

Ergebnisse des Projekts Intelligenter Container

Herausgeber:

Institut für Mikrosensoren-, aktoren und -systeme
(IMSAS)

Universität Bremen, FB1

Otto-Hahn-Allee NW1, 28259 Bremen

Mai 2014

In Zusammenarbeit mit



Redaktion:

Reiner Jedermann, rjedermann@imsas.uni-bremen.de

Projektidee

Weltweit verderben ein Drittel aller Lebensmittel bevor sie zum Verbraucher gelangen. Ein erheblicher Anteil davon entfällt auf Verluste entlang der Lieferkette. Eine durchgängige Temperaturüberwachung ist bisher nur eingeschränkt möglich. Telematikeinheiten messen nur die Luft-, aber nicht die Warentemperatur. Mit Barcode- und RFID-Scanner kann nur der Lieferweg, bzw. die korrekte Zustellung der Ware überwacht werden, aber nicht deren Zustand.

Aufgrund von unterschiedlichen Erntebedingungen, Zeitpunkt bis zum Beginn der Kühlung und lokalen Abweichungen im Kühlcontainer oder Fahrzeug, sind Abweichungen der Qualität bei frischen Lebensmitteln unvermeidbar. Durch zusätzliche Überwachung der Warenqualität ergeben sich neue Möglichkeiten im Transportmanagement und der Lagerhaltung.

Wenn die Resthaltbarkeit in Tagen für jede Ware bekannt ist, können Verluste durch geschickte Zuordnung der Warensendungen vermieden werden. Entsprechend des First Expired First Out (dynamic FEFO) Prinzips werden Waren mit kurzer Resthaltbarkeit möglichst umgehend an Abnehmer in der näheren Umgebung versandt, während Waren mit längerer Resthaltbarkeit für weiter entfernte Abnehmer oder spätere Lieferungen zurückgehalten werden.

Umsetzung

Um auf Abweichungen der Warenqualität zeitnah reagieren zu können, ist es notwendig, entsprechende Informationen in Echtzeit per Fernzugriff auf den Container bereitzustellen. Die bisher verfügbare Fernüberwachung der Zu- und Rücklufttemperatur des Kühlaggregates reicht nicht aus, um Abweichungen der Resthaltbarkeit vorherzusagen. Durch ein Netzwerk aus 10 bis 20 Funksensoren ist es möglich, lokale Abweichungen zu erfassen und die Temperatur direkt in der Verpackung zu messen. Anhand biologischer Modelle kann aus den gemessenen Abweichungen der Transportbedingungen auf den resultierende Resthaltbarkeit geschlossen werden. Speziialsensoren, z.B. für das Gas Ethylen, liefern zusätzliche Informationen zur Warenqualität.

Während der Projektlaufzeit wurden zahlreiche technische Hürden überwunden. In praktischen Fallstudien wurden die Transportkette und die Einflüsse auf die Haltbarkeit verschiedener Waren untersucht. Die Funktionsfähigkeit des Systems wurde durch mehrere Testtransporte in einem Prototyp des „Intelligenten Containers“ belegt. Anhand einer Erfassung der Prozessschritte entlang der Kühlketten bei 3 Projektpartnern wurden mögliche Entscheidungspunkte definiert und analysiert, wie das FEFO Konzept in der Praxis umgesetzt werden kann.

Veröffentlichungen zum Gesamtprojekt

1. Lang, W.; Jedermann, R.; Mrugala, D.; Jabbari, A.; Krieg-Brückner, B.; Schill, K.: The Intelligent Container - A cognitive sensor network for transport management. In: IEEE Sensors Journal Special Issue on Cognitive Sensor Networks, 2011, Vol. 11(3), pp. 688-698. DOI: 10.1109/JSEN.2010.2060480
2. Jedermann, R.; Nicometo, M.; Uysal, I.; Lang, W.: Reducing food losses by intelligent food logistics In: Philosophical Transactions of the Royal Society A, May/June 2014, Vol. 372(2017), 20130302. DOI: 10.1098/rsta.2013.0302

Kontakt

Steffen Janssen, sjanssen@imsas.uni-bremen.de

Reiner Jedermann, rjedermann@imsas.uni-bremen.de

Walter Lang wlang@imsas.uni-bremen.de

Institut für Mikrosensoren-, aktoren und -systeme (IMSAS), Universität Bremen

Haltbarkeitsmodelle

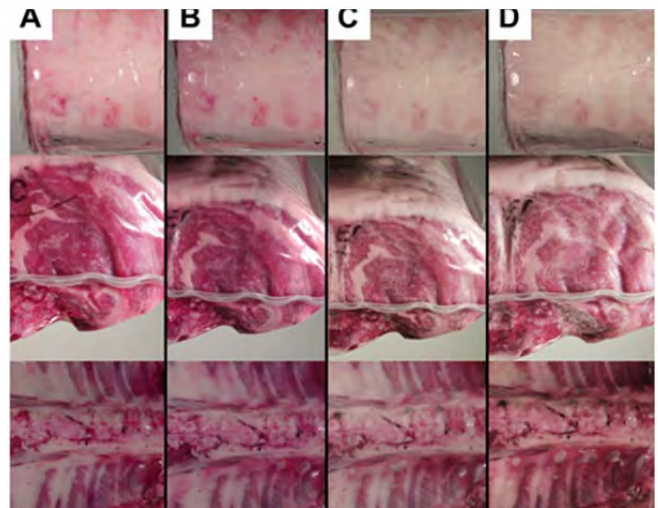
Für die in den Feldtests transportierten Lebensmittel wurden biologische Modelle erstellt, um deren Resthaltbarkeit in Abhängigkeit von der Temperaturgeschichte und weiteren Transportparametern vorherzusagen. Damit ist es möglich die Auswirkungen einer Temperaturstörung auf die Qualität des Lebensmittels direkt zu berechnen.

Die Modelle können aber auch zur Planung von Verbesserungen der Kühlkette genutzt werden. So kann z.B. vorgesagt werden, im welchen Maße ein neues Kühlaggregat, das die Warenkerntemperatur schneller absenkt, zur Erhöhung der durchschnittliche Haltbarkeit beiträgt.

Fleischprodukte

Proben von zwei Fleischprodukten (Irisches Lammfleisch und Minutensteaks) wurden bei verschiedenen Temperaturen gelagert und Veränderungen der Qualität über die Zeit erfasst. Die Qualität wurde dabei anhand von sensorischen Parametern wie Fleisch- und Fettfarbe, Fleischsaftfarbe und -menge, Gasbildung und Geruchsabweichungen bestimmt. Die Ergebnisse wurden in einem Modell zusammengefasst [1].

Bereits eine Erhöhung der durchschnittlichen Temperatur von 2°C auf 4°C führt zu einer Reduktion der Haltbarkeit zwischen 21% und 30%.



Fettschicht, Schnittfläche und Rippenbogen von Lammfleisch A: nach 0 h, B: nach 144 h, C: nach 240 h, D: nach 348 h

Bananen

Für Bananen wurde der Zeitpunkt des Einsetzens des Farbumschlages von grün nach gelb (Ende des Greenlife) anhand von spektralen Messungen in Laborversuchen für unterschiedliche Temperatur, Luftfeuchte und Atmosphäre bestimmt [2].

Mit Hilfe der Modelle ist es auch möglich, die Haltbarkeit bei veränderlichen Temperaturbedingungen zu berechnen, z.B. beim langsamen Abkühlen aufgrund schlechter Stauung der Ware. Dabei wird der Haltbarkeitsverlust je Messintervall entsprechend der aktuellen Temperatur berechnet und aufsummiert.



Bestimmung des Greenlifes in kontrollierten Atmosphären

Greenlife von Bananen in Abhängigkeit klimatischer Bedingungen nach der Ernte

Bedingung	Dauer Greenlife
13°C, normale Atmosphäre	31,9 ± 5 Tage
18 °C	15,5 ± 4 Tage
18 °C, CO ₂ erhöht auf 5%	11 Tage länger als bei CO ₂ <2%
18°C, Feuchte reduziert auf 55 %	7 Tage kürzer als bei 98%
10°C	Kälteschäden nach 8 Stunden

(Greenlife im Anschluss an 14tägigen Seetransport bei 14°C)

Relevante Veröffentlichungen

1. Jedermann, R.; Mack, M.; Kreyenschmidt, J.: Intelligente Container für die ganze Kette - Produktqualität und Temperaturdaten in der Lieferkette für Fleisch überwachen. In: Fleischwirtschaft, 2013(12), pp. 33-36.
2. Praeger, U.; Linke, M.; Jedermann, R.; Moehrke, A.; Geyer, M.: Effect of storage climate on green-life duration of bananas. In: 5th International Workshop Cold Chain Management, Bonn, Germany, University Bonn, 2013.
3. Mack, M.; Dittmer, P.; Veigt, M.; Kus, M.; Nehmiz, U.; Kreyenschmidt, J.: Quality tracing in meat supply chains. In: Philosophical Transactions of the Royal Society A, May/June 2014, Vol. 372(2017), 20130308. DOI: 10.1098/rsta.2013.0308

Kontakt

Judith Kreyenschmidt, Institut für Tierwissenschaften, Universität Bonn (ITW),
j.kreyenschmidt@uni-bonn.de

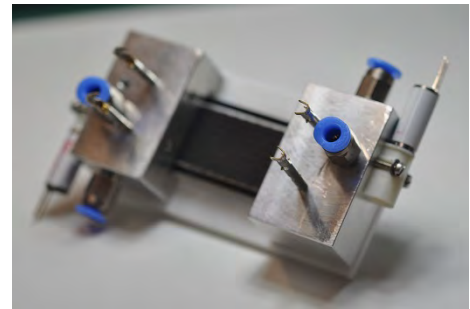
Ulrike Praeger, Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e.V.,
upraeger@atb-potsdam.de

Ethylen-Sensorik

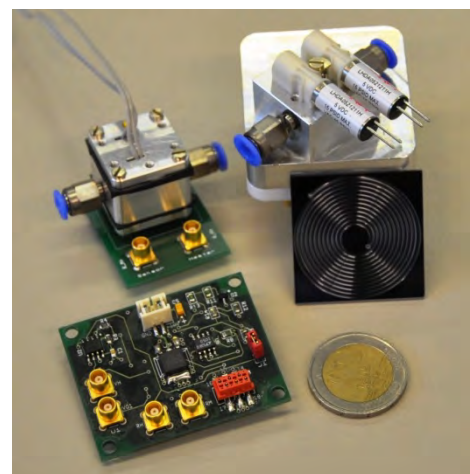
Das Gas Ethylen ist ein Phytohormon, auf das bestimmte Früchte und Pflanzen reagieren. Wenn klimakterische Früchte einer bestimmten Ethylenkonzentration ausgesetzt sind starten sie ihre Reifung, und wenn sie reifen, produzieren sie Ethylen. Je nach Reifegrad variiert dabei die Menge die von den Früchten produziert wird. Die Menge an Ethylen innerhalb eines Containers mit klimakterischen Früchten korreliert damit unmittelbar mit ihrem Reifegrad und ist daher für die Qualitätsüberwachung von wesentlicher Bedeutung. Die direkte Messung der Ethylenkonzentration auf Container-Transporten war bisher nicht möglich, da kein Equipment zur Verfügung stand, das den Bedingungen im Container standhält und gleichzeitig eine sensitive und selektive Messung zu einem angemessenen Preis zulässt.

Im Rahmen des Projektes ist ein miniaturisierter Gaschromatograph entstanden, der mit einer Nachweisgrenze von unter 50 part per billion (ppb) eine ausreichend gute Sensitivität besitzt. Ein kommerziell verfügbarer Sensor wurde dafür mit zwei neu entwickelten Komponenten gekoppelt:

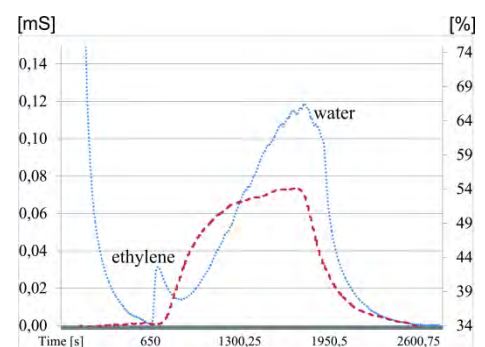
- Durch eine Anreicherungseinheit wird durch den sogenannten Adsorptionsprozess in einer kleinen Gasprobe die Menge an Ethylen pro Volumeneinheit erhöht, wodurch das System eine indirekte Sensitivitätssteigerung erreicht. Ohne die Anreicherungseinheit ist der Sensor nur in der Lage eine Konzentration von ca. 100 parts per million (ppmv) zu detektieren. Die Sensitivität des Systems erhöht sich mit der entwickelten Anreicherungseinheit ca. um den Faktor 2000. Die Anreicherungseinheit besitzt 8 Kanäle, die jeweils mit dem Adsorptionsmittel Carbosieve SII® gefüllt sind. Die Siliziumstege zwischen den Kanälen agieren als Heizer für den Desorptionsprozess, in dem die Probe in das System injiziert wird. Vorteilhaft an dieser Anordnung ist, dass der Prozess der Anreicherung gleichzeitig auch die Probenahme darstellt. Durch die Anreicherungseinheit ist neben der notwendigen Sensitivität des Systems also auch die automatisierte Probenahme und Injektion der Probe realisiert.
- Da der Sensor keine ausreichende Selektivität besitzt und gerade die hohe Luftfeuchte eines Containers (ca. 98%) starken Einfluss auf den Sensor hat, wurde eine miniaturisierte Gaschromatographiesäule entwickelt.



Anreicherungseinheit



GC Säule und weitere Systemkomponenten



Auftrennung der Peaks für Ethylen und Wasser/ Luftfeuchte

- Durch Versuchsreihen konnte ein Füllmaterial für die Säule gefunden werden (Carbosieve SII®), mit dem eine gute zeitliche Auftrennung der Probe erreicht werden kann, d.h. verschiedene Gaskomponenten den Sensor zeitversetzt erreichen. Durch Kenntnisse der Retentionszeiten ist auf diese Weise eine Aussage über die Ethylenkonzentration möglich.

Durch mikrotechnologische Herstellung der Komponenten konnte ein deutlich geringeres Baumaß als bei üblichen Laborgeräten erzielt werden. Funktionsfähigkeit und Genauigkeit des Gerätes wurden im Labor verifiziert. Reale Feldtests im Container sind in der Vorbereitung.

Relevante Veröffentlichungen

1. Janssen, S.; Tessmann, T.; Lang, W.: High sensitive and selective Ethylene Measurement by using a large-capacity-on-chip preconcentrator device. In: Sensors and Actuators B: Chemical, 2014, Vol. 197, pp. 405–413. DOI: 10.1016/j.snb.2014.02.001
2. Janssen, S.; Schmitt, K.; Blanke, M.; Bauersfeld, M.L.; Wöllenstein, J.; Lang, W.: Ethylene detection in fruit supply chains. In: Philosophical Transactions of the Royal Society A, May/June 2014, Vol. 372(2017), 20130311. DOI: 10.1098/rsta.2013.0311

Kontakt

Steffen Janssen, Institut für Mikrosensoren-, aktoren und -systeme (IMSAS), Universität Bremen, sjanssen@imsas.uni-bremen.de

Sensornetze zur Überwachung von Lebensmitteln

Um eine genaue Vorhersage der Resthaltbarkeit zu ermöglichen ist es notwendig die Temperatur im Inneren der Verpackung, d.h. der Kartons oder Paletten zu messen. Um lokale Abweichungen zu erfassen, sollten mindestens 10 bis 20 Messpunkte vorhanden sein.

Anhand von Messungen der Signalstärke und Modellen zur Signalausbreitung wurde gezeigt, dass die Radiosignale von Funksensoren durch wasserhaltige Waren stark gedämpft werden, insbesondere im Frequenzbereich oberhalb von 1 GHz [3]. Um eine sichere Kommunikation herzustellen ist es daher notwendig, die Daten über mehrere "Hops" zwischen den Sensoren weiterzuleiten. Aufgrund der weltweiten Vernetzung von Transportdienstleistern ist eine Standardisierung der Kommunikationsprotokolle unumgänglich.

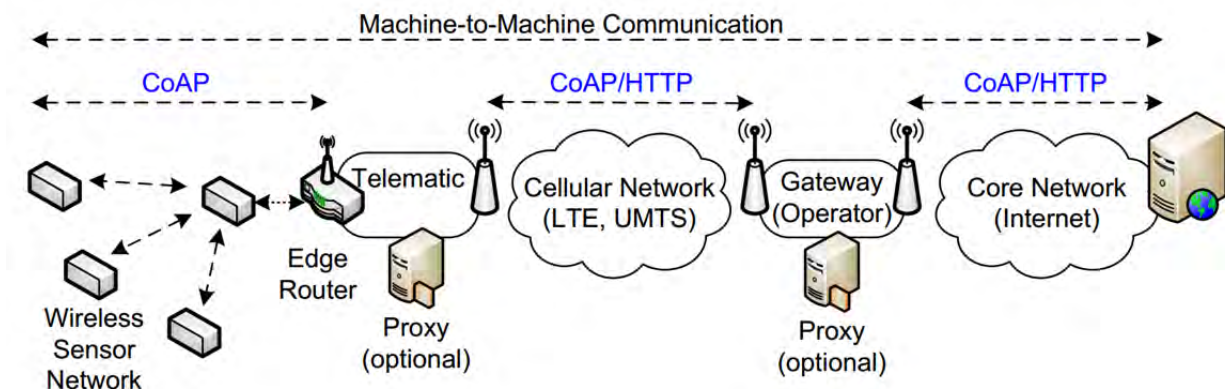


Java fähiger
Preon32
Sensorknoten und
Preon Cube mit
CO₂ Sensor



6LoWPAN und CoAP

Das Kabel gebundene Internet hat bereits einen hohen Grad an Standardisierung erreicht. Protokolle wie HTTP werden von Millionen Geräten verstanden. Im Projekt konnte gezeigt werden, dass es möglich ist, ein hohes Maß an Kompatibilität zu diesen Protokollen beizubehalten, aber gleichzeitig die benötigte Länge der Datenpakete und Speicherbedarf soweit zu reduzieren, dass eine Implementierung auf Sensorknoten möglich ist. Dies geschah unter anderem durch Einbindung des *IPv6 over Low power Wireless Personal Area Networks* (6LoWPAN) Standards, dass es ermöglicht Funksensoren wie andere Internetgeräte zu adressieren.

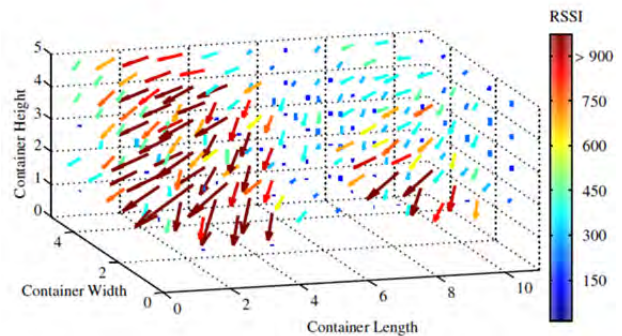


Das *Constrained Application Protocol* (CoAP) ist speziell auf die Anforderungen einer *Machine-to-Machine* (M2M) Kommunikation angepasst. Es ist an HTTP angelehnt, ermöglicht aber eine deutlich geringere Nachrichtenlänge. Im Projekt wurde eine CoAP Implementierung für das TinyOS Betriebssystem für Sensornetze erstellt. Durch weitere Arbeiten wurde ein Nachrichtenaustausch mit Sensorknoten, die das alternative Contiki Betriebssystem verwenden, ermöglicht.

Hardwareplattform für Sensorknoten

Neben der TelosB Plattform wurden zwei weitere Sensorknoten in Rahmen des Projektes weiterentwickelt und in der Anwendung zur Transportüberwachung getestet:

- Der Preon32 Sensorknoten von Virtenio basiert auf einem energieeffizienten ARM-Prozessor mit höherer Rechenleistung. Dadurch ist es möglich, auch komplexe Haltbarkeitsalgorithmen direkt auf dem Sensor zu berechnen und eine komfortable Programmiersprache wie Java zu verwenden.
- Ein Großteil der Energiereserven eines Sensorknotens wird dafür benötigt, den Radiochip periodisch in Empfangsbereitschaft zu halten, um auf eingehende Anfragen zu warten. In einem weiteren Ansatz wurde ein Sensorknoten realisiert, der sich mit semi-passiven RFID Technologien aufwecken lässt und daher fast keine Energie verbraucht, solange er nicht von außen angesprochen wird.



Vektor der Signalstärke (RSSI)

Der Sensorknoten misst zusätzlich die Signalstärke des Wecksignals entlang der drei Raumachsen. Dies soll zukünftig dazu genutzt werden, um die Position des Sensorknotens im Container abzuschätzen.

Relevante Veröffentlichungen

1. Pötsch, T., Kuladinithi, K., Becker, M., Trenkamp, P. and Görg, C.: "Performance Evaluation of CoAP using RPL and LPL in TinyOS. In Proc. of Fifth IFIP International Conference on New Technologies, Mobility and Security (NTMS 2012). Istanbul, Turkey. 7.-10.5.2012. DOI: 10.1109/NTMS.2012.6208761
2. Heidmann, N.; Hellwege, N.; Peters-Drolshagen, D.; Paul, S.; Dannies, A.; Lang, W.: A low-power wireless UHF/LF sensor network with web-based remote supervision - Implementation in the intelligent container. In: Sensors, 2013 IEEE, 2013, pp. 1-4. DOI: 10.1109/ICSENS.2013.6688422
3. Jedermann R, Pötsch T, Lloyd C. Communication techniques and challenges for wireless food quality monitoring. Philosophical Transactions of the Royal Society A, May/June 2014, Vol. 372(2017), 20130304. DOI: 10.1098/rsta.2013.0304

Kontakt

Reiner Jedermann, Institut für Mikrosensoren-, aktoren und -systeme (IMSAS), Universität Bremen, rjedermann@imsas.uni-bremen.de

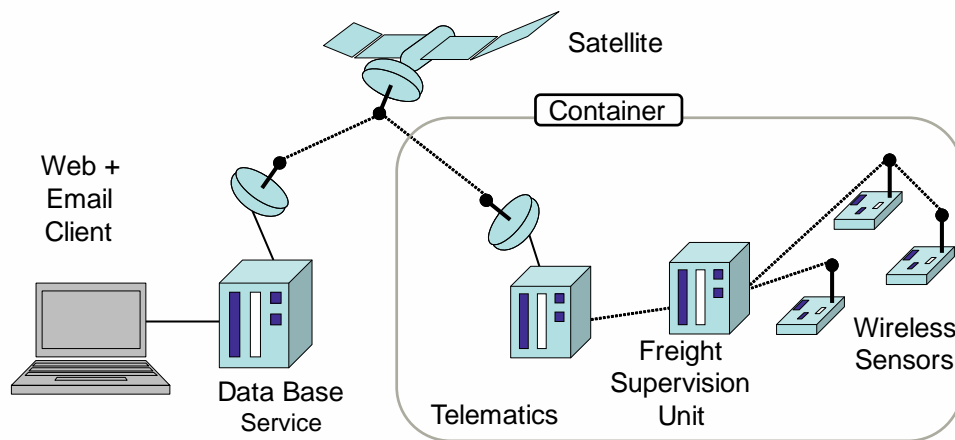
Koojana Kuladinithi, Arbeitsgruppe Kommunikationsnetze (ComNets), Universität Bremen, koo@comnets.uni-bremen.de

Henri Kretschmer VIRTENIO GmbH, henri.kretschmer@virtenio.de

Der Container als Kommunikations- und Entscheidungssystem

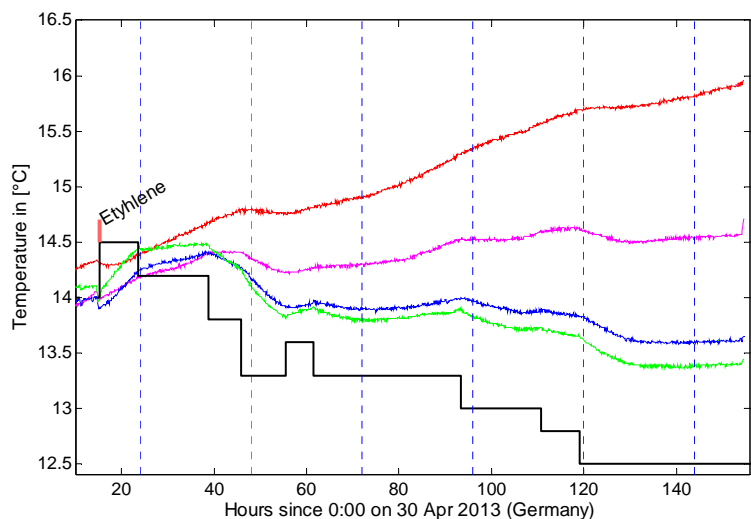
Eine im Container montierte „Freight Supervision Unit“ (FSU) stellt die Schnittstelle zwischen internem Sensornetz und externer Kommunikation dar. Die Anbindung an globale Netze geschieht über eine Telematikeinheit der Firma OHB. In der alternativen Implementierung für LKW Transporte wird anstelle der Satellitenkommunikation das GSM Netz über die Telematikeinheit der Firma Cargobull genutzt.

Gleichzeitig stellt die FSU eine Plattform bereit, die flexible erweitert werden kann, um Störungen an der Ware und der Transportbedingungen zu bewerten. Je nach Warenart kann ein spezifisches Haltbarkeitsmodell oder Decision Support Tool als Softwarebundle per Remotezugriff installiert werden. An der JAVA Softwareplattform, bestehend aus Prosynt OSGI und der Jamaica Virtual Machine von AICAS wurden für das Zielsystem notwendige Anpassungen vorgenommen, u.a. zur Unterstützung der CAN Schnittstelle.



Durch Messung der Rechenzeiten konnte gezeigt werden, dass auch komplexe Algorithmen auf der FSU Plattform ausgeführt werden können, und es sogar möglich ist, Haltbarkeitsmodelle auf den Sensorknoten zu berechnen und per Funk zu installieren [1, 2]

Die Funktionsfähigkeit des Kommunikationssystems konnte durch mehrere Testtransporte per Schiff und LKW belegt werden. Die Messwerte der drahtlosen Sensoren wurden täglich per Satellit übertragen. Die Schätzwerte für das Greenlife sowie die Wärmeproduktion und -abfuhr wurden erstmalig nach 3 Tagen berechnet. Sofern später eine Korrektur der Werte notwendig war, wurde diese umgehend gesendet, insbesondere wenn sich eine Gefahrensituation abzeichnete. Sofern in Hafennähe ein Mobilfunknetz zur Verfügung stand, konnten die vollständigen Daten über ein Web-Interface abgefragt werden.



Temperaturverlauf und Setpoint während der Reifung

Während der Reifung nach Ankunft in Hamburg wurde der Temperatur Sollwert des Containers mehrfach über das Remote-Interface angepasst, um die höhere Wärmeproduktion der Bananen zu kompensieren.

Relevante Veröffentlichungen

1. Dannies, A., Palafox-Albarrán, J., Lang, W., Jedermann, R.: Smart dynamic software components enabling decision support in Machine-to-machine networks, International Journal of Computer Science Issues, January 2013, Vol. 10(1), pp. 540-550, ISSN (Print): 1694-0784 | ISSN (Online): 1694-0814
2. Palafox-Albarran, J.; Dannies, A.; Sanjeeva, B. K.; Lang, W. and Jedermann, R.: Combining Machine-to-Machine Communications with Intelligent Objects in Logistics. In Proc. of ImViReLL'12 The Impact of Virtual, Remote and Real Logistics Labs, Springer 2012, pp. 102-112. DOI: 10.1007/978-3-642-28816-6_11.

Kontakt

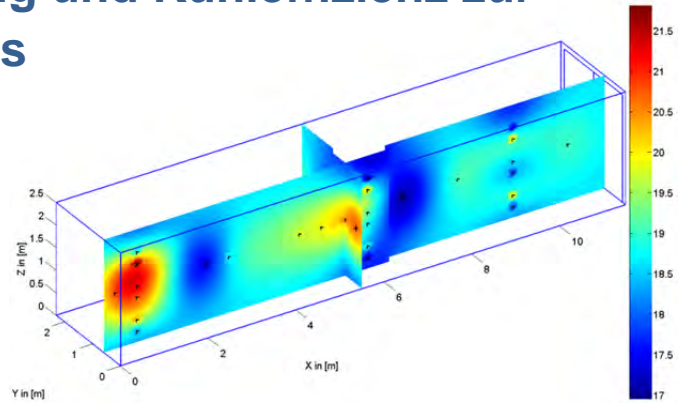
Reiner Jedermann, Institut für Mikrosensoren-, aktoren und -systeme (IMSAS), Universität Bremen, rjedermann@imsas.uni-bremen.de

Fridtjof Siebert, aicas realtime, siebert@aicas.com

Fabian Pursche, ProSyst Software GmbH, f.pursche@prosyst.com

Analyse von Luftströmung und Kühleffizienz zur Vermeidung von Hotspots

Beim Transport von klimakterischen Früchten, insbesondere bei Bananen, besteht die Gefahr der Bildung von Hotspots. In einzelnen Kartons oder Paletten kann die durch biologische Alterungs- und Reifungsprozesse erzeugte Wärme so stark ansteigen, dass sie nicht mehr durch die Kühlung abgeführt werden kann. Dies führt zu einem Temperaturanstieg, der wiederum die biologischen Prozesse beschleunigt.



Räumliche Temperaturverteilung und Zonen schlechter Kühlwirkung

Thermisches Modell

Zur Analyse der Bedingungen, die zu einem Hotspot führen, wurde ein thermisches Modell erstellt. Durch Anpassung der Modellparameter an den gemessenen Temperaturverlauf, ist es möglich, die erzeugte und die abgeführte Wärmemenge separat zu berechnen [1]. Unter Standardbedingungen geben grüne Bananen eine Wärmeleistung von etwa 50 Watt je Tonne ab. Dieser Wert kann durch Transport unter kontrollierter Atmosphäre reduziert werden, steigt aber bei fortgeschrittenem Alter der Ware.

Bedingung	Wärmeabgabe
Kontrollierte Atmosphäre (4.5% CO ₂ / 3% O ₂)	16,1 W/t
Banovac Folienverpackung (4% CO ₂ / 17% O ₂)	24,0 W/t
Normale Atmosphäre	50,3 W/t
Reifung bei 15°C	70 ... 115 W/t
Reifung bei 17°C	185 ... 210 W/t

Verbesserung der Verpackung und Stauung

Bei normaler Stauung wurden 60 Watt je Tonne durch die Kühlluft abgeführt. Umgerechnet auf eine volle Containerladung entspricht dies nur etwa 10% der angegebenen Kühlkapazität des Aggregates. Es wurden daher verschiedene Versuche unternommen, die Verpackung und Stauung zu verbessern.

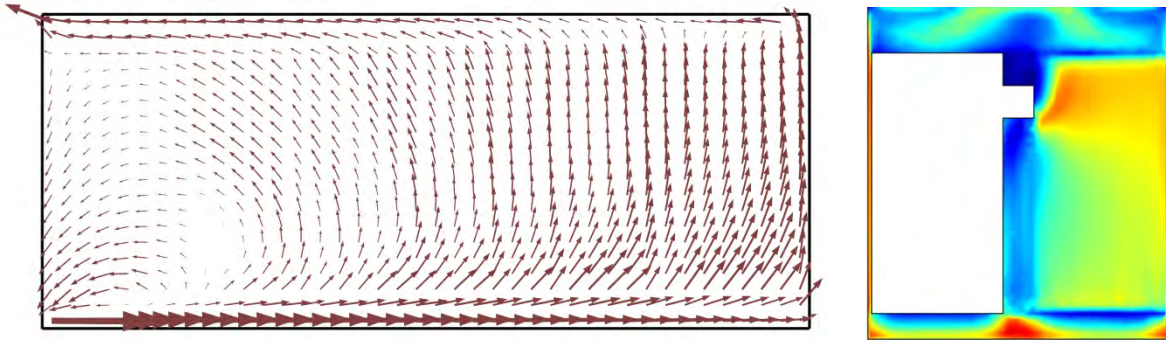
Verpackung / Stauung	Wärmeabfuhr
Standardpackung	58,7 W/t
Blockierte Spalten	41,6 W/t
Spalt 3 cm	68,0 W/t
Verbesserte Kartons, Spalten und Kaminschema	92,1 W/t

Möglichkeit zur Reifung im Container

Durch Kombination mehrerer Maßnahmen konnte die Kühleffizienz um ca. 50% verbessert werden. Diese umfassen verbessertes Kartondesign, Spacer um gleichmäßige Spalten zwischen Wand und Paletten zu erzwingen und geänderte Anordnung der Paletten im Container. Wenn die Temperatur bei der Reifung auf 15°C begrenzt und der Setpoint des Kühlaggregates um 0.5°C abgesenkt wird, ist es möglich, die während der Reifung erzeugte Wärme abzuführen. In drei Feldtests konnte technische Machbarkeit einer Reifung im Container demonstriert werden.

Simulation der Strömungsverhältnisse

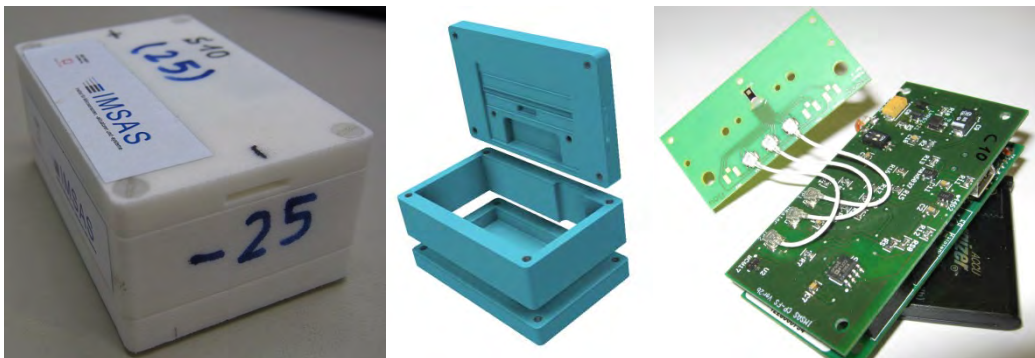
Zur weiteren Verifikation der Änderungen an der Stauung der Paletten im Container wurden die Strömungsverhältnisse in COMSOL simuliert [2]. Durch die Simulation konnte eine Erhöhung der Strömungsgeschwindigkeit in den kritischen Bereichen der Paletten nachgewiesen werden. Durch die Simulation konnte weiterhin eine Erklärung für Probleme, die typischerweise in den beiden Paletten direkt am Aggregat auftreten, gefunden werden. Durch einen Wirbel kann hier die Strömungsgeschwindigkeit in diesem Bereich stark abfallen.



Wirbel auf der Seite des Kühlaggregates und Erhöhung der Strömungsgeschwindigkeit im oberen Drittel der Palette (orange-rot = hohe Geschwindigkeit)

Drahtloser Strömungssensor

Die Parameter der Simulation wurden anhand der Messungen mit Hilfe eines Satzes von drahtlosen Strömungssensoren abgeglichen. Die Sensoren basieren auf einem am IMSAS entwickeltes Sensorelement und können in das Netzwerk zur Temperaturüberwachung integriert werden [3].



Strömungssensor, Gehäuse und Elektronik

Relevante Veröffentlichungen

1. Jedermann, R., Geyer, M., Praeger, U., Lang, W.: Sea transport of bananas in containers – Parameter identification for a temperature model, Journal of Food Engineering, Volume 115, Issue 3, April 2013, Vol. 115(3) , pp. 330–338, DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2012.10.039.
2. Issa, S.; Lang, W.: Airflow simulation inside reefer containers. Presented at: 4th International Conference on Dynamics in Logistics (LDIC 2014), Bremen, Germany, Proceedings to appear in Springer, Lecture Notes in Logistics, 2014.
3. Lloyd, C.; Jedermann, R.; Lang, W.: Airflow behavior under different loading schemes and its correspondence to temperature in perishables transported in refrigerated containers. Presented at: 4th International Conference on Dynamics in Logistics (LDIC 2014), Bremen, Germany, Proceedings to appear in Springer, Lecture Notes in Logistics, 2014.

Kontakt

Reiner Jedermann, Institut für Mikrosensoren-, aktoren und -systeme (IMSAS), Universität Bremen, rjedermann@imsas.uni-bremen.de

Datenverarbeitung zur Transportüberwachung und zur Logistiksteuerung

Während der Feldtests wurden die vom Intelligenten Container erfassten Daten (z. B. Temperatur, Position etc.) über die Telematik von OHB (Feldtest Bananen) bzw. über die Telematik von SCHMITZ CARGOBULL TELEMATICS (Feldtests Fleisch) an einen Server des Projektpartners SEEBURGER übermittelt. Von hieraus erfolgte die Benachrichtigung der Anwendungspartner per Email im Falle einer Abweichung von vorher definierten Soll-Werten. Alternativ konnten sich die Anwendungspartner über ein Webinterface einloggen, um den Standort und den Zustand ihrer Waren einzusehen.

Um auch direkt im operativen Prozess auf die Sensordaten zugreifen zu können, wurde von OTARIS eine App entwickelt mit der über einen Tablet-PC die Sensordaten eingelesen werden konnten. Anhand einer Ampel wurde der Warenzustand angezeigt.

Die so bereitgestellten Daten wurden während der Feldtests zur reinen Transportüberwachung genutzt. Allerdings können die Daten zukünftig auch zur Steuerung der logistischen Prozesse Verwendung finden. Aufbauend auf der Idee des dynamic FEFO als Lagerhaltungsverfahren hat das BIBA eine Steuerungsmethode für die Distributionslogistik entwickelt. Das Verfahren „qualitätsbasierte Distribution“ nutzt die vom Intelligenten Container bereitgestellten Daten, um den Warenzustand bzw. einen prognostizierten Zustandsverlauf mit den Transportzeiten und den Kundenerwartungen abzugleichen und die Waren so zu verteilen, dass diese nicht nur zur richtigen Zeit am richtigen Ort sondern auch im richtigen Zustand sind. Anhand von Simulationsstudien wurde abgeschätzt, um wie viel Lebensmittelverluste durch dieses Verfahren reduziert werden können [1,2].



Relevante Veröffentlichungen

1. Lütjen, M.; Dittmer, P.; Veigt, M.: Towards quality driven distribution of intelligent containers in cold chain logistics networks. In: Denkena, B.; Gausemeier, J.; Scholz-Reiter, B. (eds.): Proceedings of 1st Joint Symposium on System-Integrated Intelligence (SYSINT 2012). New Challenges for Product and Production Engineering, PZH Verlag, Garbsen, 2012, pp. 171-174
2. Lütjen, M.; Dittmer, P.; Veigt, M.: Quality driven distribution of intelligent containers in cold chain logistics networks. In: Production Engineering Research and Development, April 2013, Vol. 7(2-3), pp. 291–297. DOI: 10.1007/s11740-012-0433-3

Kontakt

Volker Schäffer, SEEBURGER Business Integration, v.schaeffer@seeburger.de

Frank Bittner, OTARIS Interactive Services, bittner@otaris.de

Patrick Dittmer, BIBA – Bremer Institut für Produktion und Logistik GmbH, dit@biba.uni-bremen.de

Feldtests

Der hohe Praxisbezug des Projektes zeigt sich in den durchgeführten Feldtests. Die entwickelten Modelle, Sensoren und Kommunikationssysteme wurden in Zusammenarbeit mit verschiedenen Partnern in der Kühlkette für Bananen und Fleischprodukte erprobt. Die Tests schließen sowohl Transporte per LKW an Land als auch in Containern per Frachtschiff ein.

Kühlkette Bananen

In Zusammenarbeit mit DOLE wurden 3 Tests des intelligenten Containers zur Überwachung von Bananen und anschließender Reifung durchgeführt [1]. Die Bananen wurden in Costa Rica verpackt. Ein Teil der Kartons wurde mit Funksensoren bestückt. Nachdem 20 Paletten in den Intelligenten Container geladen waren, stand die Fernüberwachung zur Verfügung. Der Transport zum Hafen erfolgte per LKW (ca. 4 Stunden).

Während des Seetransportes nach Antwerpen (2 Wochen) konnten die Einstellungen für Setpoint und Frischluftzufuhr per Fernzugriff korrigiert werden. Von Antwerpen aus wurde der Container per LKW nach Hamburg transportiert (1 Tag).

Nach Ankunft in Hamburg wurde der Container mit Ethylen begast, um die Reifung zu starten. Während der Reifung stieg die Wärmeproduktion der Bananen um den Faktor 5 bis 10 und musste daher mehrmals täglich kontrolliert werden. Anstelle der sonst üblichen manuellen bzw. visuellen Inspektion war es möglich anhand einer Analyse der Temperaturkurven auf die Geschwindigkeit des Reifeprozesses zu schließen. Per Fernzugriff wurde der Setpoint schrittweise reduziert, um der gesteigerten Wärmeproduktion entgegenzuwirken. Nach Abschluss der Reifung (5 Tage) wurden die Bananen mit anderer Ware, die den üblichen Reifeprozess in speziellen Kammern durchlaufen hat, im Großhandel vermarktet.



Kühlkette Fleisch

Im Anwendungsfall „Fleisch“ wurden zwei Feldtests durchgeführt. Zum einen wurde der Transport von Hackfleisch von Münster nach Stelle überwacht. Hierzu stellte der Projektpartner KÜHN Transporte einen LKW zur Verfügung der mit der Technik des Intelligenten Containers (Freight Supervision Unit / FSU & Telematik) ausgerüstet wurde.

Zum anderen wurde der Transport von Lammfleisch aus Irland über das Hauptlager des Projektpartners RUNGIS express in Meckenheim bis zum



Supermarkt in Bremen überwacht. Hierbei wurden zwei Paletten mit Lammfleisch direkt beim Produzenten mit Sensorknoten bestückt. Die Sensorknoten verfügen über zwei Modi. Im Offline-Modus werden die Temperaturdaten nur geloggt. Im Online-Modus werden die Daten zudem an die FSU gesendet und somit das Online-Monitoring der Waren über das Internet ermöglicht.



Im Feldtest erfolgte der Transport von Irland über ein Pariser Depot bis nach Meckenheim im Offlinemodus. Im Wareneingang von RUNGIS express erfolgte das Auslesen bzw. Auswerten der Sensordaten mittels Tablet-PC, sodass die Daten zur Unterstützung der Qualitätskontrolle herangezogen werden konnten. Zudem erfolgte in Meckenheim die Depalettierung und Kommissionierung der Waren. Die Sensorknoten verblieben dabei an den ursprünglichen Fleischverpackungen. Von Meckenheim über ein Depot in Ladbergen bis zum Supermarkt in Bremen stand ein LKW mit FSU und Telematik zur Verfügung, auf dieser Strecke war daher eine Online Überwachung möglich.

Zeitstempel	Temperatur
2032076	4.75
2632061	4.88
3232061	4.69
3832063	4.82
4432063	4.75
5032063	4.82
5632061	4.63
6232061	3.01
6832061	2.63
7432061	2.63
8032061	2.38
8632064	1.94
9232061	1.76

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass durch diese Tests nachgewiesen wurde, dass (a) die Kühlkette in den Feldtests durchgängig (auch an den Umschlagplätzen im Depot) eingehalten wurde, (b) die Technik des Intelligenten Containers funktionsfähig ist und (c) der Ansatz des Intelligenten Containers auch auf den Transport von Gütern in LKWs übertragen werden kann.

Das Offline-Logging ermöglicht einen durchgängigen Nachweis der Einhaltung der Kühlketten, auch wenn nicht alle an der Kühlkette beteiligten LKWs über entsprechende Sensorik und Telematik verfügen. Der Online Modus ermöglicht es Fehler zeitnah zu erkennen und entsprechend zu reagieren, um Lebensmittelverluste zu vermeiden.

Relevante Veröffentlichungen

1. Jedermann, R.; Dannies, A.; Moehrke, A.; Praeger, U.; Geyer, M.; Lang, W.: Supervision of transport and ripening of bananas by the Intelligent Container. In: 5th International Workshop Cold Chain Management, Bonn, Germany, University Bonn, 2013.
2. Jedermann, R.; Praeger, U.; Geyer, M.; Lang, W.: Remote quality monitoring in the banana chain. In: Philosophical Transactions of the Royal Society A, May/June 2014, Vol. 372(2017), 20130303. DOI: 10.1098/rsta.2013.303
3. Mack, M.; Dittmer, P.; Veigt, M.; Kus, M.; Nehmiz, U.; Kreyenschmidt, J.: Quality tracing in meat supply chains. In: Philosophical Transactions of the Royal Society A, May/June 2014, Vol. 372(2017), 20130308. DOI: 10.1098/rsta.2013.0308

Kontakt

Bereich Bananen: Reiner Jedermann, Institut für Mikrosensoren-, aktoren und -systeme (IMSAS), Universität Bremen, rjedermann@imsas.uni-bremen.de

Container Umbau: Frank Husfeld, CHS Spezialcontainer - Shelter and Engineering GmbH, frank.husfeld@chs-spezialcontainer.de

Bereich Fleisch: Judith Kreyenschmidt, Institut für Tierwissenschaften, Universität Bonn (ITW), j.kreyenschmidt@uni-bonn.de

Logistische Prozesse: Marius Veigt, BIBA – Bremer Institut für Produktion und Logistik GmbH, vei@biba.uni-bremen.de

Bereich Telematik: Nils Schulte, Cargobull Telematics GmbH, nils.schulte@cargobull-telematics.de

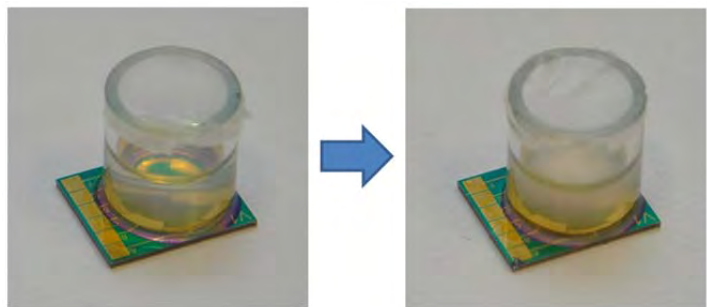
Neue Herausforderungen

In dem Projekt konnte gezeigt werden, wie eine Fernüberwachung der Warenqualität von Lebensmitteln durch „intelligente“ Transportmittel möglich ist und wie Verbesserungen der logistischen Prozesse für Bananen und Fleischprodukte möglich sind. Aber nicht alle die Lebensmittel-Logistik betreffenden neuen Fragestellungen konnten durch das Projekt abgedeckt werden.

Mobile Messung von Belastungen durch Schimmel

So hat gerade eine Fragestellung das besondere Interesse geweckt: Wie kann auch während eines Transports von leicht verderblicher Fracht die Belastung durch Schimmelpilze bestimmt werden. Daher initiierte das IMSAS ein neues Forschungsvorhaben, welches sich seit Oktober 2013 mit der Entwicklung eines Mikroreaktorsystems zur autonomen Untersuchung von Schimmelpilzbelastungen (kurz: MaUS) beschäftigt. Durch innovative Verfahren zur Luftprobenentnahme soll dabei erstmals die bewährte Methode des Anzüchtens einer Schimmelpilzprobe auf einem Nährboden automatisiert werden.

Neben technischen Neuheiten ist auch die Erprobung und Erforschung von biologischen Komponenten in Form der Nährböden ein maßgeblicher Fokus. Durch Kenntnis der Leitkeime und deren Eigenschaften kann in Kombination mit den richtigen Nährmedien neben der Belastung auch die Art der beteiligten Keime bestimmt werden.



Änderung der Leitfähigkeit und Transparenz.
© P. Vinayaka

Relevante Veröffentlichungen

1. Janssen, S.; Pankoke, I.; Klus, K.; Schmitt, K.; Stephan, U.; Wöllenstein, J.: Two underestimated threats in food transportation — Mold and acceleration. In: Philosophical Transactions of the Royal Society A, May/June 2014, Vol. 372(2017), 20130312. DOI: 10.1098/rsta.2013.0312

Kontakt

Steffen Janssen, Institut für Mikrosensoren-, aktoren und -systeme (IMSAS), Universität Bremen, sjanssen@imsas.uni-bremen.de

Projektförderung und Partner

Das Verbundprojekt „Der Intelligente Container: Vernetzte intelligente Objekte in der Logistik“ wurde vom 01.07.2010 bis 30.06.2013 durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) unter der Kennziffer 01IA10001 gefördert. An dem Projekt mit einem Gesamtvolumen von 9 Millionen Euro waren 6 Forschungsinstitute und 15 Industriepartner beteiligt.

Ein Folgeprojekt zur Detektion von Schimmel in der Fruchtlogistik wurde in Oktober 2013 begonnen, zwei weitere Projekte befinden sich in der Beantragung.



Forschungspartner

Partner	Bereich
Institut für Mikrosensoren, -aktoren und -systeme (IMSAS), Universität Bremen	<ul style="list-style-type: none"> • Projektleitung • Mikrotechnologische Realisierung neuer Messprinzipien • Räumliche Analyse von Temperaturprofilen mit drahtlosen Sensoren
ComNets-Gruppe, Universität Bremen	<ul style="list-style-type: none"> • Protokolle für Telematikeinheiten und drahtlose Sensornetze
Institut für Theoretische Elektrotechnik und Mikroelektronik (ITEM.me), Bremen	<ul style="list-style-type: none"> • Kombination aktiver und passiver Funktechnologien für Sensorknoten
Bremer Institut für Produktion und Logistik GmbH (BIBA)	<ul style="list-style-type: none"> • Methoden zur effizienten Logistiksteuerung von temperaturgeführten Gütern • Studien zur Wirtschaftlichkeit
Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e.V.	<ul style="list-style-type: none"> • Haltbarkeitsmodell für Bananen
Institut für Tierwissenschaften, Universität Bonn (ITW)	<ul style="list-style-type: none"> • Haltbarkeitsmodell für Fleischprodukte

Industriepartner

Partner	Bereich
aicas GmbH	Java Realtime Umgebung für embedded Systems
Cargobull Telematics GmbH	Telematik für Fahrzeuge und Auflieger
CHS Spezialcontainer - Shelter and Engineering GmbH	Umrüstung des Testcontainers
Dole Fresh Fruit Europe OHG	Feldtests / Anwendung in der Logistik und Reifung von Bananen
Elbau Elektronische Bauelemente GmbH	Sensoren für Luftströmung und spektrale Farbmessung
European Microsoft Innovation Center (EMIC)	Software-Virtualisierung
ISIS IC GmbH	Spezialgehäuse und kontaktloses Aufladen der Sensorknoten
Kühn Transport und Lagerungsgesellschaft mbH	Anwendung und Feldtests Fleischtransporte
OHB Teledata Business Unit	Satellitenkommunikation für Container
OTARIS Interactive Services	Tabletlösungen für papierlosen Frachtbriefe und lokales Auslesen von Wareninformationen Untersuchung von Sicherheitsaspekten
ProSyst Software GmbH	OSGi Framework zur Installation von Java Bundles bei Bedarf auf Telematikeinheiten
RUNGIS express AG	Feldtests / Anwendung in der Kette für Fleisch
SEEBURGER Business Integration	Schnittstelle zur Integration von lebensmittelspezifischen Daten in Unternehmensdatenbanken
Texas Instruments	Entwicklung von Spezial RFID-Sensorknoten und -Antennen
VIRTENIO GmbH	Drahtlose Sensorknoten für die Logistik

Für weitere Informationen und Literaturliste, siehe

www.intelligentcontainer.com