Martin Finger

Konzipierung eines Identifikationssystems auf Bluetooth-Basis

Beiträge aus der Informationstechnik

Martin Finger

Konzipierung eines Identifikationssystems auf Bluetooth-Basis

VOGT

Dresden 2008

Bibliografische Information der Deutschen Bibliothek

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über http://dnb.ddb.de abrufbar.

Zugl.: Dortmund, Techn. Univ., Diss., 2008

Die vorliegende Arbeit stimmt mit dem Original der Dissertation „Konzipierung eines Identifikationssystems auf Bluetooth-Basis“ von Martin Finger überein.

Besuchen Sie uns im Internet:
www.vogtverlag.de

© Jörg Vogt Verlag 2008
Alle Rechte vorbehalten. All rights reserved.

Gesetzt vom Autor
Printed in Germany

ISBN 978-3-938860-16-8

Jörg Vogt Verlag
Niederwaldstr. 36 · 01277 Dresden
Telefon: +49-(0)351-31403921
Telefax: +49-(0)351-31403918
Email: info@vogtverlag.de

Technische Universität Dortmund

Konzipierung eines Identifikationssystems auf Bluetooth-Basis

Dipl.-Ing. Martin Finger

von der Fakultät für Maschinenbau der
Technischen Universität Dortmund

zur Erlangung des akademischen Grades
Doktor-Ingenieur

Gutachter: Prof. Dr.-Ing. habil. R. Jansen
Prof. Dr.-Ing. habil. H.-J. Jentschel

Tag der Einreichung: 12.10.2007
Tag der Verteidigung: 29.02.2008

Danksagung

Die Grundlagen der vorliegenden Arbeit entstanden während meiner dreijährigen Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fachgebiet Logistik der Technischen Universität Dortmund.
Mein Dank gilt an erster Stelle Herrn Prof. Dr.-Ing. habil. Rolf Jansen, der mir die Bearbeitung interessanter Forschungsprojekte ermöglichte und durch viele wertvolle Anregungen und Hinweise Unterstützung gegeben hat.
Ferner gilt mein Dank den Kollegen und Mitarbeitern des Fachgebiets Logistik sowie den Projektpartnern an der TU Dresden und aus der Industrie.

Herrn Prof. Dr.-Ing. habil. Hans-Joachim Jentschel danke ich für das Interesse an dieser Arbeit und die Übernahme eines Gutachtens.

Besonderen Dank gilt auch meinem Vater Prof. Dr.-Ing. habil. Adolf Finger der mit einigen Tipps und vielen Korrekturlesungen zum Gelingen der Arbeit beitrug.

Nicht zuletzt danke ich meiner Frau Anja und den Kindern Lisa und Amelie für ihr Verständnis bei der Anfertigung dieser Arbeit.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis……..III
Glossar..... …… VI
Abbildungsverzeichnis……..……..……VII
Tabellenverzeichnis……IX

1. Einleitung..... 1
2. Stand der Technik 4
   2.1. Grundlagen der RFID-Technologie 4
      2.1.1. Komponenten eines RFID-Systems 4
      2.1.2. Physikalische Grundprinzipien für RFID-Systeme..... 5
      2.1.3. Induktive Kopplung..... 6
      2.1.4. Backscatter-Kopplung 8
      2.1.5. Frequenzbereiche und Funkzulassungsvorschriften 10
      2.1.6. Energieversorgung..... 11
      2.1.7. Form und Bauart der Transpondergehäuse 12
   2.2. Leistungsmerkmale von RFID-Systemen..... 14
      2.2.1. Systeme im Frequenzbereich unter 135 kHz..... 14
      2.2.2. Systeme im Frequenzbereich 13,56 MHz 15
      2.2.3. Systeme im Frequenzbereich 868 / 915 MHz..... 16
      2.2.4. Systeme im Frequenzbereich 2,45 GHz..... 17
      2.2.5. Leistungsparameter der RFID-Systeme im Vergleich..... 18
   2.3. Defizite derzeitiger RFID-Systeme..... 20
      2.3.1. Transponderpreis beim Einwegeinsatz 20
      2.3.2. Technologien und Infrastruktur von Schreib-/Lesegeräten 21
      2.3.3. Physikalische Restriktionen..... 23
      2.3.4. Standardisierung..... 24
      2.3.5. Sonstige Defizite 27
   2.4. Bluetooth-Technologie 28
      2.4.1. Netzwerkstruktur 29
      2.4.2. Basis-Protokollschichten 32
3. Systemvergleich RFID und Bluetooth 34
   3.1. Vorteile der Bluetooth-Technologie gegenüber der RFID-Technologie 34
      3.1.1. Standardisierung..... 34
      3.1.2. Baugrößen Schreib-/Lesegeräte 35
      3.1.3. Verfügbarkeit und Kosten der Schreib-/Lesegeräte..... 36
      3.1.4. Systemleistung..... 37
      3.1.5. Störanfälligkeit 38

3.2. Nachteile der Bluetooth-Technologie gegenüber der RFID-Technologie 39
3.2.1. Energieversorgung 39
3.2.2. Identifikationsdauer 39
3.3. Technische Parameter im Vergleich 39
4. Technische Entwicklung eines Experimentalsystems auf Basis der Bluetooth-Technologie 41
4.1. Systemkonzeption Bluetooth-Transponder 41
4.1.1. Systemkonzept 41
4.1.2. System-Komponenten 42
4.1.3. Funktionelle Abläufe 43
4.1.4. Protokolle 46
4.2. Hardwareentwicklung für den Bluetooth-Transponder 50
4.3. Firmwareentwicklung für den Bluetooth-Transponder 54
4.4. Softwareentwicklung 56
4.5. Entwicklung von Transponderbauformen und Gehäusen 58
4.5.1. Anforderungen an die Gehäuseentwicklung 58
4.5.2. Hauptkomponenten des Bluetooth-Transponders 59
4.5.3. Kunststoffgehäuse 60
4.5.4. Keramikgehäuse 62
5. Funktions- und Simulationstests des Bluetooth-Transpondersystems 64
5.1. Belastungstests 65
5.1.1. Kälteeinwirkung 65
5.1.2. Wärmeeinwirkung 66
5.1.3. Mechanische Belastbarkeit 66
5.2. Bestimmung der Kommunikationsparameter des Bluetooth-Transponders 68
5.3. Bluetooth-Performancetests 72
5.3.1. Reichweite 73
5.3.2. Applikationsuntergründe und Durchdringungsvermögen diverser Stoffe 74
5.3.3. Pulkfähigkeit in Abhängigkeit der Reichweite 76
5.3.4. Identifikationszeit 77
5.3.5. Ermittlung der Batterielebensdauer 79
5.3.6. Schlussfolgerungen aus den Funktions- und Simulationstests 85
6. Einsatzkriterien, potenzielle Anwendungsgebiete und Anforderungsprofile 86
6.1. Einsatzkriterien für aktive Bluetooth-Transponder 86
6.2. Anwendungsgebiete 92
6.2.1. Anwendungsgebiet Logistik 92
6.2.2. Anwendungsgebiet Produktion 94
6.2.3. Anwendungsgebiet Sicherheit 95
6.3. Anforderungsprofile 96
6.3.1. Anforderungsprofile Logistikanwendungen 96
6.3.2. Anforderungsprofile Produktionsanwendungen 98
6.3.3. Anforderungsprofile Sicherheitsanwendungen 99

6.4. Schlussfolgerungen der Anforderungsprofile für Bluetooth-Transponder 100
7. Prototypische Anwendungen des Experimentalsystems anhand ausgewählter Pilotbeispiele 102
7.1. Pilotanwendung „Verbesserung der Informationsbereitstellung bei Gefahrguttransporten im Straßenverkehr“ 102
7.1.1. Ist-Situation 102
7.1.2. Randbedingungen des Bluetooth-Einsatzes bei einer städtischen Feuerwehr 106
7.2. Pilotanwendung „Prozessdatenerfassung in der Automobilkomponentenmontage“ 114
7.2.1. Ist-Situation 114
7.2.2. Randbedingungen des Bluetooth- und RFID-Einsatzes in einem Montagewerk 116
8. Zusammenfassung und Ausblick 127
9. Quellenverzeichnis 129

Glossar

Ad-Hoc-Netzwerk	Verbindung unter Bluetooth-Geräten
Active Modus	Aktiver Kommunikationsmodus bei Bluetooth
ASCII	American Standard Code for Information Interchange
ASK (Amplitude Shift Keying)	Amplitudenmodulation
Bluetooth	standardisierte Funktechnologie
DIN	Deutsches Institut für Normung
EEPROM (Electrical Eraseable Programmable Read Only Memory)	beständiger, programmierbarer Speicher
EN	Europäische Norm
EPC	Electronic Product Code
ERP (Enterprise Ressource Planning)- System	Warenwirtschaftssystem
FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum)	Frequenzsprungverfahren bei Bluetooth
FRAM (Ferroelectric Random Access Memory)	beständiger, programmierbarer Speicher
FSK (Frequency Shif Keying)	Frequenzmodulation
GUI (Graphical User Interface)	Anzeige von Software für Benutzer
GSM (Global System for Mobile Communications)	Mobilfunkstandard
HCI (Host Controller Interface)	Schnittstelle zwischen Bluetooth-Protokollen
HF (High Frequency)	Hochfrequenzbereich
Host	übergeordnete Systemkomponente
Inquiry-Prozedur	Suchprozedur nach Bluetooth-Geräten
ISM (Industrial, Scientific, Medical)	freigegebene Frequenzbänder
ISO (International Standardization Organisation)	Internationale Standardisierungsbehörde
L2CAP (Logical Link Control and Adaption Prtocol)	Bluetooth-Protokoll
LF (Low Frequency)	Niedrigfrequenzbereich
LMP (Link Manager Protocol)	Bluetooth-Protokoll
MF (Medium Frequency)	mittlerer Frequenzbereich
Piconet	Netzwerk aus Bluetooth-Geräten
PSK (Phase Shift Keying)	Phasenmodulation
RAM (Random Access Memory)	flüchtiger Speicher
RFID (Radio Frequency Identification)	kontaktlose Identifikationstechnologie
ROM (Read Only Memory)	Festwertspeicher
SHF (Short High Frequency)	Kurzwellen Hochfrequenzbereich
Sleep Modus	Wartestatus bei Bluetooth auf Host Anfragen
UHF (Ultra High Frequency)	Ultrahochfrequenzbereich
USB (Universal Serial Bus)-Bluetooh-Dongle	Bluetooth-Modul für USB-Schnittstelle
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
WLAN (Wireless Local Area Network)	drahtloses Netzwerk
Zigbee	standardisierte Funktechnologie

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2.1: Hierarchie nach dem Master-Slave-Prinzip der Komponenten eines RFID-Systems... 4
Abbildung 2.2: Funktionsprinzip der induktiven Kopplung (vereinfacht)... 7
Abbildung 2.3: Funktionsprinzip der Backscatter-Kopplung (vereinfacht)... 9
Abbildung 2.4: Bestandteile eines RFID-Smart-Labels... 13
Abbildung 2.5: Transponderbauformen... 13
Abbildung 2.6: Handheld mit wechselbaren Reader-Kopf für LF- und HF-Transponder... 22
Abbildung 2.7: Speicheraufbau eines Generation 2 Transponders... 26
Abbildung 2.8: Schematische Darstellung eines PicoNets... 30
Abbildung 2.9: Schematische Darstellung eines ScatterNets... 31
Abbildung 2.10: Bluetooth-Protokollstruktur... 32
Abbildung 3.1: HF-Schreib-/Lesegerät mit Antenne und Verkabelungen im Vergleich mit Bluetooth-Reader... 36
Abbildung 3.2: Beispiele für potenzielle Bluetooth-Reader... 37
Abbildung 4.1: Blockschaltbild eines Transponders... 42
Abbildung 4.2: Momentaufnahme aus dem Betrieb des automatischen Modus... 46
Abbildung 4.3: Paketstruktur des Host-Transponder-Protokolls... 47
Abbildung 4.4: Blockschaltbild Transponder mit Debug-Board... 51
Abbildung 4.5: Unterseite Platine sowie Oberseite Platine... 52
Abbildung 4.6: Debug-Board. Links Vorderseite, rechts Rückseite.... 53
Abbildung 4.7: Struktur der Firmware... 55
Abbildung 4.8: Struktur der Hostsoftware... 57
Abbildung 4.9: Bluetooth-Transpondergehäuse für 3 AAA Batterien (67 mm x 42 mm x 27 mm)... 61
Abbildung 4.10: Bluetooth-Transpondersgehäuse für 2 Rundzellen (60,5 mm x 50,6 mm x 11 mm).. 61
Abbildung 4.11: Transponder-Keramikgehäuse in gebrannten Zustand (85 mm x 60 mm x 44 mm).. 63
Abbildung 5.1: Entladekurven Alkaline Batterien bei 250 mA bei unterschiedlichen Temperaturen.. 66
Abbildung 5.2: Testgerät Universalprüfmaschine (Labor Fachgebiet Logistik)... 67
Abbildung 5.3: Krafteinleitung durch Stahlplatte (Flächenkraft)... 67
Abbildung 5.4: Krafteinleitung durch Stahlbalken... 68
Abbildung 5.5: Bildschirmausschnitt Oszillator im Sleep Modus, charakteristisch sind die kurzen Phasen, in denen der Transponder seine Umgebung abhört... 70
Abbildung 5.6: Bildschirmausschnitt Oszillator der Phasen Inquiry Response, Wartezeit und Identifikation... 72
Abbildung 5.7: Lesequote in Abhängigkeit der Entfernung... 74
Abbildung 5.8: Bluetooth-Transponder im Versuch zur Überprüfung der Durchdringung einer Holzplatte... 75
Abbildung 5.9: Max. Reichweite bei Stoffdurchdringung und Applikationsuntergrund unterschiedlicher Materialien... 76

Abbildung 5.10: Lesequote in Abhängigkeit der Transponderanzahl und Entfernung 77
Abbildung 5.11: Identifikationszeit und Auslesezeit pro Transponder in Abhängigkeit der Transponderanzahl..... 78
Abbildung 5.12: Entladekurve Alkaline Batterie mit konstanten Entladeströmen..... 80
Abbildung 5.13: Batterielebensdauer über Anzahl der Kommunikationen pro Tag 84
Abbildung 7.1: Gefahrzettel nach GGVSE für Verpackungen, Container, Tanks, Wechselbrücken etc. 103
Abbildung 7.2: Warntafel mit Gefahrnummer (z.B. 33 für leicht entzündlich) und UN-Nummer (z.B. 1203 für Benzin) 104
Abbildung 7.3: Beispielhafte Datenverarbeitung des Gefahrguts Methanol 109
Abbildung 7.4: PDA ZAURUS SL-C3100 für die Implementierung der Einsatzmaßnahmen-datenbank und den Bluetooth-Reader 111
Abbildung 7.5: Oberfläche des PDA's mit dem Gefahrgut Methanol 112
Abbildung 7.6: Übungstank der Feuerwehr mit Bluetooth-Transponder 113
Abbildung 7.7: Einsatzleiter der Feuerwehr mit PDA beim Auslesen des Bluetooth-Transponders (Übungstank im Hintergrund) aus sicherer Entfernung 114
Abbildung 7.8: Fertig montierte Module im Warenausgang..... 116
Abbildung 7.9: RFID-Systemvarianten, um Transponder an Bauteilen zu erfassen 123
Abbildung 7.10: RFID-Systemvarianten, um Transponder an Ladungsträgern zu erfassen 124
Abbildung 7.11: Screenshot der Steuerungssoftware bei der Anzeige der relevanten Daten für Bandarbeitsplatz 1 125
Abbildung 7.12: Querträger Fußgängerschutz mit HF-Transponder 126
Abbildung 7.13: Werkstückträger mit Bluetooth-Transponder an Bandarbeitsplatz 1 126

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.1: Wellenlänge in Abhängigkeit der Frequenz ... 6
Tabelle 2.2: Frequenzbereiche für RFID-System ... 10
Tabelle 2.3: Derzeitige Funkzulassungsvorschriften ... 11
Tabelle 2.4: Überblick der Systemvarianten bei Energieversorgung und Kommunikation ... 11
Tabelle 2.5: Überblick Eigenschaften gängiger RFID-Systeme ... 19
Tabelle 2.6: Übersicht Technologie-Standards im RFID-Bereich ... 25
Tabelle 2.7: Übersicht EPC-Varianten ... 26
Tabelle 2.8: Übersicht Anwendungsstandards ... 27
Tabelle 3.1: Abmessungen und Gewichte typischer Schreib-/Lesegeräte und Antennen ... 36
Tabelle 3.2: Vergleich Kosten Schreib-/Lesegeräte RFID und Bluetooth ... 37
Tabelle 3.3: Vergleich Bluetooth-Transponder mit aktiven und passiven RFID-Transpondern ... 39
Tabelle 3.4: Vergleich technischer Parameter Bluetooth- und RFID-Technologie ... 40
Tabelle 4.1: Keramiken und ihre wichtigsten Eigenschaften im gebrannten Zustand ... 62
Tabelle 5.1: Spezifizierung der getesteten Bluetooth-Transponder ... 64
Tabelle 5.2: Spezifizierung des Bluetooth-Readers ... 64
Tabelle 5.3: Versuchsarameter zur Belastbarkeit ... 65
Tabelle 5.4: Versuchsparameter zur Bestimmung der Kommunikationsparameter ... 69
Tabelle 5.5: Versuchsparameter zur Bestimmung der Reichweite ... 73
Tabelle 5.6: Versuchsparameter Applikationsuntergründe und Durchdringungsvermögen ... 74
Tabelle 5.7: Reichweiten bei der Durchdringung unterschiedlicher Medien ... 75
Tabelle 5.8: Versuchsparameter zur Pulkfähigkeit ... 76
Tabelle 5.9: Versuchsparameter zur Ermittlung der Identifikationszeit ... 77
Tabelle 5.10: Identifikationszeiten von Transpondern ... 78
Tabelle 5.11: Batterielebensdauer in Abhängigkeit der Anzahl Kommunikationen pro Tag ... 83
Tabelle 5.12: Lebensdauer des Transponders in Abhängigkeit unterschiedlicher Batterien ... 84
Tabelle 6.1: Klassifizierung der erforderlichen Reichweite von Bluetooth-Systemen ... 86
Tabelle 6.2: Klassifizierung der Abgrenzung der Erfassung ... 87
Tabelle 6.3 Einteilung der Identifikationszeit ... 87
Tabelle 6.4: Klassifizierung der Speicherkapazität ... 88
Tabelle 6.5: Merkmalsausprägungen der Pulkfähigkeit ... 88
Tabelle 6.6: Klassifizierung der Batterielebensdauer ... 89
Tabelle 6.7: Merkmalsausprägungen der Bauform ... 89
Tabelle 6.8: Klassifizierung der Abmessungen ... 90
Tabelle 6.9: Klassifizierung der Applikationsebene ... 91
Tabelle 6.10: Anforderungsprofile logistischer Anwendungsgebiete ... 97
Tabelle 6.11: Anforderungsprofile Produktions-Anwendungsgebiete ... 98
Tabelle 6.12: Anforderungsprofile Sicherheits-Anwendungsgebiete ... 99

Tabelle 7.1: Spezifizierung eines ausgewählten PDA zur Erfassung von Gefahrgutdaten 111
Tabelle 7.2: Prioritäten der Bauteile 117
Tabelle 7.3: Materialien der Verpackungen, Ladungsträger und Transportgestelle 119

1. Einleitung

RFID (Radio Frequency Identification) erfährt gegenwärtig ein nahezu uneingeschränktes Interesse in der Öffentlichkeit. Dies zeigt insbesondere die Vielzahl der in die Transponder-Thematik einführenden RFID-Kongresse, Publikationen, welche die herausragenden Potenziale von RFID verkünden sowie die derzeitige Gründung von RFID-Test- und Demonstrationszentren bei Unternehmen und Institutionen. Diese Technologie weist eine Reihe von Vorteilen gegenüber der Barcode-Technologie auf (wie wiederbeschreibbare Datenträger, Auslesen mehrerer Datenträger gleichzeitig und ohne „Sichtkontakt“), birgt aber auch einige Schwachstellen, die den Einsatz in einigen Bereichen der Praxis verhindern oder erschweren.

Die gegenwärtige Diskussion fokussiert sich zum größten Teil auf die Kosten von RFID-Systemen und die noch zu hohen Transponderpreise für den Einwegeinsatz. Dabei werden jedoch technische und organisatorische Problemfelder außer Acht gelassen, die den RFID-Einsatz neben den hohen Kosten behindern [JBL04]:

- Da für die RFID-Technologie verschiedene Frequenzbänder eingesetzt werden, führt dies dazu, dass eine Kompatibilität der Schreib-/Lesegeräte für die Transponder in den unterschiedlichen Arbeitsfrequenzen in einer funktionellen Einheit nicht umsetzbar ist.
- Die mangelhafte Standardisierung des Datenaustausches zwischen Transpondern und Schreib-/Lesegeräten sowie zwischen Schreib-/Lesegeräten und PC-basierter Schnittstellensoftware (Middleware) ist nach wie vor ein Hemmnis.
- Es sind nur wenige Anwendungsgebiete der RFID-Technologie standardisiert.
- Im Frequenzbereich 13,56 MHz besteht das Problem der Lageabhängigkeit.
- Europäische Systeme arbeiten im hochfrequenten Bereich mit 868 MHz und haben eine geringere Leistungsfähigkeit als hochfrequente amerikanische Systeme, die bei 915 MHz arbeiten.

Mit Bluetooth steht eine aus der Informations- und Kommunikationstechnik bekannte Technologie als Alternative zur Verfügung, die einen Teil der technischen und organisatorischen Probleme der RFID-Technologie lösen könnte. Analog zu RFID werden hierbei Transponder auf Bluetooth-Basis zur Identifikation von Objekten und

zur Datenspeicherung am Objekt eingesetzt. Wie ein RFID-System würde ein Bluetooth-System aus den Komponenten:

- Transponder (Bluetoothchip mit Antenne und Gehäuse),
- Schreib-/Lesegerät (Bluetoothmodul, z. B. in Form einer PC-Karte mit integrierter Antenne)
- und Middleware-Programm bestehen.

Den Namen Bluetooth (Blauzahn) wählte die schwedische Firma Ericsson als Initiator dieser Technologie in Erinnerung an den vor rund 1000 Jahren in Dänemark herrschenden König Harald II, der diesen Beinamen trug. Wegen des durch ihn eingeleiteten, erfolgreichen Zusammenschlusses einzelner Gebietsteile zu einem einheitlichen Königreich genießt der Name dieses Herrschers auch heute noch einen guten Ruf und steht als Synonym für fortschrittliches Denken auf Basis eines großen Grundgedankens. Ähnliches gilt auch für die Bluetooth-Technologie, die einen weltweit einheitlich akzeptierten Standard nutzt, und die heute rund 1900 Elektronik-Firmen, die im Rahmen der Bluetooth-SIG (Special Interest Group) organisiert sind und Bluetooth einsetzen wollen oder schon eingesetzt haben [Wollert02].

Seit Ende 2000 sind erste Bluetooth-Geräte verfügbar. Mittlerweile ermöglicht diese Technologie die kabellose Vernetzung unterschiedlichster digitaler Peripheriegeräte, wie z. B. Notebooks, PDA`s (Personal Digital Assistant), Drucker, Scanner und Mobiltelefone. Alle Geräte, die über Bluetooth kommunizieren wollen, müssen die Bedingungen der lizenzfreien SIG-Spezifikation erfüllen, damit die Kompatibilität gewährleistet wird. Der Standard wird kontinuierlich von den Mitgliedsunternehmen weiterentwickelt.

Ein wesentliches Ziel der vorliegenden Arbeit ist die technische und technologische Realisierung eines anwendungsspezifischen Prototypen in Form eines Experimental-systems und deren Anwendung in spezifischen Einsatzgebieten.

Im Rahmen der Ausarbeitungen soll ermittelt werden, inwieweit ein Transponder auf Basis der Bluetooth-Technologie gegenüber einem Transponder auf Basis der RFID-Technologie in typischen Anwendungsbereichen und darüber hinaus technologische Vorteile bietet. Das bedeutet, dass der Einsatz der zu entwickelnden Bluetooth-Transponder in Produktionsumgebungen, Logistikprozessen und bei Sicherheits-anwendungen im Hinblick auf ihre technisch-technologische Anwendbarkeit untersucht werden muss. Somit liegt der entscheidende innovative Beitrag bei der

Nutzung der Bluetooth-Transpondertechnologie in der Möglichkeit, neue Anwendungsbereiche für die Transpondertechnologie zu erschließen und bestehende weitaus effizienter und prozesssicherer zu gestalten.

In der vorliegenden Arbeit wurden wesentliche Elemente der RFID- und der Bluetooth-Technologie herausgearbeitet (Kapitel 2). In Kapitel 3 wird ein Systemvergleich zwischen RFID und Bluetooth angestellt. Die Realisierung eines Experimentalsystems erfolgte unter Nutzung von Ergebnissen eines AiF-Verbundprojektes mit der TU Dresden [Endbericht06]. Im Kapitel 4 werden Systemkonzeption, Hard-, Firm- und Softwareentwicklung sowie die Gehäuseentwicklung dokumentiert. Funktions- und Simulationstests werden im Kapitel 5 dargestellt. Potenzielle Einsatzgebiete werden mit Anforderungsprofilen in Kapitel 6 herausgearbeitet und deren Eignung für Bluetooth-Transponder bewertet.
Ein bedeutender Schritt ist die Überführung der theoretisch gewonnenen Erkenntnisse in die Praxis. Dazu konnten zwei prototypische Pilotanwendungen umgesetzt werden, die in Kapitel 7 vorgestellt werden.