmen des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderten Forschungsprojektes Allianz Digitaler Warenfluss (ADiWa)⁵.

Literatur

- Akyildiz, I. F./Su, W./Sankarasubramaniam, Y./Cayirci, E. (2002): Wireless Sensor Networks. A Survey. In: *Computer Networks* 38. 393-422
- Beckmann, H. (Hrsg.) (2004): *Supply Chain Management. Strategien und Entwicklungstendenzen in Spitzenunternehmen*. Berlin: Springer
- Beigl, M./Decker, C./Krohn, A./Riedel, T./Zimmer, T. (2005): μ Parts. Low Cost Sensor Networks at Scale. In: *Demo: Adjunct proceedings of the UbiComp 2005*
- Bloech, J./Ihde, G. B. (Hrsg.) (1997): *Vahlens Großes Logistiklexikon*. München: Beck

⁵ <http://www.adiwa.net>.

- Bretzke, W.-R./Klett, M. (2004): Supply Chain Event Management als Entwicklungspotenzial für Logistikdienstleister. In: Beckmann (2004): 145-160
- Christin, D./Reinhardt, A./Mogre, P./Steinmetz, R. (2009): Wireless Sensor Networks and the Internet of Things. Selected Challenges. In: Proceedings of the 8th GI/ITG KuVS Fachgespräch Drahtlose Sensornetze. 31-34
- Culler, D./Estrin, D./Srivastava, M. (2004): Guest Editors' Introduction: Overview of Sensor Networks. In: Computer 37. 41-49
- Dangelmaier, W./Gajewski, T./Kösters, C. (Hrsg.) (2003): Innovationen im E-Business. Paderborn: Fraunhofer-Anwendungszentrum Logistikorientierte Betriebswirtschaft
- DHL Innovation Center (Hrsg.) (2008): Temperaturkontrolle leicht gemacht. DHL Smart Sensor Temperature. So bequem kann Temperaturkontrolle sein. URL: http://www.smartsensor-temperature.de/downloads/Brosch_SST_DE_final.pdf (Abruf: 27.10.2009)
- Estrin, D./Govindan, R./Heidemann, J./Kumar, S. (1999): Next century challenges. Scalable coordination in sensor networks. In: MobiCom '99: Proceedings of the 5th annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking. 263-270
- Fleisch, E./Mattern, F. (Hrsg.) (2005): Das Internet der Dinge. Ubiquitous Computing und RFID in der Praxis. Visionen, Technologien, Anwendungen, Handlungsanleitungen. Berlin: Springer
- Heusler, K. F./Stölzle, W./Bachmann, H. (2006): Supply Chain Event Management. Grundlagen, Funktionen und potenzielle Akteure. In: Wirtschaftswissenschaftliches Studium (WiSt) 35. 19-24
- Jedermann, R./Gehrke, J. D./Lorenz, M./Herzog, O./Lang, W. (2006): Realisierung lokaler Selbststeuerung in Echtzeit. Der Übergang zum intelligenten Container. In: Pfohl/Wimmer (2006): 145-166
- Karl, H./Willig, A. (2007): Protocols and Architectures for Wireless Sensor Networks. Chichester: Wiley
- Karrer, M. (2003): Supply Chain Event Management. Impulse zur ereignisorientierten Steuerung von Supply Chains. In: Dangelmaier et al. (2003): 187-198
- Klaus, P./Krieger, W. (Hrsg.) (2008): Gabler Lexikon Logistik. Management logistischer Netzwerke und Flüsse. Wiesbaden: Gabler
- Marin-Perianu, M. (2008): Collaborative Wireless Sensor Networks in Industrial and Business Processes. Enschede: University of Twente
- Mattern, F./Römer, K. (2003): Drahtlose Sensornetze. In: Informatik-Spektrum 26. 191-194
- Nissen, V. (2002): Supply Chain Event Management. In: Wirtschaftsinformatik 44. 477-480
- Pfohl, H.-Chr (1997): Logistikwürfel. In: Bloech/Ihde (1997): 645-646
- Pfohl, H.-Chr. (2004): Logistikmanagement. Konzeption und Funktionen. Berlin: Springer
- Pfohl, H.-Chr./Wimmer, T. (Hrsg.) (2006): Wissenschaft und Praxis im Dialog. Steuerung von Logistiksystemen – auf dem Weg zur Selbststeuerung. Hamburg: Deutscher Verkehrs-Verlag
- Placzek, T. (2004): Potenziale der Verkehrstelematik zur Abbildung von Transportprozessen im Supply Chain Event Management. In: Logistik Management 6. 34-46
- Puccinelli, D./Haenggi, M. (2005): Wireless Sensor Networks. Applications and Challenges of Ubiquitous Sensing. In: IEEE Circuits and Systems Magazine 5. 19-31
- Roundy, S./Wright, P. K./Rabaey, J. (2003): A Study of Low Level Vibrations as a Power Source for Wireless Sensor Nodes. In: Computer Communications 26. 1131-1144
- Ruiz-Garcia, L./Barreiro, P./Rodriguez-Bermejo, J./Robla, J. I. (2007): Review. Monitoring the Intermodal, Refrigerated Transport of Fruit using Sensor Networks. In: Spanish Journal of Agricultural Research 5. 142-156
- Schmidt, D. (2006): RFID im Mobile Supply Chain Event Management. Anwendungsszenarien, Verbreitung und Wirtschaftlichkeit. Wiesbaden: Gabler
- Sohraby, K./Minoli, D./Znati, T. (2007): Wireless Sensor Networks. Technology, Protocols, and Applications. Hoboken: Wiley
- Stankovic, J. (2008): When Sensor and Actuator Networks Cover the World. In: ETRI Journal 30. 627-633

- Stölzle, W. (2008): Supply Chain Event Management. In: Klaus/Krieger (2008): 541-546
- Teuteberg, F./Weberbauer, M. (2006): Mobile Supply Chain Event Management. Status Quo, Problemaspekte und Entwicklungstrends. Ergebnisse einer empirischen Untersuchung. In: Pfohl/Wimmer (2006): 185-204
- Tubaishat, M./Madria, S. (2003): Sensor Networks. An Overview. In: IEEE Potentials 22. 20-23
- Verdone, R./Dardari, D./Mazzini, G./Conti, A. (2008): Wireless Sensor and Actuator Networks. Technologies, Analysis and Design. London: Academic Press
- Witte, M./Portele, C. (2009): Intelligente M2M-Innovation in der globalen Luftfracht-Kühltransportkette. Ein Praxisbeispiel der globalen Online-Kommunikation, -Ortung, -Identifikation und -Steuerung. In: Tagungsband 3. Fachtagung „Logistik – Effiziente und sichere Warenketten“. 39-46