„The most profound technologies are those that disappear. They weave themselves into the fabric of everyday life until they are indistinguishable from it."
(Weiser 1991, S. 94)

1 Einleitung

1.1 Problemstellung und Motivation

Die Durchdringung des Alltags mit Informationstechnik (IT) schreitet seit Jahrzehnten voran, sowohl im betrieblichen als auch im privaten Bereich. Ausgehend von den Anfängen der IT mit großen Mainframe-Rechnern führte diese Entwicklung zu PCs und mobilen Endgeräten sowie zu eingebetteten IT-Systemen in maschinellen Anlagen und Elektrogeräten. Miniaturisierung und Verbreitung von IT-Komponenten begründen einen Paradigmenwechsel der Informationsverarbeitung (IV) hin zur allgegenwärtigen Informationsverarbeitung oder Ubiquitous Computing (Weiser 1991; Weiser, Gold und Brown 1999, Mattern 2003, Saha und Mukherjee 2003, Bohn et al. 2004, Ma et al. 2005). Die Vision des Ubiquitous Computing ist gekennzeichnet durch die ubiquitäre Präsenz von IT durch das Einbetten miniaturisierter IT-Komponenten in Alltagsgegenstände. Diese werden zu sog. smarten Objekten und ermöglichen eine enge Integration oder Verschmelzung der virtuellen und der physischen Welt (Strassner 2005, S. 54).

Eine Basistechnologie für Ubiquitous Computing ist Radio Frequency Identification (RFID) (Mattern 2005, Fleisch und Mattern 2005, Müller und Handy 2005). RFID dient dem kontaktlosen Identifizieren von Objekten über Funkwellen. Dazu werden die zu identifizierenden Objekte mit Datenträgern (sog. Transpondern oder Tags) ausgestattet, die ausgelesen werden, sobald sie sich in Reichweite von RFID-Lesegeräten befinden. Im einfachsten Fall speichern RFID-Transponder lediglich eine Identifikationsnummer und erfüllen damit prinzipiell die gleiche Funktion wie etablierte Barcodeetiketten. RFID bietet jedoch Vorteile beim Auslesen (kontaktloses Lesen ohne Sichtverbindung, Pulkerfassung), so dass das vollautomatische Auslesen erleichtert wird. Komplexere Transponderarchitekturen ermöglichen darüber hinaus bspw. größere Lesereichweiten oder die Integration größerer, wiederbeschreibbarer Speicher und verschiedener Sensoren.

Betriebliche Anwendungsmöglichkeiten der RFID-Technik finden sich insbesondere in der Logistik. Wissenschaft und Praxis untersuchen seit etwa zehn Jahren verstärkt die Potenziale von RFID-Systemen für die Kopplung von Material- und Informationsflüssen zur Steuerung logistischer Prozesse (McFarlane und Sheffi 2003, Fleisch und Dierkes 2003, Angeles 2005, aukler und Seifert 2007, Delen, Hardgrave und Sharda 2007). Frühe bekannte Anwendungen entstammen bspw. der militärischen Logistik und der Distribution im Einzelhandel (Matta und Moberg 2006, Vijayaraman und Osyk 2006, Delen, Hardgrave und Sharda 2007). In diesen Anwendungen findet die RFID-Kennzeichnung

überwiegend auf Transportbehälterebene statt. Mit fallenden Transponderpreisen wird jedoch zunehmend auch die Ausstattung auf Einzelproduktebene interessant.

Im Mittelpunkt von Forschung und Praxis steht bislang der Einsatz von RFID zur Unterstützung der klassischen logistischen Aufgabenbereiche der Beschaffungs-, Produktions- und Distributionslogistik. Gegenstand dieser Bereiche sind Güterflüsse entlang der Wertschöpfungskette – von Rohstofflieferanten über Produzenten und (Zwischen-)Händler bis zu den Endkunden. Die entgegen dieser Richtung verlaufenden Materialflüsse gewinnen zunehmend an Bedeutung und sind Forschungsgegenstand der Reverse Logistics, einem relativ jungen Teilgebiet der Logistikforschung. Die unidirektionale Wertschöpfungskette als klassischer Betrachtungsgegenstand des Supply Chain Managements wird durch Reverse Logistics erweitert zur „closed loop supply chain“ oder „supply loop“ (Geyer, Van Wassenhove und Atasu 2007; Guide, Harrison und Van Wassenhove 2003). Aufgabe der Reverse Logistics ist die Reintegration von Objekten der rückwärts fließenden Materialflüsse in vorwärtsgerichtete Wertschöpfungsketten. Beispiele sind etwa Mehrwegbehälterkreisläufe im inner- oder zwischenbetrieblichen Einsatz oder das Recycling von Abfällen aus privaten Haushalten. Ein wesentliches Merkmal, in dem sich die Materialflüsse der Reverse Logistics zu denen der Forward Logistics abgrenzen, ist das hohe Maß an Unsicherheit (Rogers et al. 2001, Tibben-Lembke und Rogers 2002, Choinard, D’Amours und Ait-Kadi 2005, Meade, Sarkis und Presley 2007, Thoroe und Schumann 2008). Dies betrifft Zeit, Ausgangspunkt und Menge zukünftiger Materialflüsse ebenso wie Unsicherheiten hinsichtlich der Identität und des Zustandes logistischer Objekte.

Aufgrund dieser Unsicherheiten ergeben sich Bedarfe nach Objektidentifikation, die potenziell mithilfe von RFID-Systemen erfüllt werden können. Wissenschaft und Praxis haben diese Potenziale (im Vergleich zum RFID-Einsatz Produktions- und Distributionslogistik) bisher nur wenig betrachtet und sind Gegenstand dieser Arbeit. Bei der Untersuchung der Rolle von RFID in Reverse-Logistics-Systemen sind zwei wesentliche Bereiche zu unterscheiden: Einerseits stellt sich die Frage, wie RFID-Systeme genutzt werden können, um Reverse-Logistics-Prozesse zu unterstützen. RFID ist hier (wie in anderen Arbeiten zu Nutzenpotenzialen von RFID in der Logistik allgemein) potenzielles Instrument für Reverse Logistics. Andererseits gilt es aber auch zu beachten, dass RFID-Transponder selbst Gegenstand der Reverse Logistics werden, wenn die zu identifizierenden Objekte in die Nachnutzungsphase eintreten. Die dabei auftretenden Probleme sollen ebenfalls in dieser Arbeit behandelt werden.

1.2 Forschungsfragen

Die übergeordnete Fragestellung, der sich diese Arbeit widmet, lautet: *Welche Auswirkungen hat der Einsatz von RFID-Systemen zur Kennzeichnung logistischer Objekte auf Reverse-Logistics-Systeme?*

Zur Operationalisierung dieser übergeordneten Fragestellung wird diese im Folgenden in detaillierteren Forschungsfragen präzisiert, um zu einer Gesamteinschätzung zu gelangen. Im ersten Schritt ist eine Systematisierung erforderlich, die das Forschungsfeld strukturiert und die Ableitung relevanter Teilgebiete ermöglicht.

> **Forschungsfrage 1**: Wie ist das Forschungsfeld zu systematisieren, um den Einsatz von RFID-Systemen für die Kennzeichnung logistischer Objekte im Hinblick auf Reverse-Logistics-Systeme zu beurteilen?

Zur Beantwortung dieser Frage – und zur Vorbereitung der nachfolgenden Untersuchungen – wird in Kapitel 3 eine Systematik hergeleitet, in welche sich die in dieser Arbeit vorgenommenen Untersuchungen einordnen. Die Auswahl der thematischen Schwerpunkte für die nachfolgenden Forschungsfragen erfolgte dabei so, dass die Art der Verwertung (Wiederverwendung, Materialrecycling etc.) in möglichst vielen Ausprägungen betrachtet wird, da diese die Rolle von RFID in Reverse-Logistics-Systemen entscheidend prägt.

Auf der einen Seite dieses Spektrums stehen solche logistischen Objekte, die für die mehrfache Verwendung in Kreislaufsystemen ausgelegt sind. Sie durchlaufen ihre Nutzungsphase in Forward-Logistics-Systemen mit relativ wenig Verlust an Wert und Einsatzfähigkeit und können mit wenig Aufarbeitung oder Instandsetzung durch Reverse-Logistics-Prozesse wieder ihrem ursprünglichen Einsatzweck zugeführt werden. Typisches Beispiel für derartige logistische Objekte, bei denen (Pilot-)Projekte des Einsatzes von RFID zur Unterstützung rückführender Prozesse bereits dokumentiert sind, sind Mehrwegtransportbehälter.

> **Forschungsfrage 2**: Welche Nutzenpotenziale bietet der Einsatz von RFID-basierten Systemen für das Behältermanagement und wie sind solche Systeme wirtschaftlich zu implementieren?

Auf der anderen Seite des Spektrums finden sich solche logistischen Objekte, die nur für eine sehr kurze Nutzungsdauer ausgelegt sind und deren Verwertungsziel nach der ersten Nutzung die rohstoffliche oder energetische Verwertung ist – die untersten Optionen in der sog. Abfallhierarchie (siehe Abschnitt 2.1.3.1). Typisches Beispiel ist die Entsorgung von Einwegproduktverpackungen. Zur Unterstützung von Forward-Logistics-Prozessen werden vermehrt RFID-Tags zur Produktidentifizierung auf Verpackungen angebracht (siehe Abschnitt 5.3.4). Die Auswirkungen eines Masseneinsatzes von RFID auf Produktverpackungen auf die Verpackungsverwertung sind unklar: Einerseits werden Probleme durch den Materialeintrag durch Transponder befürchtet, andererseits könnten aber auch Potenziale zur Nutzung der RFID-basierten Objektdaten bestehen.

> **Forschungsfrage 3:** Welche Auswirkungen hat der Einsatz von RFID auf (Einweg-)Produktverpackungen auf Reverse-Logistics-Systeme? Wie sind Chancen und Risiken dieses Einsatzes zu bewerten?

Zwischen diesen beiden Extremen sind komplexe, langlebige Gebrauchsgüter angesiedelt. Diese haben nach der ersten Nutzung oft noch erheblichen Wert, der wiederzugewinnen ist. Ein typisches Beispiel sind Elektro- und Elektronikaltgeräte. Aufgrund der enthaltenen Wert- und Schadstoffe werden hier besonders hohe Anforderungen an das Recycling gestellt. Wie detaillierte Objektdaten, die mit RFID-Systemen erhoben werden, die Verwertung von Elektroaltgeräten im Hinblick auf die in relevanten Rechtsnormen definierten Ziele unterstützen, wird in der vierten Forschungsfrage untersucht.

Forschungsfrage 4: Wie können RFID-basierte Systeme Reverse-Logistics-Prozesse von Elektro- und Elektronikaltgeräten unterstützen?

1.3 Forschungsmethodik

Die Ursprünge der Wirtschaftsinformatik liegen in den Wirtschaftswissenschaften (insbesondere Betriebswirtschaftslehre) und der Informatik (Becker et al. 2004, S. 335, Mertens et al. 2010, S. 6). Diese Interdisziplinarität betrifft sowohl den Gegenstandsbereich als auch die Methoden der Forschung (Heinrich 2005, S. 106f.) und trägt zur Breite des Methodenspektrums der Wirtschaftsinformatik bei. Wilde und Hess (2007) haben mithilfe einer Literaturanalyse häufig angewendete Methoden der Wirtschaftsinformatik identifiziert und klassifiziert. Das von Ihnen erstellte Portfolio bildet die Basis für die Einordnung der zur Beantwortung der Forschungsfragen (F1 - F4) angewendeten Methoden in Abbildung 1-1:

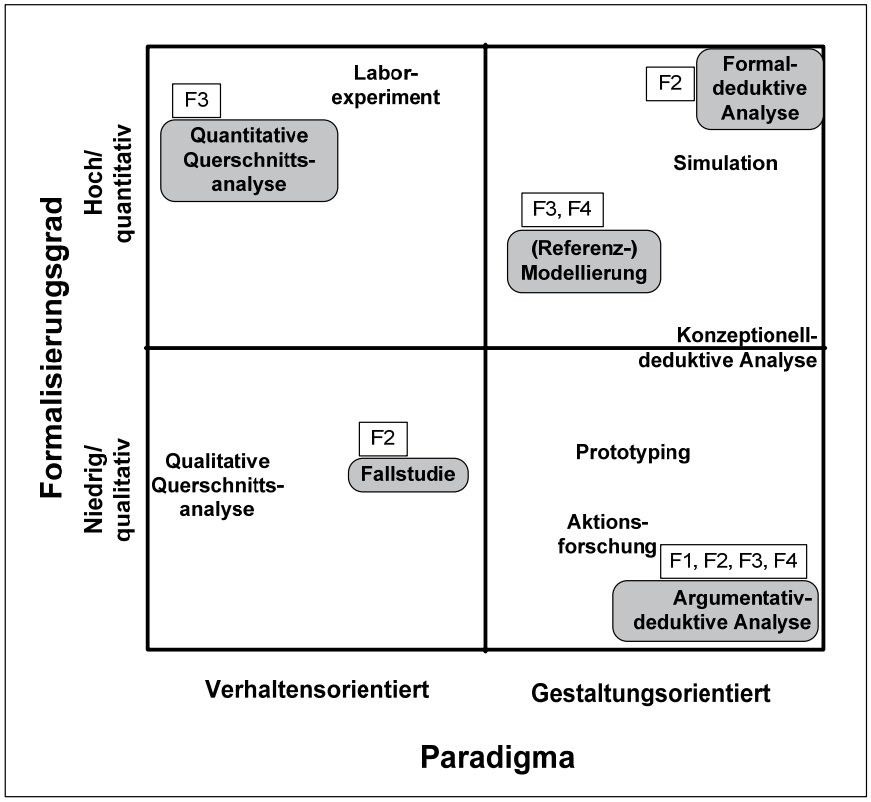

Abbildung 1-1: Forschungsmethoden der Wirtschaftsinformatik (nach Wilde und Hess 2007)

Argumentativ-deduktives Schließen (zumeist auf Basis von Literaturstudien) wird in Ansätzen bei jeder der vier Forschungsfragen angewandt. Bei Frage 1, die auf die Systematisierung des Forschungsfeldes abzielt, wird diese Methode ausschließlich verwendet, bei den anderen Fragen kommen zusätzlich andere Methoden zum Einsatz. Die Wahl der Methode richtet sich jeweils nach dem Forschungsziel, wird aber auch wesentlich vom Stand der Forschung und Praxis im jeweiligen Themenfeld beeinflusst:

Forschungsfrage 2 widmet sich der Behälterlogistik. Hier ist der Implementierungsstand von RFID-Systemen (im Vergleich zu den in den übrigen Fragen untersuchten Bereichen) relativ weit fortgeschritten. RFID-basierte Behälterverfolgungssysteme werden in der Praxis eingesetzt, haben sich jedoch noch nicht durchgesetzt. Die Methoden zielen dementsprechend eher auf die Untersuchung existierender Systeme ab – abstrahiert als formal-analytische Analyse sowie konkret als Fallstudie. Im Gegensatz dazu betreffen die Forschungsfragen 3 und 4 weniger aktuell eingesetzte RFID-Anwendungen, so dass hier ein stärkerer Fokus auf der Gestaltung zukünftig einsetzbarer Systeme liegt. In methodischer Hinsicht gelangen hier die konzeptionelle Systemmodellierung und quantitative Querschnittsanalyse zur Anwendung.

1.4 Aufbau der Arbeit

Zur Beantwortung der Forschungsfragen ist die Arbeit wie folgt aufgebaut:

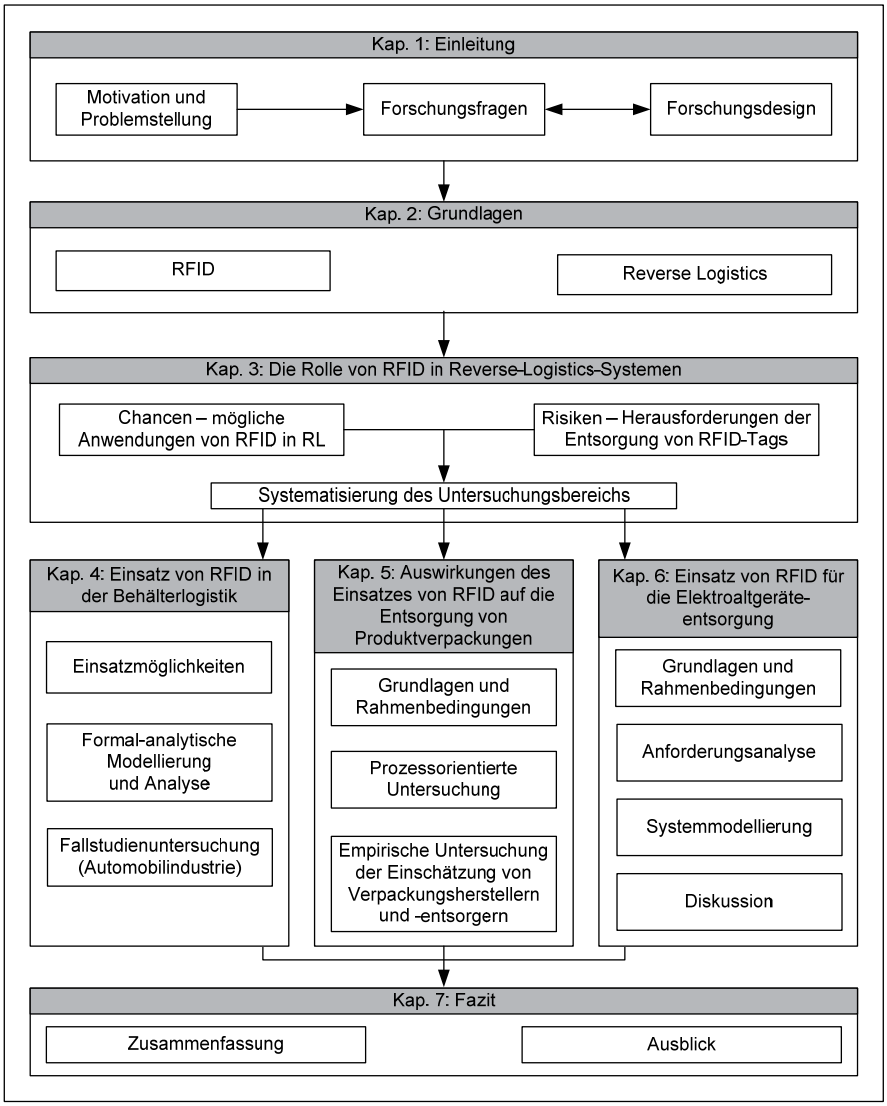

Abbildung 1-2: Aufbau der Arbeit

Nach der Einleitung werden in Kapitel 2 relevante Grundlagen der Themenbereiche RFID und Reverse Logistics dargestellt. In Kapitel 3 wird ein Überblick über den Stand der Forschung gegeben sowie ein Systematisierungsrahmen für die folgenden Untersuchungen hergeleitet.

Kapitel 4 widmet sich dem Einsatz von RFID in der Behälterlogistik. Einsatzmöglichkeiten von RFID zur Unterstützung der Behälterlogistik werden anhand von Praxisbeispielen dargestellt. Danach wird ein formal-analytisches Behälterlogistikmodell hergeleitet, mit dem der Einsatz RFID-basierter Trackingsysteme quantitativ untersucht wird. Gegenstand der Analyse sind insbesondere Nutzenpotenziale, Wirtschaftlichkeit sowie der Einfluss unterschiedlicher Implementierungsalternativen. Anschließend werden in einer Fallstudie aus der Automobilindustrie hemmende Faktoren für die Implementierung derartiger Informationssysteme in komplexen Logistiksystemen untersucht – insbesondere erweiterter Einsatzzweck, Lieferanteneinbindung und die damit einhergehende Komplexitätssteigerung des abzubildenden Teilsystems.

In Kapitel 5 wird der Einsatz von RFID zur Kennzeichnung von (Einweg-)Produktverpackungen untersucht. Primärer Einsatzzweck von RFID ist hier nicht die Unterstützung rückwärtsgerichteter Prozesse sondern vielmehr Anwendungen in der Distributionslogistik. Gegenstand dieses Kapitels sind die Herausforderungen, die sich dadurch für Reverse-Logistics-Systeme ergeben (insbesondere die Verunreinigung von Verpackungsabfall durch Transponderbestandteile), aber auch die mögliche Verwendung RFID-basierter Objektdaten in Verwertungsprozessen. Einer prozessorientierten Untersuchung dieser Herausforderungen und Potenziale folgt dann eine empirische Untersuchung der Einschätzung seitens der Praxis (Verpackungshersteller und -entsorger).

Kapitel 6 behandelt den Einsatz von RFID in der Elektroaltgeräteentsorgung und zeigt Nutzenpotenziale RFID-basierter Objektinformation für die Verwertung von Elektro- und Elektronikaltgeräte auf. Insbesondere wird das System der erweiterten Herstellerverantwortung und dessen Individualisierung durch RFID-basierte Daten betrachtet. Für ein entsprechendes Informationssystem wird ein Systemkonzept erarbeitet. Es werden zunächst Anforderungen untersucht und darauf aufbauend ein Systemmodell konzipiert – unterteilt in ein Daten-, Objekt- und Architekturmodell. Der Modellierung schließt sich eine Diskussion des erarbeiteten Konzeptes an.

Die Arbeit endet mit Fazit und Ausblick in Kapitel 7. Hier werden die eingangs formulierten Forschungsfragen wieder aufgegriffen und Ergebnisse zusammengefasst. Außerdem werden Bedarfe nach zukünftiger Forschung in dem Bereich aufgezeigt.