

## Abschlussbericht zum Projekt

# E! 5516 ITERA - Integrative Test- Methodik für RFID Anwendungen

der Technischen Hochschule Ingolstadt

Teilvorhaben: Test-Konzept für RFID Anwendungen

<b>Zuwendungsempfänger</b>	Technische Hochschule Ingolstadt Zentrum für Angewandte Forschung (ZAF) Esplanade 10 85049 Ingolstadt
<b>Projektpartner</b>	eMundo GmbH gmPharma
<b>Förderkennzeichen</b>	01QE1105B
<b>Projektleitung</b>	Prof. Dr. Christian Facchi ☎ 0841 / 9348 - 7410 ✉ christian.facchi@thi.de
<b>Projektlaufzeit</b>	01.02.2011 – 31.01.2014 (36 Monate)

## Inhaltsverzeichnis

A. Abbildungen .....	III
B. Tabellen .....	III
I Kurzdarstellung .....	1
1 Aufgabenstellung .....	1
2 Voraussetzungen, unter denen das Projekt durchgeführt wurde .....	2
3 Planung und Ablauf des Vorhabens.....	2
4 Anknüpfungspunkte in Wissenschaft und Technik .....	6
5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen .....	7
II Eingehende Darstellung .....	9
1 Verwendung der Zuwendung und erzielte Ergebnisse im Einzelnen .....	10
1.1 AP 1 Grundlagen ausarbeiten.....	11
1.2 AP 2 Entwurf einer ersten Testmethodik (deterministische Tests) .....	13
1.3 AP 3 Definition der virtuellen RFID-Geräte.....	14
1.4 AP 4 Erweiterung der Testmethodik.....	17
1.5 AP 5 Fallstudie ohne Systemtest .....	18
1.6 AP 6 Erweiterung der Testmethodologie inklusive Systemtest.....	20
1.7 AP 7 Fallstudie mit Systemtest .....	21
2 Erläuterungen der wichtigsten Positionen im zahlenmäßigen Nachweis .....	22
3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit.....	22
4 Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit des Ergebnisses.....	22
5 Fortschritte auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen .....	23
6 Geplante und erfolgte Veröffentlichungen im Rahmen des Vorhabens .....	23
III Literaturverzeichnis .....	25
C. Anhang .....	27
1 Verwendete Literatur.....	27

## A. Abbildungen

Abbildung 1 Geplanter Projektablauf des Forschungsvorhabens ITERA .....	3
Abbildung 2 Ablaufdiagramm Grobkonzept ITERA .....	14
Abbildung 3 Schematische Darstellung eines RFID Systems .....	15
Abbildung 4 Übersicht ITERA Methodik.....	17
Abbildung 5 Test-Harness mit virtueller Umgebung .....	19

## B. Tabellen

Tabelle 1 Übersicht Meilensteine mit Verantwortlichkeit .....	3
Tabelle 2 Teilarbeitspaket 1: Grundlagen ausarbeiten.....	4
Tabelle 3 Teilarbeitspaket 2: Entwurf einer ersten Testmethodik.....	4
Tabelle 4 Teilarbeitspaket 3: Definition der virtuellen RFID Geräte.....	4
Tabelle 5 Teilarbeitspaket 4: Erweiterung der Testmethodik.....	5
Tabelle 6 Teilarbeitspaket 5: Fallstudie ohne Systemtest .....	5
Tabelle 7 Teilarbeitspaket 6 : Erweiterung der Testmethodologie inklusive Systemtest.....	6
Tabelle 8 Teilarbeitspaket 7: Fallstudie mit Systemtest .....	6

# I Kurzdarstellung

## 1 Aufgabenstellung

RFID hat sich als Automatisierungstechnologie im Logistiksektor seit Jahren etabliert, um einerseits Qualität, Sicherheit und Transparenz von Prozessen zu verbessern und andererseits die Möglichkeit für Rationalisierung und Kostensenkung zu bieten.

- Eine Hürde für KMUs sind aber die hohen Implementierungskosten. Rund 50% der Kosten für Automatisierungssysteme, welche hier als Plattformtechnologie für RFID gesehen wird, entfallen auf die Software, Tendenz steigend. Außerdem entfallen wiederum 60% bis sogar 80% im Bereich der hochverfügbaren Softwaresysteme auf das Testen der Software.
- Es existieren Methodiken zum Testen von Automatisierungs-, Mechatroniksystemen und zum Testen von reinen Softwareapplikationen. Eine spezielle Testmethodik allerdings, die die Hard- und Software-Spezifika von RFID-Systemen berücksichtigt, existiert nicht.

Um den Unsicherheiten beim Testen von RFID-Anwendungen zu begegnen zielte das Forschungsvorhaben ITERA darauf ab, eine neue Methodik für das gezielte Testen derartiger Anwendungen zu entwickeln.

Dabei wurde im Projektverbund zunächst untersucht ob eine Integration von existierenden Techniken und Werkzeugen möglich ist und schließlich mit der Entwicklung einer Methodik zur Anwendung von generischen und reproduzierbaren Testszenarios für RFID-Anwendungen begonnen. Die Aufgabe der Technischen Hochschule Ingolstadt bestand im Besonderen darin, die wissenschaftliche Grundlage zu schaffen und anhand dieser eine Methodik und ein Konzept zum Testen von RFID Anwendungen zu entwickeln. Die aus dem Gesamtprojekt resultierende Methodik kann grob, wie folgt skizziert werden:

- Modultests für Softwarekomponenten, durchgeführt mit Hilfe von vorhandenen Frameworks wie JUnit oder NUnit.
- Integrationstest (Bottom-Up) für die verwendeten RFID-Hardwarekomponenten. Dient der Sicherstellung, dass die Funktion der Komponenten und Übertragungswege (Luftschnittstelle) gegeben ist.
- Hauptfokus sind Integrationstests (Top-Down), rein für Softwarekomponenten mithilfe der zuvor definierten, virtuellen RFID-Komponenten. Ziel der virtuellen Komponenten ist es, dem Entwickler der Anwendungssoftware ein Mittel an die Hand zu geben, mit dem er Testläufe ohne jegliche RFID- bezogene Hardware ausführen kann.
- Systemtest der vollständig aufgesetzten RFID-Systemumgebung.

Aus der entwickelnden Methodik entstehen eine Reihe von Vorteilen, wie der frühen Fehlererkennung, ein effizienterer Testvorgang, die Möglichkeit zur Anwendung agiler Entwicklungsmethoden, parallelisieren von Testphasen und der Anwendung von bewährten Methoden der Leistungsanalyse und Leistungsverbesserung. Diese Aspekte schlagen sich positiv auf die Softwarequalität, Entwicklungszeit und somit auch auf die Entwicklungskosten nieder.

## 2 Voraussetzungen, unter denen das Projekt durchgeführt wurde

eMundos Entscheidung ein in Konsortium mit gm pharma und der Technischen Hochschule zu bilden, basierte auf der mehrjährigen und erfolgreichen Zusammenarbeit zwischen den Projektpartnern in der Vergangenheit. Diese umfasste Forschung an Hochschulen, sowie auch kommerzielle Projekte, die in Verbindung mit einer konkreten Kundennachfrage von gm pharma zu Gründung des Konsortiums ITERA geführt haben.

Das Konsortium von ITERA basiert auf der Kombination des Know-hows der Forscher von der TH-Ingolstadt, einer der Top-Hochschulen für angewandte Wissenschaften in Deutschland, eMundo, einem deutschem Softwarehaus mit Know-how im Projektmanagement, sowie Software-Lösungsanbieter und Systemintegrator für KMU im Bereich der Automatisierungstechnik, Chemie-, Versicherungs-, Logistik- und Finanzdienstleistungen, und gm pharma, ein Großhandelsunternehmen für pharmazeutische Produkte in Österreich.

Die Rollen der Mitglieder im Forschungsvorhaben ITERA waren wie folgt verteilt:

- **Technische Hochschule Ingolstadt – Zentrum für angewandte Forschung**

Die Technische Hochschule bietet die wissenschaftliche Grundlage für die Testmethodik und erarbeitet das fachliche Konzept für die Methodik.

- **eMundo**

eMundo übernimmt die Rolle der Konsortialleitung, setzt die entwickelte Testmethodik um, implementiert die Toolchain und nutzt diese bei gmPharma.

- **gm pharma**

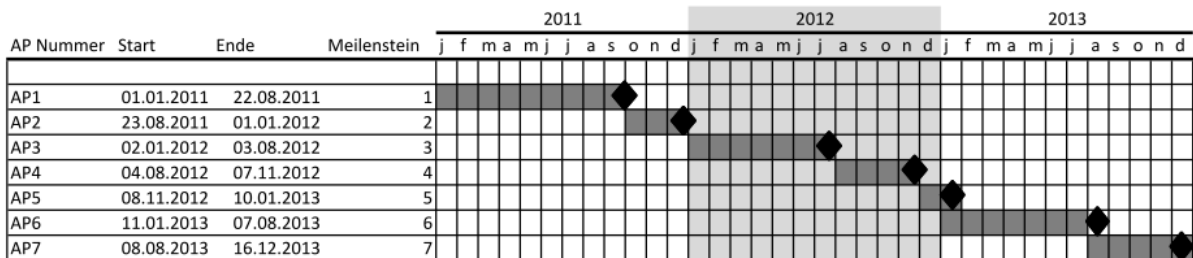
gm pharma unterstützt das Projekt mit Fachwissen und stellt unterschiedliche Testumgebungen, die für die Erarbeitung der Methodik erforderlich sind, bereit.

Die nötigen Voraussetzungen zur erfolgreichen Bearbeitung des Forschungsvorhabens waren somit bereits zu Projektbeginn durch die Kooperation mit den Projektpartnern gegeben. Alle Partner hatten bereits Erfahrung beim Testen von Software.

## 3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Kern des Teilvorhabens war die Entwicklung einer Testmethodik für RFID Anwendungen. Die grundlegenden Ansätze teilen sich dabei in 3 größere Phasen auf: Eruiieren des aktuel-

len Stands der Technik, Entwicklung einer Testmethodik, Validieren der gewonnenen Erkenntnisse. Das Vorhaben wurde daher zu Beginn des Projekts in 7 Arbeitspakete aufgeteilt. Der Zeitliche Ablauf ist in Abbildung 1 dargestellt.



**Abbildung 1 Geplanter Projektablauf des Forschungsvorhabens ITERA**

Um die Fortschritte während des Projektverlaufs zu kontrollieren und mögliche Abbruchkriterien zu identifizieren wurden vor Projektstart 7 Meilensteine definiert (siehe Tabelle 1).

**Tabelle 1 Übersicht Meilensteine mit Verantwortlichkeit**

Bez.	Beschreibung	Verantwortlicher
M1	Bericht State of the Art	Technische Hochschule Ingolstadt
M2	Entwurf einer ersten Testmethodologie	eMundo GmbH
M3	Definition virtueller RFID Geräte	Technische Hochschule Ingolstadt
M4	Erweiterung der Testmethodologie	Technische Hochschule Ingolstadt
M5	Fallstudie – 1	eMundo GmbH
M6	Erweiterung der Testmethodologie	Technische Hochschule Ingolstadt
M7	Fallstudie über die gesamte Testmethodik – 2. Validierung	eMundo GmbH

Diese Arbeitspakete wurden während des Projekts in kleinere Aufgabenteile untergliedert. Jeweils ein Projektpartner übernahm, entsprechend der Kompetenzen, die führende Rolle bei der Koordination der Arbeitsleistungen. Eine Übersicht der Teilarbeitspakete der Technischen Hochschule Ingolstadt bei der die Koordination der Bearbeitung übernommen wurde kann den nachfolgenden Tabellen 1-7 entnommen werden.

### Arbeitspaket 1

Ziel des ersten Arbeitspaketes war die Ermittlung RFID relevanter Themen, die den aktuellen Stand der Wissenschaft und Technik widerspiegeln. Diese dienen als Grundlage für das weitere methodisch, fachliche Vorgehen.

Eine Übersicht der Aufgaben, die innerhalb des Arbeitspaketes 1 von der Technischen Hochschule federführend bearbeitet wurden, können der Tabelle 2 entnommen werden.

**Tabelle 2 Teilarbeitspaket 1: Grundlagen ausarbeiten**

<b>AP 1 Grundlagen ausarbeiten</b>	
AP 1.1	Umfassende Recherche über RFID Entwicklungsumgebungen
AP 1.2	Ermittlung des Standes der Wissenschaft und Technik bzgl. der modellbasierten Spezifikation von RFID Testern für die Luftschnittstelle
AP 1.3	Bewertung und Einordnung von etablierten RFID Standards
AP 1.4	Recherche über Testmethoden für Software von eingebetteten Systemen

**Arbeitspaket 2**

Ziel des zweiten Arbeitspaketes ist die Ausarbeitung eines Grobkonzepts der Testmethodologie inklusive eines Testrahmens und der Testarchitektur. Zusätzlich soll Wissen und Erfahrung über die elementaren funktionsweisen der zum Einsatz kommenden Feldgeräte zu erlangt werden.

Eine Übersicht der Aufgaben, die innerhalb des Arbeitspaketes 2 von der Technischen Hochschule federführend bearbeitet wurden, können der Tabelle 3 entnommen werden.

**Tabelle 3 Teilarbeitspaket 2: Entwurf einer ersten Testmethodik**

<b>AP 2 Entwurf einer ersten Testmethodik</b>	
AP 2.3	Test der Luftschnittstelle und der RFID-Hardware mit Hilfe der Hardwarekomponenten.

**Arbeitspaket 3**

Ziel dieses Arbeitspaketes ist die Definition und Erstellung virtueller RFID Lesegeräte. Dabei sollen die verwendeten virtuellen Geräte die Feldkomponenten möglichst realistisch nachbilden. Voraussetzung ist die verhaltenstechnischen Aspekte von realen RFID Lesegeräten genau zu analysieren. Die erarbeiteten Ergebnisse dieser Untersuchung sollen sich anschließend in einer Beschreibungssprache niederschlagen.

Eine Übersicht der Aufgaben, die innerhalb des Arbeitspaketes 3 von der Technischen Hochschule federführend bearbeitet wurden, können der Tabelle 4 entnommen werden.

**Tabelle 4 Teilarbeitspaket 3: Definition der virtuellen RFID Geräte**

<b>AP 3 Definition der virtuellen RFID-Geräte</b>	
AP 3.1	Konzepterstellung: Einteilung der verschiedenen Abstraktionsebenen der virtuellen RFID-Geräte
AP 3.2	Modellierung der virtuellen RFID Lesegeräte

AP 3.4	Definition einer Beschreibungssprache für virtuelle RFID Lesegeräte
--------	---

#### **Arbeitspaket 4**

Ziel dieses Arbeitspaketes ist die Verfeinerung der zuvor spezifizierten Komponenten und die Entwicklung eines Gesamtkonzepts. Vorrangig ist eine Spezifikation eines Top-Down Integrationstests für jede Stufe der Softwareentwicklung. Diese basiert auf den zuvor definierten Modellen zur Beschreibung der RFID Testfällen. Die entwickelte Testmethodik ist in Abbildung 4 dargestellt.

Eine Übersicht der Aufgaben, die innerhalb des Arbeitspaketes 4 von der Technischen Hochschule federführend bearbeitet wurden, können der Tabelle 5 entnommen werden.

**Tabelle 5 Teilarbeitspaket 4: Erweiterung der Testmethodik**

<b>AP 4 Erweiterung der Testmethodik</b>	
AP 4.1	Konzept für die Integration / Entwicklung für das Testen von RFID Software
AP 4.2	Ausarbeitung der zuvor definierten Methode für niedrigere Abstraktionsebenen
AP 4.4	Anpassung / Verbesserung der Methodologie entsprechend den Ergebnissen

#### **Arbeitspaket 5**

Ziel dieses Arbeitspakets ist die Konzeption und Durchführung eines Erprobungsszenarios für die entwickelte Testmethodik. Dieses soll die Anwendbarkeit in der Praxis überprüfen und Schwachstellen aufdecken. Falls notwendig können die identifizierten Mängel anschließend beseitigt werden.

Eine Übersicht der Aufgaben die innerhalb des Arbeitspaketes 5 von der Technischen Hochschule federführend bearbeitet wurden können der Tabelle 6 entnommen werden.

**Tabelle 6 Teilarbeitspaket 5: Fallstudie ohne Systemtest**

<b>AP 5 Fallstudie ohne Systemtest</b>	
AP 5.1	Definition der Testarchitektur und Schnittstellen zu den virtuellen Lesegeräten

#### **Arbeitspaket 6**

Ziel dieses Arbeitspakets ist es die aus dem AP 5 gewonnenen Erkenntnisse als Erweiterung der aktuellen Testumgebung umzusetzen. Dies bezieht sich im Besonderen auf die Simulationsumgebung und die Beschreibungssprache für die Definition von Testszenarien. Zusätzlich sollen die Automatisierungssysteme an die Testumgebung angebunden werden.



Eine Übersicht der Aufgaben die innerhalb des Arbeitspaketes 5 von der Technischen Hochschule federführend bearbeitet wurden können der Tabelle 7 entnommen werden.

**Tabelle 7 Teilarbeitspaket 6 : Erweiterung der Testmethodologie inklusive Systemtest**

<b>AP 6 Erweiterung der Testmethodologie inklusive Systemtest</b>	
AP 6.1	Definition einer Simulationsumgebung für RFID-Tag Bewegungen
AP 6.2	Erweiterung der Beschreibungssprache für die Simulation der RFID Tag Bewegungen
AP 6.4	Entwurf und Entwicklung eines Konzepts für den Systemtest
AP 6.5	Definition einer Beschreibungssprache für den Systemtest

### **Arbeitspaket 7**

Ziel dieses Arbeitspakets ist die Definition geeigneter Messgrößen für die frühe Fehlererkennung. Mit Kennzahlen dieser Art, kann die Effizienz der zu Anwendung kommenden Methodik im weitesten Sinne gemessen werden. Darüber hinaus wurden Techniken erarbeitet werden, um die Systemdaten für spätere Regressionstestzwecke aufzuzeichnen.

Innerhalb des Arbeitspakets 7 hat die Technische Hochschule die Auswertung der Finalen Teststudie (Tabelle 8) unterstützt und die Ergebnisse der Projektpartner validiert.

**Tabelle 8 Teilarbeitspaket 7: Fallstudie mit Systemtest**

<b>AP 7 Fallstudie mit Systemtest</b>	
alle	Evaluation der Ergebnisse

### **Projektverlauf**

Aufgrund der späten finalen Genehmigung des Projekts ITERA und der damit verbundenen Erteilung der Zuwendungsbescheide wurde der laut Planung vorgesehene Projektbeginn von Januar 2011 auf Februar 2011, also um einen Monat verschoben. Jedoch konnte der weitere Projektverlauf, trotz der einmonatigen Verzögerung, während des Bearbeitungszeitraums von Februar 2011 bis Januar 2014 eingehalten werden. Eine wesentliche inhaltliche Änderung der einzelnen Meilensteine des ursprünglich geplanten Projektablaufs war daher nicht notwendig.

## **4 Anknüpfungspunkte in Wissenschaft und Technik**

Zu Beginn des Projekts wurden detaillierte Literaturrecherchen in den einzelnen Arbeitsschwerpunkten durchgeführt. Dabei wurden diverse wissenschaftliche Quellen berücksichtigt. Diese umfassen unter anderem den Bibliothekverbund Technische Hochschule Ingolstadt und Katholische Universität Eichstätt, IEEE Xplore, ACM, Google Scholar.

Ein Ergebnis der Literaturrecherche war, dass aufgrund der Relevanz der RFID-Technologie für viele Bereiche des Lebens der Themenbereich in der Forschung gut vertreten ist. Die vielfältigen Arbeiten beschäftigten sich dabei mit verschiedensten Aspekten von RFID-Systemen, z. B. wie die RFID-Funktionalitäten in verschiedene Service-Sets [1], eine Gruppierung der Dienste die ein RFID Lesegerät anbietet, eingeteilt werden können. Wie das Management und die Überwachung dieser Systeme aussehen könnte [2], wie die Luftschnittstelle getestet werden [3], oder wie die Störeffekte von anderen Funkquellen, bzw. Lesegeräten, untereinander abgestimmt werden können [4], aber auch, wie eine integrierte Entwicklungsumgebung die Anwendungsprogrammierung erleichtert [5]. Doch trotz der Tatsache, dass die RFID-Technologie in der Literatur seit 2000 untersucht wird, wurden methodische Ansätze zum Testen von RFID-Anwendungen noch nicht entwickelt. Die wenigen Publikationen die sich auf RFID-Tests beziehen [6] [7] [8], konzentrieren sich auf Performance-Bewertung, insbesondere in Hinblick auf die Performance von RFID-Middleware. Ein Nachteil dieser Arbeiten ist jedoch, dass keiner der Ansätze Software-Tests, weder für früher Entwicklungsstufen noch für Tests auf höheren Ebenen von RFID-Anwendungen, ermöglicht. Diese Forschungslücke in Form der Nichtexistenz einer Testmethodik und die Vielzahl der Publikationen im Bereich RFID unterstreichen die Notwendigkeit eine Testmethodik, wie im Forschungsvorhaben geplant, zu entwickeln.

Darüber hinaus wurde im Rahmen der Bearbeitung des Forschungsvorhabens die in Anhang C-1 dargestellte Literatur genutzt. Eine einhergehende inhaltliche Bewertung der Literatur kann der aus dem Projekt entstandenen Doktorarbeit entnommen werden, mit dem Abschluss der Arbeit kann 2015 gerechnet werden.

## **5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen**

Über die im Projekt beteiligten Partner eMundo und gmPharma wurde eine Partnerschaft mit der De Montfort University aufgebaut. Diese Partnerschaft ist ein Resultat der wissenschaftlichen Verwertung der Ergebnisse in Form einer kooperativen Promotion.

Die Zusammenarbeit mit der De Montfort University, Leichester UK, hat dazu beigetragen, dass die wissenschaftlichen Mitarbeiter, die dieses Vorhaben bearbeiteten, im Rahmen einer kooperativen Promotion an der De Montfort University zugelassen wurden. Ein Meilenstein wurde mit der Annahme des Ph.D.-Transferreports [9] erreicht. Mit dem Abschluss der Promotion ist 2015 zu rechnen.

Der darüber hinausgehende wissenschaftliche Austausch mit anderen Stellen erfolgte u. a. durch Vorträge und den Besuch von Konferenzen. Neben dem Aufbau neuer Kontakte konnten so die eigenen Ergebnisse dem Fachpublikum präsentiert und mit ihm diskutiert werden.

Als weitere Plattform zur Präsentation der Ergebnisse und zum fachlichen Austausch, insbesondere mit Vertretern der Industrie, wurde das Projekt auf mehreren Messen (Hannover Messe 2012 / Gemeinschaftstand von Bayern Innovativ, Hannover Messe 2014 / Gemeinschaftstand von Bayern Innovativ) ausgestellt.

Eine Zusammenarbeit mit anderen Stellen, insbesondere durch Drittfirmen war nicht notwendig.

## II Eingehende Darstellung

In vielen Bereichen des heutigen Lebens ist die Identifizierung von Objekten, Personen oder Gütern notwendig, um Qualität und Sicherheit zu gewährleisten oder Geschwindigkeit und Zuverlässigkeit der Prozesse zu verbessern. Insbesondere in traditionellen Bereichen mit hohem Konkurrenzdruck, wie der Logistik, versprechen automatische Identifikationssysteme die Prozesse zuverlässiger und kostengünstiger zu gestalten. Jedoch sind die in diesem Bereich weit verbreiteten und häufig genutzten Barcode-Systeme in Ihrer Leistung beschränkt. So ist eines der größten Probleme die Notwendigkeit einer direkten Sichtverbindung, um die auf dem Barcode gespeicherten Daten lesen zu können. Darüber hinaus sind die Daten, die auf einem Strichcode gespeichert werden, nicht veränderbar. Das führt dazu, dass die Umsetzung von agilen Geschäftsprozessen schwierig ist und verhindert zugleich die Entwicklung von "intelligenten" Produkten, die sich in Ihrem Lebenszyklus verändern. Auch die begrenzte Datenkapazität und Umwelteinflüsse, wie physikalische Kräfte, z.B. Kratzer oder Schmutz, verhindern, dass die gespeicherten Daten richtig gelesen werden können und erzeugen somit den Bedarf für eine neue Technologie, die diesen Herausforderungen gewachsen ist. Daher wurde die „Radio Frequency Identification“ (RFID) [10] Technologie eingeführt, um die Nachteile der Barcodesysteme zu überwinden.

Obwohl, RFID nun seit vielen Jahren existiert, gewinnt die Technologie noch immer an Dynamik und komplementiert oder ersetzt, auf kurze oder lange Sicht, die alten Identifikationssysteme. Große Unternehmen wie Wall-Mart und Metro AG verwenden bereits heute RFID in ihrer Lieferkette und viele andere prüfen derzeit die Verwendbarkeit von RFID für ihre Bedürfnisse. Jedoch ist die Adaption der RFID Technologie besonders für kleine und mittlere Unternehmen (KMU) noch immer schwierig. Einer der Hauptgründe für die verzögerte Einführung bei KMU sind die hohen Investitionskosten. Diese werden zu einem Großteil von der zugehörigen Software bestimmt.

Rund 50% der Kosten für Automatisierungssysteme im Allgemeinen, welche hier als Plattformtechnologie für RFID gesehen wird, auf die Software entfallen, Tendenz steigend. Außerdem entfallen wiederum 60% bis sogar 80% im Bereich der hochverfügbaren Software-systeme auf das Testen der Software. Dies gilt nicht nur für den Automatisierungsbereich, sondern über alle Ebenen hinweg bis hin zur betriebswirtschaftlichen Software. Die Integration von RFID-Systemen in die bestehenden betrieblichen informationstechnischen Umgebungen verschärft die Situation zusätzlich, da Altsysteme mit in die Tests einbezogen werden müssen. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit einer effizienten Testmethodik.

Universelle Testmethoden, die die Charakteristika von RFID Systemen berücksichtigen, sind nicht verfügbar. Die Konsequenz hieraus ist unter anderem:

- Spätes Eintreten in die Testphase
- Manuelle Tests
- Keine Testautomatisierung
- Keine Reproduzierbarkeit
- Keine Regressionstests
- Schlechte Qualität der Anpassungen
- Projektabhängige Eigenentwicklung von sensiblen Testwerkzeugen

Diese Punkte führen zu einem nichtoptimalen Mitteleinsatz in Form von hohen Kosten. Um die Qualität von RFID-Anwendungen zu verbessern und gleichzeitig die Kosten für die Entwicklung zu reduzieren ist eine effektive und effiziente Testmethodik notwendig. Das Ziel des Forschungsvorhabens ITERA ist daher die Entwicklung einer Methodik zum Testen von RFID-Anwendungen. Eine wesentliche Anforderung an die Testmethodik ist die transparente, wiederverwendbare und automatisierbare Durchführung von Tests für integrierte RFID-Anwendungen. Dadurch ermöglicht die Testmethodik ein effizienteres und strukturiertes Testen und bewirkt somit eine Kostenreduktion von RFID-Applikationen. Zusätzlich erlaubt die Wiederverwendung von Testwerkzeugen generell die Gesamtkosten von RFID Projekten zu minimieren.

## **1 Verwendung der Zuwendung und erzielte Ergebnisse im Einzelnen**

Die Aufgabe der Technischen Hochschule Ingolstadt bestand im Besonderen darin, eine wissenschaftliche Grundlage zu schaffen anhand dieser eine Methodik und ein Konzept zum Testen von RFID Anwendungen entwickelt werden kann.

Dabei wurde zunächst untersucht ob existierende Methoden, Techniken und Werkzeuge auf die Spezifika der RFID Technologie adoptiert werden können. Anschließend wurde eine Methodik zur Anwendung von generischen und reproduzierbaren Testszenarios für RFID-Anwendungen erarbeitet. Die daraus resultierenden Modelle können mittels einer virtuellen RFID Umgebung in ein Testbett für die RFID Anwendung und in Testdaten umgewandelt werden. Das erlaubt die Ausführung der Tests zu realistischen und immer gleichen Konditionen, ein wesentliches Kriterium beim Testen. Bei jedem der einzelnen Schritte wurde insbesondere darauf geachtet, dass die verwendeten Einzeltechniken mit bereits Vorhandenen integrierbar, wiederverwendbar und anpassbar sind. Im Verlauf des Projekts wurden Fallstudien durchgeführt um die bisherigen Ergebnisse zu validieren.

Das aus dem Forschungsvorhaben resultierende Verfahren zur Durchführung von Anwendungstests kann in mehrere Schritte eingeteilt werden. Den ersten Schritt bilden Softwaremodultests, die mit Standardtechniken, wie z.B. JUnit-Tests [11], durchgeführt werden können. Anschließend werden Integrationstests durchgeführt, durch die sichergestellt wird, dass

die zum Einsatz kommenden Software- und Hardwaresysteme und insbesondere deren Anbindung mit den RFID-Komponenten (HW und SW) funktionieren. Dabei integriert das neue Testverfahren virtuelle RFID-Komponenten, sodass bis zu diesem Zeitpunkt keine physikalische RFID Hardware für Tests notwendig sind. Auf diese Weise wird dem Entwickler ein realistisch agierendes Testsystem an die Hand gegeben, das selbst in den frühen Phasen der Softwareentwicklung nutzbar ist. So können Fehler frühzeitig entdeckt werden, die bisher den Feldtests in der eigentlichen Produktivumgebung vorbehalten war. Der letzte Schritt sieht, wie im Testen üblich, einen kompletten Systemtest mit kompletter Hardware vor.

Durch die entwickelte Methodik ergeben sich die folgenden Vorteile: Frühe Fehlererkennung, ein effizienterer Testvorgang, die Möglichkeit zur Anwendung agiler Entwicklungsmethoden, Parallelisieren von Testphasen und der Anwendung von bewährten Methoden der Leistungsanalyse und Leistungsverbesserung. Dies wirkt sich positiv auf die Softwarequalität, Entwicklungszeit und somit auch auf die Entwicklungskosten aus.

Der Projektverlauf erfolgte Planungsgemäß. Die zuvor definierten Meilensteine konnten erreicht werden. Ergebnis des Teilvorhabens der Technischen Hochschule Ingolstadt ist eine Testumgebung auf Basis von virtuellen RFID Lesegeräten [12], eine Methodik zur Modellierung von RFID Anwendungstests auf Basis von Mengen [13], sowie einem Verfahren zur Durchführung der RFID Anwendungstests. Die zu Projektbeginn definierten Ziele des Teilvorhabens „Testkonzept für RFID Anwendungstests“ wurden somit erreicht und das Vorhaben erfolgreich abgeschlossen.

## **1.1 AP 1 Grundlagen ausarbeiten**

In diesem Absatz wird eine detaillierte Beschreibung der erarbeiteten Ergebnisse aus dem Arbeitspaket 1, die maßgeblich durch die Technische Hochschule erarbeitet wurden, gegeben. Eine Beschreibung der Ziele des Arbeitspakets und eine Übersicht Aufgaben kann Kap. I-3 entnommen werden.

### **1.1.1 AP 1.1 Umfassende Recherche über RFID Entwicklungsumgebungen, Rahmenwerke und sonstige relevante Software und Hardware Werkzeuge**

Eine qualifizierender Überblick der relevanten RFID Hardware und Softwareherstellern wurde erstellt. Zusätzlich wurde ein Überblick über die Softwarearchitektur von RFID Systemen erarbeitet. RFID Werkzeuge und Entwicklungsumgebungen wurden untersucht. Der hierbei festgestellte Mangel an verfügbaren Entwicklungsumgebungen und RFID Testmethoden zeigt, dass der avisierte Ansatz erfolgsversprechend ist, da die aktuellen Werkzeuge zur Unterstützung von Tests für RFID Anwendungen nicht ausreichend sind.

Es wurden umfassende Recherchen über Veröffentlichungen, die für ITERA von Bedeutung sein könnten, angestellt. Hierzu dienten unter anderem als Bezugsquelle der Bibliothekver-

bund Technische Hochschule Ingolstadt und Katholische Universität Eichstätt, IEEE Xplore, ACM, Google Scholar, u.v.m. Ergebnis der Recherche war, dass keine RFID spezifischen Testmethoden für funktionale Tests für RFID Anwendungen gefunden werden konnten.

Bezüglich der Untersuchung von Standards im RFID Umfeld konnte ermittelt werden, dass es derzeit unterschiedliche Standards im Bereich RFID gibt. Eine erste Klassifizierung von RFID Systemen kann anhand der verwendeten Frequenzen und Energieversorgung getroffen werden. Dabei lassen sich die Frequenzen in Ultra High Frequency (UHF), High Frequency (HF) und Mikrowelle ( $\mu$ W) aufteilen. Bezüglich der Energieversorgung wird zwischen passiven und aktiven Systemen unterschieden. Für das Vorhaben ITERA sind UHF und passive Transponder-Systeme von besonderer Bedeutung, da die meisten Industrieprojekte diese Technologie nutzen. Die „not-for-profit“ Organisation GS1 beschreibt viele dieser in der Industrie verwendeten Standards. Eine Übersicht über das Zusammenspiel der Standards kann dem „EPCglobal Architecture Framework“ [14] entnommen werden. Teilweise sind diese Standards auch als ISO-Norm vorhanden. So wurde zum Beispiel „EPC Gen2“ [15], eine Normung welche die Luftschnittstelle von RFID Systemen beschreibt, direkt in ISO 18000-6C übernommen.

### **1.1.2 AP 1.2 Ermittlung des Standes der Wissenschaft und Technik bzgl. der modellbasierten Spezifikation von RFID Testern für die Luftschnittstelle**

Ob ein allgemeines Model zur Beschreibung der RFID Systeme, wie zu Beginn des Projekts angenommen wurde, den vielfältigen Herausforderungen der physikalischen Eigenheiten der Luftschnittstelle gerecht werden kann, wurde anhand einer vergleichenden Fallstudie zwischen „echten“ und „virtuellen“ RFID Lesegeräten untersucht. Zur Unterstützung der Spezifikation des Models konnte auf das Open Source Softwareprojekt Rifidi<sup>1</sup> zurückgegriffen werden.

Das Softwareprojekt Rifidi unterstützt die Entwicklungsprozesse von RFID Projekten, indem es erlaubt virtuelle RFID Lesegeräte und virtuelle RFID Tags zu erstellen. Mit diesen kann anschließend genauso kommuniziert werden wie mit Ihren reellen Gegenständen. Ein Unterschied zur Kommunikation mit echten Lesegeräten kann im Normalfall von der eingesetzten RFID Middleware nicht erkannt werden.

Eine notwendige Voraussetzung zum Einsatz dieser Werkzeuge ist jedoch, dass auch Fehlerfall Simulationen möglich sind. Da die Tools jedoch Open Source Software sind, wurden diese im späteren Projektverlauf angepasst um die benötigte Funktionsweise zu realisieren.

---

<sup>1</sup> Rifidi – Connect the Internet of Things - <http://sourceforge.net/projects/rifidi>

### **1.1.3 AP 1.3 Bewertung und Einordnung von etablierten RFID Standards**

Relevante Standards im RFID Bereich, die im Arbeitspaket 1.1 ermittelt wurden, sind die von der EPC-Global definierten:

- EPC GEN2 [1]
- LLRP [2]
- ALE [3]
- EPC-IS [4]

Für das Forschungsvorhaben ITERA ist besonders die Betrachtung der Standards LLRP, ALE und EPC-IS wichtig, da diese für die Kommunikation zwischen den verschiedenen RFID Komponenten verwendet werden. Besondere Aufmerksamkeit kommt ALE zu da diese client-seitig auch in RFID Applikationen realisiert wird um die Kommunikation mit dem RFID System zu bewerkstelligen.

### **1.1.4 AP 1.4 Recherche über Testmethoden für Software von eingebetteten Systemen**

Eine Recherche über Testmethoden von eingebetteten Software-Systemen wurde durchgeführt. Eine nähere Übereinstimmung zu RFID-Anwendungsbezogenen Test konnte nicht hergestellt werden. Eine erste analytische Betrachtung legt nahe, dass die bereits in vielen Software Projekten eingesetzten Verfahren zum Testen auch zum Testen von RFID Anwendungen verwendet werden können. Diese Konzepte sind jedoch um RFID spezifische Eigenheiten zu erweitern. Dies wird durch eine virtuelle RFID Infrastruktur und eine Modell-Getriebene Testfall Generierung erreicht.

## **1.2 AP 2 Entwurf einer ersten Testmethodik (deterministische Tests)**

In diesem Absatz wird eine detaillierte Beschreibung der erarbeiteten Ergebnisse aus dem Arbeitspaket 2, die maßgeblich durch die Technische Hochschule erarbeitet wurden, gegeben. Eine Beschreibung der Ziele des Arbeitspakets und eine Übersicht Aufgaben kann Kap. I-3 entnommen werden.

### **1.2.1 AP 2.3 Grobdefinition des Konzepts und der Testmethodologie inklusive Testrahmen und Testarchitektur**

Aufgrund der Recherche, wurde die Testmethodik zunächst primär auf den System- und Integrationstest verlagert. Ein Ergebnis dieses Arbeitspakets ist, dass die Modultests mit verfügbaren Standardmethoden realisiert werden können und somit keiner Sonderbehandlung bedürfen.

Wie in Abbildung 2 dargestellt untergliedert sich das Grobkonzept der ITERA Methodik in 5 Phasen:



1. Design der Anwendung (UML Klassendiagramm, UML Zustandsdiagramm)
2. Entwurf eines Test-Modells (Ableitung und Erweiterung der erstellten Diagramme)
3. Generierung von Testfällen (Extraktion der Testfälle aus dem Test-Modell)
4. Ausführung der Tests (Aufbau des Testharness und ausführen der Testfälle)
5. Auswertung der Testergebnisse (Bericht)

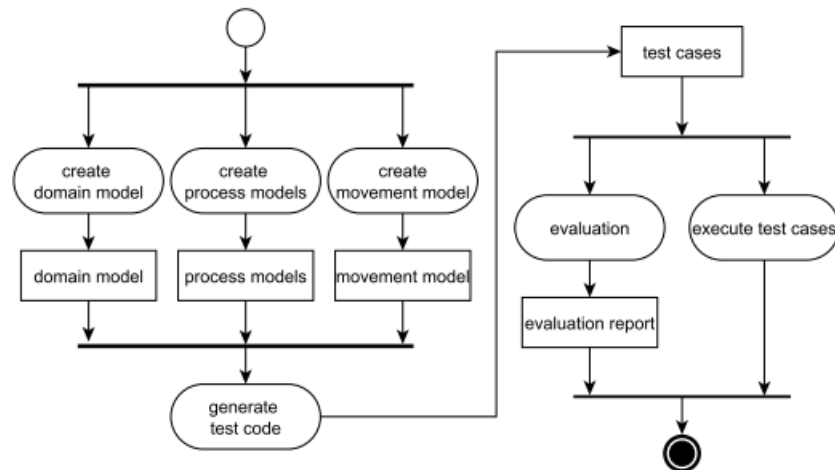


Abbildung 2 Ablaufdiagramm Grobkonzept ITERA

Als grundlegendes Konzept wird als Testharness eine virtuelle RFID Umgebung erzeugt. Diese ersetzt in den ersten Testphasen die RFID Lesegeräte und RFID Middleware. Später zum Systemtest werden sukzessive diese virtuellen Komponenten durch ihre realen Gegenstücke ersetzt.

### 1.3 AP 3 Definition der virtuellen RFID-Geräte

In diesem Absatz wird eine detaillierte Beschreibung der erarbeiteten Ergebnisse aus dem Arbeitspaket 3, die maßgeblich durch die Technische Hochschule erarbeitet wurden, gegeben. Eine Beschreibung der Ziele des Arbeitspakets und eine Übersicht Aufgaben kann Kap. I-3 entnommen werden.

Es konnte zur Unterstützung der Spezifikation des RFID Modells auf das Softwareprojekt Rifidi [12] zurückgegriffen werden. Die Rifidi Toolsuite unterstützt die Entwicklungsprozesse von RFID Projekten. Das Framework erlaubt die Erstellung virtueller RFID Lesegeräte. Ein Unterschied zur Kommunikation mit echten Lesegeräten kann im Normalfall von der eingesetzten RFID Middleware nicht erkannt werden. Eine notwendige Voraussetzung zum Einsatz dieser Werkzeuge ist jedoch, dass auch Fehlerfall Simulationen möglich sind. Da das Framework jedoch Open Source Software ist, besteht die Möglichkeit, diese anzupassen um das anvisierte Ziel zu erreichen.

### 1.3.1 AP 3.1 Konzepterstellung: Einteilung der verschiedenen Abstraktionsebenen der virtuellen RFID-Geräte

Eine Abstraktion für verschiedene Ebenen der RFID Softwareentwicklung, bezüglich der virtuellen Infrastruktur, lässt sich durch den unterschiedlichen Grad an notwendigen Informationen bestimmen. Ausgehend von der typischen Infrastruktur eines RFID Systems, lassen sich folgende Ebenen identifizieren: Applikationsebene, Middlewareebene, Feldgeräteebene. Diese Ebenen sind in Abbildung 3 schematisch dargestellt. Der Informationsgehalt der Ebenen ist im Besonderen durch eine Konkretisierung der Semantik der Daten, ausgehend von der Feldgeräteebene bis hin zur Applikationsebene bestimmt. Zum Beispiel tritt ein RFID Event zunächst auf mehreren Lesegeräten auf, diese Events werden einem Logischen Lesegerät in der RFID Middleware zugeordnet und aggregiert. Die Identifikationsnummern, ein Teil des RFID Events, werden nun von der Applikationsebene auf konkrete Produkte und das virtuelle Lesegerät auf einen bestimmten Ort abgebildet. Dadurch wird die Bedeutung der Daten verändert, die Anzahl der Daten aber verringert. Dadurch ergeben sich verschiedene Modelle zur Beschreibung der virtuellen RFID-Geräte.

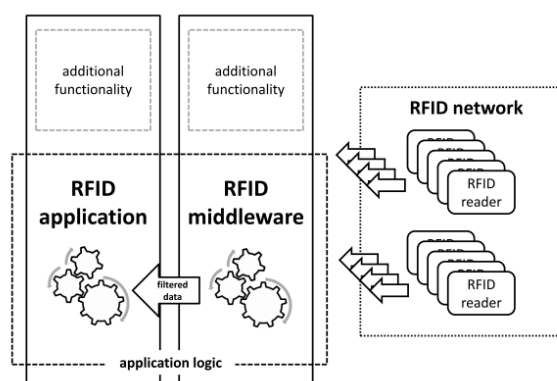


Abbildung 3 Schematische Darstellung eines RFID Systems

#### Applikationsebene

Ein virtuelles RFID-Gerät wird in dem erarbeiteten Konzept auf eine zeitbasierte Menge abgebildet [13]. Diese Menge enthält entsprechende Taginformationen die durch einen Klassendiagramm direkt einem Domänenbegriff zugeordnet werden kann. In dieser Menge wird nur unterschieden, ob ein RFID Tag zu einem bestimmten Zeitpunkt in dieser enthalten ist oder nicht. Fehler werden durch entsprechende Mengen dargestellt. Bewegungen von Waren, die durch RFID Lesegeräte erfasst werden können, entstammen einem sogenannten Movement Diagramm (siehe auch AP 3.4), das gesondert anzufertigen ist.

#### Middlewareebene

Diese kann ebenfalls durch zeitabhängige Mengen beschrieben werden. Hier ist keine Verknüpfung zu Domänenbegriffen notwendig. Der Zeitverlauf ist diskret und beruht auf den

Events der unteren Schichten. In einem ersten Ansatz wurde die Applikation und Middleware zusammengefasst und als Software Under Test (SUT) beschrieben. Dieser Ansatz ist valide, da die Logik der RFID Anwendung, teilweise in der eigentlichen RFID Anwendung als auch in der Middleware implementiert sein kann.

### **Feldgeräteebene**

Ein virtuelles RFID-Gerät wird durch exakte Parameter, wie zum Beispiel Typ, IP-Adresse, Port, usw... beschrieben. Zusätzlich ist ein konkreter Zeitverlauf, der die Bewegung der RFID Tags beschreibt, benötigt. Diese Beschreibung dient als Eingabegröße für die virtuellen Lesegeräte des RFID-Frameworks Rifidi. Der Einsatz dieses softwarebasierten Werkzeugs erlaubt ausführbare und wiederholbare Tests. Fehlerraten werden durch Wahrscheinlichkeiten abgebildet. Die Modellierung dieser Ebene ist zudem in einer Beschreibungssprache für virtuelle RFID Lesegeräte des RFID Frameworks Rifidi realisiert.

#### **1.3.2 AP 3.2 Modellierung der virtuellen RFID Lesegeräte**

Das Rifidi Framework dient als Vorlage zur Modellierung der virtuellen RFID Lesegeräte. Eine Analyse der Einsatzfähigkeit und des Aufbaus der Software wurde durchgeführt. Diese ergab, dass die funktionalen Aspekte von virtuellen RFID Lesegeräten vollständig abgebildet werden können. Aus Sicht der RFID Middleware kann zwischen virtuellem und realem Lesegerät nicht unterschieden werden. Die Eigenheiten der auf dem Markt verfügbaren Lesegeräte, erhoben in Arbeitspaket 1, sind durch die vollständige Protokollemlation der unterschiedlichen Hersteller realisiert.

Die nicht funktionalen Aspekte wie Bandbreite, Interferenz, Lesefehler und Zeitverhalten können durch geringfügige Erweiterungen der bestehenden Software realisiert werden. Zum Beispiel können Fehlerfälle durch Wahrscheinlichkeiten dargestellt werden. Dies ist in der Modellierung der Feldgeräteebene berücksichtigt und durch eine modifizierte Programmierschnittstelle implementiert worden.

#### **1.3.3 AP 3.4 Definition einer Beschreibungssprache für virtuelle RFID Lesegeräte**

Derzeit ist die Beschreibungssprache für virtuelle RFID Lesegerät in der Programmiersprache Java realisiert. Diese Sprache wurde gewählt, da das Rifidi Framework ebenfalls auf Java basiert. Der Quelltext wird aus den Modellen beschrieben in Arbeitspaket 3.1 generiert. Dadurch lassen sich ausführbare Testfälle zum Evaluieren von RFID Anwendungen erzeugen.

Zur Beschreibung der verschiedenen Abstraktionsebenen wurde die Unified Modeling Language (UML) Notation gewählt. Der Ansatz besteht aus drei Diagrammen, einem Domänenmodell, in Form eines Klassendiagramms, einem Prozessmodells, in Form eines Aktivitätsdiagramm und einem Movement Model, in Form eines Zustandsdiagramms. Zusätzlich wurde

eine Grammatik für eine domänenspezifische Sprache, die als Zwischenform zur automatischen Generierung von Testfällen dient, definiert [13].

#### 1.4 AP 4 Erweiterung der Testmethodik

In diesem Absatz wird eine detaillierte Beschreibung der erarbeiteten Ergebnisse aus dem Arbeitspaket 4, die maßgeblich durch die Technische Hochschule erarbeitet wurden, gegeben. Eine Beschreibung der Ziele des Arbeitspakets und eine Übersicht Aufgaben kann Kap. I-3 entnommen werden.

##### 1.4.1 AP 4.1 Konzept für die Integration / Entwicklung für das Testen von RFID Software

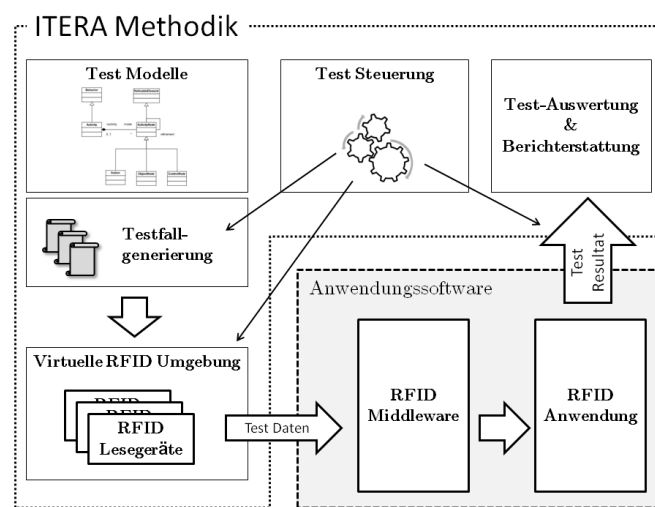


Abbildung 4 Übersicht ITERA Methodik

Ein Konzept zum Testen von RFID Software wurde entwickelt. Diese besteht aus verschiedenen Testmodellen, definiert in Arbeitspaket 3, die zur Generierung von Testfällen genutzt werden. Durch den Einsatz einer Virtuellen RFID Umgebung, eine modifizierte Version der Rifi Frameworks, können die zuvor generierten Testfälle ausgeführt werden. Dabei übernimmt die Teststeuerung die Koordinierung der involvierten Komponenten. Eine Schnittstelle zur Applikation dient anschließend zur Auswertung der Testergebnisse und Berichterstattung. Die RFID Middleware und RFID Anwendung sind aufgrund der engen Beziehungen und der teilweise verteilten Logik zusammengefasst als „Software Under Test“. Abbildung 4 gibt einen Überblick der zuvor beschriebenen Komponenten.

##### 1.4.2 AP 4.2 Ausarbeitung der zuvor definierten Methode für niedrigere Abstraktionsebenen

Niedrige Abstraktionsebenen können aus den zuvor erstellten Modellen generiert werden. RFID unabhängige Teile der „Software Under Test“ können mit den gängigen Softwaretestmethoden realisiert werden. Hierzu zählen insbesondere Unit-Tests. Eine Erweiterung könn-

te durch eine evolutionäre Generierung der Testfälle bestehen, diese müsste jedoch zunächst weiter untersucht werden.

#### **1.4.3 AP 4.4 Anpassung / Verbesserung der Methodologie entsprechend den Ergebnisse**

Eine Anpassung der Ergebnisse der ersten Arbeitspakete war aufgrund der engen Zusammenarbeit der Projektpartner nicht notwendig.

#### **1.5 AP 5 Fallstudie ohne Systemtest**

In diesem Absatz wird eine detaillierte Beschreibung der erarbeiteten Ergebnisse aus dem Arbeitspaket 5, die maßgeblich durch die Technische Hochschule erarbeitet wurden, gegeben. Eine Beschreibung der Ziele des Arbeitspakets und eine Übersicht Aufgaben kann Kap. I-3 entnommen werden.

Um die praktische Umsetzung zu ermöglichen sind jedoch weitere Softwarebausteine notwendig, die es erlauben die entwickelte Testumgebung in das Testbett von eMundo zu integrieren. Dazu werden zusätzliche Schnittstellen geschaffen, die die Interaktion und Orchestrierung der Testumgebung gewährleisten, jedoch gleichzeitig flexibel bei Auswahl des verwendeten Testbetts bleiben.

##### **1.5.1 AP 5.1 Definition der Testarchitektur und Schnittstellen zu den virtuellen Lesegeräten**

Die entwickelte Testarchitektur sieht einen gemeinsamen Test von RFID Middleware und RFID Applikation vor. Dieser Ansatz ist notwendig, da Teile der Applikationslogik über beide System verteilt sind. Analog dazu umfasst der Testharness die Software unter Test (SUT) und Teile des Rifidi-Frameworks. Zunächst scheint es verwunderlich, dass die virtuellen Lesegeräte innerhalb des Testharness angesiedelt sind, werden diese aber durch die realen Lesegeräte ersetzt, wird deutlich, dass der gewählte Ansatz stimmig ist. So werden in einer realen Umgebung die Lesegeräte von der Middleware, in zuvor definierten Zeitabständen abgefragt, und sind somit Teil des zu testenden Systems.

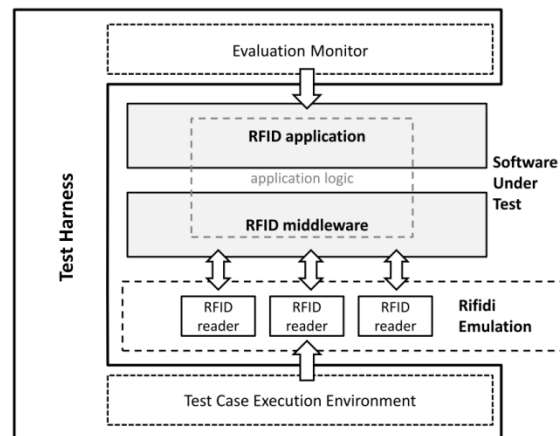


Abbildung 5 Test-Harness mit virtueller Umgebung

Um eine Anbindung an das Testbett von eMundo zu ermöglichen wurden zusätzliche Schnittstellen zur Orchestrierung der Testfälle geschaffen. Dazu wurden die in AP 3 entwickelten virtuellen RFID-Lesegeräte auf Basis des Rifidi-Frameworks um eine „Test Case Execution Environment“ [13] erweitert. Diese erlaubt die Steuerung der erstellten Testfälle und dient als Ausführungskomponente der neu entwickelten Testumgebung. Die Schnittstelle wird über eine domänenspezifische Sprache realisiert und besteht im Wesentlichen aus zwei Teilen:

### Bereitstellen der virtuellen Umgebung

Innerhalb der Bereitstellung wurden zwei Bereiche definiert, welche ermöglichen neue virtuelle Lesegeräte zu konfigurieren und zu erstellen bzw. diese wieder zu löschen. Das Schlüsselwort „@setUp“ erlaubt neue Lesegeräte zu erstellen und auf bereits erstellte zuzugreifen. Das Schlüsselwort „@tearDown“ dient dazu die virtuelle Umgebung wieder in den Ausgangszustand zurück zu führen und erlaubt das löschen und deaktivieren der Lesegeräte.

### Ausführen der Testfälle

Die Ausführung der Testfälle wird mit dem Schlüsselwort „@test“ eingeleitet. Dort können virtuelle RFID tags den zuvor erstellen Lesegeräten hinzugefügt werden. Der Ausdruck „eval“ erlaubt dem „Test Case Execution Environment“ ein Signal an den „Evaluation Monitor“ zu senden um eine Auswertung der Tests anzufordern.

Durch die Kombination der beiden Teile können Testfälle ähnlich den bekannten und den häufig verwendeten xUnit Tests (Bsp. JUnit 4.0 inkl. Annotationen) erstellt werden. Dies erlaubt zum einen die intuitive Verwendung durch bereits bekannte Technologien, sowie die vereinfachte Integration in bestehende Testumgebungen.

Damit wurden die Ziele dieses Arbeitspakets erreicht. Es steht eine erprobte Testarchitektur zur Ausführung der in den ersten Arbeitspaketen definierten Testmethodik zu Verfügung.

Zusätzlich wurde mittels einer Schnittstellenerweiterung ist die Integration der Testumgebung in das Testbett von eMundo ermöglicht.

## **1.6 AP 6 Erweiterung der Testmethodologie inklusive Systemtest**

In diesem Absatz wird eine detaillierte Beschreibung der erarbeiteten Ergebnisse aus dem Arbeitspaket 6, die maßgeblich durch die Technische Hochschule erarbeitet wurden, gegeben. Eine Beschreibung der Ziele des Arbeitspakets und eine Übersicht Aufgaben kann Kap. I-3 entnommen werden.

### **1.6.1 AP 6.1 Definition einer Simulationsumgebung für RFID-Tag Bewegungen**

Die in AP 5 entworfene Testarchitektur nutzt einen Eventdiskreten Ansatz zur Simulation [13] der RFID-Tag-Bewegungen. Besondere Aufmerksamkeit ist bei der praktischen Umsetzung auf den Verlauf der Zeit zu widmen. Diese wurde in einem ersten Ansatz durch manuelle Hinzunahme von zeitlichen Abläufen realisiert. Durch die im Projekt entwickelte Abstraktion der Lesegeräte auf zeitbehaftete Mengen lässt sich nachvollziehen, dass ein diskreter Zeitverlauf sinnvoll ist [16]. Jedoch stellt sich hierbei die Frage nach minimalen und maximalen Zeitintervallen zwischen den RFID Events. Diese sind durch die physikalischen Zeitverläufe maßgeblich bestimmt. So lässt sich durch den Vorgang des Transports von Waren von einem zu einem anderen Ort ein zeitlicher Verlauf extrahieren. Dieser ist jedoch für den Test nicht immer sinnvoll. So können Zeitintervalle zwischen einer Sekunde bis hin zu mehreren Stunden auftreten mit der Konsequenz, dass auch die Ausführung der Tests mehrere Stunden dauern kann. Besonders bei einer großen Anzahl von Testfällen verhindert dies jedoch die konsequente Ausführung der Tests im Sinne der Agilen Prozesse, bzw. des „Test Driven Developments“.

Das Ergebnis des Arbeitspaketes ist hauptsächlich durch die Erkenntnis aus Fallstudie geprägt, dass die Ausführung der Tests in Echtzeit in vielen Fällen ungeeignet ist. Zur pragmatischen Lösung kann ein Beschleunigungsfaktor eingeführt werden, der die notwendige Ausführungszeit der Tests skaliert. So kann eine Sekunde in der Realität durch den Beschleunigungsfaktor 10 innerhalb der Testumgebung 10mal so schnell abgebildet werden. Jedoch ist eine nähere Betrachtung der zeitlichen Grenzen, z.B. minimalen Ausführungszeit bzw. maximale Ausführungszeit, notwendig um die durch die beschleunigte Eventgenerierung gewonnene Geschwindigkeit in den nicht beschleunigten Teilen der SUT auszugleichen.

### **1.6.2 AP 6.2 Erweiterung der Beschreibungssprache für die Simulation der RFID Tag-Bewegungen**

Durch die Erkenntnisse aus AP 6.1 wurde die Beschreibungssprache um einen Beschleunigungsfaktor ergänzt. Dieser ermöglicht eine Beschleunigung der Testausführung. Dies behebt die durch die Beobachtungen in der Fallstudie benannten „toten Intervalle“, den zeitli-

chen Verlauf in dem keine RFID Tag Bewegungen auftreten. Bei vielen Anwendungsfällen ist diese manuelle, auf Erfahrungswerten basierende Auswahl des Beschleunigungsfaktors ein geeignetes Mittel. Bei komplexeren Anwendungen sind genauere Analysen und Betrachtungen der unteren und oberen Grenzen notwendig und sollten daher bestand weiterführender Forschung sein. Derzeit müssen die Grenzen jedoch manuell betrachtet werden.

### **1.6.3 AP 6.4 Entwurf und Entwicklung eines Konzepts für den Systemtest**

Durch das in AP 5 gewählte Open Source Framework Rifidi kann der Systemtest durch Ersetzung der virtuellen RFID Lesegeräte durch ihre reellen Entsprechungen ohne weitere Anpassung erfolgen. Die RFID Middleware, zuständig für die Kommunikation mit den RFID Lesegeräten, kann nicht zwischen virtuellen und reellen RFID Geräten unterscheiden. Daher sind keine Anpassungen an der Testarchitektur notwendig. Vielmehr kann eine durch die nacheinander folgende Substitution der virtuellen Lesegeräte (gemischter Betrieb von virtuellen und reellen Komponenten) einem nahtlosen Übergang zum Systemtest geschaffen werden.

### **1.6.4 AP 6.5 Definition einer Beschreibungssprache für den Systemtest**

Eine Anpassung der Beschreibungssprache erfolgte aufgrund der in AP 6.4 gewonnenen Erkenntnisse nicht.

## **1.7 AP 7 Fallstudie mit Systemtest**

In diesem Absatz wird eine detaillierte Beschreibung der erarbeiteten Ergebnisse aus dem Arbeitspaket 7, die maßgeblich durch die Technische Hochschule erarbeitet wurden, gegeben. Eine Beschreibung der Ziele des Arbeitspakets und eine Übersicht Aufgaben kann Kap. I-3 entnommen werden.

Die üblicherweise in der Softwareentwicklung verwendeten Messgrößen (Testfallbasierte Metriken, Testobjektbasierte Metriken, Kostenbasierte Metriken [17]), die zur Bestimmung der Effizienz von Testverfahren verwendet werden, können auch für die entwickelte Testmethodik verwendet werden. Weitere Kennzahlen können jedoch erst durch weitergehende Arbeiten in diesem Bereich gewonnen werden. So scheint die automatische Generierung der Testfälle für Metriken wie Zweigüberdeckung vielversprechend zu sein. Auch die Bildung von Äquivalenzklassen ist ein erfolgsversprechender weiterer Ansatz. Ebenso ist die bereits in 6.1 erwähnte Analyse der zeitlichen Grenzen von großer Bedeutung und kann als Ergebnis des Systemtests der Methodik gesehen werden.

Eine einhergehende Betrachtung der Erkenntnisse aus der Fallstudie konnte aufgrund der Zeit- und Zielvorgaben innerhalb des Forschungsvorhabens ITERA nicht erfolgen.



## **2 Erläuterungen der wichtigsten Positionen im zahlenmäßigen Nachweis**

Die im Forschungsprojekt ITERA beantragten Mittel umfassen neben den Kosten für Personal nur Mittel für Dienstreisen. Folgend ist eine zahlenmäßige Aufschlüsselung der einzelnen im Projekt verwendeten Mittel nach Positionen gegeben:

### **Personalausgaben**

Innerhalb der Summe „Personalausgaben“ wurden antragsgemäß für die Gehälter von 1,5 wissenschaftlichen Mitarbeitern verwendet. Zusätzlich wurden weitere Beschäftigungsentgelte für hilfswissenschaftliches Personal aufgewendet.

### **Sächliche Verwaltungsausgaben**

Innerhalb der Summe der „sächlichen Verwaltungsausgaben“ wurden xxx für Dienstreisen aufgewendet. Die Dienstreisen dienten dabei zu Besprechung mit den Projektpartnern, für die Vorstellung der erarbeiteten Ergebnisse auf wissenschaftlichen Konferenzen oder dem Besuch auf Messen um die Bekanntheit des Projekts zu erhöhen und den Austausch mit Industriepartnern voranzutreiben.

### **Gegenstände und andere Investitionen**

Ausgaben für die Anschaffung von Hardware, Software oder anderer Gerätschaften war im Forschungsprojekt nicht geplant.

Im zahlenmäßigen Nachweis überwiegt der Posten für Personalausgaben um ein vielfaches. Daher ist die wichtigste zahlenmäßige Position im Forschungsprojekt ITERA: „Personalausgaben“.

## **3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit**

Das Forschungsvorhaben ITERA wurde erfolgreich beendet. Der Verlauf des Projekt ist gemäß der im der Projektplanung formulierten Arbeitspaketen und Zielen erfolgt und konnte daher ohne weitere finanzielle Mittel gestaltet werden. Die Ergebnisse auf dem Gebiet RFID-Anwendungstest wurden in einschlägigen Konferenzen und bei Projektpartnern vorgestellt. In Anbetracht der erzielten Ergebnisse und dem erfolgreichen Abschluss des Projekts lässt sich somit feststellen, dass alle Arbeiten notwendig und angemessen waren.

## **4 Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit des Ergebnisses**

Für die beteiligten Firmen ergab sich aus der Kooperation die Möglichkeit aktuelle Forschungsergebnisse sofort in ihren Projekten einzusetzen und somit ihre Kompetenzen zu erweitern und die Innovationskraft der durchgeführten Forschung zu nutzen. Die Durchführung von Fallstudien sowie regelmäßige Vorstellungen und Schulungen der Forschungser-

gebnisse bei den Projektpartnern förderten den Know-how-Transfer und damit die wirtschaftliche Verwertung der Ergebnisse deutlich.

An der Technischen Hochschule Ingolstadt hat die Durchführung des Forschungsprojekts maßgeblich zur Steigerung der Kompetenzen in den Bereichen des Software Engineerings und RFID Technologie beigetragen. Aufgrund der erworbenen Kenntnisse wurden bereits finanzielle Mittel für ein RFID Labor an der Technischen Hochschule Ingolstadt bereitgestellt. Die aktive Einbindung der Forschungsergebnisse in die Lehre der Hochschule sowie das Angebot an die Studierenden in Projekten, Seminaren und der Beschäftigung als hilfswissenschaftliche Mitarbeiter fördert die Ausbildung des wissenschaftlichen Nachwuchses und hilft dabei den Absolventen den Einstieg in die Forschung zu erleichtern. Weitere Lehrveranstaltungen mit RFID bezogenen Inhalten sollen wiederholt abgehalten werden.

Die Hochschule konnte durch das Projekt und die Intensivierung der angewandten Forschung die eigenen Kompetenzen im Bereich AutoID-Technologien erheblich ausbauen, so dass über die wissenschaftlichen Veröffentlichungen der Ergebnisse bereits weitere Kooperationen (auch international) mit der Industrie aufgebaut werden konnten.

## 5 Fortschritte auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Die während der Projektlaufzeit durchgeführten Literaturrecherchen in den Bereichen RFID und Testmethoden für RFID Anwendungen haben keine Ergebnisse Dritter geliefert, welche die angestrebten Ziele des Projekts beeinflusst hätten.

## 6 Geplante und erfolgte Veröffentlichungen im Rahmen des Vorhabens

Die wissenschaftlichen Ergebnisse der Arbeitspakete wurden in einschlägigen Konferenzen publiziert und vorgetragen. Diese umfassen:

- A. Huebner, C. Facchi und H. Janicke, „**Rifidi Toolkit: Virtuality for Testing RFID**,“ in *The Seventh International Conference on Systems and Networks Communications*, 2012.
- A. Huebner, C. Facchi, M. Meyer und H. Janicke, „**RFID Systems from a Cyber-Physical Systems Perspective**,“ in *Proceedings IEEE Workshop on Intelligent Systems and Embedded Systems* , Pilsen, 2013.
- A. Huebner, C. Facchi, M. Meyer und H. Janicke, „**A Model-Based Approach for RFID Application Testing**,“ in *IEEE International Conference on Ubiquitous Computing and Communications*, 2013.
- C. Bacherler, B. Moszkowski, C. Facchi und A. Huebner, „**Automated Test Code**

**Generation Based on Formalized Natural Language Business Rules,**“ in *The Seventh International Conference on Software Engineering Advances*, 2012.

Es ist geplant, die aus dem Forschungsprojekt gewonnen Ergebnisse, in zwei weiteren Veröffentlichungen (Doktorarbeit, Konferenzbeitrag) zu publizieren.

### III Literaturverzeichnis

- [1] C. Floerkemeier und E. Fleisch, „RFID Applications: Interfacing with Readers,“ *Software, IEEE*, Bd. 25, Nr. 3, pp. 67-70, 2008.
- [2] Han Chen, P. B. Chou, S. Duri, J. G. Elliott, J. M. Reason und D. C. Wong, „A model-driven approach to RFID application programming and infrastructure management,“ 2005, pp. 256-259.
- [3] V. Derbek, C. Steger, R. Weiss, J. Preishuber-Pflügl und M. Pistauer, „A UHF RFID measurement and evaluation test system,“ *e & i Elektrotechnik und Informationstechnik*, Bd. 124, Nr. 11, pp. 384-390, 2007.
- [4] C. Jacinto, M. Romano, A. Montes, P. Sousa und M. S. Nunes, „RFID tuning methodology applied on airport baggage tracking,“ 2009, pp. 1-4.
- [5] C.-M. Li, „An integrated software platform for RFID-enabled application development,“ Bd. 1, 2006, p. 4 p.
- [6] Q. Jin, Z. Ren und D. Wang, „Simulating Supply Chain Activities and Providing RFID Event Data for Test,“ Bd. 3, 2011, pp. 438-441.
- [7] W. Ryu, J. Kwon und B. Hong, „Generation of RFID test datasets using RSN tool,“ *Personal and Ubiquitous Computing*, pp. 1-11, 2012.
- [8] Jekwan Park, Wooseok Ryu, Bonghee Hong und Byeongsam Kim, „Design of toolkit of multiple virtual readers for scalability verification of RFID middleware,“ 2010, pp. 56-59.
- [9] A. Hübner, „Methodology for Testing RFID Applications,“ De Montfort University, Leichester UK, 2013.
- [10] K. Finkenzeller, *RFID Handbook: Fundamentals and applications in contactless smart cards, radiofrequency identification and near-field communication*, Oxford: Wiley-Blackwell, 2010.
- [11] J. Link, *Softwaretests mit JUnit : Techniken der testgetriebenen Entwicklung*, Heidelberg: dpunkt-Verlag, 2005.
- [12] A. Huebner, C. Facchi und H. Janicke, „Rifidi Toolkit: Virtuality for Testing RFID,“ in *The Seventh International Conference on Systems and Networks Communications*, 2012.
- [13] A. Huebner, C. Facchi, M. Meyer und H. Janicke, „A Model-Based Approach for RFID Application Testing,“ in *IEEE International Conference on Ubiquitous Computing and Communications*, 2013.
- [14] *EPCglobal Architecture Framework, v. 1.5*, 2013.
- [15] *EPC Class-1 Generation-2 UHF RFID Air Interface Protocol, v. 1.2.0*, 2008.
- [16] A. Huebner, C. Facchi, M. Meyer und H. Janicke, „RFID Systems from a Cyber-Physical Systems Perspective,“ in *Proceedings Workshop on Intelligent Systems and Embedded Systems*, Pilsen, 2013.

- [17] A. Spillner und T. Linz, „Basiswissen Softwaretest,“ dpunkt Verlag, Heidelberg, 2010.
- [18] C. Bacherler, B. Moszkowski, C. Facchi und A. Huebner, „Automated Test Code Generation Based on Formalized Natural Language Business Rules,“ in *The Seventh International Conference on Software Engineering Advances*, 2012.
- [19] *GS1 General Specifications*, v. 13.1, 2013.
- [20] *EPCIS - EPC Information Services Standard*, v. 1.0.1, 2007.
- [21] *EPC Tag Data Translation*, v. 1.6, 2011.
- [22] *EPC Tag Data Standard*, v. 1.7, 2013.
- [23] *EPC Reader Management Standard*, v. 1.0.1, 2007.
- [24] *EPC Low Level Reader Protocol*, v. 1.1, 2010.
- [25] *EPC Discovery, Configuration & Initialisation Standard*, v. 1.0, 2009.
- [26] *EPC Class-1 HF RFID Air Interface Protocol*, v. 2.0.3, 2011.
- [27] *EPC Application Level Events Standard*, v. 1.1.1, 2009.

## C. Anhang

### 1 Verwendete Literatur

- (1) Alain Abran; James W. Moore; Pierre Bourque; Robert Dupuis (Eds.) (2004): Guide to the Software Engineering Body of Knowledge: IEEE Computer Society.
- (2) Andreas Huebner; Christian Facchi; Helge Janicke (2012): Rifidi Toolkit: Virtuality for Testing RFID. In : ICSNC 2012 The Seventh International Conference on Systems and Networks Communications, pp. 1–6.
- (3) Andreas Huebner; Christian Facchi; Markus Meyer; Helge Janicke (2013): A Model Based Approach for RFID Application Testing. In : IUCC 2013, the IEEE International Conference on Ubiquitous Computing and Communications 2013.
- (4) Andreas Huebner; Christian Facchi; Markus Meyer; Helge Janicke (2013): RFID Systems from a Cyber-Physical Systems Perspective. In : WISES 2013, the Workshop on Intelligent Systems and Embedded Systems 2013.
- (5) Banks, Jerry (2005): Discrete Event System Simulation, 4th ed: Pearson Education India.
- (6) Beck, Kent (2003): Test-driven development: by example: Addison-Wesley Professional.
- (7) Broy, Manfred (2010): Cyber-Physical Systems: Innovation Durch Software-Intensive Eingebettete Systeme: Springer Berlin Heidelberg.
- (8) Broy, Manfred; Jonsson, Bengt; Katoen, Joost-Pieter; Leucker, Martin; Pretschner, Alexander (2005): Model-Based Testing of Reactive Systems: Advanced Lectures (Lecture Notes in Computer Science). Secaucus, NJ, USA: Springer-Verlag New York, Inc.
- (9) E. Palazzi, A. Ceriali, M. Dal Monte (2009): RFID Emulation in Rifidi Environment. In : International Symposium on Ubiquitous Computing (UCS'09).
- (10) Park; W. Ryu; B. Hong (2009): RFID Middleware Evaluation Toolkit Based on a Virtual Reader Emulator. In : Emerging Databases, The 1th International Conference on Emerging Databases 2009, pp. 154–157.
- (11) Christian Bacherler; Ben Moszkowski; Christian Facchi; Andreas Huebner (2012): Automated Test Code Generation Based on Formalized Natural Language Business Rules. In : ICSEA 2012: The Seventh International Conference on Software Engineering Advances.
- (12) Derbek, V.; Steger, C.; Weiss, R.; Preishuber-Pflügl, J.; Pistauer, M. (2007): A UHF RFID measurement and evaluation test system. In e & i Elektrotechnik und Informationstechnik 124 (11), pp. 384–390. DOI: 10.1007/s00502-007-0482-z.
- (13) EPCglobal Inc (2007): EPC Reader Management Standard, v. 1.0.1.
- (14) EPCglobal Inc (2007): EPCIS - EPC Information Services Standard, v. 1.0.1.
- (15) EPCglobal Inc (2008): EPC Class-1 Generation-2 UHF RFID Air Interface Protocol, v. 1.2.0.
- (16) EPCglobal Inc (2009): EPC Application Level Events Standard, v. 1.1.1.
- (17) EPCglobal Inc (2009): EPC Discovery, Configuration & Initialisation Standard, v. 1.0.
- (18) EPCglobal Inc (2010): EPC Low Level Reader Protocol, v. 1.1.
- (19) EPCglobal Inc (2011): EPC Class-1 HF RFID Air Interface Protocol, v. 2.0.3.
- (20) EPCglobal Inc (2011): EPC Tag Data Translation, v. 1.6.
- (21) EPCglobal Inc (2013): EPC Tag Data Standard, v. 1.7.

- (22) EPCglobal Inc (2013): EPCglobal Architecture Framework, v. 1.5.
- (23) EPCglobal Inc (2013): GS1 General Specifications, v. 13.1.
- (24) Finkenzeller, Klaus (2010): RFID handbook: Fundamentals and applications in contactless smart cards, radio frequency identification and near-field communication. 3rd ed. Oxford: Wiley-Blackwell.
- (25) Floerkemeier, C.; Fleisch, E. (2008): RFID Applications: Interfacing with Readers. In *Software, IEEE* 25 (3), pp. 67–70. DOI: 10.1109/MS.2008.71.
- (26) Floerkemeier, C.; Sarma, S. (2008): An Overview of RFID System Interfaces and Reader Protocols. In : *RFID, 2008 IEEE International Conference on*, pp. 232–240.
- (27) Floerkemeier, C.; Sarma, S. (April): An Overview of RFID System Interfaces and Reader Protocols. In : *RFID, 2008 IEEE International Conference on*, pp. 232–240.
- (28) G. Lee; H. Zhang; C. Park; W. Ryu; B. Hong (2010): Design and Implementation of Virtual Test Toolkit for Testing RFID Middleware. In : *Intelligent Manufacturing and Logistics Systems, The 6th International Conference on IML 2010*, pp. 1–6.
- (29) Gi Oug Oh; Doo Yeon Kim; Sang Il Kim; Sung Yul Rhew (2006): A Quality Evaluation Technique of RFID Middleware in Ubiquitous Computing. In : *Hybrid Information Technology, 2006. ICHIT International Conference on*, vol. 2, pp. 730–735.
- (30) Glen McCluskey (1998): Using Java Reflection.
- (31) Haipeng Zhang; Wooseok Ryu; Bonghee Hong; Chungkyu Park (2010): A test data generation tool for testing RFID middleware. In : *Computers and Industrial Engineering (CIE), 2010 40th International Conference on*, pp. 1–6.
- (32) Han Chen; Chou, P. B.; Duri, S.; Elliott, J. G.; Reason, J. M.; Wong, D. C. (2005): A model-driven approach to RFID application programming and infrastructure management. In : *e-Business Engineering, 2005. ICEBE 2005. IEEE International Conference on*, pp. 256–259.
- (33) J. Mueller; M. Schapranow; C. Poepke; M Urvat; A. Zeier; H. Plattner (2010): Best Practices for Rigorous Evaluation of RFID Software Components. In : *RFID Systech 2010, RFID Systech 2010 - European Workshop on Smart Objects: Systems, Technologies and Applications*.
- (34) Jacinto, C.; Romano, M.; Montes, A.; Sousa, P.; Nunes, M. S. (2009): RFID tuning methodology applied on airport baggage tracking. In : *Emerging Technologies Factory Automation, 2009. ETFA 2009. IEEE Conference on*, pp. 1–4.
- (35) Jekwan Park; Wooseok Ryu; Bonghee Hong; Byeongsam Kim (2010): Design of toolkit of multiple virtual readers for scalability verification of RFID middleware. In : *The Second International Conference on Emerging Databases (EDB 2010)*, pp. 56–59.
- (36) Jin, Qi; Ren, Zheng; Wang, Dong (2011): Simulating Supply Chain Activities and Providing RFID Event Data for Test. In : *Information Management, Innovation Management and Industrial Engineering (ICIII), 2011 International Conference on*, vol. 3, pp. 438–441.
- (37) Kyung-Joon Park; Rong Zheng; Xue Liu (2012): Cyber-physical systems: Milestones and research challenges. In *Computer Communications* 36 (1), pp. 1–7. DOI: 10.1016/j.comcom.2012.09.006.
- (38) Landt, Jeremy (2001): *Shrouds of Time: the history of RFID: Association of Automatic Identification and Data capture Technologies (AIM)*.
- (39) Landt, J. (2005): The history of RFID. In *Potentials, IEEE* 24 (4), pp. 8–11. DOI: 10.1109/MP.2005.1549751.
- (40) Lee, Edward A. (2007): *Computing foundations and practice for cyber-physical systems: A preliminary report*. In University of California, Berkeley, Tech. Rep. UCB/EECS-2007-72.

- (41) Lee, Edward A. (2008): Cyber Physical Systems: Design Challenges. In : Object Oriented Real-Time Distributed Computing (ISORC), 2008 11th IEEE International Symposium on, pp. 363–369.
- (42) Lee, Edward A. (2010): CPS foundations. In : Proceedings of the 47th Design Automation Conference. ACM, pp. 737–742.
- (43) Lee Jongyoung; Kim Naesoo (2006): Performance Test Tool for RFID Middleware: Parameters, Design, Implementation, and Features. In : Advanced Communication Technology, 2006. ICACT 2006. The 8th International Conference, vol. 1, pp. 149–152.
- (44) Lee, Edward A.; David, Broman; Martin, Torngren; Sunder, Shyam S. (2013): Cyber-Physical Systems.
- (45) Li, C.-M.J. (2006): An integrated software platform for RFID-enabled application development. In : Sensor Networks, Ubiquitous, and Trustworthy Computing, 2006. IEEE International Conference on, vol. 1, pp. 4 p-.
- (46) Mark Utting; Bruno Legeard (2007): Practical Model-Based Testing: Morgan Kaufmann.
- (47) Marwedel, Peter (2011): Embedded system design: Embedded systems foundations of cyber-physical systems: Springer Science+Business Media B.V.
- (48) Mueller, J.; Popke, C.; Urvat, M.; Zeier, A. and Plattner, H. (2009): A Simulation of the Pharmaceutical Supply Chain to Provide Realistic Test Data. In : Advances in System Simulation, 2009. SIMUL '09. First International Conference on, pp. 44–49.
- (49) Myers, Glenford (2004): The Art of Software Testing, Second Edition: John Wiley & Sons, Inc.
- (50) Object Management Group (2007): UML Specification, v2.2.
- (51) Object Oriented Real-Time Distributed Computing (ISORC), 2008 11th IEEE International Symposium on (2008).
- (52) Park, JamesJ; Lopez, Javier; Yeo, Sang-Soo; Shon, Taeshik; Taniar, David (Eds.) (2011): Secure and Trust Computing, Data Management and Applications: Springer Berlin Heidelberg (Communications in Computer and Information Science).
- (53) Perrey, R.; Lycett, M. (2003): Service-oriented architecture. In : Applications and the Internet Workshops, 2003. Proceedings. 2003 Symposium on, pp. 116–119.
- (54) Rajkumar, Ragunathan; Lee, Insup; Sha, Lui; Stankovic, John (2010): Cyber-physical systems: the next computing revolution. In : Proceedings of the 47th Design Automation Conference. ACM, pp. 731–736. Available online at <http://doi.acm.org/10.1145/1837274.1837461>.
- (55) Rui, Wang; Prives, S.; Fischer, R.; Salfer, M.; Gunthner, W.A (2011): Data analysis and simulation of Auto-ID enabled food supply chains based on EPCIS standard. In : Automation and Logistics (ICAL), 2011 IEEE International Conference on, pp. 58–63.
- (56) Rumbaugh, James; Jacobson, Ivar; Booch, Grady (2004): Unified Modeling Language Reference Manual, The (2nd Edition): Pearson Higher Education.
- (57) Ryu, Wooseok; Kwon, Joonho; Hong, Bonghee (2011): A Simulation Network Model to Evaluate RFID Middlewares. In International Journal of Software Engineering and Knowledge Engineering 21 (06), pp. 779–801.
- (58) Ryu, Wooseok; Kwon, Joonho; Hong, Bonghee (2011): An RSN Tool: A Test Dataset Generator for Evaluating RFID Middleware. In JamesJ Park, Javier Lopez, Sang-Soo Yeo, Taeshik Shon, David Taniar (Eds.): Secure and Trust Computing, Data Management and Applications, vol. 186: Springer Berlin Heidelberg (Communications in Computer and Information Science), pp. 217–224.
- (59) Ryu, Wooseok; Kwon, Joonho; Hong, Bonghee (2012): Generation of RFID test datasets using RSN tool. In Personal and Ubiquitous Computing, pp. 1–11.



- 
- (60) Sharyn Leaver (2004): Evaluating RFID Middleware. Forrester Research, Inc.
- (61) Siror, J. K.; Sheng Huanye; Wang Dong (2010): Automating customs verification process using RFID technology. In : Digital Content, Multimedia Technology and its Applications (IDC), 2010 6th International Conference on, pp. 404–409.
- (62) Stockman, Harry (1948): Communication by Means of Reflected Power. In Proceedings of the IRE 36 (10), pp. 1196–1204. DOI: 10.1109/JRPROC.1948.226245.
- (63) TaiHyun, Ahn; Gihong, Kim; Bonghee Hong; Hoonho Kwon (2011): A Performance Evaluation Tool for EPCIS. In : SENSORCOMM 2011, The 5th International Conference on Sensor Technologies and Applications, pp. 145–150.
- (64) Talcott, Carolyn (2008): Cyber-Physical Systems and Events. In Martin Wirsing, Jean-Pierre Banâtre, Matthias Hözl, Axel Rauschmayer (Eds.): Software-Intensive Systems and New Computing Paradigms, vol. 5380: Springer Berlin Heidelberg (Lecture Notes in Computer Science), pp. 101–115. Available online at [http://dx.doi.org/10.1007/978-3-540-89437-7\\_6](http://dx.doi.org/10.1007/978-3-540-89437-7_6).
- (65) Tan, Ying; Goddard, Steve; Perez, Lance C. (2008): A prototype architecture for cyber-physical systems. In ACM SIGBED Review 5 (1), pp. 1–2.
- (66) Wirsing, Martin; Banâtre, Jean-Pierre; Hözl, Matthias; Rauschmayer, Axel (Eds.) (2008): Software-Intensive Systems and New Computing Paradigms: Springer Berlin Heidelberg (Lecture Notes in Computer Science).
- (67) Zhang, Haipeng; Kwon, Joonho; Hong, Bonghee (2011): A Graph model based simulation tool for generating RFID streaming data. In : Proceedings of the 13th Asia-Pacific web conference on Web technologies and applications. Berlin and Heidelberg: Springer-Verlag (APWeb'11), pp. 290–300.