

# Condition-Monitoring in der Logistik mittels RFID

DIPLOMARBEIT

zur Erlangung des akademischen Grades

**Diplom-Ingenieur**

im Rahmen des Studiums

**Software Engineering & Internet Computing**

eingereicht von

**Günther Rest**

Matrikelnummer 0225543

an der  
Fakultät für Informatik der Technischen Universität Wien

Betreuung  
Betreuer: O. Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. A Min Tjoa

Wien, 25.09.2011

\_\_\_\_\_  
(Unterschrift Verfasser)

\_\_\_\_\_  
(Unterschrift Betreuer)

## **Erklärung zur Verfassung der Arbeit**

Günther Rest  
Kirchengasse 418  
2272 Ringelsdorf

Hiermit erkläre ich, dass ich diese Arbeit selbständig verfasst habe, dass ich die verwendeten Quellen und Hilfsmittel vollständig angegeben habe und dass ich die Stellen der Arbeit - einschließlich Tabellen, Karten und Abbildungen -, die anderen Werken oder dem Internet im Wortlaut oder dem Sinn nach entnommen sind, auf jeden Fall unter Angabe der Quelle als Entlehnung kenntlich gemacht habe.

Ringelsdorf, 25.09.2011

\_\_\_\_\_

(Günther Rest)

## **Danksagung**

Bedanken möchte ich mich besonders bei Georg Schwondra für die umfassende Betreuung und Unterstützung bei der Erstellung dieser Arbeit, sowie auch bei seinem gesamten Team bei Siemens IT Solutions and Services für die Bereitstellung der Zeit und der benötigten Materialien und Geräte.

Danke auch an all jene Personen und Unternehmen die mir wertvolle Informationen und Auskünfte zur Verfügung gestellt haben.

Der größte Dank gilt meinen Eltern, die mir diese Ausbildung ermöglicht haben.

## Abstract

Condition monitoring and the documentation of environmental parameters such as temperature or humidity across the entire supply chain is today in most cases not only done to be compliant to legal regulations or trade codices but regularly used as an important source for quality management measures. The fact that the majority of manufacturing companies does not operate its own fleet anymore and has outsourced logistics and transport to external carriers - with usually no information interfaces available for the exchange of the measurement data between consignors, carriers and recipients - considerably complicates these efforts. In consequence, it is not uncommon that, without the knowledge of each of their operators, several different systems get used in parallel, for example if the carrier records the cargo compartments temperatures and the consignor uses data loggers to measure the temperatures as close as possible on the product. The technologies used today range from expensive satellite-based online monitoring systems, vehicle built-in temperature recording devices of the cooling equipment manufacturer, for evaluation purposes time-consuming being data loggers, to simple penetration-thermometers or indicator labels. Increasingly often, new systems based on RFID technology can be found listed on websites of leading logistics service providers which promise to alleviate the existing overhead in environmental monitoring and bring key advantages considering quality improvement and cost effectiveness. With predicted annual growth rates between 19 % and 25 %, the sales forecasts for RFID technology also clearly show the high expectations placed into this technology.

After giving a brief insight into the history of cold chain monitoring and a basic introduction to RFID technology, already available RFID sensor-systems are evaluated concerning their applicability for condition and environmental monitoring. The requirements for such systems in the various industries are analysed, and the currently existing hurdles for broad application are investigated, with the surprising result, that in addition to the technical difficulties and the issue of costs, quite different factors are of considerable importance. Concerning the currently unresolved technical issues and limitations of applicability of the different RFID technologies, possible solutions and scientific approaches are presented.

Furthermore, in the course of this thesis two existing RFID cold chain monitoring systems have been chosen and, in cooperation with a cold chain logistics service provider tested in the harsh everyday use of food transportation. Based on the evaluation results and conclusions of these tests, supplemented by the requirements and desires of the test partner, a sample implementation of a possible temperature-monitoring system for this field of application was designed and partially implemented resulting in a prototype with limited functionality. In the end, further applications of RFID sensor technology for condition monitoring of other condition- and environmental parameters are presented and finally a brief outlook on future developments on this topic is given.

## Kurzfassung

Die lückenlose Überwachung und Dokumentation von Umgebungsparametern, wie z.B. Temperatur oder Luftfeuchtigkeit über die gesamte Logistikkette hinweg dient heute meist nicht mehr nur der Erfüllung gesetzlicher Vorschriften oder brancheninterner Codices sondern immer häufiger auch als wichtige Informationsquelle für Qualitätsmanagement Maßnahmen. Die Tatsache, dass die Mehrzahl der produzierenden Unternehmen allerdings keine eigenen Fuhrparks mehr betreibt, Logistik und Transport sehr oft an externe Spediteure ausgelagert wird und zumeist auch keine Informationsschnittstellen zum Austausch der Messdaten zwischen Auftraggebern, Spediteuren und Empfängern vorhanden sind erschweren diese Bemühungen erheblich. Nicht selten kommt es daher vor, dass ohne Wissen des jeweils anderen gleich mehrere, verschiedene Systeme parallel zur Anwendung kommen, wenn beispielsweise der Spediteur die Frachtraumtemperaturen aufzeichnet und der Versender mittels Datenloggern möglichst produktnahe Temperaturen ermitteln möchte. Die Bandbreite der derzeit zum Einsatz kommenden technologischen Systeme reicht dabei von teuren satellitengestützten Onlinesystemen, über integrierte Temperaturonzeichnungsgeräte der Kühlaggregatehersteller, in der Auswertung zeitintensive Datenlogger, bis hin zu einfachsten Stechthermometern oder Indikator-Labels. Immer häufiger findet man beim Betrachten der Internetauftritte führender Logistikdienstleistungsunternehmen in diesem Zusammenhang aber auch bereits viel versprechend klingende, auf der RFID-Technologie basierende Systeme die in punkto Qualitätssteigerungsmöglichkeiten im harten Wettbewerb den Ausschlag gegenüber der Konkurrenz herbeiführen sollen. Und auch die Umsatzprognosen für RFID-Technologie, mit prophezeiten jährlichen Steigerungsraten von 19 % - 25 %, machen deutlich welche hohe Erwartungen in diese Technologie gesetzt werden.

Nach einem kurzen Einblick in die Geschichte der Transportkühllogistik und einer grundlegenden Einführung in die RFID-Technologie hinterfragt diese Arbeit was heutige RFID Sensoriksysteme bereits zu leisten im Stande sind, wie die Anforderungen an solche Systeme in den unterschiedlichen Branchen aussehen und welche Hürden einem breiten Einsatz derzeit noch im Wege stehen, wobei sich überraschend herausgestellt hat, dass dabei neben den technischen Schwierigkeiten und der Kostenproblematik noch ganz andere Einflussfaktoren von erheblicher Bedeutung sind. In Bezug auf die technischen Probleme und aktuell noch vorhandenen Grenzen der Anwendbarkeit der unterschiedlichen RFID-Technologien werden jeweils mögliche Lösungsansätze sowie wissenschaftliche Auseinandersetzungen präsentiert.

Weiters wurden im Zuge dieser Diplomarbeit zwei konkrete RFID Kühlmonitoring-Systeme ausgewählt und in Zusammenarbeit mit einem, im Lebensmittel-Transport tätigen Kühllogistik Dienstleistungsunternehmen im rauen Praxiseinsatz getestet. Aufbauend auf den Erkenntnissen und Schlüssen dieser Tests und ergänzt um die Anforderungen und Wünsche des Testpartners wurde eine Beispielimplementierung eines möglichen Temperatur-Monitoring Systems für dieses Anwendungsgebiet erarbeitet und in Grundzügen, in Form eines funktionseingeschränkten Prototyps auch teilweise umgesetzt.

Zuletzt geht die Arbeit noch auf weitere Anwendungsmöglichkeiten von RFID Sensorik Technologie für das Condition Monitoring anderer Zustands- und Umgebungsparameter ein und gibt abschließend noch einen kurzen Ausblick auf zukünftige Entwicklungen in diesem Bereich.

# Inhaltsverzeichnis

<b>Abstract</b>	<b>iii</b>
<b>Kurzfassung</b>	<b>iv</b>
<b>Inhaltsverzeichnis</b>	<b>v</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>vii</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>x</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>xi</b>
<b>1 Einführung</b>	<b>1</b>
1.1 Motivation . . . . .	1
1.2 Aufbau der Arbeit . . . . .	3
1.3 Historische Entwicklung der Kühlkettenüberwachung bis Heute . . . . .	4
<b>2 RFID Einsatz für Kühlkettenmonitoring</b>	<b>8</b>
2.1 RFID Grundlagen . . . . .	8
2.2 Einsatz von RFID für Kühlkettenmonitoring . . . . .	15
2.3 Rechtliche Anforderungen/Möglichkeiten - Einschränkungen . . . . .	17
<b>3 Feldtests in der Lebensmittellogistik</b>	<b>20</b>
3.1 Motivation, Problemstellung . . . . .	21
3.2 Material und Methoden . . . . .	22
3.3 Auswertung und Erkenntnisse . . . . .	24
<b>4 Einfache Beispielimplementierung eines RFID-Temperaturmonitoring Systems</b>	<b>44</b>
4.1 Anforderungen . . . . .	44
4.2 Systemdesign . . . . .	46
4.3 Implementierung . . . . .	47
4.4 Weitere Schritte zur Produktreife . . . . .	49
<b>5 Weitere Anwendungsmöglichkeiten für RFID-Technologie im Condition Monitoring</b>	<b>51</b>

5.1	Hochtemperaturanwendungen . . . . .	51
5.2	Luftfeuchtigkeit . . . . .	53
5.3	Erschütterungen . . . . .	53
5.4	Bakterienbefall . . . . .	54
5.5	Drucksensor . . . . .	55
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>57</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>59</b>

# Abkürzungsverzeichnis

<b>AIM-D e.V.</b> .....	Verband für Automatische Identifikation, Datenerfassung und Mobile Datenkommunikation
<b>ANSI</b> .....	American National Standards Institute
<b>ARGE</b> .....	ARbeitsGEmeinschaft
<b>AutoID</b> .....	Automatische Identifikation und Datenerfassung
<b>BK</b> .....	Brotkorb
<b>BMWi</b> .....	Bundesministerium für Wirtschaft und Technik (D)
<b>COTS</b> .....	Commercial Off The Shelf (fertige, kommerziell verfügbare Lösungen)
<b>CSV</b> .....	Character Separated Values, Dateiformat für einfach strukturierte Daten
<b>CTI-Label</b> .....	CriticalTemperatureIndicator-Label
<b>DAS</b> .....	DATenerfassungsSystem (Datenloggingsystem von Thermoking)
<b>DB</b> .....	Deutsche Bank AG, (konkret: Deutsche Bank Research - Wirtschaftsanalysen)
<b>DB(S)</b> .....	DataBase(System), Datenbankserver
<b>DSP</b> .....	Digitaler Signal Prozessor
<b>EAN</b> .....	European Article Number
<b>EAS</b> .....	Electronic Article Surveillance (1bit-Transponder zur Diebstahlsicherung)
<b>ETSI</b> .....	European Telecommunications Standards Institute
<b>EPC</b> .....	Electronic Product Code, elektronischer Produkt-Code
<b>EPCglobal</b> .....	Unternehmensbereich von GS1 zur Entwicklung und Standardisierung von RFID-Systemen



<b>HACCP</b> .....	Hazard Analysis and Critical Control Points - deutsch: Gefahrenanalyse und kritische Lenkungspunkte
<b>HF</b> .....	HighFrequency (RFID-Systeme im Frequenzbereich um 13,56 MHz)
<b>GHP</b> .....	Good Hygienic Practice - deutsch: Gute Hygiene Praxis
<b>GMP</b> .....	Good Manufacturing Practice - deutsch: Gute Herstellungs Praxis
<b>GS1</b> .....	Global Standards One, weltweite Organisation zur Koordinierung der Produktcodes
<b>GSM</b> .....	Global System for Mobile Communications - Standard für volldigitale Mobilfunknetze
<b>GUI</b> .....	Graphical User Interface - grafische Benutzeroberfläche
<b>ID</b> .....	eindeutige IDentifikationsnummer
<b>IFF</b> .....	Identification Friend or Foe (Freund oder Feind-Erkennungssystem)
<b>ISO/IEC</b> .....	International Organization for Standardization / International Electrotechnical Commission
<b>LAN</b> .....	Local Area Network - lokales Netzwerk
<b>LF</b> .....	LowFrequency (RFID-Systeme im Frequenzbereich von 100-135 kHz)
<b>LKW</b> .....	LastKraftWagen
<b>MES</b> .....	Manufacturing Execution System - Produktionssteuerungssystem
<b>MS</b> .....	Microsoft
<b>MW</b> .....	MikroWellen (Frequenzbereich von 2,45GHz bzw. 5,8GHz)
<b>.NET</b> .....	Software Plattform von Microsoft zur Entwicklung und Ausführung von Anwendungsprogrammen
<b>Pal.</b> .....	Palette
<b>PC</b> .....	Personal Computer
<b>RF</b> .....	Radio Frequency - deutsch: Rundfunk
<b>RFID</b> .....	Radio Frequency IDentification
<b>RS-232</b> .....	Schnittstellen-Standard für serielle Datenübertragung
<b>RS-485</b> .....	Schnittstellen-Standard für serielle Datenübertragung

<b>SEAG</b> .....	Schweizer Electronic AG
<b>Siemens CT</b> .....	Siemens Corporate Technology
<b>SRD</b> .....	Short Range Device - Kurzstreckenfunk, Telemetriesender
<b>TDMA</b> .....	Time Division Multiple Access - Zeitmultiplexverfahren zur Datenübertragung
<b>TK</b> .....	ThermoKing
<b>TKDL-PRO</b> .....	ThermoKingDatenLogging-PRO (Datenlogger&Drucker System)
<b>TTI-Label</b> .....	TimeTemperatureIndicator-Label
<b>UHF</b> .....	UltraHighFrequency (RFID-Systeme im Frequenzbereich um 865-869 MHz und 950 MHz)
<b>UPC</b> .....	Universal Product Code
<b>USB</b> .....	Universal Serial Bus - Datenschnittstelle
<b>WHO</b> .....	World Health Organization
<b>WLAN</b> .....	Wireless LAN - drahtloses Netzwerk

# Abbildungsverzeichnis

1.1	Prognose der globalen RFID Umsatzentwicklung . . . . .	2
1.2	Kühlwaggon und erstes LKW-Kühlaggregat . . . . .	4
1.3	CTI-Labels 3M Freeze Watch . . . . .	5
1.4	Frühe Datenlogger . . . . .	5
1.5	Auswahl aktueller Datenlogger . . . . .	5
1.6	eTTI-Label Sensitech TagAlert . . . . .	6
1.7	RFID basierte Datalogger . . . . .	6
2.1	Grundbestandteile eines RFID Systems . . . . .	9
2.2	Vergleich zwischen aktiven und passiven Transpondern sowie Telemetriesendern . . . . .	11
2.3	Schematische Darstellung magnetischer und kapazitiver Kopplung bei close coupling Systemen . . . . .	12
2.4	Schematische Darstellung induktiver Kopplung bei remote coupling Systemen . . . . .	12
2.5	Schematische Darstellung elektromagnetischer Kopplung bei long-range Systemen (UHF) . . . . .	13
3.1	Schema eines Multitemperaturzonen LKWs . . . . .	21
3.2	CartaSense Hub und Transponder . . . . .	23
3.3	SEAGsens Transponder . . . . .	24
3.4	Gebäckkörbe . . . . .	25
3.5	Test 01.04.2009: Temperaturmesswerte der Tiefkühlzonen . . . . .	27
3.6	Test 01.04.2009: Temperaturmesswerte der Kühlzone . . . . .	29
3.7	Test 15.04.2009: Temperaturmesswerte der Tiefkühlzonen . . . . .	31
3.8	Test 15.04.2009: Temperaturmesswerte der Kühlzone . . . . .	33
3.9	Test 29.04.2009: Lufttemperaturwerte der Tiefkühlzonenaggregate . . . . .	35
3.10	Test 29.04.2009: Temperaturmesswerte der Tiefkühlzonen . . . . .	37
3.11	Test 29.04.2009: Lufttemperaturwerte des Kühlzonenaggregates . . . . .	40
3.12	Test 29.04.2009: Temperaturmesswerte der Kühlzone . . . . .	41
3.13	Test 29.04.2009: Temperaturvergleich mit und ohne Abdeckung . . . . .	42
3.14	Test 29.04.2009: Messort auf und unter der Kartonabdeckung . . . . .	43
4.1	Systemtopologie Temperaturmonitoring-Lösung . . . . .	47
4.2	Schematische Übersicht des RFID-Framework . . . . .	48
4.3	Screenshots der Handheld-Applikation . . . . .	49

4.4	Vereinfachte Systemtopologie Temperaturmonitoring-Lösung . . . . .	50
4.5	Set Temperaturmonitoring-Lösung . . . . .	50
5.1	Aluminium Tiegel auf LKW . . . . .	52
5.2	Zomofi Reader und Motion-Transponder . . . . .	54
5.3	Sensortransponder zur Detektion von Salmonellen . . . . .	55

## Tabellenverzeichnis

2.1	Eigenschaften der verschiedenen RFID-Technologien nach Frequenzbereich . . . . .	14
3.1	Technologievergleich CartaSense - SEAGsens . . . . .	25
3.2	Test 01.04.2009: Temperaturvergleich Stechthermometer - RFID-Sensorik . . . . .	30
3.3	Test 15.04.2009: Temperaturvergleich Stechthermometer - RFID-Sensorik . . . . .	32
5.1	Motion-Transponder Zomofi . . . . .	54

# Einführung

## 1.1 Motivation

Die lückenlose Dokumentation von Umgebungsparametern, wie z.B. Temperatur oder Luftfeuchte während der gesamten Logistikkette dient heute meist nicht mehr nur der Erfüllung gesetzlicher Vorschriften oder brancheninterner Codices sondern immer häufiger auch als wichtige Informationsquelle für Qualitätsmanagementmaßnahmen. Erschwert werden diese Bemühungen allerdings dadurch, dass die Mehrzahl der produzierenden Unternehmen heute keine eigenen Fuhrparks mehr betreibt und Logistik und Transport sehr oft an externe Speditionen ausgelagert ist, wodurch in den meisten Fällen Informationsgrenzen entstehen. Jedes an der Logistikkette beteiligte Unternehmen führt zwar für sich die erforderlichen Aufzeichnungen durch, eine gemeinsame Datenbasis fehlt allerdings häufig. Nicht selten kommt es daher vor, dass verschiedene Systeme parallel zur Anwendung kommen, wenn beispielsweise der Spediteur die Frachtraumtemperaturen aufzeichnet und der Versender mittels Datenloggern möglichst produktnahe Temperaturen ermitteln möchte. Die dafür eingesetzten technologischen Mittel unterscheiden sich dabei abhängig von den jeweiligen Anforderungen, wobei die Bandbreite von teuren satellitengestützten Onlinesystemen über, in der Auswertung Zeit intensiven Datenloggern, integrierten Temperaturlaufzeichnungsgeräten der Kühlaggregatehersteller bis zu einfachsten Stechthermometern reicht.

Betrachtet man die Internetauftritte führender Logistikdienstleistungsunternehmen stößt man in diesem Zusammenhang bereits auch immer häufiger auf viel versprechend klingende RFID basierte Systeme die in puncto Qualitätssteigerungsmöglichkeiten im harten Wettbewerb den Ausschlag gegenüber der Konkurrenz herbeiführen sollen. So verweist etwa Dachser Intelligent Logistics auf deren Website [10] besonders auf hohe Effizienz die man dem Kunden, unter anderem durch den Einsatz von RFID-Technologie anbieten könne („Durch innovative Techniken wie Pick by Voice, Automation und RFID erreichen wir eine hohe Effizienz für Ihre Logistikkette.“). Auf der Internetpräsenz von DHL [13] liest man gar von einer möglichen Revolution der Logistik („Der Megatrend als mögliche Revolution der Logistik“). Eine Einschätzung die übrigens auch in Teilen der wissenschaftlichen Gesellschaft geteilt wird, wo beispielsweise Schmitt und

Michahelles in [42] sogar einen Vergleich mit der „generellen Computerisierung“ der 1990er Jahre anstellen, wörtlich schreiben sie: „RFID seems to become another revolutionary technology after the general IT wave in the 1980s/1990s“.

Und auch wenn die Wirtschaftskrise der letzten Jahre speziell auch die Logistikbranche, die als größter Absatzbereich von RFID-Technologie gilt, durch sinkende Auftragsvolumina schwer getroffen (vgl. [53]) und deren Investitionsbereitschaft erheblich gedämpft hat, so prognostizieren dennoch alle namhaften Marktanalysten weiterhin rasante Umsatzzuwächse wie aus Abbildung 1.1 hervorgeht.

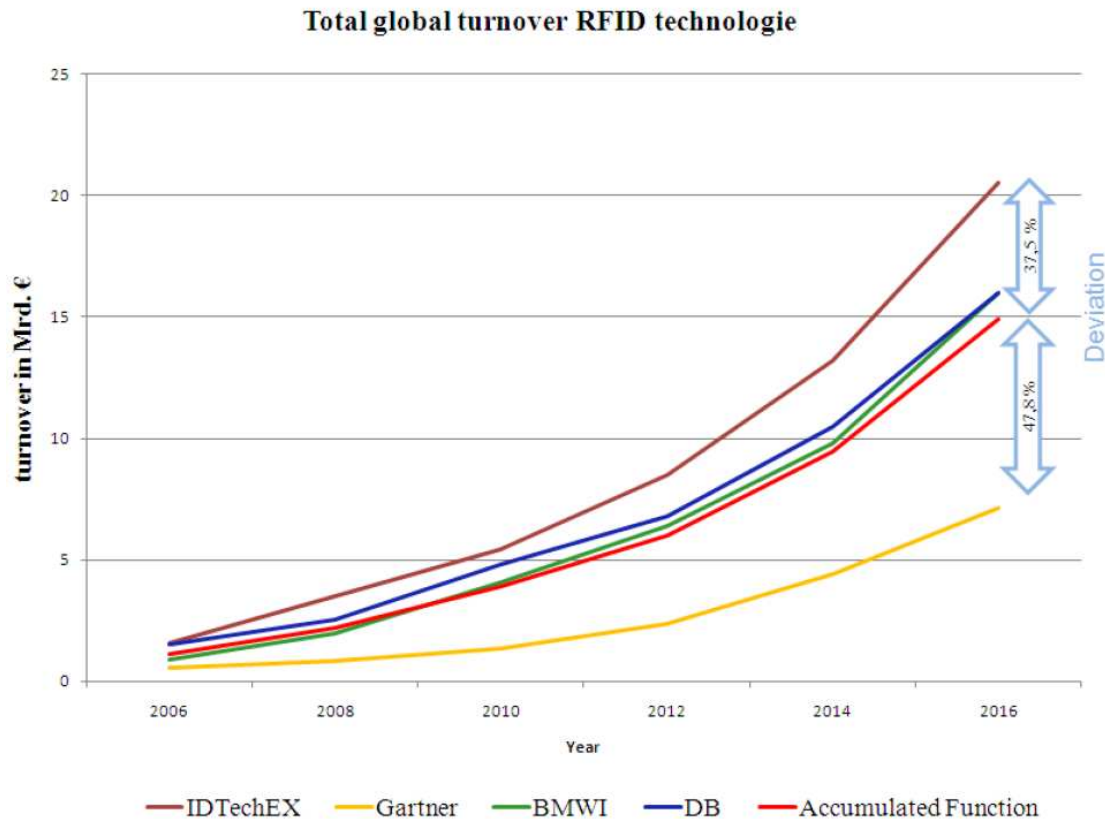


Abbildung 1.1: Prognose der globalen RFID Umsatzentwicklung (Quelle: [18])

Wenn auch die Spanne zwischen „vorsichtiger“ (Gartner) und „optimistischer“ (IDTechEX) Schätzung relativ groß ist, so haben dennoch alle 4 Prognosen gemein, dass sie für die kommenden Jahre jährliche Steigerungsraten von 19% bis 25% vorhersehen (vgl. [18]). Anzumerken ist allerdings, dass es sich hierbei um den Gesamtumsatz über alle Einsatzbereiche von RFID-Technologie (Zugangskontrolle, Produktionskontrolle, Bezahlösungen, etc.) handelt und rein der Transportbereich, als größtes Anwendungsgebiet, dabei auf einen Anteil von knapp über 30% (vgl. [21]) bis 40% (vgl. [38]), je nach Studie, kommt.

Dennoch kann man sagen, dass der mittlerweile bereits seit Jahren anhaltende Hype um die

RFID-Technologie weiterhin ungebrochen ist. Doch was steckt wirklich dahinter? Kann RFID den teilweise sicher überzogenen Erwartungen so manchen Unternehmens überhaupt gerecht werden?

Ziel dieser Arbeit soll ein differenzierter Blick sein, welche Möglichkeiten derzeit realisierbare oder bereits im Einsatz befindliche RFID-Lösungen tatsächlich bieten können, wo die Vorteile und Stärken derartiger Systeme liegen, aber auch die technischen Grenzen der Anwendbarkeit und aktuellen Hürden in der Umsetzung aufzuzeigen. Wobei der Schwerpunkt auf Kühlkettenüberwachung (Cool Chain Monitoring) in der Lebensmittel- und Pharmalogistik liegt, und auf einfache Tracking&Tracing Systeme wie sie mittlerweile als „COTS“-Lösungen am Markt erhältlich sind nicht näher eingegangen wird. Gerade in diesem Anwendungsbereich erwartet man sich nämlich zukünftig durch den Einsatz von RFID erhebliche Verbesserungen und Vereinfachungen im Vergleich zu den aktuell angewandten Vorgehensweisen zur Transport- und Temperaturkontrolle. Weitere Condition Monitoring Ansätze zur Überwachung anderer Zustands- und Umgebungsparameter werden in einem separaten Kapitel vorgestellt, wobei man diesbezüglich noch sehr wenige kommerzielle Anwendungen findet und sich viele dieser Themen noch in Erforschungs- oder Erprobungs-Status befinden.

Weiters sei angemerkt, dass im Rahmen dieser Arbeit unter dem Begriff Logistik nur der Teilbereich der Distributions-, bzw. Transportlogistik gemeint ist und andere Aufgabenfelder und Ausprägungen hier außer Acht gelassen werden.

## 1.2 Aufbau der Arbeit

Mit dem folgenden Abschnitt der eine kurze Einführung in die Thematik des Kühlkettenmonitorings, von den historischen Anfängen bis zu aktuell verwendeten Methoden und Technologien geben soll wird Kapitel 1 abgeschlossen. Kapitel 2 widmet sich zuerst den allgemeinen Grundlagen der RFID-Technologie um in weiterer Folge die jeweiligen Aspekte für eine Anwendbarkeit in der Kühlkettenüberwachung zu diskutieren. Dabei werden sowohl bereits existierende Systeme/Hardware/Prototypen als auch wissenschaftliche Auseinandersetzungen mit diesem Thema unter die Lupe genommen und hinsichtlich den in der Motivation genannten Faktoren diskutiert. Weiters werden die rechtlichen Anforderungen, die beim Einsatz derartiger Monitoringsysteme in der Lebensmittel- und Pharmabranche gestellt werden, ermittelt um eventuelle Hürden, Einschränkungen oder gar Unvereinbarkeiten eruieren zu können. Kapitel 3 beschreibt ausführlich die während des praktischen Teils dieser Diplomarbeit durchgeführten Feldversuche bei einem auf Lebensmitteltransport spezialisiertem Logistikdienstleister. Nach der Erläuterung der Problemstellung, der eingesetzten Testhardware sowie der einzelnen Testabläufe werden die Ergebnisse und Erkenntnisse ausführlich diskutiert sowie Querverweise auf vergleichbare wissenschaftliche Arbeiten gezogen. Kapitel 4 setzt sich mit den aus den Feldtests hervorgegangenen Anforderungen auseinander und beschreibt eine mögliche Beispielimplementierung, die ebenfalls im Rahmen des praktischen Teils dieser Arbeit teilweise auch umgesetzt worden ist. Im 5. Kapitel werden speziell Lösungen und Ansätze für Condition Monitoring anderer Zustands- und Umgebungsparameter vorgestellt. Im abschließenden Kapitel wird noch einmal Resümee gezogen und ein Ausblick auf mögliche zukünftige Entwicklungen in diesem Bereich gegeben.

### 1.3 Historische Entwicklung der Kühlkettenüberwachung bis Heute

Die Geschichte der Transportkühlung begann etwa Mitte des 19. Jahrhunderts, mechanische Transportkühlaggregate wie wir sie heute von LKWs oder Containern kennen wurden aber erst um 1940 von Fredrick Jones in den USA erfunden ([47], [36]). Zuvor half man sich mit möglichst gut isolierten Wagen die mit großen Eisblöcken bestückt wurden über welche die Luft herunter gekühlt wurde. Abbildung 1.2 zeigt dieses Prinzip am angeblich ersten Eisenbahn-Kühlwaggon, der 1867 in Amerika patentiert wurde([28], [44]). Der Nachteil lag natürlich in der begrenzten Reichweite die durch das Abschmelzen des Eisblockes bestimmt wurde.

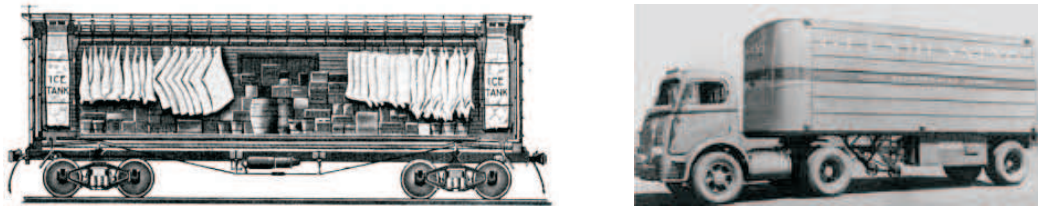


Abbildung 1.2: Funktionszeichnung eines frühen Eisenbahn-Kühlwaggons und das erste mechanische LKW-Kühlaggregat von Fredrick Jones (Quellen: [28] und [47])

Ähnlich einfache Lösungen verwendete man anfangs auch um die Einhaltung der Kühlkette überwachen bzw. überprüfen zu können. So liest man etwa in [48], Kapitel 19.2.3, dass Soldaten der US Armee während des 2. Weltkrieges einfach Eiswürfel auf die Tiefkühlpackungen gelegt haben, um beispielsweise durch deren Größe oder gänzliche Abwesenheit auf Kühlprobleme während des Transports schließen zu können. Das erste Patent eines Time-Temperature Indicator Labels (TTI-Labels) stammt aus 1933, ein großflächiger Einsatz solcher Temperaturmarkerlabels begann allerdings erst in den 1970er Jahren. Getrieben wurde diese Entwicklung damals in erster Linie von der pharmazeutischen Industrie, nachdem aus Berichten der WHO hervorging, dass, besonders in weniger entwickelten Ländern, bis zu 84% der Impfstoffe auf Grund von Transport und Lagerung in falscher Temperaturumgebung unwirksam geworden sind ([29]). In den 1980 vergrößerte sich dann das Angebot der auf physikalischen und chemischen Prozessen basierenden TTI- und CTI (Critical Temperature Indicator) Indikator-Labels, abgestimmt für verschiedenste Temperatur und Einsatzbereiche. Dabei lassen TTI-Labels, die sich je nach Einsatzbereich erst nach einer Exposition einer definierten Temperatur über eine längere, definierte, Zeitspanne verfärben zumindest noch eine grobe Einschätzung der Transporttemperaturen zu. Bei CTI Labels hingegen kann lediglich festgestellt werden, dass eine kritische Temperatur über- bzw. unterschritten wurde, allerdings ohne Information darüber zu geben wie lange oder wie häufig dies eingetreten ist. Eine mögliche Bauform eines solchen Labels zeigt Abbildung 1.3, Minusgrade lassen dabei die Flüssigkeit gefrieren wodurch durch deren räumliche Ausdehnung das einschließende Behältnis platzt/zerbricht und die Flüssigkeit in weiterer Folge das umgebenden Papier einfärbt, was die Temperaturexposition irreversibel anzeigt. Weiters kamen zu dieser Zeit auch die ersten Strip-Chart Temperaturschreiber auf, welche die Temperatur auf Papierrollen oder Scheiben mitschrieben. In den 1990er Jahren begann





Abbildung 1.3: CTI-Labels 3M Freeze Watch für 0°C (9805FW) und -4°C (9800FW) (Quelle: [1])

dann die Ära der elektronische Datenlogger und Sensoren in unterschiedlichsten Bauformen, die Auslese und Auswertung dieser Geräte wurde erstmals über PCs durchgeführt. Abbildung 1.4 zeigt zwei solcher frühen Datenlogger. In den letzten 10 Jahren und mit den fortschreitenden



Abbildung 1.4: Frühe Datenlogger (Quelle: [29])

Entwicklungen der Elektronikindustrie wurden diese Datenlogger immer kleiner, kostengünstiger und stromsparender und auch bezüglich der Funktionalität immer mehr erweitert. So zeigt Abbildung 1.5 mit dem EasyLog EL-USB-2 beispielsweise auch einen Datenlogger der über eine USB-Schnittstelle auslesbar, neben Temperatur auch Luftfeuchte aufzeichnen kann. Dennoch bleibt die Auswertung zeitaufwendig, da diese Datenlogger immer noch einzeln und in irgendeiner Form, mehr oder weniger aufwendig, mit einem PC verbunden werden müssen um ausgelesen werden zu können. Neben diesen elektronischen Datenloggern die in der Regel den



Abbildung 1.5: Eine Auswahl an aktuellen Datenloggern (v.l.n.r. ELPRO Hamster, ELPRO Libero T1, 3M TL30, EasyLog EL-USB-2(Quellen: [49], [31])

kompletten Temperaturverlauf aufzeichnen wurden später auch kostengünstigere elektronische

Lösungen entwickelt die ähnlich wie TTI-Markerlabels bloß die Einhaltung von gewissen Kriterien signalisieren können. Abbildung 1.6 zeigt einen solchen Marker der oft pharmazeutischen Lieferungen zur Kontrolle beige packt wird und aufgrund des Einmalgebrauchs im Gegensatz zu vollwertigen Datenloggern nicht an den Versender retourniert werden muss. Seit wenigen



Abbildung 1.6: eTTI-Label Sensitech TagAlert (Quelle: [43])

Jahren kamen dann im Zuge des großen RFID-Hypes die Bestrebungen auf, die Datenlogger mit RFID-Technologie zu kombinieren um so den Auslesevorgang beschleunigen und sich das zeitaufwendige Herstellen einer Kabelverbindung zwischen Datenlogger und PC ersparen zu können. Abbildung 1.7 zeigt mit dem TempTaleRF im UHF-Frequenzbereich und dem ThermAssureRF im HF-Frequenzbereich zwei Beispiele solcher Produkte. Eine weitere Evolution



Abbildung 1.7: RFID basierte Datalogger Sensitech TempTaleRF (UHF) und Evidencia ThermAssureRF(Quellen: [43] und [15])

die man sich derzeit durch den Einsatz von RFID erwartet sind Monitoring-Systeme welche die Temperaturdaten, im Gegensatz zur nachträglichen Auswertung von Datenloggern, bereits während des Transports laufend an ein zentrales Informationssystem übermitteln und dadurch die Chance bieten, bei Abweichungen gegebenenfalls noch rechtzeitig gegensteuern zu können. Welche Transponder, Konzepte und Systeme hier bereits verfügbar sind aber auch welche Hindernisse und Hürden es beim Einsatz dieser Technologie aktuell noch gibt soll in Kapitel 2 diskutiert werden.

Die derzeit wohl am häufigsten eingesetzten Monitoringsysteme dürften jene der Kühlaggregate-Hersteller sein, die von den großen Anbietern, zumeist an das Aggregat gekoppelt, mitangeboten werden und somit den Vorteil haben auch Ereignisse wie zum Beispiel den Ausfall der Kühlung

mitprotokollieren zu können. Die Anzahl an Temperaturmessfühlern bewegt sich allerdings bei den meisten dieser Systeme im niedrigen einstelligen Bereich wodurch oftmals nur Umgebungslufttemperaturen aufgezeichnet werden. Müssen auch produktnahe Temperaturen gemessen werden, besteht bei manchen Geräte die Möglichkeit beispielsweise spezielle Stechthermometer an einige wenige zusätzliche Sensoreingänge anzuschließen. Seit einigen Jahren bieten auch diese Hersteller optionale Alarmierungs- und Onlinefunktionalitäten via GSM oder Satellitenkommunikation an.

# RFID Einsatz für Kühlkettenmonitoring

## 2.1 RFID Grundlagen

Ein Blick in die Vergangenheit zeigt, dass RFID (Radio Frequency IDentification) gar keine so neue Technologie ist als man annehmen könnte. Bereits Mitte des 19. Jahrhunderts legten die Physiker James Clerk Maxwell und Heinrich Hertz mit der Erforschung des Elektromagnetismus und der Übertragung elektromagnetischer Wellen den Grundstein aller späteren Funk-Anwendungen. Mit dem Bau des ersten Rundfunk-Langwellensenders durch Ernst F. W. Alexanderson beherrschte man schon 1906 die Übertragung von Informationen in Form von Radiowellen. Die Kombination der Radiotechnik mit der ebenfalls in den USA um 1922 entwickelten Radartechnologie, führte in den 1940iger Jahren, getrieben durch den 2. Weltkrieg, zu ersten RF-Transponder Systemen, welche in der Literatur ([33]) oftmals auch als die ersten RFID-Anwendungen gesehen werden. Eingesetzt in den eigenen Luftwaffen ermöglichten diese Transpondersysteme den Alliierten eine rechtzeitige Freund oder Feind-Identifikation (IFF-Systeme), welche in Kombination mit der Radartechnik maßgeblich zu deren Überlegenheit beitrug. Ende der 1960iger Jahren startete dann mit der Entwicklung der 1-bit Transponder zur Diebstahlsicherung von Waren (EAS-Systeme) die großflächige Verbreitung und der erste kommerzielle Einsatz von RFID-Systemen. In den 70iger und 80iger Jahren folgten Transponder zur Tieridentifikation, aber auch bereits erste Zugangslösungen (Access Control), Industrieanwendungen und vor allem in Europa, beginnend in Norwegen, erste Maut-Systeme auf RFID Basis. In den 90er Jahren wuchs dann die Anzahl an Unternehmen, die in die Produktion, Vermarktung und Integration von RFID-Systemen einstiegen sprunghaft an, RFID-Technologie hielt in immer mehr Anwendungsbereichen des täglichen Lebens (Logistik, Sport&Freizeit, Automotive,...) Einzug, womit auch erstmals Regulierungen und Standardisierungen durch entsprechende Gremien und Arbeitsgruppen erforderlich wurden. In den letzten Jahren ging die Entwicklung in Richtung immer kleinerer, aber dennoch leistungsstärkerer und vor allem günstigerer Transponder. Je nach Anforderungen und Einsatzgebiet entstanden, bzw. entstehen viele Spezial- oder

Sonderbauformen wie „OnMetal“-Transponder, RFID-Nägel, Schlüsselanhänger, et c. Für eine detaillierte historische Betrachtung sei auf [30] verwiesen.

Aus technologischer Sicht besteht jedes RFID-System aus zwei Komponenten, einem Transponder, auch als „Tag“ bezeichnet, und einem RFID-Reader oder Lesegerät, welches der Funktionalität nach, korrekt ausgedrückt eigentlich ein Schreib-/Lesegerät ist (der Ausdruck Lesegerät kommt dabei aus dem AutoID Bereich der Barcodes wo tatsächlich nur Leseoperationen möglich sind).

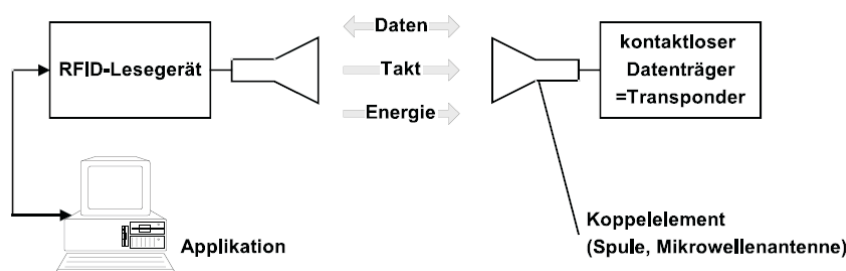


Abbildung 2.1: Grundbestandteile eines RFID Systems (Quelle: [16])

Der Transponder, der den eigentlichen Datenträger des RFID-Systems darstellt, besteht aus einem elektronischen Mikrochip und der Koppel-einheit zum Lesegerät, die je nach Frequenzbereich als Spule oder Dipol-Antenne ausgeführt ist. Auf dem Mikrochip befindet sich neben der Funktionslogik (z.B. durch einen Zustandsautomaten realisiert) zumindest die eindeutige Identifikationsnummer (ID) welche den Transponder kennzeichnet und gegebenenfalls, je nach Speicherausstattung, auch noch zusätzliche Daten über den Transponder selbst oder das damit verknüpfte Objekt. Abhängig von der Technologie ist diese ID bereits bei der Erzeugung des Chips, für den Anwender unveränderbar, encodiert (HF-Transponder) oder aber wie im Fall von UHF-Transponder von jenem frei wähl- und programmierbar, wobei es dann in dessen Verantwortungsbereich liegt die Eindeutigkeit sicherzustellen. Da RFID-Transponder „grundsätzlich“ keine eigene Spannungsversorgung (Batterie) besitzen verhalten sie sich außerhalb des Ansprechbereichs eines Lesegeräts vollkommen passiv, die für den Betrieb notwendige Energie wird wie auch der Takt und die Daten vom Lesegerät kontaktlos zum Transponder übertragen.

Ein Lesegerät besteht aus einer Kontrolleinheit, dem Hochfrequenzmodul (Sender und Empfänger) sowie der Koppel-einheit zum Transponder. Weiters sind die Lesegeräte je nach Einsatzbereich mit verschiedenen Schnittstellen (RS-232, USB, Ethernet, RS-485, ...) ausgestattet um die Daten zur weiteren Verarbeitung an einen PC oder z.B. auch ein Automatisierungssystem weiterreichen zu können. Die Kontrolleinheit kann je nach Leistungsfähigkeit des Lesegeräts aus einem Microcontroller ( $\mu$ C), digitalen Signalprozessor (DSP) oder auch 32-Bit-Prozessors mit Echtzeitbetriebssystem bestehen. Die Koppel-einheit kann je nach Bauart des Lesegeräts entweder im selben Gehäuse untergebracht sein, beispielsweise bei mobilen Geräten, oder aber wie bei den meisten stationären Lesegeräten als eigene Antenne, wiederum mit unterschiedlicher

Charakteristik und Bauform (Größe, Polarisierung,...), ausgeführt sein.

### **Funktionsweise, Eigenschaften und Ausführungen von RFID-Systemen**

Um den Überblick über die mittlerweile unzähligen, am Markt erhältlichen Varianten an RFID-Systemen zu behalten, bedarf es einer Klassifizierung nach ein paar grundlegenden Unterscheidungsmerkmalen, wie Energieversorgung des Transponder, Frequenzbereich und Kopplung oder Datentransfer zwischen Reader und Transponder. Wobei es sich dabei längst nicht um alle Kriterien sondern lediglich um jene Aspekte handelt die auch im Folgenden ein wenig näher betrachtet werden sollen. Für eine umfassendere Klassifizierung und auch detailliertere Betrachtung jener Merkmale sei auf das RFID Handbuch von Finkenzeller ([16]) verwiesen.

#### **Energieversorgung**

Ein wichtiges Unterscheidungsmerkmal von RFID-Transpondern ist die Art ihrer Energieversorgung. Da hierfür sowohl in der Literatur als auch im Sprachgebrauch die einzelnen Begriffe immer wieder unterschiedlich verwendet werden, möchte ich mich in dieser Arbeit an die Definition von [16] halten. Somit unterscheidet man zwischen passiven und aktiven Transpondern und sogenannten „Kurzstreckenfunkgeräten“ oder Telemetriesendern.

Unter *passiven Transpondern* versteht man jene, welche keinerlei eigene Energieversorgung besitzen. Die für den Betrieb des Mikrochips notwendige Energie wird vollständig aus dem magnetischen oder elektromagnetischen Feld des Lesegerätes entnommen, zur Datenübertragung wird dieses Feld durch den Transponder entsprechend beeinflusst (z.B. durch Lastmodulation). Befindet sich ein passiver Transponder außerhalb der Reichweite eines Lesegerätes ist er vollkommen energielos.

*Aktive Transponder* besitzen hingegen eine eigene Energiequelle wie beispielsweise eine Batterie, welche für den Betrieb des Mikrochips verwendet wird. Zur Datenübertragung wird jedoch ebenso wie beim passiven Transponder das Feld des Lesegerätes beeinflusst. Die eigene Energieversorgung leistet also keinen aktiven Beitrag zur Datenübertragung zwischen Transponder und Lesegerät. Aufgrund der Tatsache, dass das elektromagnetische Feld des Readers nur zur Datenübertragung, nicht aber zur Energieversorgung des Chips benötigt wird, lässt sich die Kommunikationsreichweite solcher Transponder deutlich erhöhen. Der Nachteil aktiver Transponder liegt in der aufwendigeren und teureren Herstellung und der auf Grund der Batterie beschränkten Lebensdauer.

Die dritte Kategorie nach Finkenzeller stellen die sogenannten *Telemetriesender* dar, wo die Transponder nicht nur mit eigener Energiequelle sondern auch mit einem aktivem Sende- und Empfangsmodul ausgestattet sind. Zum Übertragen von Daten an ein Lesegerät sendet ein solcher Transponder selbst ein hochfrequentes elektromagnetisches Feld aus, anstatt jenes des Lesegerätes zu beeinflussen. Je nach Sendeleistung können mit derartigen Systemen Reichweiten bis zu einigen 100m erzielt werden. Technisch gesehen handelt es sich dabei aber eigentlich nicht mehr um RFID-Systeme sondern um Kurzstreckenfunkgeräte oder Telemetriesender. Dennoch werden solche Systeme in der Literatur oftmals als aktive RFID-Systeme bezeichnet, für aktive Transponder, wie zuvor erläutert, finden man dann häufig auch die Begriffe „semi-aktive“ oder „semi-passive“ Transponder.

Abbildung 2.2 fasst diese Unterscheidung noch einmal in übersichtlicher Darstellung zusammen.

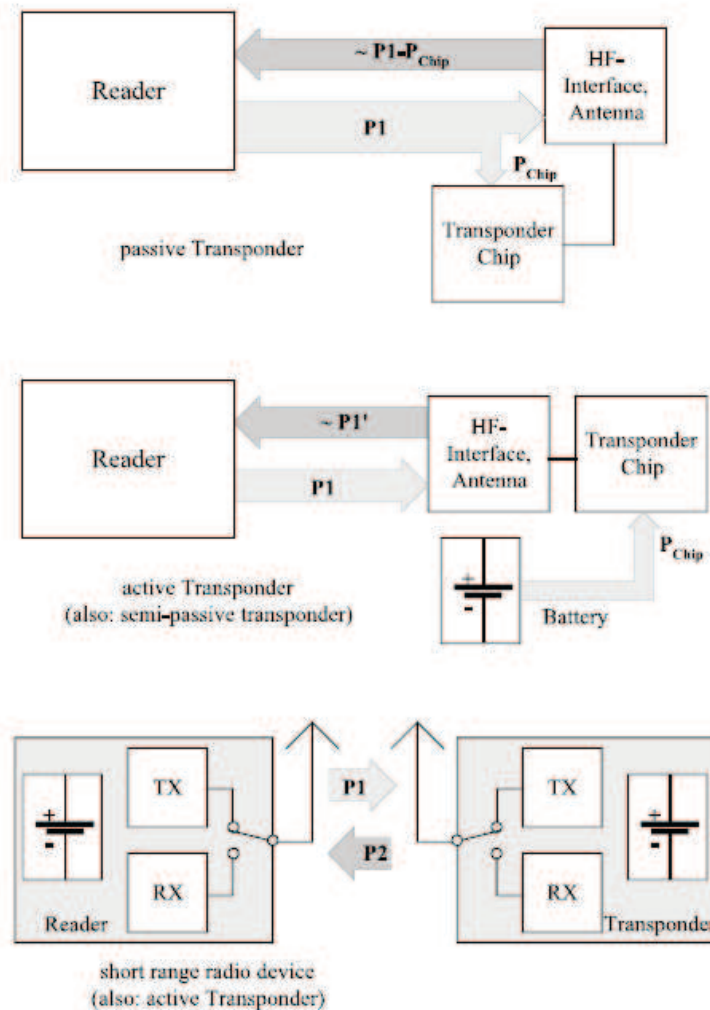


Abbildung 2.2: Vergleich zwischen aktiven und passiven Transpondern sowie Telemetriesendern (Quelle: [16])

### Frequenzbereich und Kopplung

Mit dieser Kategorisierung unterteilt man die verschiedenen RFID-Systeme bezüglich der physikalischen Kopplungsverfahren, was in direktem Zusammenhang mit den erzielbaren Reichweiten und Betriebsfrequenzen steht. Unterschieden dabei zwischen „close coupling“, „remote coupling“, und „long range“-Systemen.

Von close coupling Systemen spricht man bei RFID-Systemen mit sehr kleinen Reichweiten, bis zu maximal 1cm, die Transponder müssen dabei direkt auf der vorgesehenen Oberfläche des

Lesegeräte positioniert werden, oder in das Lesegerät eingesteckt werden. Physikalisch gesehen nutzen diese Systeme zur Energieübertragung kapazitive Kopplung oder magnetische Kopplung, ähnlich einem Transformator, wie in Abbildung 2.3 dargestellt. Die Betriebsfrequenz liegt zwischen 1 bis 10 MHz, wobei aber keine Felder abgestrahlt werden. Anwendung finden solche Systeme beispielsweise in Applikationen mit großen Sicherheitsanforderungen wie Türschließ-Anlagen, oder kontaktlosen Chipkarten mit Zahlungsfunktion.

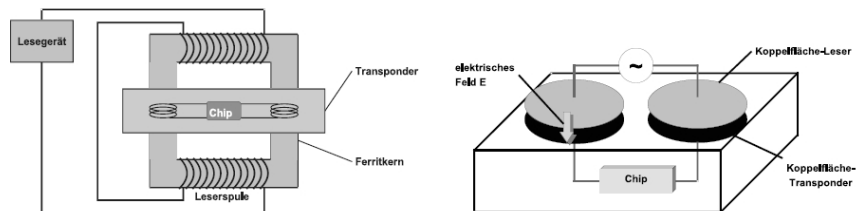


Abbildung 2.3: Schematische Darstellung magnetischer und kapazitiver Kopplung bei close coupling Systemen (Quelle: [16])

Unter dem Begriff remote coupling Systeme versteht man RFID-Systeme mit Schreib- und Lese Reichweiten von bis zu einem Meter. Die Energieübertragung zwischen Lesegerät und Transponder erfolgt dabei durch induktive Kopplung, wobei das hochfrequente Magnetfeld des Lesegerätes in der Antennenspule des Transponders eine Wechselspannung induziert, welche dann, gleichgerichtet, zum Betrieb des Mikrochips verwendet wird (siehe Abbildung 2.4). Als Sendefrequenzen nutzt man den Bereich unterhalb von 135 kHz (LF) oder 13,56 MHz (HF). Typische Anwendungsgebiete sind kontaktlose Chipkarten, Tier-Identifikation, Zugangs- und Ticketsysteme u.v.m. Bezüglich der 13,56 MHz Systeme findet man noch die beiden Begriffe *proximity* und *vicinity coupling*, welche diese Systeme noch weiter spezifizieren und unterteilen. Mindestens 90% aller verkauften RFID-Systeme fallen derzeit in diese Kategorie.

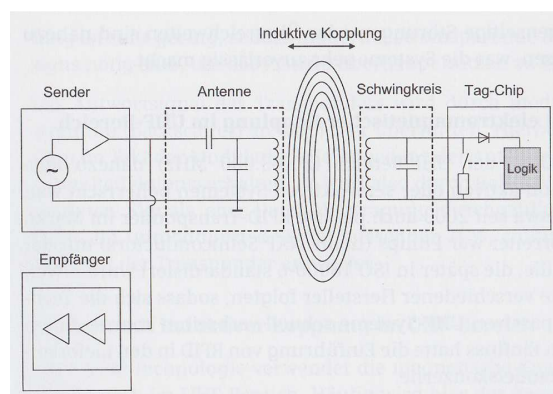


Abbildung 2.4: Schematische Darstellung induktiver Kopplung bei remote coupling Systemen (Quelle: [6])



Als long-range Systeme werden alle RFID Systeme mit Reichweiten von deutlich über einem Meter bezeichnet. Dabei strahlt das Lesegerät eine elektromagnetische Welle ab, die in der Dipol-Antenne des Transponders eingekoppelt und gleichgerichtet zur Energieversorgung des Microchips dient. Da die Energie im Fernfeld allerdings stark abnimmt hängt die erzielbare Reichweite von der Sendeleistung des Lesegerätes ab, welche aber durch unterschiedliche Zulassungsvorschriften beschränkt ist. Somit sind mit passiven Transpondern typischerweise Lese-reichweiten von 3-4m, mit aktiven Transpondern bis zu 15m und mehr möglich. Die eingesetzten Frequenzen liegen bei 868 MHz in Europa, bzw. 915 MHz in den USA (UHF) und im Mikrowellenbereich bei 2,45 GHz und 5,8 GHz (MW). UHF-Systeme findet man derzeit hauptsächlich in der Logistik.

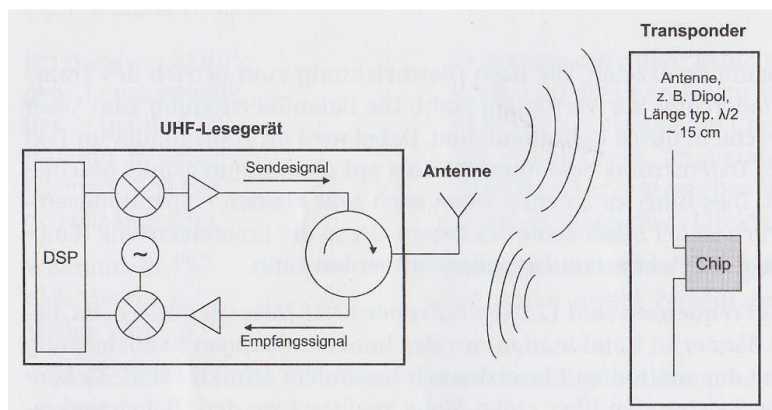


Abbildung 2.5: Schematische Darstellung elektromagnetischer Kopplung bei long-range Systemen (UHF) (Quelle: [6])

Abgesehen von der erzielbaren Reichweite ergeben sich durch die Charakteristika der eingesetzten Frequenzen weitere spezifische Eigenschaften die man bei der Auswahl des einzusetzenden RFID Systems nicht unberücksichtigt lassen sollte. Die folgende Tabelle (2.1) soll diese kurz und übersichtlich gegenüberstellen. Ebenso zu empfehlen ist in diesem Zusammenhang auch der Leitfaden „Aspekte der RFID-Nutzung im industriellen Umfeld“ der AIM Deutschland der neben den gelisteten Eigenschaften vor allem auch über die weltweite Verwendbarkeit der einzelnen Frequenzbereiche mit den jeweils zulässigen Sendeleistungen informiert ([2]).

### Datenübertragung

Bei induktiv gekoppelten Systemen (LF und HF) geschieht die Datenübertragung vom Transponder zum Lesegerät durch Lastmodulation. Dabei wird ein Lastwiderstand im Takt des Datenstroms auf die Antennenspule des Transponders geschaltet, was zu einer Veränderung in der Induktivität in Form kleiner Spannungseinbrüche im Lesegerät führt und von diesem detektiert und demoduliert wird. Bei den Systemen im UHF und MW Frequenzbereich geschieht die Datenübertragung durch modulierte Rückstreuung, auch modulated backscatter genannt. Dabei wird das durch die Antenne des Transponders reflektierte Signal, durch Änderung der Reflexionseigenschaften der Antenne in seiner Amplitude, entsprechend des codierten Datenstroms

	LF 0-135 kHz	HF 3-30 MHz	UHF 200 MHz-2 GHz	MW > 2 GHz
typische Frequenz	134,2 kHz	13,56 MHz	868 MHz (EU) 915 MHz (USA)	2,45 GHz 5,8 GHz
weltweit zugelassene Frequenz	ja	ja	teilweise (EU, USA)	teilweise
typische Lesereichweite	bis 1,2m	bis 1m	ca. 3-5m (EU bei 2W) ca. 5-7m (USA bei 4W)	bis zu 15m
Lesegeschwindigkeit	langsam	je nach ISO-Standard	schnell	sehr schnell
Beeinträchtigung durch Feuchtigkeit	kein Einfluss	kein Einfluss	negativer Einfluss	negativer Einfluss
Beeinträchtigung durch Metall	negativer Einfluss <sup>1</sup>	negativer Einfluss	kein Einfluss	kein Einfluss

Tabelle 2.1: Eigenschaften der verschiedenen RFID-Technologien nach Frequenzbereich (in Anlehnung an [17] und [7])

moduliert. Für weiterführende Information zur Datencodierung und den eingesetzten Modulationsverfahren sei auf Kapitel 6 des RFID-Handbuchs verwiesen ([16]).

Für weitere Merkmale und Eigenschaften von RFID-Systemen sei, wie bereits erwähnt, nochmal auf [16] oder andere Grundlagen-Kapiteln bzw. Literatur zum Thema RFID wie in [17], [6] oder [27] verwiesen.

## Standards, Normen und Regulierungen

Ebenfalls ein Thema das hier zwar erwähnt aber auf Grund des Umfangs nicht näher betrachtet werden soll ist die Thematik der Standardisierung, Normen und Regulierungen. Wie ein Blick in den Anhang 14.2 des RFID-Handbuchs ([16]) zeigt, die Auflistung der „relevanten Normen und Vorschriften“ erstreckt sich auf beinahe 8 Seiten, gibt es mittlerweile viele Standards und Normen, fast aller namhaften Gremien und Organisationen (ANSI, ETSI, ISO/IEC,...), die sich mit RFID Systemen auseinandersetzen. Wobei anzumerken ist das viele dieser Standards bereits spezielle Anwendungsfälle, wie z.B. die Tieridentifikation, oder ausgewählte Supply Chain-Anwendungen wie beispielsweise für Frachtcontainer behandeln und andere wiederum sehr grundlegende Eigenschaften wie elektromagnetische Verträglichkeit und Ähnliches regeln, wodurch die Anzahl an tatsächlich „relevanten“ Standards noch überschaubar ist. Einen guten und aktuellen Überblick bietet etwa der Fachartikel „RFID-Standards 2010“ im Ident Jahrbuch 2010 der AIM-D ([50]). Hervorzuheben aus dieser Fülle an Standards, Normen und Richtlinien sind die Bemühungen von GS1 bzw. EPCglobal, welche sich weniger mit technischen Aspekten von RFID-Systemen beschäftigen, sondern vorwiegend Vorschläge, Richtlinien und Referenzimplementierungen zu Datenschnittstellen und Informations-Infrastrukturen ausarbeiten. Dadurch sollen zusätzliche Informationen wie beispielsweise das Herstellungsdatum oder das Mindesthaltbarkeitsdatum der mit den EPC konformen Transponder verknüpften Produkten auch über Unternehmensgrenzen hinweg, allen an der Logistikkette Beteiligten zugänglich ge-

<sup>1</sup> für diesen Anwendungsfall gibt es mittlerweile spezielle „on-metal“-Transponder

macht werden. Um diese verteilten Informationen auffinden zu können wird ein „Object Naming Service“(ONS) betrieben, welches technisch betrachtet dem bekannten Domain Name Service (DNS) zur Adressauflösung gleicht. Weitere Informationen findet man direkt auf der Website von EPCglobal([19]).

## 2.2 Einsatz von RFID für Kühlkettenmonitoring

Wie in der Einführung bereits erwähnt sind es vor allem einfache, auf Basis von EPC-Standards arbeitende, RFID-Systeme die mittlerweile Einzug in die Logistik gefunden haben und weiter stark im Kommen sind. Sensortransponder, wie sie unter anderem für die Kühlkettenüberwachung erforderlich sind befinden sich hingegen noch in den Kinderschuhen. Die Anzahl an Produkten für Temperatur und teilweise auch Luftfeuchtigkeit nimmt zwar stetig zu, vollwertige Systeme findet man im flächendeckenden Einsatz dennoch nur wenige. Dabei sind die Erwartungen an diese Technologie in der Branche besonders groß. Zusätzlich zu allen Vorteilen die bereits einfache RFID/AutoID-Systeme bieten, wie einfachere Warenverfolgung, lückenlose Protokollierung oder kürzere Umschlagzeiten, erhofft man sich insbesondere durch die Möglichkeit der durchgehenden Überwachung der Transportbedingungen über die gesamte Lieferkette, hinkünftig Verluste erheblich minimieren und die Produktqualität signifikant steigern zu können. Durch Kombination solcher Systeme mit einer GSM oder Satellitenübertragungseinheit können bei produktschädigenden Abweichungen zeitgerecht Alarmierungsmaßnahmen eingeleitet und somit unter Umständen auch noch ein rechtzeitiges Eingriffen ermöglicht werden.

Die Wahl des Messpunktes (Luft, Wand, in der Ware) ist von entscheidender Bedeutung für den Erhalt von aussagekräftigen Messdaten. Die Ermittlung der Kerntemperatur ist leider nicht immer möglich, da dabei die Ware oftmals beschädigt würde. Des weiteren ist es oft aus Gründen der Abschirmproblematik nicht möglich den technisch idealen Messpunkt zu wählen. Entsprechende Experimente der Universität Bremen ([24]) zeigen deutlich den negativen Einfluss von Feuchtigkeit (siehe dazu auch [4]) aber auch Abschirmungseffekte durch gegenseitige Überlagerung von Transpondern bei ungünstiger Anbringung. Als Conclusio lässt sich festhalten, dass in der Praxis daher stets ein Kompromiss zwischen technisch idealem Messpunkt, Auslesbarkeit und potentiell erwartetem Ergebnis gewählt wird. Ein weiterer zu berücksichtigender Aspekt liegt in der beschränkten Leserate, beziehungsweise der nicht zu unterschätzenden Geschwindigkeit aktueller Flurförderfahrzeuge. Bereits eine geringe Anzahl an Transponder, und daraus auszulesenden Temperaturdaten, würde schon, selbst unter optimalen Bedingungen und guter Lesegeschwindigkeit an einem Gate-Reader zu erheblichen Einschränkungen oder Behinderungen des gewohnten Ablaufs führen. R. Jedermann errechnet in [24] und [22], dass selbst unter der optimistischen Annahme von durchschnittlich erreichbaren Datentransferraten von 160 kBaud zwischen Tag und Reader und 80 kBaud zwischen Reader und Tag, das Auslesen von nur 4 Transpondern mit jeweils 224Bit Nutzdatenspeicher, was ca. 700 Temperaturmesswerten entspricht, bereits 0,7 Sekunden benötigt. Bei erreichbaren Datentransferraten von lediglich 40 kBaud und 64 kBaud würde man für diese Datenmenge bereits ca. 1,4 Sekunden brauchen. Berücksichtigt man dabei, dass die notwendigen Antikollisionsmechanismen und z.B. schwache oder verzerrte Antworten von Tags am Rande des Lesebereichs zu weiteren Reduktionen der Transferraten führt, muss man eher vom pessimistischen Ansatz oder noch schlechteren Zeiten

ausgehen. Damit zeigt diese Berechnung deutlich, dass ein vollständiges Auslesen von beispielsweise 30 oder mehr Transpondern, wie sie durchaus auf einer Palette vorhanden sein können, in der Praxis nicht möglich ist ohne den gewohnten Ablauf massiv einzuschränken. Mögliche Lösungsansätze für diesen „Kommunikations-Flaschenhals“ sind entweder:

- a) die Implementierung von Thresholdwerten: Beim Auslesen kann an einer Ampelanlage beim Durchfahren des Gates performant - rot/grün - die Ware kontrolliert werden. Im Fall, dass ein Thresholdwert über-/unterschritten wurde - Ampel rot - muss die Ware manuell kontrolliert werden, wobei durch Auslesen der kompletten Messdaten eine Interpretation und Entscheidung über die weitere Verwendung oder Verwurf getroffen werden kann.
- b) Echtzeiterfassung im LKW: Ermittlung der Messdaten im LKW und Übermittlung an einen zentralen Server z.B. alle 15min. Die serverseitige laufende Auswertung und Interpretation der Temperaturwerte in Zusammenhang mit dem Wissen über die geladene Ware ermöglicht gegebenenfalls noch rechtzeitig „Rettungsmaßnahmen“ für die Ware treffen zu können, bzw. Transporte mit offensichtlich bereits verdorbener Ware abzubrechen. Jedermann beschreibt hierfür in [24] auch noch einen Ansatz, wo der Auswertung und Interpretation auf einem, im Transportmittel befindlichen Rechner geschieht und die errechneten Resthaltbarkeitsdaten während des Entladens mittels eines Gates auf die jeweiligen Transponder zurückgeschrieben wird. Wobei die Frage zu stellen ist, ob diese Daten schnell genug auf die Transponder geschrieben werden können. Als problematisch sieht er hier nicht die benötigte Zeit für den eigentlichen Schreibvorgang sondern jene für die Kommunikation zwischen Rechner und Gate-Reader.
- c) Implementierung von Shelf-Life Algorithmen im Transponder: Dabei wird das entsprechende Shelf-Life Modell der transportierten Ware direkt am Sensortransponder hinterlegt. Ein entsprechender Algorithmus errechnet an Hand des Modells und der gemessenen Temperatur laufend die verbleibende Resthaltbarkeit der Ware welche beim Durchfahren eines Gates ausgelesen werden kann. Ist die Ware kaputt kann man das z.B. durch die rote Ampel signalisieren. Diese zukunftssträchtige Art der dezentralen Verarbeitung ist aktuell noch Thema universitärer Forschung, da hierfür neben den entsprechenden Transponder auch für jedes Produkt geeignete Shelf-Life Modelle entwickelt werden müssen.

Nicht selten kommt es heute vor, dass die Temperaturen gleich von mehreren an der Transportkette beteiligten Partnern ohne gegenseitiges Wissen aufgezeichnet und überwacht werden. Zum einen kann dies natürlich als Kontrollmaßnahme eingesetzt werden und bei begründetem Verdacht auf unsachgemäßen Transport der Waren auch durchaus Sinn machen, oftmals geschieht es aber nur um, neben der Einhaltung gesetzlicher Vorschriften, auch selbst Informationen über den Temperaturverlauf während des Transports zu sammeln, um diesen gegebenenfalls optimieren zu können. Ein Beispiel für diese Vorgehensweise findet man etwa bei der Endauslieferung von pharmazeutischen Produkten von den Distributionszentren zu den Verkaufsstellen und Endabnehmern wie Apotheken, Ärzte und Krankenhäuser. Da in diesem letzten Schritt der Logistikkette von Seiten der Spediteure keine Unterscheidung mehr zwischen den Temperaturanforderungen der einzelnen Pakete getroffen und lediglich die Einhaltung eines „Regeltemperaturbereichs“ von 2-30°C Lufttemperatur im Laderaum garantiert wird, haben die Pharmaunternehmen

selbst für die Einhaltung der erforderlichen Warentemperatur Sorge zu tragen, indem sie je nach Außentemperatur und benötigter Soll-Temperatur der Ware mehr oder weniger „Kühlhaltemittel“, meist Kühlakkus oder Trockeneis beipacken. Da dieser Zustellprozess laut Transport-Codex der Pharmig & Arge Pharmazeutika [37] im längsten Fall bis zu 26 Stunden dauern dürfte, ist es für die versendenden Pharmaunternehmen bedeutend die Wirksamkeit der, meist nach Erfahrungswerten dimensionierten Kühlmittel, auch mittels Temperaturmessungen durch Datenlogger zu verifizieren. Sind die Produkte dann zusätzlich auch noch mit TTI-Labels zur einfachen Kontrolle für die Endkunden ausgestattet, kommen gleich 3 Temperatur-Überwachungsmaßnahmen zum Einsatz, ohne dass die dabei gewonnenen Informationen untereinander geteilt werden. Doch auch wenn jede dieser Maßnahmen für sich gerechtfertigt scheint und teilweise eben derzeit auch durch entsprechende (Selbst-)Verordnungen geregelt ist, ließe sich diese Redundanz an Messungen durch eine gemeinsame Datenbasis aller an der Logistikkette beteiligten Partner erheblich reduzieren. Von EPCglobal ([19]) gibt es hierfür bereits definierte Schnittstellen bzw. einen Standard zum Aufbau der benötigten Infrastruktur, um eine einheitliche, gemeinsame Datennutzung sicherzustellen. Mit den heutigen Technologien verteilter Systeme wären solche Systeme ebenfalls problemlos zu realisieren.

RFID-Temperaturtransponder haben heute in der Regel einen Stückpreis von  $\geq 10$  Euro und aufgrund der Batterien eine begrenzte Lebens-/Nutzungsdauer. Die Mehrkosten durch den Einsatz dieser Systeme müssten entweder aus den resultierenden Einsparungen (durch gerettete Ware) erzielt oder durch den Konsumenten getragen werden. Der Einsatz von teuren Einweg RFID-Transpondern wie zum Beispiel jenen von CartaSense rechnet sich heute daher nur bei großen Warenwerten, wie beispielsweise Pharmaprodukten oder sehr großen Obst- und Gemüsetransporten über weite Entfernungen.

Ein weiteres Problem stellt die Supply Chain an sich da, da die Ware zumeist in einem Open-Loop System, d.h. von Punkt A nach Punkt B, und mitunter auch unter Beteiligung mehrerer Logistikpartner bewegt wird, man aber gleichzeitig für den Rücktransport der Transponder sorgen muss. Ein Lösungsansatz für diese Problematik wäre ein „Pfandsystem“, wofür aber eine entsprechende Standardisierung Voraussetzung wäre. Außerdem müssten derart eingesetzte RFID Transponder auch entsprechend robust gebaut sein um den rauen Alltag im Logistikumfeld zu überleben.

## 2.3 Rechtliche Anforderungen/Möglichkeiten - Einschränkungen

### Pharmaindustrie

Die gesetzlichen Vorschriften betreffend der Umgebungsbedingungen hinsichtlich Lagerung und Transport von Pharmaprodukten sind relativ unspezifisch formuliert. Die in Österreich gültige Arzneimittel Betriebsordnung (AMBO 2009 [8]) verlangt lediglich die Produkte „so“ zu lagern, dass die Qualität nicht beeinträchtigt wird und sofern, diesbezüglich relevant, die Umgebungsparameter „regelmäßig“ zu messen und zu dokumentieren. Wörtlich heißt es in Abschnitt 9 dazu: „(2) Arzneimittel sind getrennt von anderen Waren und so zu lagern, dass ihre Qualität nicht beeinträchtigt wird und eine Kontamination oder Kreuzkontamination vermieden wird. Die Lagertemperatur und, sofern hinsichtlich Produktqualität relevant, die Luftfeuchtigkeit sind

in regelmäßigen Abständen zu messen und aufzuzeichnen“ bzw. weiters „(8) Arzneimittel und Verpackungsmaterial sind so zu transportieren, dass ... 4. sie weder in unvertretbarem Maße Hitze, Kälte, Licht, Feuchtigkeit oder einem anderen schädlichen Einfluss noch mikrobiellem Befall oder Ungeziefer ausgesetzt sind, ... „,

Detailliertere Richtlinien und Spezifikationen hinsichtlich des Transports von Arzneimitteln findet man hingegen im Transport Codex der ARGE Pharmazeutika und des Verbands der pharmazeutischen Industrie Österreichs (Pharmig) welcher allerdings selbst auferlegt, lediglich als Leitlinie angesehen wird und dessen Einhaltung nicht verbindlich ist ([37]). Darin wird unter anderem auch die bereits in Kapitel 2.2 erwähnte „Regeltransporttemperatur“ oder auch die 26 Stunden Maximaltransportdauer, von der Warenübernahme bis zur Übergabe an den Kunden, definiert. Ebenso gibt es hinsichtlich der Temperaturmessung klare Vorgaben wo und wie diese zu erfolgen hat, eingesetzt werden sollen dafür Temperaturlogger, welche jährlich zu kalibrieren sind. Diese Anforderung gilt für sämtliches eingesetztes Messequipment, wie beispielsweise auch die im Lieferfahrzeug verbauten Temperaturfühler oder auch in Zwischenlager oder Umschlagplätzen montierten Messgeräte. Auch wenn dieser Codex rechtlich nicht bindend wäre, hat er sich, nach Aussagen aus der Logistikbranche, de facto als Standard und Grundlage etabliert um überhaupt Transporte von Pharma-Produkten durchführen zu dürfen, und wird betreffend der Einhaltung von der pharmazeutischen Industrie auch entsprechend rigoros kontrolliert. Nachdem allerdings keine gesetzlichen Regelungen gefunden werden konnten, welche einem Einsatz von RFID basierten Condition/Temperatur-Monitoring Systemen widersprechen, müsste man lediglich eine Änderung dieses Codex erreichen.

### **Lebensmittelindustrie**

In der Lebensmittelindustrie sind es die HACCP (Hazard Analysis and Critical Control Points) Grundsätze, welche die allgemein gültige Basis für die Einhaltung von Lebensmittelhygiene darstellen. EG 852/2004 ([11]) beispielsweise schreibt Lebensmittelunternehmen vor mindestens ein auf HACCP beruhendes Verfahren einzuführen, durchzuführen und aufrechtzuerhalten. Als wertvolles Instrument hierfür werden ausdrücklich Leitlinien für eine gute Verfahrenspraxis vorgeschlagen wie GHP (Good Hygienic Practice) oder GMP (Good Manufacturing Practice). In Österreich sind diese vom Bundesministerium für Gesundheit ausgearbeitet worden und auf deren Website [9] unter „VerbraucherInnengesundheit > Lebensmittel“ für die jeweiligen Branchen und Produkte erhältlich. Weiters findet man dort eine Auflistung aller aktuell gültigen, europäischen sowie nationalen Rechtsvorschriften im Lebensmittelbereich, teilweise auch mit Verlinkung.

Definiert sind die HACCP-Grundsätze in genannter Verordnung folgendermaßen:

- a) Ermittlung von Gefahren, die vermieden, ausgeschaltet oder auf ein akzeptables Maß reduziert werden müssen,
- b) Bestimmung der kritischen Kontrollpunkte, auf der (den) Prozessstufe(n), auf der (denen) eine Kontrolle notwendig ist, um eine Gefahr zu vermeiden, auszuschalten oder auf ein akzeptables Maß zu reduzieren,

- c) Festlegung von Grenzwerten für diese kritischen Kontrollpunkte, anhand deren im Hinblick auf die Vermeidung, Ausschaltung oder Reduzierung ermittelter Gefahren zwischen akzeptablen und nicht akzeptablen Werten unterschieden wird,
- d) Festlegung und Durchführung effektiver Verfahren zur Überwachung der kritischen Kontrollpunkte,
- e) Festlegung von Korrekturmaßnahmen für den Fall, dass die Überwachung zeigt, dass ein kritischer Kontrollpunkt nicht unter Kontrolle ist,
- f) Festlegung von regelmäßig durchgeführten Verifizierungsverfahren, um festzustellen, ob den Vorschriften gemäß den Buchstaben a) bis e) entsprochen wird,
- g) Erstellung von Dokumenten und Aufzeichnungen, die der Art und Größe des Lebensmittelunternehmens angemessen sind, um nachweisen zu können, dass den Vorschriften gemäß den Buchstaben a) bis f) entsprochen wird.

Weiters von Relevanz ist EG 853/2004 ([12]) wo spezielle Vorschriften für tierische Produkte geregelt sind. Darin findet man neben speziellen Verarbeitungsvorschriften beispielsweise auch die höchst zulässigen Temperaturen für Fisch, Fleisch, Faschiertes, Milch, etc. für frischen und tiefgefrorenen Zustand. Neben den bereits genannten Verordnungen welche sich auf die Ware und deren Zustand beziehen sind für den potentiellen Einsatz von RFID Systemen im Condition Monitoring vor allem jene von Bedeutung, welche die Ausrüstung zur Überwachung in den Kühllhäusern und Transportmitteln regeln. Nach der dafür zu beachtenden Europäischen Verordnung EG 37/2005 ([14]) müssen alle zur Temperaturüberwachung eingesetzten Messgeräte die Europäischen Normen EN 12830:1999 ([45]) für Temperaturregistriergeräte, sowie EN 13485:2001 ([46]) für Thermometer zur Messung der Luft- und Produkttemperatur erfüllen. Nach Durchsicht der relevanten Verordnungen und Normen kann festgehalten werden, dass grundsätzlich keine Anforderungen gefunden wurden, die einen Einsatz von, auf RFID Technologie basierenden Systemen von vornherein ausschließen oder einschränken würden.

## Feldtests in der Lebensmittellogistik

Im Zuge der Recherche für diese Diplomarbeit und auf der Suche nach einer Möglichkeit die mir zur Evaluierung vorgelegene CartaSense Technologie einmal in der Praxis erproben zu können, bot sich im April 2009 die Gelegenheit Temperaturmonitoringtests unter realen Einsatzbedingungen durchführen zu können. Abweichend vom ursprünglichen Ziel nur CartaSense Hardware zu testen wurde nach den ersten Besprechungen mit dem Testpartner, sowohl aus persönlichem Interesse derenseits, als auch auf Grund von bekannten Problemen, deren Ursachen man auf den Grund gehen wollte, die Zielsetzung der weiteren Testläufe entsprechend abgeändert und zusätzlich auch HF-Technologie in Form von SEAGsens Transpondern zum Einsatz gebracht. Beim Testpartner handelte es sich um ein österreichisches Logistikunternehmen mittlerer Größe, das österreichweit als Exklusiv & Komplettlogistikdienstleister einer bekannten Systemgastronomiekette auftritt. Die Leistungen erstrecken sich von Beschaffungs- über Lager- und Distributions- bis teilweise auch Entsorgungslogistik. Dabei werden aus einem zentralen Lager im Großraum Wien täglich über 160 Restaurants österreichweit mit allen erforderlichen Betriebsmitteln versorgt, was für das Jahr 2009 ein Gesamttransportvolumen von über 74.300t entsprach. Aus diesen Anforderungen heraus ergibt sich, dass gleichzeitig Tiefkühl-, Kühl- und ungekühlte Ware transportiert werden muss, was durch den Einsatz von, mit multitemperaturfähigen Transportkühlaggregaten ausgerüsteten Fahrzeugen sichergestellt wird. Abbildung 3.1 zeigt anhand eines Hängerzuges ein Beispiel wie die Temperaturverteilung in den LKWs, Anhängern und Sattelaufliegern eingerichtet werden kann, wobei die Abtrennung der einzelnen Temperaturzonen durch flexible Trennwände geschieht und die beiden Verdampfer entlang von Deckenschienen in der Längsachse des Fahrzeuges verschoben werden können um die Größen der einzelnen Abteile je nach Beladung variieren zu können.

Das Temperaturmonitoring geschieht durch DAS- sowie TKDL-PRO Systeme des Kühlaggregateherstellers Thermo King, welche nahezu in der kompletten Fahrzeugflotte des Unternehmens eingesetzt werden. Die Messwerte werden dabei in den Geräten gespeichert und müssen manuell über eine, mit einem PC herzustellende Kabelverbindung ausgelesen und in das Dokumentationssystem eingepflogen werden. Gespeichert werden dabei die Temperaturdaten der drei Verdampfer (Ansaugluft) sowie der drei Stechthermometer die, je eines pro Temperatur-





Abbildung 3.1: Schema eines Multitemperaturzonen LKWs

zone, zum Einsatz kommen. Mittels des außen am Fahrzeug angebrachten Druckers wird dem Kunden bei der Übergabe ein Beleg mit den letzten Temperaturwerten der Stechthermometer ausgedruckt und zur Bestätigung ausgehändigt. Da es sich dabei aber um eine Momentaufnahme handelt könnten allerdings während des Transports aufgetretene Über-/Unterschreitungen der Solltemperaturen vom Kunden gar nicht erkannt werden. Weiters gibt es noch einige manuelle Stechthermometer mit mobilen, per Infrarot angebondenen Druckern die zuvor im Einsatz waren und aktuell nur mehr als Reservegeräte zur Verfügung stehen. Diese Geräte haben den Nachteil, dass der Thermometerfühler bei geöffnetem Kühlraum direkt in die Ware gestochen bzw. gelegt werden muss und der Messvorgang mehrere Minuten in Anspruch nimmt bis ein valides Ergebnis vorliegt. Auch in diesem Fall handelt es sich beim übergebenen Beleg nur um eine Momentaufnahme.

### 3.1 Motivation, Problemstellung

Die Hauptmotivation unseres Testpartners lag in erster Linie im Bereich der Qualitätssicherung da es zuvor mehrfach zu Reklamationen von einzelnen Restaurants gekommen war, dass Gemüse, speziell Salat in den oberen Kisten der Paletten aufgrund von Gefrierschäden gänzlich oder zumindest zu großen Teilen unbrauchbar geworden sein soll. Allerdings konnte man bei der Auswertung der Temperaturaufzeichnungen aus der Kühlzone der betroffenen Lieferfahrzeuge angeblich keine relevanten Hinweise auf zu niedrige Temperaturen ablesen. Als Folge der Ergebnisse der ersten Tests wünschte man sich weiters die Messungen bereits in den Kühl/Tiefkühlräumen zu beginnen um so auch eventuelle Qualitätsbeeinträchtigungen während des Beladens der Lieferfahrzeuge erkennen zu können. Neben diesen produktsichernden Maßnahmen gab es noch die Erwartungshaltung und diesbezügliche Bestrebungen zu prüfen ob die Temperaturüberwachung durch den RFID-Einsatz nicht effizienter und aufwandsärmer bewältigt werden kann. Diese Erwartungen betrafen im Speziellen die Tätigkeit der Dokumentation. Im bestehenden Monitoringsystem werden alle vom Kühlaggregat gemessenen Temperaturen in einem internen Speicher des Gerätes abgelegt. Um die Daten dann ins PC-Dokumentationssystem zur dauerhaften Sicherung übernehmen zu können muss man sich mittels eines Laptops direkt an das jeweilige Kühlaggregat anhängen und einen zeitaufwändigen Downloadprozess durchführen. Eine Tätigkeit die bei entsprechender Anzahl an Lieferfahrzeugen doch einen erheblichen Aufwand darstellt und auch entsprechend viel Zeit erfordert. Unser Testpartner beschäftigt

dafür extra eine Aushilfskraft die einmal im Monat an einem Sonntag, wo die Fahrzeuge auf Grund des in Österreich geltenden LKW-Wochenendfahrverbots alle am Firmengelände geparkt sind, die Daten aller Kühlaggregate ausliest und ins Archivierungssystem einspielt. Ein Nachteil der durch diese Vorgehensweise entsteht ist allerdings, dass kürzer zurückliegende Reklamationen auf Grund der noch nicht im PC vorliegenden Temperaturlaufzeichnungen nicht adäquat beantwortet werden können und zuerst ein außertourlicher Datendownload des betroffenen Lieferfahrzeugs durchgeführt werden muss.

Der Wunsch war also im Anschluss an die Tests ein System zu entwickeln, dass alle bisherigen Funktionalitäten abdeckt, die Arbeitsabläufe besser und effizienter unterstützt und das Problem des verspäteten und mühsamen Datendownloads löst. Ein weiteres Ärgernis, dass durch den Einsatz des SEAGsens-Transponders an Stelle der Stechthermometer gelöst werden sollte ist deren „mangelnde Robustheit“, wodurch sie sehr häufig und kostspielig getauscht werden müssen. Wobei betont werden muss, dass sich aus Gesprächen mit Fahrern aber auch dem Hersteller dieser Stechthermometer herausgestellt hat, dass die meisten Beschädigungen weniger auf die Bauweise als vielmehr auf unsorgsame, raue Handhabung zurückzuführen ist. So werden Griffe oder der Metallfühler gebrochen weil sie zwischen oder unter Paletten geraten oder die Kabel ausgerissen, weil man in der Eile vergisst das Thermometer vor dem Entladen aus der Ware zu nehmen. Inwiefern ein SEAGsens-Transponder derart grobe Behandlung besser wegstecken könnte konnte nicht getestet werden, da der begleitete Fahrer in der Zeit meiner Anwesenheit sehr sorgsam mit dem Material umgegangen ist. Das Design eines, diesen Anforderungen gerecht werdenden Systems und die Umsetzung eines im Funktionsumfang eingeschränkten Prototyps wird ausführlich in Kapitel 4 behandelt.

## 3.2 Material und Methoden

In Bezug auf die Hardwareauswahl war man sich aus verschiedenen Gründen recht schnell einig diese Tests nicht nur mit CartaSense-Technologie sondern auch mit HF-Transpondern der Type SEAGsens durchzuführen. Dadurch konnten wir einerseits die Anzahl an Messpunkten steigern und andererseits auch auf die Wünsche unseres Testpartners eingehen der bereits relativ früh eine deutliche Tendenz in Richtung der HF-Transponder erkennen ließ. Im Folgenden werden beide Systeme/Transponder noch einmal vorgestellt.

*CartaSense:* Bei der Technologie des gleichnamigen Israelischen Hardwareherstellers CartaSense handelt es sich um ein aktives System im Frequenzbereich von 433MHz. Betrieben mit 2 AAA-Batterien versprechen die Transponder eine Laufzeit von ca. 90 Tagen. Weiters sind sie neben einem Temperatur- auch mit einem Luftfeuchtesensor bestückt. Die Messgenauigkeit wird mit  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$  im Temperaturbereich von  $0^{\circ}\text{C}$  -  $15^{\circ}\text{C}$  angegeben, allerdings hat sich bereits im ersten Test herausgestellt, dass die Transponder für tiefere Temperaturen nach unten hin bei  $-12^{\circ}\text{C}$  begrenzt sind!<sup>1</sup> Der Reader wird als Hub bezeichnet und kann je nach Konfiguration ein Netzwerk bis zu max. 635 Transponder verwalten. Er besitzt einen 16MB Flash Speicher für die Messdaten und wird in der von CartaSense produktiv eingesetzten Variante mit einem

<sup>1</sup>Mittlerweile gibt es von CartaSense auch bereits Sensortransponder für den Tiefkühlbereich.

GSM-Modem und GPS-Modul gekoppelt, um die Messwerte mit einem Zeitstempel und der aktuellen Position an einen zentralen Datenserver zu übertragen. Die Besonderheit des Systems ist, dass die Transponder im Fall, dass sie keine direkte Verbindung zum Hub herstellen können ein Meshed Network bilden und über andere, die die Daten dann weiterleiten den Weg zum Hub suchen können. Kann überhaupt keine Verbindung zu einem Netzwerk aufgebaut werden, gehen sie in einen offline Modus über, wo Speicherkapazität für bis zu 1000 Werten zur Verfügung steht, die später bei wieder vorhandener Verbindung versendet werden. Die Konfiguration des Systems, inklusive der Transponder, geschieht rein über HUB-Kommandos, konfigurierbar sind neben Grundeinstellungen des Netzwerks (Breite, Tiefe) natürlich das Messintervall sowie 2 Alarmschwellwerte, deren Über-/bzw. Unterschreiten unkompliziert über den Hubstatus abrufbar ist, ohne die komplette Temperaturhistorie kontrollieren zu müssen. Ein großer Nachteil des Systems ist die Zeit die erforderlich ist bis sich das Netzwerk vollständig aufgebaut, oder reorganisiert hat, nach eigenen Herstellerangaben kann dieser Prozess bei großer Transponderanzahl im ungünstigsten Fall bis zu 70 min! dauern. Die eigene Erfahrung mit Netzwerken bis zu 15 Transponder liegt im Bereich von 5-15 min, bis alle vollständig am Hub aufscheinen. Ein weiterer Schwachpunkt ist die im Vergleich zu anderen aktiven RFID-Systemen sehr kurze Lebenszeit der Transponder, was daran liegt, dass diese selbst im Offline-Modus noch hohen Strombedarf haben und sowohl der Hub als auch die Transponder (noch) nicht in Bezug auf Energieeffizienz optimiert worden sind. Der Hub ist in der Produktivversion zwar mit einem Akku ausgestattet, welcher jedoch nur wenige Stunden ohne externe Stromversorgung überbrücken kann. Ebenfalls als Nachteil anzusehen ist, dass das System, abgestimmt auf den bisher einzigen Einsatzbereich, den mehrtägigen Transport von kühlpflichtigem Obst und Gemüse über längere Strecken, als Wegwerfprodukt für den Einmalgebrauch konzipiert worden ist. Ein Austausch der Batterien in den Transpondern wäre zwar prinzipiell möglich, auf Grund der filigranen Bauweise und des Aufwandes in der Praxis allerdings nicht durchführbar.



Abbildung 3.2: CartaSense Hub und Transponder

Abbildung 3.2 zeigt den Hub ohne jegliche Zusatzmodule, Akku und Housing wie er auch uns zu Testzwecken zu Verfügung steht. In dieser Bauart wird er durch die Programmierschnittstelle via USB direkt vom PC mit Strom gespeist. Streng nach der Definition von Finkenzeller [16] handelt es sich bei diesem System um kein RFID-System sondern um ein SRD (Short Range Device) oder Kurzstreckenfunksystem.

SEAGsens: Beim SEAGsens Transponder handelt es sich um einen semipassiven, ISO 15693 kompatiblen HF Transponder der von der Schweizer Electronic AG in Zusammenarbeit mit der Hochschule Offenburg und Siemens Österreich entwickelt wurde um die Temperatur von Bluttransfusionen, durchgehend von der Blutabnahme über die Aufbereitung bis zur Verabreichung dokumentieren und überwachen zu können. Aus diesen Anforderungen heraus zeichnet den Transponder speziell die besondere Robustheit aus, die es beispielsweise erlaubt ihn mehr als 20mal mit bis zu 5000g zentrifugieren zu können. Das medizintechnikgerechte Gehäuse ist hermetisch dicht gefertigt, als Werkstoff wurde Macrolon gewählt, welches als sehr robust gilt. Neben dem 64KB großen Speicher der bis zu 7500 Messwerte fast, steht noch ein ca. 2KB kleiner Speicherbereich für individuelle Benutzerdaten zur Verfügung. Die Messgenauigkeit wird mit einer Toleranz von  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$  zwischen  $0^{\circ}\text{C}$  und  $60^{\circ}\text{C}$  und  $\pm 1^{\circ}\text{C}$  unter  $0^{\circ}\text{C}$  angegeben, wobei sich der Messbereich von  $-30^{\circ}\text{C}$  bis  $+60^{\circ}\text{C}$  erstreckt. Die eigens für diese Anwendung entwickelte Lithium Knopfzellenbatterie verspricht eine Lebensdauer von mindestens 5 Jahren.



Abbildung 3.3: SEAGsens Transponder

Die untenstehende Tabelle 3.1 fasst noch einmal die Eigenschaften der beiden eingesetzten Systeme zusammen und stellt sie vergleichend gegenüber.

### 3.3 Auswertung und Erkenntnisse

#### 1. Test - 1. April 2009

Bereits während dieses Tests zeigte sich, als sich alle im Tiefkühlbereich eingesetzten CartaSense Transponder bei  $-12^{\circ}\text{C}$  eingependelt haben, derart hohe Temperaturwerte allerdings vom Fahrer und auch später an Hand der Aufzeichnungen der anderen Temperatursensoren ausgeschlossen werden konnten, dass diese Technologie für den Einsatz unter  $-12^{\circ}\text{C}$  offensichtlich nicht geeignet ist. Abbildung 3.5 zeigt daher bereits das bereinigte Ergebnis der Temperaturerhebungen, das leider nur mehr aus je 2 SEAGsens Transponder pro Tiefkühlzone besteht. Dabei war je einer direkt neben dem Stechthermometer des fahrzeuginternen Temperaturaufzeichnungsgerät mittig in Kartons mit Pommes Frites positioniert, der jeweils andere unter Gebäck welches in luftdurchlässigen Gebäckkörben wie auf Abbildung 3.4 ersichtlich transportiert wird.

	<b>CartaSense</b>	<b>SEAGsens</b>
Messbereich	-12°C bis +50°C	-30°C bis +60°C
Genauigkeit	0°C - 15°C: ± 0.5°C	0°C - 60°C: ± 0.5°C < 0°C: ± 1°C
Messintervall	10min - 180min	5s - 240min
Speicherkapazität	Transponder(offline): bis zu 1000 Hub: 16MB	bis zu 7500 Messwerte
zusätzl. Datenspeicher	nein	2 KByte
Lebensdauer	90 Tage (je 45 Tage on/offline)	> 5 Jahre
Schnittstelle	kontaktlos, 433MHz proprietäres TDMA-Protokoll Hub: RS232	kontaktlos mit ISO15693 RFID-Reader
Messmodi	Vollkurve	Vollkurve, Überschreitungs- kurve, Flächenintegral unter der Überschreitungskurve
Abmessungen	80x32x16mm	69x58x7mm
Gewicht	ca.35g	ca.30g
weitere Sensorik	ja, Luftfeuchte	zukünftig möglich

Tabelle 3.1: Technologievergleich CartaSense - SEAGsens



Abbildung 3.4: Gebäckkörbe

Das Schlüsselband diente dazu, den Transponder beim Abladen schnell wiederfinden und entfernen zu können was sich aufgrund der Tatsache, dass der Abladevorgang nicht massiv behindert oder verzögert werden sollte als äußerst hilfreich erwiesen hat. Weiters erkennt man dadurch auch auf den Fotos sehr gut wo der Transponder platziert war. Die Beladung dieser Tour war um ca. 9:55 Uhr abgeschlossen und die Aggregate mit einem Sollwert von  $-21^{\circ}\text{C}$  in Betrieb genommen. Gegen 10:50 Uhr wurden dann bereits die Waren der Tiefkühlzone 3 beim ersten Restaurant wieder entladen, jene der Tiefkühlzone 1 gegen 14:00 Uhr. Bei der Auswertung der Temperaturkurven (Abbildung 3.5) muss in Betracht gezogen werden, dass die Transponder vor ihrem Einsatz bei Zimmertemperatur gelagert wurden und daher eine entsprechende Akklimationszeit von ca. 25-30 Minuten, je nach Umgebung, brauchten um sich auf die tiefen Temperaturen einzuschwingen. Dennoch kam hier bereits der Verdacht auf, dass die Produkttemperaturen nach dem Beladen zu hoch sein müssen, da sie in der kurzen Transportzeit von ca. einer Stunde in der Tiefkühlzone 3 gar nicht mehr unter den erforderlichen Grenzwert von  $-18^{\circ}\text{C}$  gebracht werden konnten. Weiters erkennt man an den Temperaturkurven auch sehr gut die unterschiedliche Temperaturspeichercharakteristik der verschiedenen Produkte, bzw. Verpackungen. Transponder in geschlossenen Kartonschachteln, mittig zwischen Kunststoffbeuteln mit, im konkreten Fall Pommes Frites, aber auch Fleisch- oder Fischleibchen platziert, reagieren auf Temperaturänderungen weit weniger schnell und sprunghaft als jene die an oder in luftdurchlässigeren Gebinden, wie z.B. den Brotkörben befestigt wurden. Ein Umstand der selbstverständlich auch den Fahrern bekannt ist und im Interesse schöner Kontrollmesswerte bei der Wahl des Ortes für die Stechthermometer von diesen auch entsprechend berücksichtigt wird.

### Tiefkühlzone 1 und 3

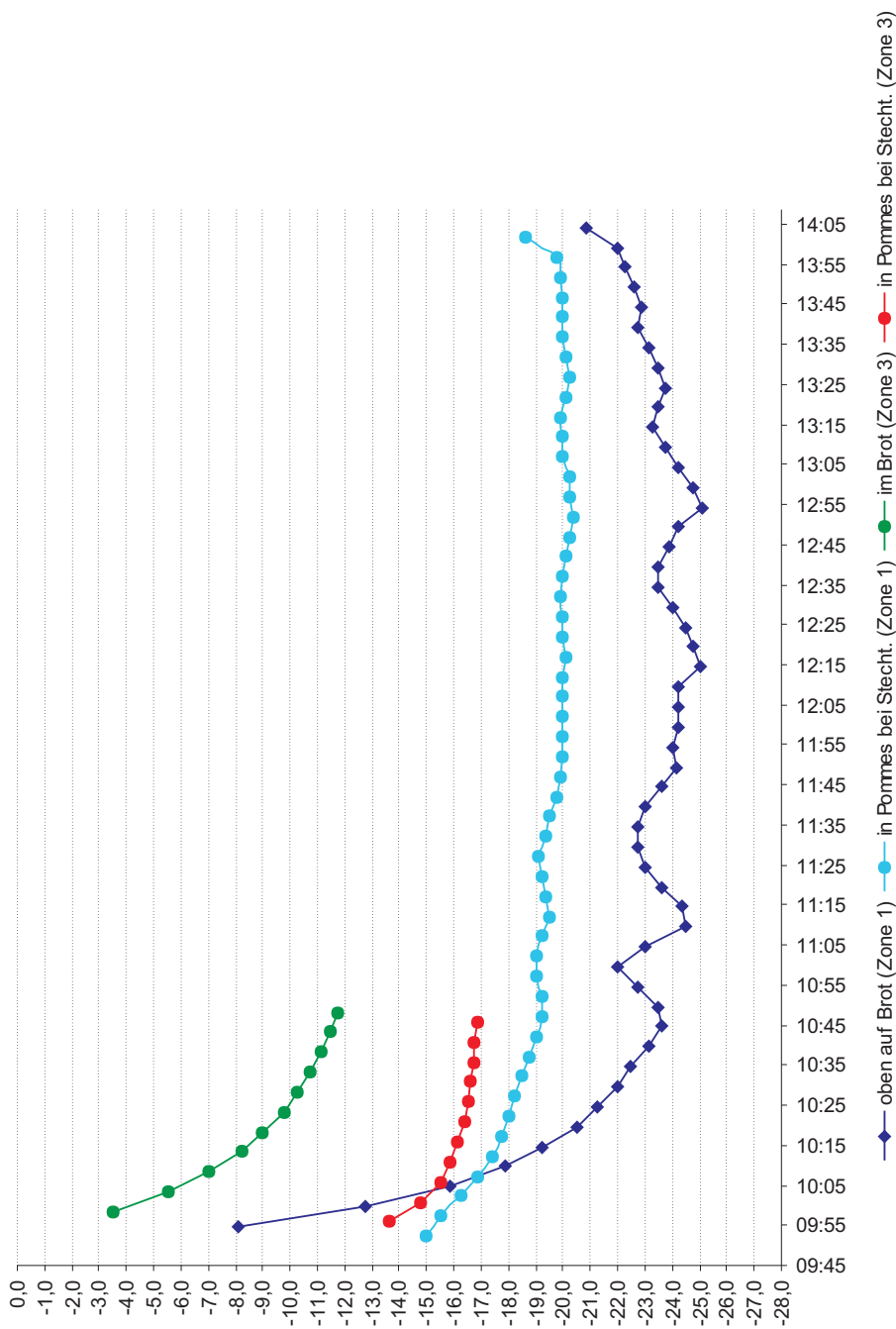


Abbildung 3.5: Temperaturmesswerte der Tiefkühlzonen

Interessanter sind die Ergebnisse der Kühlzone (Abbildung 3.6). Hier kamen ein SEAGsens-„im Salat bei Stecht.“ (dunkelblau), in der Referenz zum Stechthermometer und 4 CartaSense-Transponder zum Einsatz. Der CartaSense-Transponder „im Salat bei Stecht.2“ (hellblau) wurde erst nach dem Entladen beim ersten Restaurant aus dem Führerhaus des LKWs dazugegeben, ebenfalls zum Stechthermometer um auch einen CartaSense Transponder als Referenz heranziehen zu können. Dabei sieht man, dass er sich nach kurzer Akklimationszeit immer mehr an den SEAGsens annäherte und schlussendlich die selben Temperaturwerte lieferte. Das Kühlaggregat wurde ebenfalls gegen 09:50 Uhr gestartet und war auf 4°C Solltemperatur eingestellt. Beim Beladen wurde in den beiden Salatkisten 7-8°C gemessen, was der Lufttemperatur in der auf ca. 8°C temperierten Verladehalle entspricht. Auch der orange Transponder der an der linken Seitenwand der LKWs knapp unter der Decke montiert war um die Umgebungsluft in der Kühlzone zu messen, verzeichnete zu diesem Zeitpunkt diese Temperatur. Lediglich die Milch hielt auf Grund ihrer dichten Verpackung und guten Wärmekapazität die im Kühlraum vorherrschende Temperatur zwischen 3°C und 4°C recht gut. Zum Zeitpunkt des ersten Abladens erkennt man sehr gut wie stark sich die einströmende Aussenluft auf die Temperatur auswirkt. Anschliessend versuchte das Aggregat diesen „Wärmeeinbruch“ durch einblasen sehr kalter Luft schnell auszugleichen. Problematisch wirkte sich dabei ein durch eine unglückliche Beladung unterschiedlich hoher Paletten entstandenes Kälte Loch aus. Aufgrund fehlender Luftzirkulation fing sich dort die Kaltluft, wodurch die Temperatur auf -6,5°C sank. Als glücklich erwies sich, dass dort nur Milch gestanden hat und nicht etwa Salat, der derart tiefe Temperaturen kaum unbeschadet überstanden hätte.



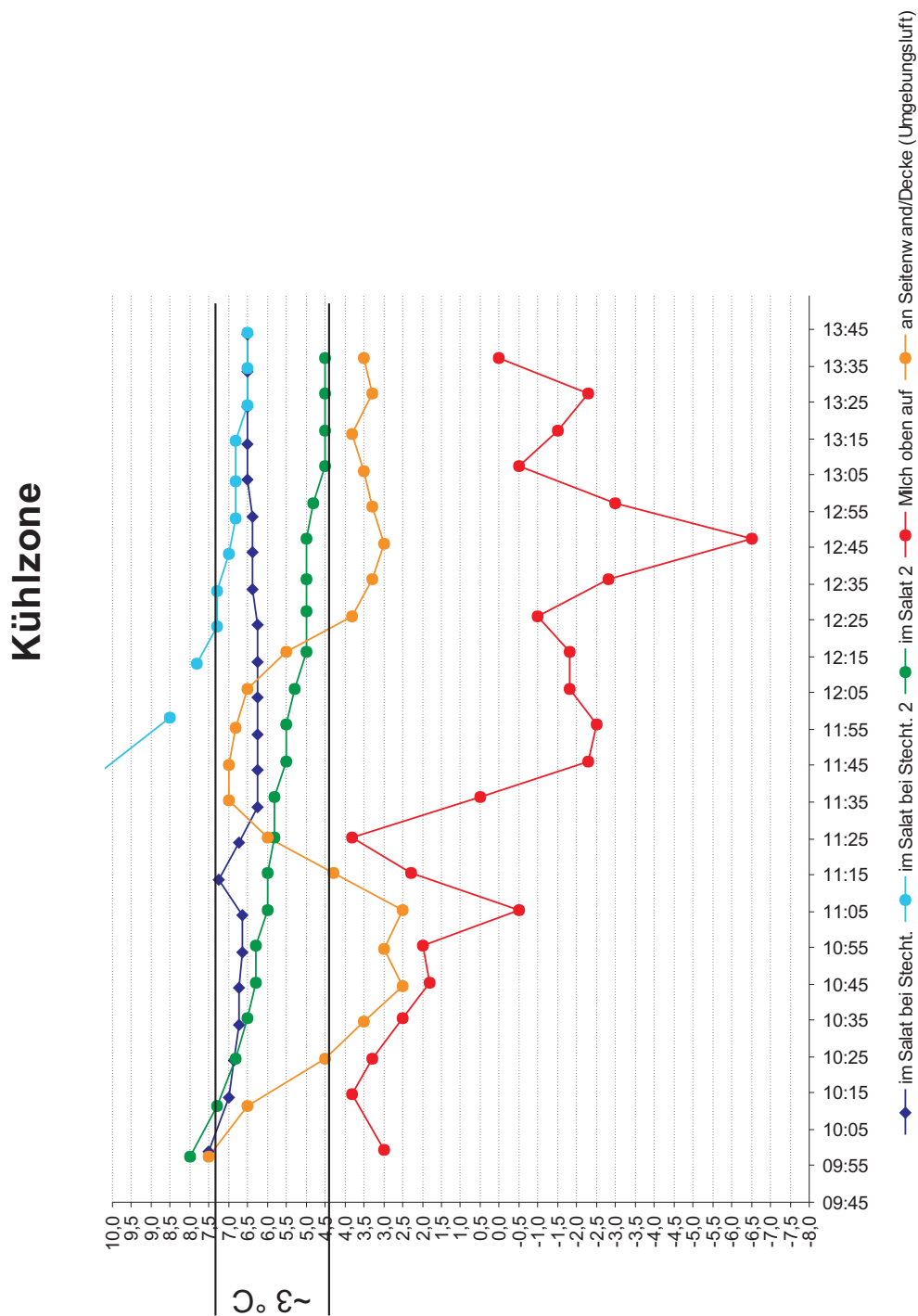


Abbildung 3.6: Temperaturmesswerte der Kühlzone

	Temperaturzone	Stechthermometer	RFID-Sensorik	Abweichung
12:55 Uhr	Tiefkühlzone 1	-19°C	-20,3°C	-1,3°C
	Kühlzone	+6°C	+6,4°C	+0,4°C
13:39 Uhr	Tiefkühlzone 1	-19°C	-20,0°C	-1,0°C
	Kühlzone	+5°C	+6,5°C	+1,5°C

Tabelle 3.2: Test 01.04.2009: Temperaturvergleich Stechthermometer - RFID-Sensorik

Tabelle 3.2 stellt die gemessenen Werte mit den Referenzmessungen der fahrzeuginternen Stechthermometer gegenüber wobei die Abweichung mit  $\pm 1,5^\circ\text{C}$  tolerierbar sind und teilweise auf die unterschiedliche Reaktionsgeschwindigkeit sowohl der RFID-Sensorik als auch der Stechthermometer auf Temperatursprünge zurückzuführen ist. Aus der Tiefkühlzone 3 waren leider keine Referenzmesswerte des Stechthermometers verfügbar.

## 2.Test - 15. April 2009

Beim 2.Test der 14 Tage später am selben Wochentag, der selben Route und mit dem selben Fahrer im selben LKW durchgeführt wurde, lag das Hauptaugenmerk darauf mit erhöhtem Einsatz von Transponder, diesmal allen 12 CartaSense Sensoren im Kühlraum die Ergebnisse des ersten Tests zu bestätigen und, sollte es Stellplätze innerhalb der Kühlzone geben die möglicherweise besonders gefährdet für Kältelöcher sind, ausfindig zu machen. Dabei lag die Vermutung nahe, dass es speziell jene an der rechten Wand welche in direkter Ausblasrichtung des Aggregats liegen sein könnten. Möglicherweise auch jene an den Trennwänden zu den Tiefkühlzonen, wo eine mögliche Undichtheit vermutet wurde. Die Messungen der fünf in den Tiefkühlzonen eingesetzten SEAGsens Transponder zeigten grundsätzlich das gleiche Ergebnis wie schon beim ersten Test. Wie in Abbildung 3.7 deutlich zu sehen, erscheinen die Verladetemperaturen neuerlich viel zu hoch, Soll-Temperaturen wurden bis zum ersten Entladen wieder nicht erreicht.

### Tiefkühlzone 1 und 3

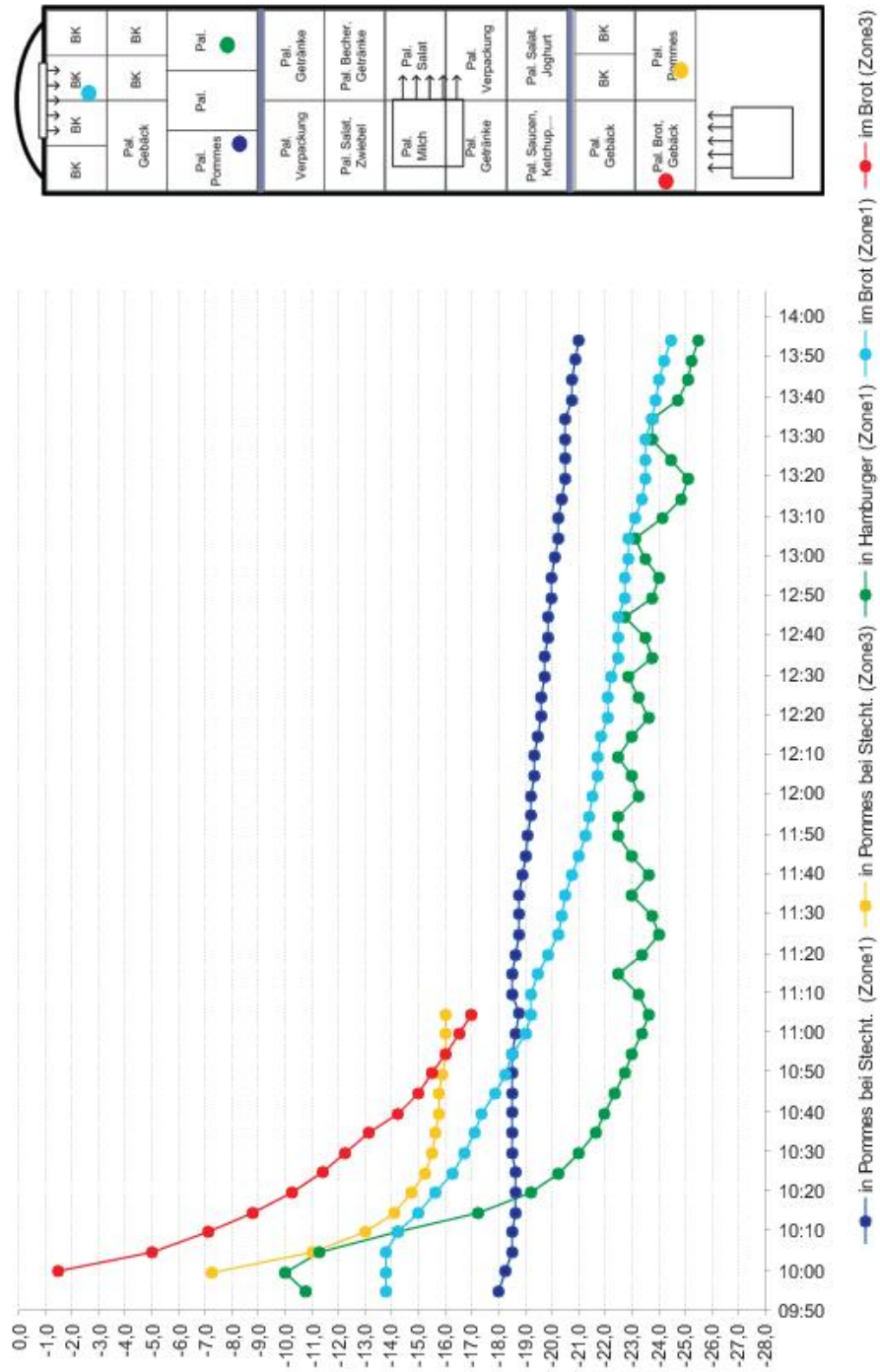


Abbildung 3.7: Temperaturmesswerte der Tiefkühlzonen

Spannender war das Ergebnis der Kühlzone, durch den Einsatz der großen Transponderzahl und den Versuch diese möglichst gleichmäßig in der ganzen Zone zu verteilen sollte untersucht werden ob es spezielle Kaltluftzonen gibt. Zum Erstaunen aller Beteiligten wurden in dieser Kühlzone gewaltige Temperaturunterschiede von bis zu 5,5°C in den Waren und sogar 19°C! in der Lufttemperatur gemessen. Weiters traten erneut Temperaturen von -6°C auf, was die Kundenbeschwerden über gefrorenen Salat plötzlich nachvollziehbar machte (siehe Abbildung 3.8).

Tabelle 3.3 zeigt wieder den Vergleich der RFID-Messungen zu jenen der fahrzeuginternen Stechthermometer.

	Temperaturzone	Stechthermometer	RFID-Sensorik	Abweichung
11:05 Uhr	Tiefkühlzone 1	-20°C	-18,8°C	+1,2°C
	Kühlzone	+6°C	+4,3°C	-1,7°C
	Tiefkühlzone 3	-19°C	-16,0°C	+3,0°C
13:05 Uhr	Tiefkühlzone 1	-21°C	-20,3°C	+0,7°C
	Kühlzone	+4°C	+4,0°C	±0°C

Tabelle 3.3: Test 15.04.2009: Temperaturvergleich Stechthermometer - RFID-Sensorik

Kühlzone

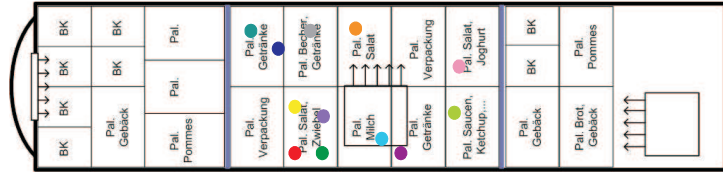
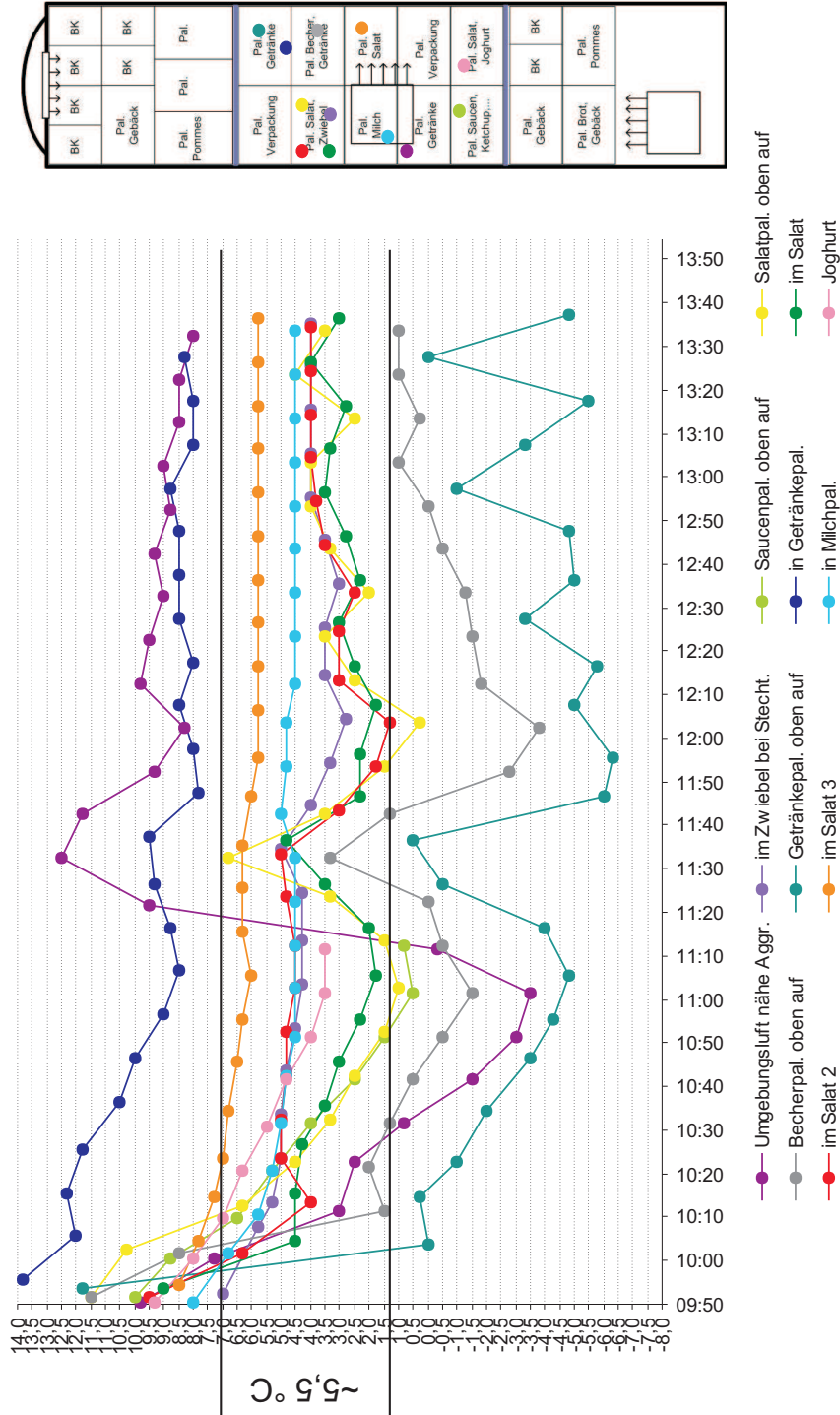


Abbildung 3.8: Temperaturmesswerte der Kühlzone

### 3.Test - 29. April 2009

Aus den Ergebnissen der bisherigen zwei Messfahrten wurden für den abschließenden dritten Test gemeinsam mit dem Management noch folgende Zielsetzungen erarbeitet und festgelegt:

- Messungen werden direkt an den Ausblas/Ansaugöffnungen der Aggregate durchgeführt um die Ausblastemperaturen zu ermitteln
- Transponder werden rechtzeitig akklimatisiert und bereits vor Testbeginn noch in der Kühl-/Tiefkühlhalle zu den Waren gepackt um gezielt auch den Verladevorgang überwachen zu können
- Transponder werden nur mehr in temperaturrelevante Ware (keine Getränkekartuschen, Becher, oder Ähnliches)gepackt und auch nicht oberflächlich angebracht
- Paletten mit Kühlware (Salat) werden testhalber mit Karton abgedeckt um sie vor direktem Kaltluftstrom zu schützen - Messungen werden dabei auf und unter dem Karton durchgeführt um die Wirksamkeit zu überprüfen

Weiters sollte der Fahrer darauf achten, sofern möglich, mit unterschiedlich hohen Paletten keine Kälteklücher zu bauen damit die Luft möglichst ungehindert zirkulieren kann.

Insgesamt kamen bei diesem Test 18 SEAGsens Transponder zum Einsatz, neun in den beiden Tiefkühlzonen und neun in der Kühlzone. Je vier davon wurden bereits ungefähr eine Stunde vor Beginn des Verladevorganges gegen 08:10 Uhr den Waren in den Tiefkühl und Kühlhallen hinzugegeben. Bei jedem Verdampfer im Fahrzeug wurden zwei, je einer unmittelbar vor der Ansaug- und vor der Ausblasöffnung montiert. Referenztransponder zu den Stechthermometern kamen nur in der Kühlzone und der Tiefkühlzone 3 zum Einsatz, da dieses mal der Stechthermometer in der Tiefkühlzone 1 gebrochen und somit funktionslos war.

Tiefkühlzone 1 und 3

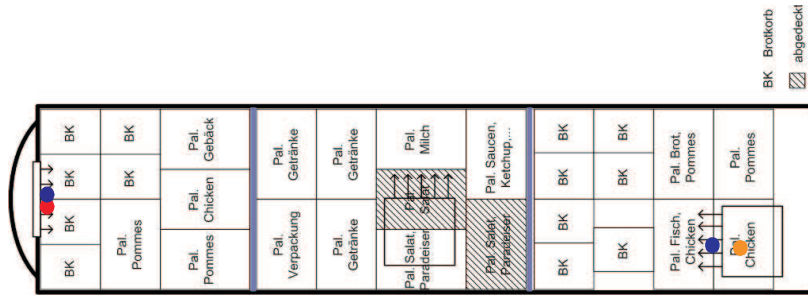
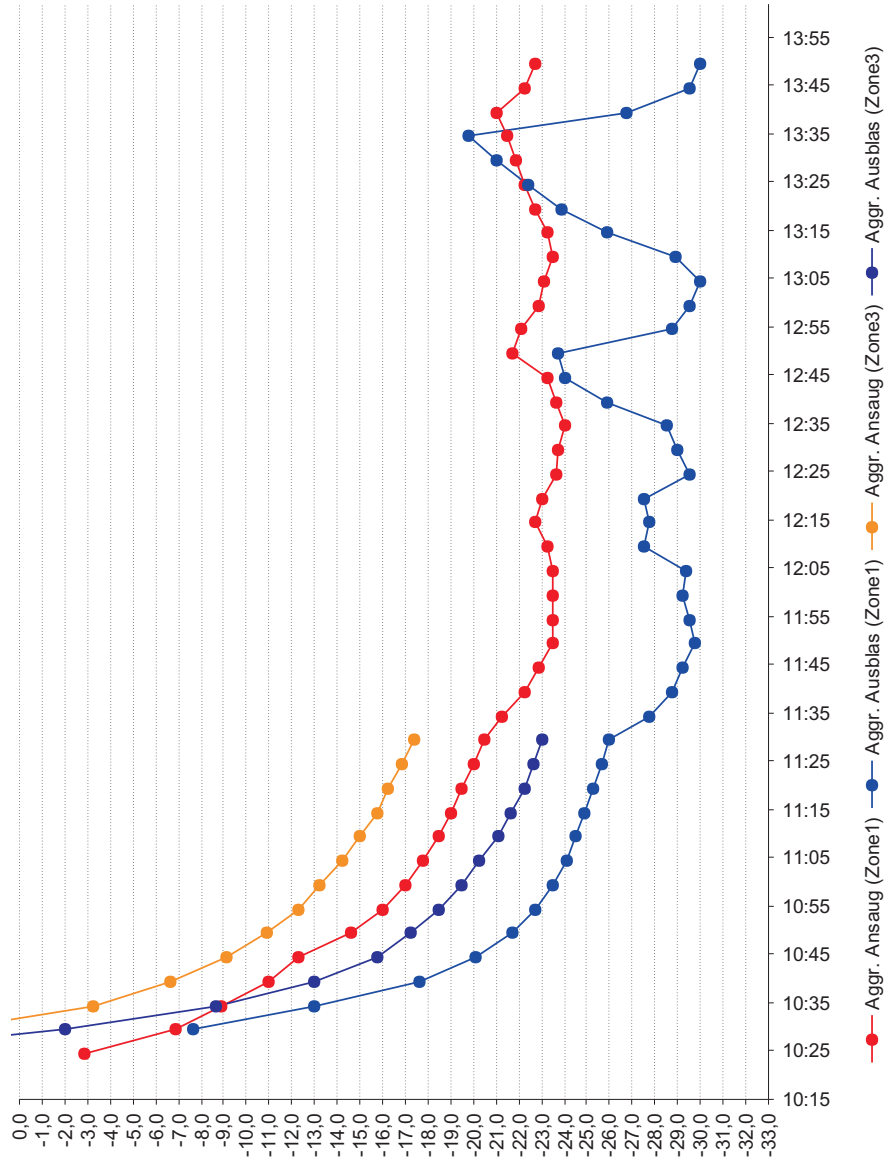


Abbildung 3.9: Lufttemperaturen der Tiefkühlzonenaggregate

Abbildung 3.9 zeigt die Ausblas- und Ansaugtemperaturen der Tiefkühlaggregate, wobei in der Tiefkühlzone 1 die tiefsten Ausblas-Temperaturen zeitweise bei  $-30^{\circ}\text{C}$  gelegen sind. Die Wärmsten, den Einschaltzeitraum nicht berücksichtigt, wurde mit  $-19,8^{\circ}\text{C}$  gemessen als die Ansaugluft ca.  $1^{\circ}\text{C}$  unter der eingestellten Solltemperatur von  $-21^{\circ}\text{C}$  gelegen hat. Im hinteren Tiefkühlabteil schaffte es das Aggregat in der „kurzen Zeit“ von ca. einer Stunde, bis zum Entladen trotz kontinuierlicher Abkühlung nicht die Ansaug- und somit Umgebungsluft unter  $-18^{\circ}\text{C}$  abzukühlen. Auch hier war ein Sollwert von  $-21^{\circ}\text{C}$  eingestellt.

Abbildung 3.10 zeigt deutlich, was die beiden vorangegangenen Test bereits vermuten ließen, dass während der Beladung des LKWs die Temperatur der Waren besonders jener in luftdurchlässiger Verpackung wie z.B. den Gebäckkörben erheblich ansteigt und dadurch bereits zum Zeitpunkt des Einschaltens des Kühlaggregats bei der Abfahrt deutlich, bis zu  $10^{\circ}\text{C}$  zu warm ist. Durch die tiefen Einblastemperaturen unterschreitet das Gebäck in der Tiefkühlzone 1 zwar etwa 60 Minuten nach der Abfahrt wieder die erforderliche Mindesttemperatur von  $-18^{\circ}\text{C}$  und sinkt im weiteren Verlauf sogar auf knapp über  $-26^{\circ}\text{C}$ , in der Tiefkühlzone 3 bleibt es allerdings bis zum Abladen um ca.  $4^{\circ}\text{C}$  darüber. Die Temperaturen des in Kunststoffbeuteln und Kartons verpackten Hühnerfleisches bleiben relativ lange stabil, der Warmlufteinfluss während des Beladevorganges wirkt sich zeitlich leicht verzögert und mit Temperaturanstiegen von maximal  $1,5^{\circ}\text{C}$  nicht gravierend aus, die  $-18^{\circ}\text{C}$  Grenze wurde zu keinem Zeitpunkt überschritten.

Dieser Temperaturanstieg während des Beladens ist darauf zurückzuführen, dass die auszuliefernden Paletten in der Regel zuerst aus den verschiedenen Kühl- und Tiefkühlräumen geholt und in der Verladehalle bei der entsprechenden Laderampe zusammengestellt werden. Erst danach beginnt die eigentliche Beladung des LKWs der an den drei Testtagen zu diesem Zeitpunkt noch unklimatisiert, aufgrund der kühlen Frühtemperaturen im April allerdings ähnlich der Verladehalle temperiert war. Das Kühlaggregat selbst wurde erst unmittelbar vor der Abfahrt vom Fahrer eingestellt und in Betrieb genommen. Dass der Temperaturanstieg beim Gebäckkorb aus der Tiefkühlzone 1 „gedämpfter“ verläuft und mit  $+6,3^{\circ}\text{C}$  gegenüber den  $+10,4^{\circ}\text{C}$  bei jenem aus der Tiefkühlzone 3 auch geringer ausfällt ergibt sich aus der Tatsache, dass diese Körbe meist als erstes verladen werden und die Tiefkühlzone nach vollständiger Beladung durch die Trennwände relativ schnell abgeschottet wird, während jene der Tiefkühlzone 3 erst nach den Kühlprodukten, gegen Ende des Beladevorganges an die Reihe kommen und somit viel länger der wärmeren Umgebungsluft der Verladehalle ausgesetzt sind.

Angesprochen auf mögliche Qualitätseinbußen durch derart hohe Temperaturanstiege erklärte der Logistikleiter, dass „die Produkte bei  $-8^{\circ}\text{C}$  ja grundsätzlich noch immer gefroren seien“, es allerdings sehr wohl Auswirkungen auf die Qualität haben könne, da man annehmen müsse, dass die Produkte zwar nicht komplett auf- aber sehr wohl oberflächlich antauen, was auch an den Testtagen durch feucht-glänzende Oberflächen vieler Backwaren, speziell in den oberen Körben deutlich sichtbar war. Nach dem Aufbacken in der Filiale sollen (mehrfach) angetaut und wieder eingefrorene Backwaren im Gegensatz zu korrekt transportierten bröseliger sein, bei z.B. mit Sesam bestreutem Gebäck hält diese Bestreuung nicht mehr.



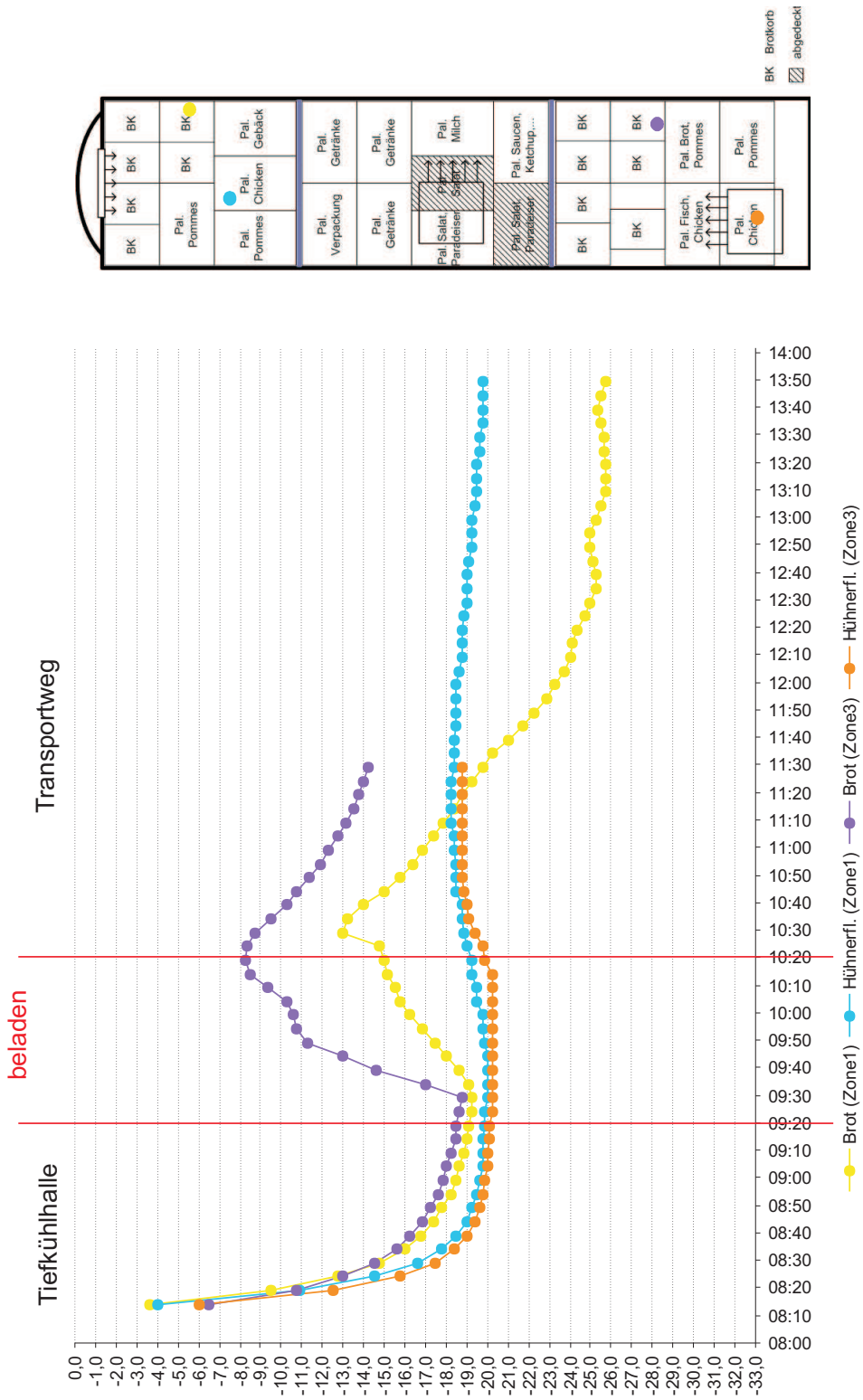


Abbildung 3.10: Temperaturmesswerte der Tiefkühlzonen

Interessant auch das Ergebnis in der Kühlzone, Abbildung 3.11, wo das Hauptaugenmerk diesmal auf den tatsächlichen Ausblastemperaturen des Aggregates lag um die Frostschäden, und tiefen Temperaturen der ersten beiden Tests nicht nur erklären sondern auch belegen zu können. Betrachtet man die Messwerte der beiden am Aggregat montierten Transponder fällt sofort auf, dass die Ausblastemperatur nahezu den gesamten Zeitraum über im negativen Bereich war, wobei allerdings anzumerken ist, dass dieses mal vom Fahrer eine Solltemperatur von nur  $0^{\circ}\text{C}$  gewählt wurde. Das Aggregat hat gleich zu Beginn mit sehr tiefen Temperaturen von bis zu  $-6^{\circ}\text{C}$  versucht sehr schnell von den vorherrschenden  $8^{\circ}\text{C}$  auf die gewünschten  $0^{\circ}\text{C}$  abzukühlen was anfänglich auch gelungen war, nur wenn man sich den weiteren Temperaturverlauf der Ansaugluft ansieht erkennt man, dass diese bereits kurz nach 11:00 Uhr konstant unter  $0^{\circ}\text{C}$  gefallen und im Verlauf der nächsten Stunde kontinuierlich weiter bis zu  $-6^{\circ}\text{C}$  gefallen war. Mit ca. 15 minütiger Verspätung begann das Aggregat dann durch höhere Ausblastemperaturen zaghaft gegenzusteuern, brachte die Temperatur allerdings bis zum ersten Entladen nicht mehr in einen positiven Temperaturbereich, bzw. an die eingestellten  $0^{\circ}\text{C}$  Grad. Erst während des ersten Teil-Entladens der Kühlzone, das gegen 11:50 Uhr begonnen und etwa 15min gedauert hat, ist die Lufttemperatur durch das Einströmen der zu diesem Zeitpunkt ca.  $15^{\circ}\text{C}$  warmen Aussenluft wieder sprunghaft auf bis  $+7^{\circ}\text{C}$  angestiegen. Nachdem die Kühlzone wieder geschlossen wurde hat das Aggregat erneut mit sehr tiefen Ausblastemperaturen bis zu  $-12,6^{\circ}\text{C}$  versucht die Temperatur wieder in den Sollbereich zu bringen, konnte dies nach anfänglichem Erfolg allerdings nicht mehr über die ganze Zeit aufrechterhalten. Aus nicht ganz nachvollziehbaren Gründen regelte es sehr sprunghaft, trotz tiefer Einblastemperaturen blieb die Raum-/Ansaugtemperatur zu warm, hierzu bekamen wir auch in einer nachfolgenden Besprechung mit dem Kühlaggregate Hersteller keine näheren Informationen, da er darauf nicht wirklich eingehen und ohne Abruf der Servicedaten auch keine Vermutungen anstellen wollte. Eine mögliche Erklärung könnte sein, dass der eigene Dieselmotor und somit der Kompressor des Aggregats in einem Modus betrieben wurde, wo dieser aus ökologischen Gründen nicht ununterbrochen läuft und wir uns hier im Bereich der Schwellwerte bewegten die diesen starten bzw. abstellen.

Betrachten wir jetzt in Abbildung 3.12, die in den Waren gemessenen Temperaturen so sehen wir, dass der Beladevorgang in diesem Fall relativ unproblematisch ist, da die Temperatur in den Kühlräumen mit  $3,5^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$  zwar leicht unter jener der Verladehalle liegt, die gemessenen Produktemperaturen zwischen  $+4^{\circ}\text{C}$  bis  $+6^{\circ}\text{C}$  aber in diesem Zeitraum nur geringfügig ansteigen. Abgesehen von dem Karton Milch, dessen Temperatur beinahe über den kompletten Auslieferungszeitraum nahezu konstant geblieben ist, wirkte sich natürlich die immer tiefer, auf bis  $-5,8^{\circ}\text{C}$  sinkende Temperatur (gemessene Ansaugluft) in der Kühlzone auch auf die anderen Produkte aus welche dadurch unterschiedlich stark heruntergekühlt werden. Den größten Temperaturabfall registrierten wir dabei bei der Kiste Paradeiser (orange Kennlinie) welche direkt unter dem Aggregat stand und von ursprünglichen  $5,4^{\circ}\text{C}$  zum Zeitpunkt der Beladung auf  $-2,5^{\circ}\text{C}$  sank. In Anbetracht der niedrigen Solltemperatur von  $0^{\circ}\text{C}$  erscheinen die  $-2,5^{\circ}\text{C}$  nicht weiter erschreckend, das Problem das sich allerdings in der Kühlzone ergibt ist, dass wir hier völlig unterschiedliche Produkte vorfinden die zwar alle im Temperaturbereich um  $+4^{\circ}\text{C}$  problemlos transportiert werden können aber auf Abweichungen in die genau entgegengesetzte Richtung problematisch reagieren. Während Gemüse wie Salat oder Paradeiser höhere Temperaturen noch einigermaßen gut wegstecken könnte, bekäme man bei den Milchprodukten (Milch,

Joghurt, Butter,...) unter solchen Bedingungen sehr schnell Qualitätsprobleme. Diese könnten aber, im Gegensatz zu Erstgenannten, wiederum tiefere Temperaturen relativ unbeschadet überstehen. Durch diese Tatsache muss also in der Kühlzone besonders darauf Wertgelegt werden, die zulässige Transporttemperatur möglichst genau einzuhalten, eine Vorgehensweise wie „Lieber ein bisschen zu kühl/warm“ ist hier also nicht anwendbar. Sieht man sich den weiteren Verlauf der Messkurven an so sieht man natürlich die Auswirkung der einströmenden Warmluft beim Teilentladen, welche sogar bei der Milch für einen leichten Temperaturanstieg von etwa einem Grad sorgte, und die Paradeiser wohl vor einem weiteren Absinken in schädigende Temperaturbereiche bewahrte. Im weiteren Verlauf der Auslieferung hielten sich dann die Temperaturen beider Produkte bis zum Entladen gegen 13:35 Uhr in nahezu optimalen Bereichen.

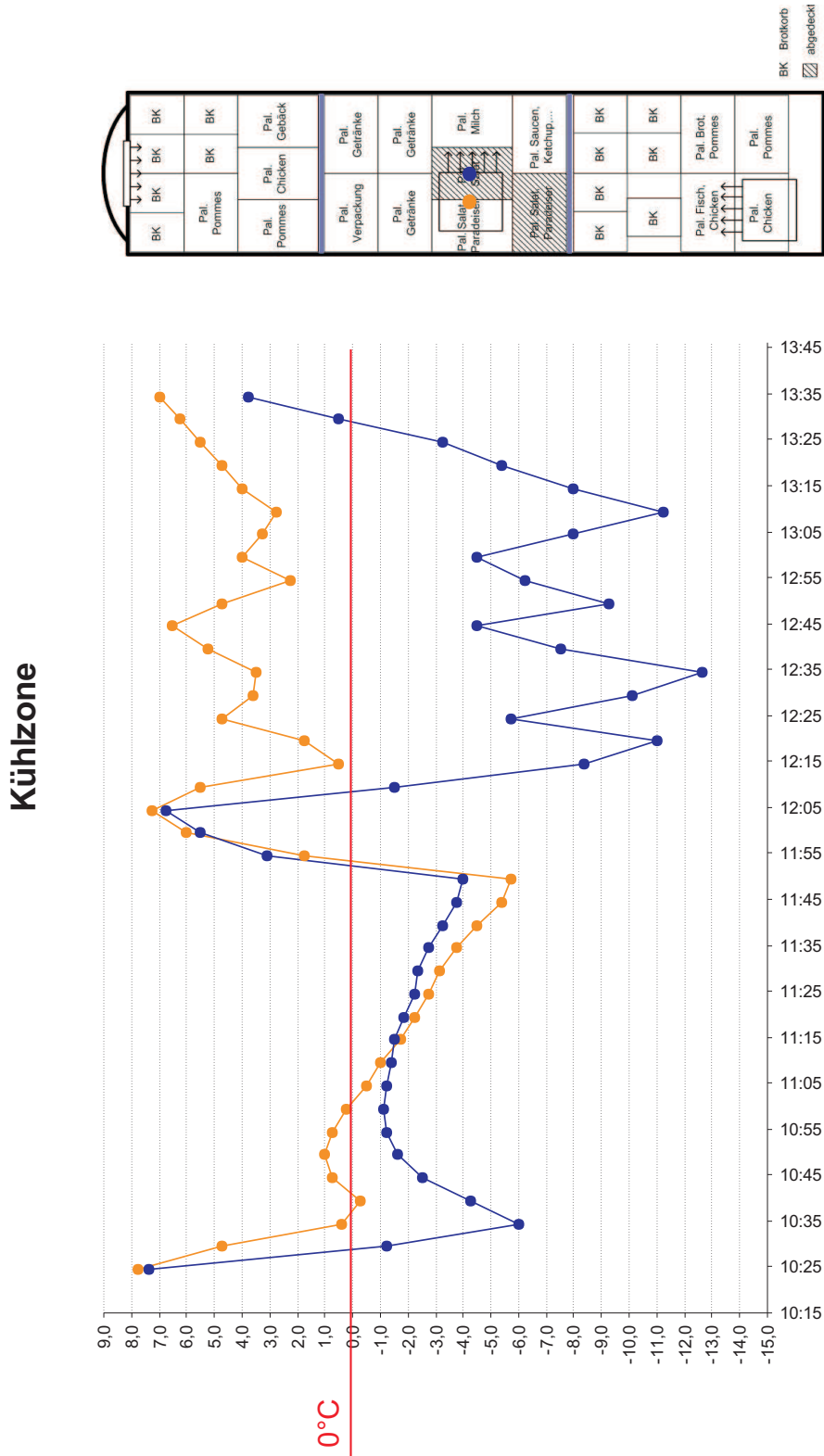


Abbildung 3.11: Lufttemperaturwerte des Kühlzonenaggregates

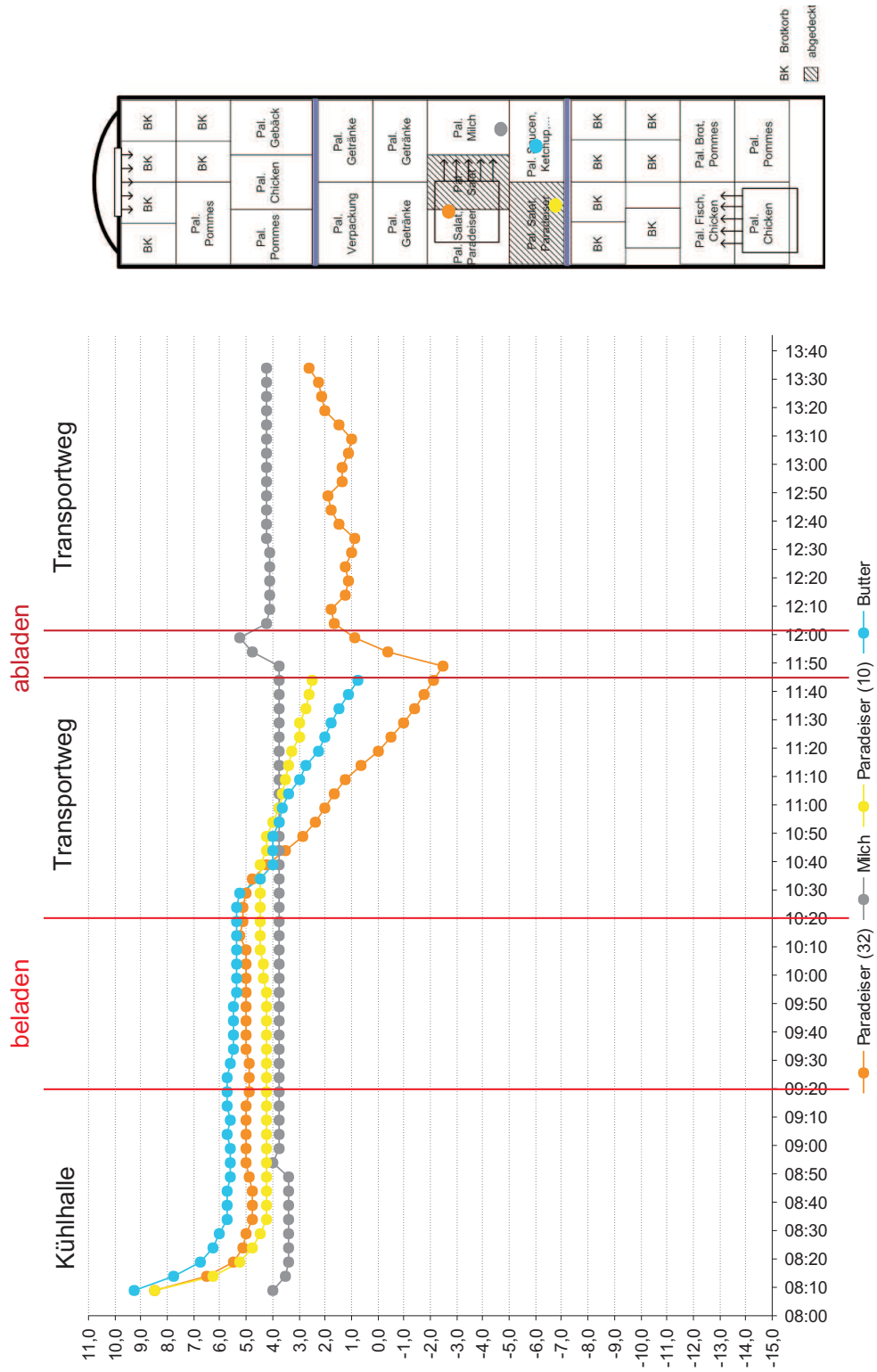


Abbildung 3.12: Temperaturmesswerte der Kühlzone

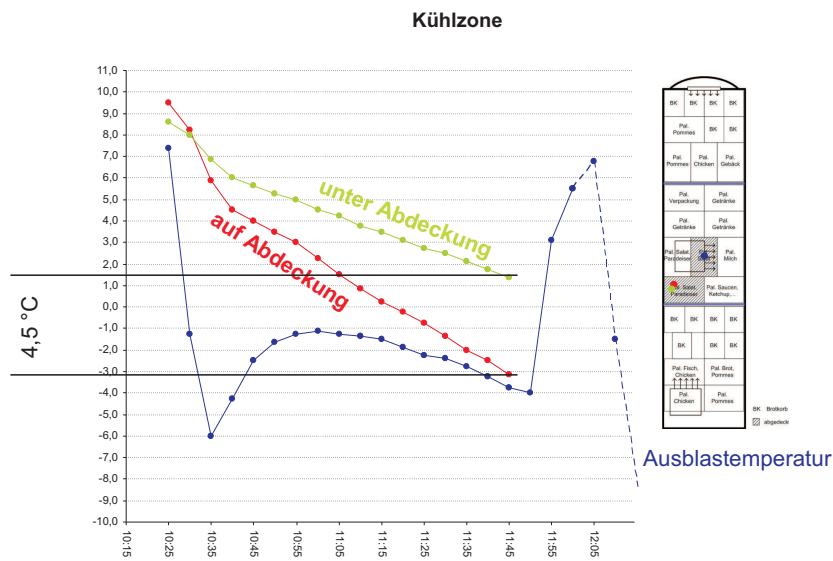


Abbildung 3.13: Temperaturvergleich mit und ohne Abdeckung

Um die Frage der Wirksamkeit einer Kartonabdeckung von Kisten, zur Abschirmung vor der direkten Kaltluft zu beantworten sind in Abbildung 3.13 die beiden dafür eingesetzten Transponder, von denen einer auf dem Karton und der zweite unmittelbar darunter auf dem Salat platziert wurde, und noch einmal die Ausblastemperatur des Kühlaggregates gegenübergestellt. Da diese Salatkisten schon beim ersten Restaurant entladen wurden und der Fahrer bereits teilweise von den Ergebnissen der ersten beiden Tests erfahren hatte, stellte er sie in Fahrtrichtung gesehen links hinter das Aggregat, eigentlich nicht unmittelbar im Kaltluftstrom. Außerdem war, obgleich diese Versuchsanordnung von Management und Transportmanager gewünscht, zum Zeitpunkt des Verladens kein Karton vorbereitet und der Fahrer nicht davon informiert worden, wodurch er in der Kürze keinen besseren Karton finden konnte als eine nur wenige Millimeter starke Palettenabdeckung, wie in Abbildung 3.14 zu sehen. Das Ergebnis überraschte allerdings insofern, dass selbst dieser dünne Karton, wie man an den beiden Kennlinien deutlich erkennen kann, ausreichte um den Abkühleffekt zu dämpfen und bis zum Zeitpunkt des Abladens einen Temperaturunterschied von 4,5°C herzustellen.



Abbildung 3.14: Messort auf und unter der Kartonabdeckung

Das Auftreten der unterschiedlichen Temperaturverteilung in Kühl-LKWs bzw. -Containern ist ein in der Wissenschaft durchaus bekanntes Problem und bereits Thema mehrerer wissenschaftlicher Abhandlungen, wobei allerdings keine einfach umzusetzenden Lösungen oder Empfehlungen gefunden werden konnten. Laut Jedermann und Lang ([23], [25]) lassen sich selbst aus einem Experiment mit 40 Transpondern, innerhalb einer Kühl-/Tiefkühlzone, keine weiteren Rückschlüsse auf Temperaturen an nicht gemessenen Orten ziehen, lediglich die Seite des Kühlaggregates könne man erkennen. Ähnliche Ergebnisse findet man auch in [34] und [40].

Zusammenfassend muss man also feststellen, dass bei den heutigen Systemen, obwohl sie den gesetzlichen Anforderungen entsprechen, Qualitätsmängel der Produkte beim Transport dennoch nicht ausgeschlossen werden können. Ein gut ausgebildeter Kühltransportlenker, mit entsprechendem KnowHow ist daher von wesentlicher Bedeutung für den einwandfreien Transport. Nach Aussage eines Qualitätsmanagers aus der Branche kommt einem Kühltransportfahrer mindestens die selbe Bedeutung zu als einem Gefahrgutlenker.

# Einfache Beispielimplementierung eines RFID-Temperaturmonitoring Systems

## 4.1 Anforderungen

Wie bereits im vorhergehenden Kapitel beschrieben befasst sich dieses Kapitel mit einer möglichen Beispielimplementierung wie sie aus den Anforderungen unseres Testpartners heraus entworfen wurde. Da es schließlich keine positive Entscheidung zur Umsetzung gab setzten wir uns in weiterer Folge auch mit einem renommierten Hersteller von Kühlaggregaten zusammen, um in Erfahrung zu bringen inwieweit unsere bisherige Idee abgewandelt werden müsste um auch allgemein am Markt bestehen zu können. Auch daraus wurde ein Konzept entwickelt, welches dem letztlich erstellten Prototypen zu Grunde lag. Dennoch wird auch das ursprüngliche Konzept in diesem Kapitel Erwähnung finden, speziell in jenen Bereichen die später vereinfacht wurden, aber dennoch in weiterer Folge einen Mehrwert bringen könnten.

Betrachten wir noch einmal die Ausgangssituation: Unser Testpartner beliefert exklusiv und österreichweit eine Systemgastronomiekette und setzt dafür LKWs, Anhänger und Sattelaufleger ein die mit Kühlaggregaten mit je 2 bzw. 3 Verdampfern ausgerüstet sind, um in 2 bzw. 3 Temperaturzonen sowohl Tiefkühl- als auch Frisch- und Trockenware gleichzeitig transportieren zu können. Die gesetzlich vorgeschriebene Temperaturlaufzeichnung erfolgt derzeit mit Hilfe von Aufzeichnungsgeräten des Kühlaggregat-Herstellers, die in regelmäßigen Abständen mit Hilfe eines Laptops direkt an den Aggregaten zeitaufwendig ausgelesen werden müssen. Weiters kommen zum Nachweis der korrekten Produkt-Temperatur zum Zeitpunkt der Warenübergabe sowohl fest im Frachtraum montierte, als auch vereinzelt noch mobile Stechthermometer mit Belegdruckern zum Einsatz. Aufgrund der Bauweise und unsorgsamem Handling dieser Thermometer passiert es regelmäßig, dass diese zu Bruch gehen und direkt beim Kühlaggregat-Hersteller kostspielig ersetzt werden müssen.



Folgende Erwartungen wurden also in ein derartiges RFID basiertes System gesetzt: Durch den Einsatz der SEAGsens Transponder zur Temperaturaufzeichnung und der Integration des Ausleseprozesses in die Routine des Fahrers soll der Zeitaufwand für die Verarbeitung und Archivierung der Temperaturdaten erheblich reduziert werden. Weiters bieten sie den Vorteil, dass sie kalibrierungs- und wartungsfrei sind. Beim Einsatz an Stelle der Stechthermometer soll auf Grund der kompakten und robusten Bauweise der Transponder auch das Problem der regelmäßigen mechanischen Zerstörung weitgehend gelöst werden. Zum Auslesen der Transponder soll ein RFID-fähiges Handheld zum Einsatz kommen, welches idealerweise die Aufgaben des derzeit eingesetzten Gerätes übernehmen kann. Um die Übergabebelege drucken zu können, soll ein mobiler Thermodrucker zum Einsatz kommen, wenn möglich die bereits vorhandenen des manuellen Systems. Ursprünglich wollte man, durch den Einsatz von je einem zusätzlichen Transponder pro Temperaturzone, in der Umgebung der Verdampfer, auch die gesetzlichen Auflagen erfüllen um sich zukünftig die derzeitigen, teuren Aufzeichnungsgeräte gänzlich sparen zu können. Diese Idee ließ sich allerdings, unabhängig aller gesetzlichen Rahmenbedingungen, nicht umsetzen da der Kühlaggregate-Hersteller sofort erklärte ohne Aufzeichnungsgeräte auch keine Wartungsverträge für seine Geräte anbieten zu können, da durch jene Systeme nicht nur Temperatur sondern auch Gerätedaten aufgezeichnet würden, welche für die Wartung essentiell seien.

Zusammenfassend sollten also folgende geforderte Funktionalitäten erfüllt werden:

- Aufzeichnung aller erforderlichen Temperaturdaten um gesetzliche Anforderungen und gruppeninterne Richtlinien zu erfüllen - soweit möglich
- Möglichkeit den letzten Temperaturwert vor dem Abladen der Ware beim Restaurant auf einem Übergabebeleg auszudrucken
- Sicherstellung, dass die Transponder zuverlässig aufzeichnen (keine Möglichkeit des Vergessens der Aktivierung durch den Fahrer)
- einfache Handhabung und bestmögliche Entlastung des Fahrers
- Verwalten von Stammdaten (Messort, Fahrzeug-Kennung, Kühlzone) auf den Transpondern zur eindeutigen Zuordenbarkeit zum Fahrzeug (vorkonfiguriert - durch den Fahrer nicht veränderbar)
- Konfigurierbarkeit des Messintervalls (vorkonfiguriert: z.B. 5/10/15min - durch den Fahrer nicht veränderbar)
- automatische Synchronisierung und Daten-Upload von den Handhelds an das Archivierungssystem via WLAN

Da das System während einer Pilotphase auf 2 LKW erprobt werden sollte, war während dieser Zeit ein Parallelbetrieb zum bisherigen System vorgesehen. Für die Archivierung der Temperaturdaten war ein einfacher Client-PC mit eigener lokaler Datenbank geplant, der den Abruf der Daten mit einer Webbrowser-Applikation im Intranet ermöglicht.

- sichere Archivierung der aufgezeichneten Temperaturdaten auf dem Client-PC
- effiziente Such- und Selektionsmöglichkeit der archivierten Datensätze (nach Zeitfenster, Fahrzeug, Transponder)
- einfache Reporting-Funktionalität mittels tabellarischer und graphischer Ausgabe der Temperaturdaten (Vergleichsmöglichkeit mehrerer Transponder durch Überlagerung)
- einfache Daten-Exportfunktionalität mittels CSV Datei

## 4.2 Systemdesign

### Funktionsweise des Systems

Die für die gesetzlich vorgeschriebene Temperaturoaufzeichnung vorgesehenen Transponder, je einer pro Verdampfer, werden an den entsprechenden Messpunkten fest montiert und derart konfiguriert, dass sie durchgehend, in definierbarem Zeitintervall, die Temperatur aufzeichnen. Die Positionen müssen derart gewählt werden, dass die Transponder zum Auslesen mit dem Handheld durch den Fahrer erreichbar sind. Zusätzlich werden die Positionen auch im User-Memory der Transponder hinterlegt. Das Auslesen der Temperaturdaten durch den Fahrer soll periodisch, am Ende des Tages/der Tour, durchgeführt werden und durch die Handheld-Software Schritt für Schritt begleitet werden. Abschließend initiiert der Fahrer, sobald sich der Handheld im Bereich des verfügbaren WLAN befindet, beispielsweise beim Einstecken in die Ladestation, die automatische Übertragung der Messdaten an den Archivierungs-PC. Der Zugriff auf diese Daten zu Auswertungs- und Weiterverarbeitungszwecken soll über eine Webbrowser-Anwendung zur Verfügung gestellt werden. Die mittels zweckmäßiger Abfragefunktionalität ausgewählten Datensätze werden graphisch und tabellarisch aufbereitet, wobei es auch möglich sein soll zu Vergleichszwecken mehrere Temperaturkurven übereinander zu legen. Die Transponder zur Überwachung der Produkttemperatur werden ebenfalls, mit Spiralkabel oder ähnlicher Befestigung fest im Frachtraum, zwei pro Temperaturzone, montiert und die Position im User-Memory gespeichert. Um zu verhindern, dass möglicherweise auf die Aktivierung der Transponder vergessen wird, werden auch diese durchgehend, in einstellbarem Intervall die Temperatur aufzeichnen. Vor dem Ausladen der Ware entnimmt der Fahrer den Transponder und liest mit dem Handheld den zuletzt gemessenen Wert aus. (optional: je nach Intervall z.B. die letzten 5 Mess-/Zeitwertpaare, aus denen er einen wählen kann) Zum Nachweis der korrekten Temperatur gegenüber dem Restaurant wird dieser Wert oder wahlweise der Wert des zweiten Transponders der jeweiligen Temperaturzone mit dem mobilen Belegdrucker ausgedruckt. Die Verbindung zwischen Handheld und Belegdrucker soll mittels Bluetooth automatisch hergestellt werden. Das Auslesen zum Zweck der Archivierung der Temperaturdaten erfolgt analog zu den anderen Transpondern, wie bereits beschrieben.

Abbildung 4.1 zeigt die Systemtopologie des ursprünglich geplanten Systems.

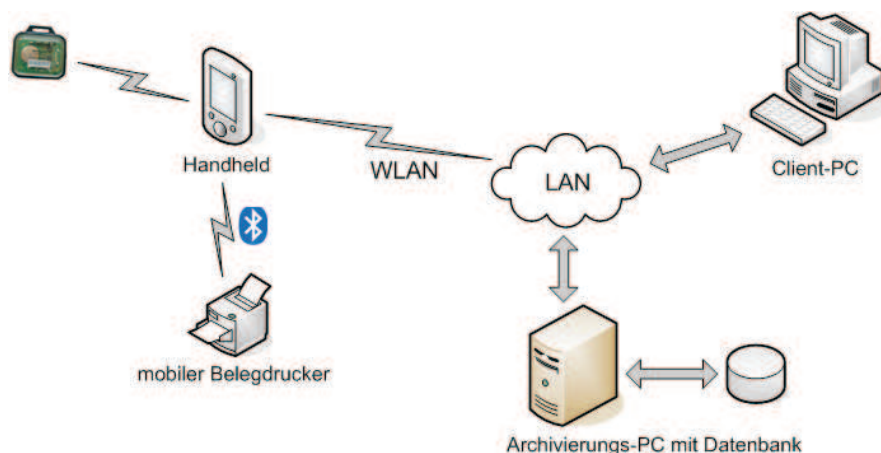


Abbildung 4.1: Systemtopologie Temperaturmonitoring-Lösung

### 4.3 Implementierung

Als das noch zu lösende Hauptproblem bei der Implementierung galt, dass der SEAGsens Transponder anders als die Mehrheit der am Markt befindlichen ISO15693 Transponder nicht FSK sondern das ASK-Modulationsverfahren nutzt. Alle bei Siemens bisher bereits vorhandenen Softwarelösungen mit dem SEAGsens waren mit FEIG Desktopreadern bzw. in der Firmware gleichen Siemens Moby D12 Readern realisiert worden. Ein Auslesen mit einem mobilen Handheld galt zu jenem Zeitpunkt als wünschenswert aber ohne grundlegende Firmwareänderungen auf die FSK-Modulation nicht machbar. Damals standen mir mit MicroSensys iID2000 und TagSys Medio S002 Readermodulen und SDiD1020 SDIO-Slot Reader drei verschiedene HF-Reader zur Verfügung, die es in punkto erforderlicher Konfigurierbarkeit zu untersuchen galt. Die nachfolgende Recherche ergab, dass der SDIO-Reader streng nach ISO-Standard arbeitet und so gut wie gar keine Konfigurationsmöglichkeiten bietet. Das MicroSensys-Readermodul bietet zwar mehr Konfigurationsmöglichkeiten, bezüglich einer Umstellung des Modulationsverfahren konnte ich den in den verfügbaren Unterlagen allerdings nichts Konkretes finden. Auch im Datenblatt des TagSys-Readers ist kein Hinweis auf eine derartige Möglichkeit vorhanden. Da letztere zwei die einzigen beiden HF-Readermodule sind, die für die bei Siemens hauptsächlich eingesetzten Psion Workabout PRO G2 Geräte verfügbar sind und auch die Suche nach weiteren SDIO-Readern nichts Konkretes ergab schien die interne Meinung der Abteilung, dass der SEAGsens Transponder mit einem Handheld nicht lesbar sei, vorerst bestätigt. Die Suche nach Alternativen im Internet gestaltete sich schwierig, da meist nur die Konformität mit dem ISO15693 HF-Standard angegeben wird. Erst beim erneuten Durchblättern der äußerst spärlich dokumentierten API des TagSys Readermoduls, aus ganz anderem Grund, bin ich auf einen Befehl gestoßen, der sich letztlich nach einigen Versuchen als der Entscheidende herausgestellt hat. In jenem Konfigurationsregister lässt sich der Reader in den OOK-Modus - eine sehr einfache Form der ASK Modulation - schalten, mit dem der SEAGsens Transponder allerdings funktioniert.

Damit war das Problem des Auslesens grundsätzlich gelöst. Um das in der Abteilung bereits bestehende und von der zu Grunde liegenden Idee, welche im Folgenden kurz vorgestellt werden soll, sehr gute Programmierframework auch für diesen Prototypen und zukünftige Applikationen mit dieser Reader-Transponder-Kombination einsetzen zu können, bedurfte es einiger Änderungen und die Ergänzung jener Konfigurationsparameter im TagSysRWDevice Modul und der zugehörigen XML-Konfigurationsdatei. Ebenso mussten einige Fehler korrigiert werden, welche erst durch diese Reader-Konfiguration in Erscheinung getreten sind. Abbildung 4.2 zeigt schematisch den Aufbau des RFID-Frameworks welchem die Idee zu Grunde liegt, sowohl unterschiedliche Reader-Hardware als auch die einzelnen Transponder auf einige wenige Grundtypen zu abstrahieren um sie möglichst einheitlich verwenden zu können. Durch die modulare Kapselung können neue Geräte oder Transponder einfach durch zusätzliche Module/Klassen hinzugefügt werden. Der Vorteil besteht neben der einfachen Erweiterung also in erster Linie darin, dass man beispielsweise jeden Reader durch das einheitliche Interface gleich ansprechen kann und sich nicht, bzw. eben nur einmalig, bei der Einbindung des betreffenden Moduls, um die konkrete, hardware-spezifische, von Reader zu Reader unterschiedliche Umsetzung in den Treiber APIs auseinandersetzen muss. Wie sich später herausgestellt hat bedurfte auch das bestehende SEAGsens Modul des Frameworks noch einiger Ergänzungen, da hier nicht alle Funktionen, die die Firmware bietet auch tatsächlich ins Framework umgesetzt worden sind.

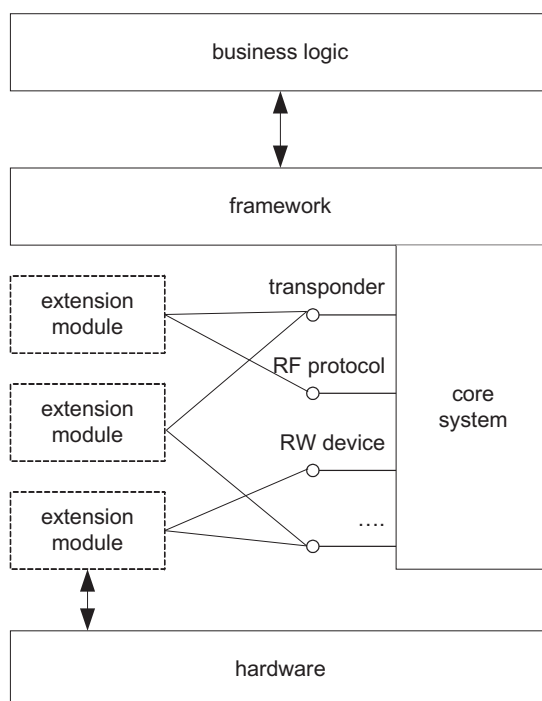


Abbildung 4.2: Schematische Übersicht des RFID-Framework

Betreffend der Wünsche die uns Seitens unseres Testpartners entgegengebracht wurden, bedeutete dies allerdings, dass sowohl deren aktuelle Handheldgeräte, welche nur durch einen SDIO-

Reader erweiterbar gewesen wären, als auch deren bestehende Drucker, aufgrund der Tatsache, dass der Psion Workabout Pro G2 über keine IR-Schnittstelle verfügt nicht weiterverwendet werden hätten können.

Eine weitere Hürde bei der Implementierung der Handheld-Applikation stellte vor allem die Limitiertheit des .NET Compact Frameworks hinsichtlich der verfügbaren User Interface Design Elemente dar. So gibt es standardmäßig zum Beispiel keine Möglichkeit Buttons mit Bildern zu versehen. Um das Ziel, eine möglichst einfache und soweit als möglich ohne Eingabestift bedienbare Benutzeroberfläche zu entwerfen, welche auch LKW-Fahrern gerecht wird, zu erreichen, musste zuerst eine eigene Bibliothek mit GUI-Elemente entwickelt werden.

Abbildung 4.3 zeigt ein paar Screenshots der Handheld-Benutzeroberfläche, wobei im Bereich der Konfiguration eine Bedienung ohne Stift aufgrund der geringen Displaygröße nicht vollständig realisierbar war.

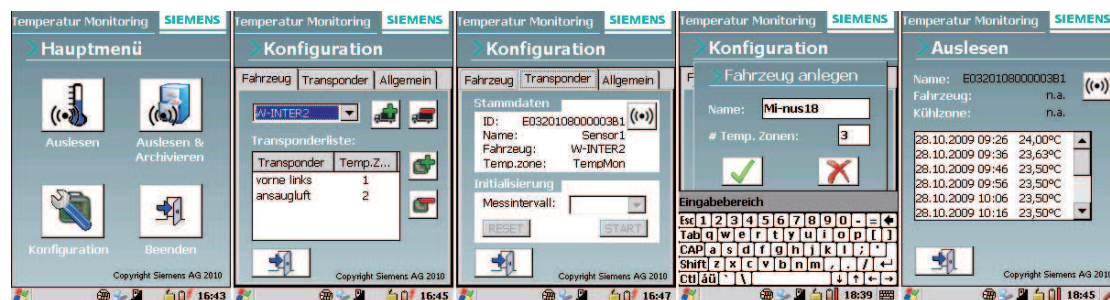


Abbildung 4.3: Screenshots der Handheld-Applikation

#### 4.4 Weitere Schritte zur Produktreife

Um den aktuellen Prototypen soweit marktreif zu bekommen, wie mit dem österreichischen Vertrieb des Kühlaggregate-Herstellers besprochen, ist zumindest die Archivierungsfunktion vollständig auszuimplementieren und ein geeignetes Datenformat zu definieren, welches in CSV-Datei gespeichert durch andere Programme (MS Office, DB-Applikation,...) importiert werden kann. Bezüglich der Synchronisierung wurde angedacht diese anstatt über WLAN mittels der Dockingstation und MS ActiveSync durchzuführen. Diese Vereinfachung wäre in erster Linie deshalb vorgesehen, um das System als „Out of the Box“-Lösung, ohne großen Installationsaufwand und Support vertreiben zu können. Die Anbindung eines mobilen Thermodruckers welche über Bluetooth erfolgen müsste, war als optionales Paket im Gespräch. Hierfür ist allerdings noch abzuklären wie die Auswahl und Darstellung der auszudruckenden Werte tatsächlich erfolgen soll. Ein geeigneter Drucker für eine Beispielimplementierung wurde mit dem Bixxolon SPP-R200 bereits ausgewählt und vorgeschlagen. Abbildung 4.4 zeigt die Systemtopologie dieser vereinfachten Version.

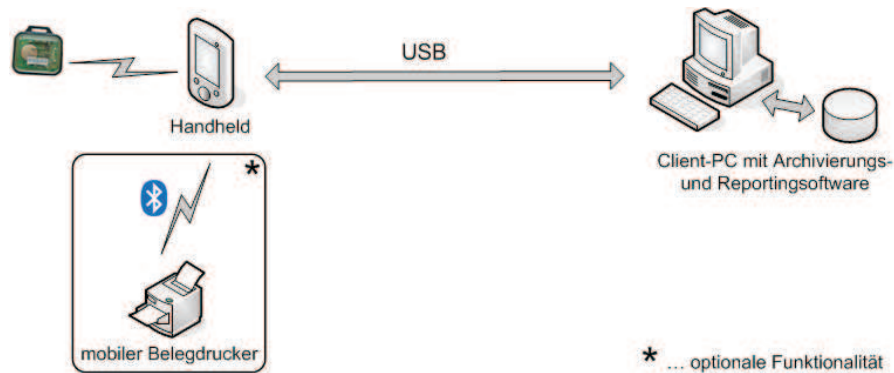


Abbildung 4.4: Vereinfachte Systemtopologie Temperaturmonitoring-Lösung

Weitere denkbare Features wären die ursprünglich für unseren Testpartner geplante Synchronisation über WLAN, oder das Hinzufügen eines Barcode-Scanners und inkludieren einer ganzheitlichen Logistiklösung. Auch wäre es vorstellbar zumindest das Übergabeprotokoll durch digitale Unterschriften wie beispielsweise bei Paketservice Dienstleister State of the Art zu ergänzen. Da von Seiten unseres Testpartners allerdings keine Bereitschaft für additive Ausgaben vorhanden war, konnte das Projekt aus Kostengründen nicht vollständig realisiert werden.



Abbildung 4.5: Set Temperaturmonitoring-Lösung

# Weitere Anwendungsmöglichkeiten für RFID-Technologie im Condition Monitoring

Da der Titel dieser Arbeit „Condition-Monitoring in der Logistik mittels RFID“ lautet sollen in diesem Kapitel auch noch kurz weitere Einsatzgebiete und zu überwachende Zustands- und Umgebungsvariablen aufgezeigt werden, wo bereits RFID zum Einsatz kommt oder ein Einsatz auf Grund der Anforderungen sinnvoll erscheint. Viele der erwähnten Beispiele stammen aus dem wissenschaftlichen Umfeld und befinden sich daher aktuell noch in Erforschungs- und Prototypenstatus.

## 5.1 Hochtemperaturanwendungen

Hochtemperaturanwendungen sind zum Beispiel in der metallverarbeitenden Industrie von großem Interesse. Ein konkretes Beispiel ist dabei der Transport von flüssigem Aluminium vom Recycling- oder Erzeugerwerk zum Gusswerk. Dabei wird das Aluminium mit Temperaturen von ca. 800°C in den Schmelztiegeln auf LKW geladen und ins kilometerweit entfernte Gusswerk gefahren. Die Schwierigkeit dabei ist das Aluminium in noch gießfähigem Zustand abzuliefern um es nicht vor dem Gießen noch einmal erneut, unter Einsatz großer Energie wieder auf die erforderliche Temperatur bringen zu müssen. Daher ist es von Seiten der Beteiligten wünschenswert den Temperaturverlauf während des Transports so genau als möglich zu kennen um gegebenenfalls, bei zu starker Abkühlung, bereits heißer zu verladen.

Abbildung 5.1 zeigt einen solchen mit den Aluminium-Tiegeln beladenen Transporter.



Abbildung 5.1: Aluminium Tiegel auf LKW (Quelle: [52])

Aus einer konkreten Anfrage eines derartigen Unternehmens sind mir folgende Anforderungen an ein solches System bekannt:

- Messbereich des Transponders: 500-900°C bei  $\pm 5^\circ\text{C}$
- Messrate: 15 Minuten
- Lesereichweite: mindestens 3 Meter
- Lesevorgang während der Verwiegung + Anfahrtszeit (ca. 0,5-1 Sekunde), ca. 12 Lesevorgänge pro Tag
- Transponder muss 3 Sensoren, Thermoelemente (Schamottierung, Tiegelwand, Produkttemperatur) bedienen können
- europäische Funkzulassung
- Transponder-Lebensdauer mindestens 1 Jahr
- Speicherbedarf am Transponder für: ID, Aufheiztemperatur, Materialbezeichnung, Chargennummer, Bruttogewicht, und ein weiterer Gewichtswert
- Anbindung an bestehendes MES-System

Nach ausführlicher Recherche mussten wir feststellen, dass keine geeigneten Transponder für diese Temperaturbereiche am Markt verfügbar sind. Zusätzlich zu einer unternehmensübergreifenden Softwarelösung müssten also auch erst geeignete Transponder entwickelt werden. Aus der Tatsache heraus, dass die Temperaturen an 3 Messpunkten überwacht werden müssen, wurde konzeptionell beschlossen pro Tiegel nur einen einzelnen aktiven Transponder mit ausreichend starkem Mikrocontroller zu verwenden und die Temperaturmessung selbst mit bewährten Thermoelementen durchzuführen, die kabelgebunden an die Eingänge des  $\mu\text{C}$  angebinden werden. Der Transponder selbst sollte an geeigneter Stelle, soweit wie möglich temperaturschirmt



montiert werden und müsste dadurch nur Temperaturen bis ca. 80°C aushalten können. Ein vorangegangenes Projekt mit Siemens RF620T UHF-Transponder zeigte, dass eine solche Anbringung technisch machbar ist. Um der Anforderung gerecht zu werden, die Temperaturdaten in relativ kurzer Zeit, während des Abwiegens, auslesen zu können und auch der Vereinfachung dieses Vorganges durch die größere Lesereichweite wurde entschieden statt UHF auf eine 2.4 GHz Lösung, aufbauend auf einer bereits verfügbaren Neuentwicklung von Siemens CT zurückzugreifen. Die Softwarelösung war im Endausbau als verteiltes System vorgesehen wo alle Temperaturdaten, unabhängig davon wo sie ausgelesen werden (Recyclingwerk, Gusswerk,...), in eine zentrale Datenbank eingespielt und den Beteiligten rollenbezogen, je nach Berechtigung über eine Web-Applikation zur Verfügung gestellt werden. Weiters waren geeignete Schnittstellen für die geforderte Anbindung an das bestehende MES-System definiert worden. Letztlich konnte das Projekt aber aus Kostengründen nicht realisiert werden, wobei speziell die Entwicklung und Serienreifmachung der Hardware in Kleinserie den Hauptanteil der Kosten ausgemacht hätte.

## 5.2 Luftfeuchtigkeit

Ein interessantes Anwendungsbeispiel für Luftfeuchtigkeit-Sensorik ist ein Prototyp-Projekt, dass die U.S. Navy bereits 2004 mit dem Georgia Institute of Technology durchgeführt hat [39]. Konkreter Anlass dafür war, dass eine Navy Supporteinheit der V-22 Osprey Flotte beim Öffnen von Ersatzteilcontainern darin größere Wasserlacken und in Folge dessen bereits schwere Korrosionsschäden an einem ursprünglich neuen Motor und weiteren Ersatzteilen entdeckte, welche dann selbst teuer wieder in Stand gesetzt werden mussten. Folglich wurde festgelegt, dass alle Container mit teuren Ersatzteilen und Motoren, an Land alle 28 Tage und auf See 14tägig überprüft werden müssen. Auf der Suche nach einer automatisierten, kostengünstigeren Monitoringlösung entwickelte man dann ein „aktives RFID-System“, das in der Funktionsweise dem bereits vorgestellten CartaSense System gleicht. Man setzt dabei ebenfalls auf untereinander vernetzte Datenfunktransponder die ihre Messwerte von Temperatur, Luftfeuchtigkeit und Luftdruck an eine zentrale Lesestation senden. Wobei aus militärischen Gründen die Datenübertragung der Transponder ausschließlich durch einen vom zentralen Reader ausgesendeten Sicherheitscode initiiert werden kann. Auf diese Weise werden in der Regel 6 Berichte pro Tag erstellt, wodurch die Batterie eines Transponders ungefähr 2 Jahre hält. Über einen etwaigen großflächigen Einsatz dieses Systems konnte nichts in Erfahrung gebracht werden.

## 5.3 Erschütterungen

Gemessen an dem großen Angebot an mechanischen Markerlabels, ist Erschütterungsdetektion in der Transport-Logistik durchaus von Relevanz. Anwendungsbeispiele findet man beispielsweise beim Transport von sensiblen Reagenzien und Ampullen in der Pharmaindustrie. Dennoch konnte ich selbst nach ausführlicher Recherche keine Hardware finden, die für den Einsatz während des Transports geeignet wäre.

Mit dem Zomofi System des Schweizer Anbieters Albis Technology findet man allerdings ein

gutes Beispiel wie solche Transponder zumindest in der Lagerlogistik eingesetzt werden können. Das System arbeitet im 2.4GHz Frequenzbereich und besteht aus einem Reader der in Größe und Form einem WLAN AccessPoint ähnlich ist, und verschiedenen bewegungssensitiven Transpondern. Aktuell gibt es 5 verschiedene Transponder die bei unterschiedlicher Beschleunigung auslösen und sich dann unverzüglich beim Lesegerät melden. Die folgende Tabelle 5.1 zeigt die unterschiedliche Empfindlichkeit dieser Transponder.

Sensitivität	Impuls Frequenz [Hz]	Amplitude z-Achse[g]	Amplitude x-Achse[g]	Amplitude y-Achse [g]
	2060k	0.379	3.790	3.790
	654k	0.120	1.200	1.200
	211k	0.039	0.390	0.390
	107k	0.019	0.190	0.190
	83k	0.015	0.150	0.150

Tabelle 5.1: Motion-Transponder Zomofi



Abbildung 5.2: Zomofi Reader und Motion-Transponder (Quelle: [3])

In einer konkreten Anwendung wird dieses Systems auch zur Diebstahlsüberwachung eingesetzt, wo sofort Alarm ausgelöst wird falls mit solchen Transponder ausgestattete Produkte beispielsweise außerhalb der Betriebs und Arbeitszeiten bewegt werden. Obwohl der Reader grundsätzlich mit Batterien betreibbar wäre, erscheint ein Einsatz direkt im Transport auf Grund der erforderlichen Infrastruktur, LAN und des benötigten PCs dennoch schwierig.

## 5.4 Bakterienbefall

Ein RFID Sensor-Transponder zur Detektion von Bakterienbefall ist ein interessanter Anwendungsfall zur Überwachung der Lebensmittelsicherheit, der bisher allerdings noch auf universitäre Forschung beschränkt ist. [35] beschreibt das Auburn University Detection and Food Safety (AUDFS) Projekt an der Universität Auburn, wo speziell an einem Sensor zur Erkennung von Pathogenen wie Salmonella und Coli Bakterien gearbeitet wird. Das Paper beschreibt allerdings in erster Linie die Realisierung der zu Grunde liegenden RFID-Hardware, wobei der Transponder als passiver HF-Transponder, im 13,56MHz Frequenzbereich realisiert werden soll. Eine

Aktivierung des Sensors und somit Messung des Bakterienbefalls ist also nur zum Zeitpunkt des Lesens, wo der Transponder durch das Feld des Readers mit Energie versorgt wird möglich. Auf den Sensor geht diese Publikation leider kaum ein, den wenigen Informationen bezüglich des Aufbaus zu Folge dürfte es sich funktionstechnisch um einen biogenen Sensor handeln, wo mikroskopische Strukturen durch Bakteriophagen oder andere Pathogene bindenden Viren überzogen werden, welche im Fall, dass sich solche an dieser Hülle anlagern Signale abgeben.

In [51] ist untenstehende Abbildung des Sensors zu finden, welche wohl einen ersten Eindruck von der Größe vermitteln soll. Wie weit die Realisierung dieses Sensortransponders mittlerweile fortgeschritten ist geht selbst aus der Projektwebseite der Universität Auburn ([5]) nicht hervor. Dass die letzte wissenschaftliche Publikation allerdings aus dem Jahr 2003 stammt und seitdem auch keine kommerzielle Umsetzung einer solchen Lösung bekannt geworden ist, deutet darauf hin, dass diese Bemühungen entweder bereits eingestellt worden, oder zumindest noch sehr weit von einer Serienreife entfernt sind.

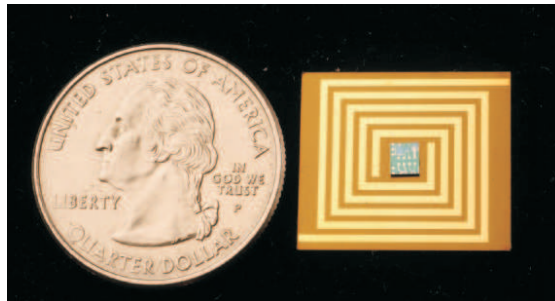


Abbildung 5.3: Sensortransponder zur Detektion von Salmonellen (Quelle: [51])

## 5.5 Drucksensor

RFID-Transponder mit Drucksensorik werden bereits seit mehreren Jahren erfolgreich zur Reifendrucküberwachung in der Automobilbranche eingesetzt. Die Systeme die dabei zum Einsatz kommen unterscheiden sich zwar je nach Hersteller ein wenig in der konkreten Ausführung, die meisten bedienen sich aber heute noch batteriegestützter Sensor-Transponder, welche sowohl Druck als auch Temperatur messen können und zumeist am hinteren Ende des Ventils angebracht werden. Bei der Mehrheit der Systeme kommt aus Kostengründen nur mehr eine Antenne, im Bereich der Heckscheibe zum Einsatz, lediglich höherpreisige Fahrzeugmodelle werden noch mit 4 Antennen, jeweils im Radkasten ausgestattet, was auf Grund der kürzeren Distanz und der dadurch geringeren benötigten Sendeleistung auch längere Batterielebenszeiten garantiert ([41]). Mit wenigen Ausnahmen arbeiten diese Systeme alle im UHF Frequenzbereich von 315MHz oder 433MHz, die eingesetzten Übertragungsprotokolle sind herstellerabhängig und proprietär. Um zu verhindern, dass das Systeme die Messwerte „fremder Reifen“ erfasst, müssen die ID's der montierten Reifen dem System initial bekanntgegeben werden. Wissenschaftliche Publikationen zeigen, dass derzeit intensiv an der Entwicklung batterieloser Transponder gearbeitet wird, wobei man hier unterschiedliche Ansätze verfolgt. Neben der Idee

die Energie piezoelektrisch durch die Beschleunigungskräfte des Reifens direkt im Transponder zu generieren ([26]) versucht man auch Sensor-Transponder zu bauen, die mit der induktiven bzw. elektromagnetischen Kopplung des RFID Feld das Auslangen finden. Ein solcher Ansatz im 13,56MHz Frequenzbereich wird in [32] beschrieben.

## Zusammenfassung und Ausblick

Einer der wichtigsten Gründe für die schleppende Verbreitung von RFID-Temperaturmonitoring Systemen, ist abseits der erläuterten technischen Hürden, mit deren Abbau allerdings aufgrund der intensiven Forschung in diesem Bereich zum Großteil in absehbarer Zeit gerechnet werden kann, die fehlende Bereitschaft der Logistikunternehmen Investitionen in Systeme zu tätigen, welche neben den positiven Aspekten, wie z.B. Effizienzsteigerung, bessere Dokumentation, einfachere Qualitätssicherungsmaßnahmen et c., auch bestehende Probleme aufzeigen und ihren Ausschuss steigern würden. Solange von Seiten der Gesetzgebung bzw. der produzierenden Industrie keine restriktiveren Anforderungen verlangt werden, wird es hier voraussichtlich zu keiner Änderung dieser Tatsache kommen. Ist der Messort nicht explizit gesetzlich oder durch Interessenverbände genau vorgegeben, werden daher die Temperaturen derzeit zumeist an jenen Stellen im LKW gemessen, wo mit höchster Wahrscheinlichkeit ein befriedigendes Resultat zu erwarten ist.

Wie in Kapitel 3 geschildert, ist die Temperaturverteilung im LKW in hohem Maße von der Beladung und im Falle von zwischenzeitlicher Be-/Entladung auch von der Wärmekapazität der Ware abhängig. Wie unsere Feldversuche gezeigt haben, können, trotz der Erfüllung aller Richtlinien, mit den heutigen Kühlketten-Überwachungstechniken Qualitätsbeeinträchtigungen der Produkte nicht immer festgestellt werden. Ein Einsatz mehrerer RFID-Sensoriktransponder könnte hier zumindest aufzeigen welche Teile der Ware durch diesen Einfluss mehr bzw. weniger oder auch gar nicht in ihrer Qualität beeinträchtigt worden sind.

Die heute im Feld befindlichen und umgesetzten Projekte decken nur einen Teil der gesamten Supply-Chain ab und sind als Closed-Loop zu betrachten. Um Open-Loop Projekte verstärkt ins Feld zu rufen müssten die RFID-Transponder standardisiert und ein Poolbetreiber die Verwaltung der Transponder über ein Einsatzsystem im Feld übernehmen. Bezüglich der Standardisierung gibt es bereits erste Vorschläge und Entwürfe von GS1 (siehe [20] und [19]) um hier einheitliche Datenstrukturen und Schnittstellen-Definitionen zu schaffen.

In den folgenden Jahren erwarten wir mit der Verbreitung von Polymer-RFIDs (druckbare RFID-Transponder) einen verstärkten flächendeckenden Einsatz in der Supply-Chain wodurch auch die benötigte Infrastruktur im Feld geschaffen wird. Mit dem rasanten Fortschritt dieser Tech-

nik wird auch der nächste Schritt zur druckbaren Sensorik nur eine Frage einiger Jahre sein. Für detaillierte Information zu diesem Thema sei auf Kapitel 18 in [6] verwiesen. Speziell die Kostenproblematik heutiger Sensortransponder wäre damit weitgehend gelöst, womit auch der Einsatz für Open-Loop Anwendungen rentabel werden würde.

Gelänge es zukünftig solche Sensor-Transponder direkt auf die Verpackungen der Produkte zu drucken würde es erstmals möglich sein die vollständige Kühlkette, unterbrechungsfrei von der Produktion bis in den heimischen Kühlschrank des Endverbrauchers nachvollziehen zu können und somit die Qualität erheblich zu steigern.

# Literaturverzeichnis

- [1] 3M. [http://solutions.3mdeutschland.de/wps/portal/3M/de\\_DE/Microbiology\\_Europe/FoodSafety/product-applications/six/](http://solutions.3mdeutschland.de/wps/portal/3M/de_DE/Microbiology_Europe/FoodSafety/product-applications/six/). abgerufen am 18.08.2011.
- [2] AIM DEUTSCHLAND E.V.: *Der Einsatz von RFID-Technik Aspekte der RFID-Nutzung im industriellen Umfeld*. 2006.
- [3] ALBIS TECHNOLOGIES. [http://www.albistechnologies.com/products/zone\\_monitoring/index.php](http://www.albistechnologies.com/products/zone_monitoring/index.php). abgerufen am 18.08.2011.
- [4] Amadora, C. und J. Emond: *Evaluation of sensor readability and thermal relevance for RFID temperature tracking*. Computers and Electronics in Agriculture, 73:84–90, 2010.
- [5] AUBURN UNIVERSITY DETECTION AND FOOD SAFETY CENTER: *Projektwebsite*. <http://www.eng.auburn.edu/research/centers/audfs/research/implementation.html>. abgerufen am 18.08.2011.
- [6] Bartneck, N., V. Klaas und E. a. Holger Schönherr: *Prozesse optimieren mit RFID und Auto-ID*. Publicis Corporate Publishing, Erlangen, 2008.
- [7] BSI - BUNDESAMT FÜR SICHERHEIT IN DER INFORMATIONSTECHNIK: *Risiken und Chancen des Einsatzes von RFID-Systemen*, 2004.
- [8] BUNDESGESETZBLATT FÜR DIE REPUBLIK ÖSTERREICH: *Arzneimittelbetriebsordnung 2009 - AMBO 2009*. [www.ris.bka.gv.at](http://www.ris.bka.gv.at), 09 2008.
- [9] BUNDESMINISTERIUM FÜR GESUNDHEIT: *Lebensmittelsicherheit*. <http://www.bmg.gv.at/home/Schwerpunkte/VerbraucherInnengesundheit/Lebensmittel/>. abgerufen am 18.08.2011.
- [10] DACHSER INTELLIGENT LOGISTICS: *Informationslogistik*. [http://www.dachser.com/de/de/information\\_logistics.htm](http://www.dachser.com/de/de/information_logistics.htm). abgerufen am 25.11.2010.
- [11] DAS EUROPÄISCHE PARLAMENT UND DER RAT DER EUROPÄISCHEN UNION: *VERORDNUNG (EG) Nr. 853/2004 über Lebensmittelhygiene*. <http://eur-lex.europa.eu>, April 2004.

- [12] DAS EUROPÄISCHE PARLAMENT UND DER RAT DER EUROPÄISCHEN UNION: *VERORDNUNG (EG) Nr. 853/2004 mit spezifischen Hygienevorschriften für Lebensmittel tierischen Ursprungs*. <http://eur-lex.europa.eu>, April 2004.
- [13] DHL: *Der Megatrend als mögliche Revolution der Logistik*. <http://www.dhl-discoverlogistics.com/cms/de/course/technologies/connection/rfid.jsp>. abgerufen am 25.11.2010.
- [14] DIE KOMMISSION DER EUROPÄISCHEN GEMEINSCHAFTEN: *VERORDNUNG (EG) Nr. 37/2005 zur Überwachung der Temperaturen vontief gefrorenen Lebensmitteln in Beförderungsmitteln sowie Einlagerungs- und Lagereinrichtungen*. <http://eur-lex.europa.eu>, Jänner 2005.
- [15] EVIDENCIA SARL. <http://www.evidencia.com>. abgerufen am 18.08.2011.
- [16] Finkenzeller, K.: *RFID-Handbuch Grundlagen und praktische Anwendungen von Transpondern, kontaktlosen Chipkarten und NFC*. Carl Hanser Verlag München, 5. Aufl., 2008.
- [17] Fleisch, E. und F. Mattern: *Das Internet der Dinge - Ubiquitous Computing und RFID in der Praxis: Visionen, Technologien, Anwendungen, Handlungsanleitungen*. Springer Verlag, Berlin Heidelberg, 2005.
- [18] FRAUNHOFER IML: *D2.1 - market analysis consumption report*. Techn. Ber., RACE networkRFID, 2010.
- [19] GS1 EPCGLOBAL. <http://www.gs1.org/epcglobal>. abgerufen am 18.08.2011.
- [20] GS1 GERMANY: *EPC,RFID und Sensorik - Grundlageninformation*. Techn. Ber., GS1, 2009.
- [21] Heng, S.: *RFID-Funkchips - Vehikel für den effizienten Informationsaustausch*. Techn. Ber., Deutsche Bank Research, 2008.
- [22] Jedermann, R.: *RFID Temperature Sensors Improve Food Quality*. RFID Journal Live 2007 Conference, November 2007.
- [23] Jedermann, R. und W. Lang: *Semi-passive RFID and beyond: steps towards automated quality tracing in the food chain*. Radio Frequency Identification Technology and Applications, 1:247–259, 2007.
- [24] Jedermann, R. und W. Lang: *Technische Grenzen des Einsatzes von UHF Identifikationssystemen (RFID) im Lebensmittelbereich*. Techn. Ber., Universität Bremen, 2007.
- [25] Jedermann, R., L. Ruiz-Garcia und W. Lang: *Spatial temperature profiling by semi-passive RFID loggers for perishable food transportation*. Computers and Electronics in Agriculture, 65:145–154, 2009.
- [26] Kaya, T. und H. Koser: *A New Batteryless Active RFID System: Smart RFID*. Techn. Ber., Istanbul Technical University, Turkey, 2007.



- [27] Kern, C.: *Anwendung von RFID-Systemen*. Springer Verlag, Berlin - Heidelberg, 2. Aufl., 2007.
- [28] Krasner-Khait, B.: *The Impact of Refrigeration*. History Magazine, Feb./März, 2000.
- [29] Labuza, T. und T. Myers: *Cold Chain-Management II Time-temperature Integrators and the Cold chain: What is next?*. Presentation, 2006. Department of Food Science and Nutrition, University of Minnesota.
- [30] Landt, J.: *Shrouds of Time The history of RFID*. Techn. Ber., AIM Inc., 2001.
- [31] LASCAR ELECTRONICS LTD. <http://www.lascarelectronics.com/temperaturedatalogger.php?datalogger=102>. abgerufen am 18.08.2011.
- [32] Li, Y., L. Wu, C. Zhang und Z. Wang: *Power recovery circuit for Battery-less TPMS*. Techn. Ber., Tsinghua University, Beijing, China, 2007.
- [33] Miles, S.: *Introduction to RFID history and markets*. In: *RFID Technology and Applications*. Cambridge University Press, 2008.
- [34] Moureh, J. und D. Flick: *Airflow pattern and temperature distribution in a typical refrigerated truck configuration loaded with pallets*. International Journal of Refrigeration, 27:464–474, 2004.
- [35] Nambi, S., S. Nyalamadugu und S. M. Wentworth: *Radio Frequency Identification Sensors*. Techn. Ber., Auburn University, 2003.
- [36] Numero, J. A. und F. M. Jones: *US Patent Nr. 2303857, Air Conditioner for vehicles*, 1942.
- [37] PHARMIG und ARGE PHARMAZEUTIKA: *Codex für den Transport von Arzneimitteln in Österreich*, 2007.
- [38] Rhensius, T.: *Die Metastudie RFID*. In: *ident Jahrbuch 2009*, S. 86 ff. AIM Deutschland e.V., 2009. FIR RWTH-Aachen.
- [39] Roberti, M.: *Navy Revs Up RFID Sensors*. RFID-Journal, 2004.
- [40] Rodriguez-Bermejo, J., P. Barreiro, J. Robla und L. Ruiz-Garcia: *Thermal study of a transport container*. Journal of Food Engineering, 80:517–527, 2007.
- [41] Rouf, I., R. Miller und E. a. Hossen Mustafa: *Security and Privacy Vulnerabilities of In-Car Wireless Networks: A Tire Pressure Monitoring System Case Study*. Techn. Ber., Dept. of CSE, Univ. of South Carolina, USA, 2010.
- [42] Schmitt, P. und F. Michahelles: *Economic Impact of RFID Report*. Techn. Ber., Auto-ID Lab ETH Zürich/St. Gallen, 2008.
- [43] SENSITECH INC. <http://www.sensitech.com/products/TagAlert>. abgerufen am 18.08.2011.

- [44] Sutherland, J.: *US Patent Nr. 71423, Improved Refrigerator Car*, 1867.
- [45] TECHNISCHES KOMITEE CEN/TC 141: *EN 12830:1999 Temperaturregistriergeräte für den Transport die Lagerung und die Verteilung von gekühlten, gefrorenen und tiefgefrorenen Lebensmitteln und Eiskrem*, Oktober 1999.
- [46] TECHNISCHES KOMITEE CEN/TC 141: *EN 13485:2001 Thermometer zur Messung der Luft- und Produkttemperatur für den Transport, die Lagerung und die Verteilung von gekühlten, gefrorenen, tiefgefrorenen Lebensmittel und Eiskrem*, Februar 2002.
- [47] THERMO KING. <http://www.thermoking.com/aboutus/history/main.asp?yr=1930s>. abgerufen am 18.08.2011.
- [48] Tijssens, L. M. M., M. L. A. T. M. Hertog und B. M. Nicolai: *Food Process Modelling*. Woodhead Publishing Limited and CRC Press LLC, Cambridge, 2001.
- [49] TRANSPORT CONTROL INTERNATIONAL GMBH. <http://www.transportcontrol.de>. abgerufen am 18.08.2011.
- [50] Walk, E. und D. Büth: *RFID Standards 2010 Aktuelle Normen für das Warenflussmanagement*. In: *ident Jahrbuch 2010*. AiM-D e.V., 2010.
- [51] Want, R.: *Enabling Ubiquitous Sensing with RFID*. *Computer*, 37:84–86, 2004.
- [52] Weinländer, M.: *RFID optimiert die Produktions- und Lieferprozesse bei Gussaluminium*. *Giesserei*, 9, 2008.
- [53] ZENTRALVERBAND SPEDITION & LOGISTIK: *Wirtschaftskrise trifft nun auch die Spediteure*. [http://www.spediteure-logistik.at/Download/2009-07-02\\_Presseinformation.pdf](http://www.spediteure-logistik.at/Download/2009-07-02_Presseinformation.pdf), Juli 2009. abgerufen am 25.11.2010.