

# **Analyse und Optimierung der Übertragungseigenschaften eines Rundfunksystems für den mobilen Handheld-Empfang**

Von der Fakultät für Elektrotechnik, Informationstechnik, Physik  
der Technischen Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig

zur Erlangung der Würde  
eines Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)  
genehmigte

Dissertation

von

Dipl.-Ing. Michael Kornfeld

aus Gütersloh

ingereicht am:	25. Mai 2009
mündliche Prüfung am:	24. November 2009
Erster Referent:	Prof. Dr.-Ing. Ulrich Reimers
Zweiter Referent:	Prof. Dr.-Ing. Jörg Schöbel
Vorsitzender:	Prof. Dr.-Ing. Thomas Kürner

2009



Mitteilungen aus dem Institut für Nachrichtentechnik der  
Technischen Universität Braunschweig

Band 14

**Michael Kornfeld**

**Analyse und Optimierung der Übertragungseigenschaften eines Rundfunksystems für den mobilen Handheld-Empfang**

Shaker Verlag  
Aachen 2010

**Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek**

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 2009

Copyright Shaker Verlag 2010

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8322-9328-4

ISSN 1865-2484

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: [www.shaker.de](http://www.shaker.de) • E-Mail: [info@shaker.de](mailto:info@shaker.de)

## Vorwort

Die vorliegende Dissertation entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Nachrichtentechnik der Technischen Universität Braunschweig. Der Ausgangspunkt der Arbeiten war meine Aktivität in der Arbeitsgruppe *TM-H (Handheld)* des DVB-Projekts und die gleichzeitige Zusammenarbeit mit der Firma Panasonic European Laboratories GmbH, Langen, auf dem Gebiet der mobilen Rundfunksysteme, sowie die Mitwirkung im Forschungsprojekt *Wing TV* im Rahmen der europäischen CELTIC-Initiative.

An erster Stelle gilt mein Dank meinem Doktorvater, Herrn Prof. Dr.-Ing. Ulrich Reimers. Er hatte sicherlich den größten Einfluss auf diese Dissertationsschrift vom Finden des Promotionsthemas über unzählige Anregungen und Diskussionen bis zur fortwährenden Unterstützung in allen Phasen der Arbeit. Es ist mir wichtig, mich für die herausragende fachliche Betreuung, die große Gesprächsbereitschaft und nicht zuletzt auch für alle persönliche Unterstützung über die dienstlichen Angelegenheiten hinaus besonders zu bedanken.

Herrn Prof. Dr.-Ing. Jörg Schöbel bin ich für die Übernahme des Korreferats und die zügige und wohlwollende Durchsicht der Arbeit sehr verbunden, ebenso Herrn Prof. Dr.-Ing. Thomas Kürner für seinen Beitrag als Vorsitzender der Prüfungskommission.

Eine große Zahl der Ergebnisse, die die Grundlage dieser Arbeit bilden, stammt aus den erwähnten Forschungsprojekten und der Mitwirkung in der Arbeitsgruppe TM-H. Der rege inhaltliche Austausch und die Vielzahl fachlicher Diskussionen in diesen Projekten lieferten fruchtbare Beiträge zu dieser Dissertation. Für die sehr gute Zusammenarbeit möchte ich mich herzlich bei allen beteiligten Projektpartnern bedanken, hier möchte ich vor allem die Herren Dr. Henriksson, Dr. Faria, Fernández, Dr. Björkqvist, Dr. Geuen, Prof. Heiß und Scheid nennen.

Am Institut für Nachrichtentechnik gibt es ein hervorragendes Arbeitsklima. An dieser Stelle möchte ich mich deshalb auch bei allen ehemaligen Kolleginnen und Kollegen für die freundschaftliche Atmosphäre und die Hilfsbereitschaft in allen möglichen Fragen bedanken. Besonderer Dank geht an die Herren Dr. Gunther May, Khaled Daoud und Jörg Robert für die vielen spannenden Diskussionen über den Gegenstand und das Umfeld dieser Arbeit und die gründliche fachliche Durchsicht des Manuskripts. Außerdem danke ich allen Korrekturleserinnen und -lesern für die sprachliche Durchsicht und das Aufspüren der Tippfehler.

Diese Arbeit hat nicht zuletzt von der tatkräftigen Unterstützung durch Studierende bei der Implementierung der Simulationsumgebung im Rahmen von Studien- und Diplomarbeiten bzw. der Tätigkeit als wissenschaftliche Hilfskraft profitiert. Besonders hervorzuheben sind an dieser Stelle die Beiträge von Jörg Robert und Christian Kühn.

Darüber hinaus war natürlich die Unterstützung durch Familie und Freunde als Beitrag zum Gelingen dieser Arbeit nicht zu ersetzen. Vor allem bei meinen Eltern bedanke ich mich für ihren fortwährenden Rückhalt und dafür, dass sie mein Studium ermöglicht haben, und außerdem bei meinem Bruder und allen anderen, die mir durch ihre Unterstützung insbesondere während der heißen Phase des Abschlusses dieser Arbeit geholfen haben.



# Inhaltsverzeichnis

<b>1. Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2. Digitale terrestrische Rundfunksysteme für die Kommunikation mit mobilen Endgeräten</b>	<b>4</b>
2.1. Grundlagen	4
2.2. Dienstszenario	4
2.3. DVB-T	5
2.4. DVB-H und IP Datacast	6
2.5. DAB und DMB	8
2.6. MediaFLO	9
2.7. ISDB-T	10
2.8. Weitere Systeme	11
<b>3. Komponenten und Eigenschaften des Standards DVB-H</b>	<b>16</b>
3.1. Systemkonzept	16
3.1.1. Überblick	16
3.1.2. Anforderungen	16
3.1.3. Einordnung in das ISO/OSI-Schichtenmodell	17
3.1.4. Systemkomponenten	19
3.2. Bitübertragungsschicht (Physical Layer)	21
3.2.1. OFDM-Modulation des DVB-T-Standards	21
3.2.2. Äußerer und innerer Fehlerschutz des DVB-T-Standards	23
3.2.3. Erweiterungen im DVB-H-Standard	24
3.2.4. Spektrale Eigenschaften und Frequenzbänder	26
3.2.5. Kompatibilitätsaspekte von DVB-H und DVB-T	28
3.3. Sicherungsschicht (Data Link Layer)	28
3.3.1. Übertragungsprotokolle	28
3.3.2. Time-Slicing-Verfahren	29
3.3.3. Multiplexing der DVB-H-Dienste	32
3.3.4. Fehlerschutz auf der MPE-Ebene (MPE-FEC)	33
3.3.5. Signalisierung der Time-Slicing- und MPE-FEC-Parameter	36
3.3.6. Multiplexing mit anderen DVB-Datenströmen	37
3.3.7. Kompatibilitätsaspekte	37
3.4. Vermittlungsschicht (Network Layer) und höhere Schichten	38
3.4.1. Einbettung in das IP-Datacast-System	38
3.4.2. Übertragungsprotokolle	39
3.4.3. Quellencodierung	40
3.4.4. Kompatibilitätsaspekte	40

<b>4. Analyse und Simulation der Leistungsmerkmale des DVB-H-Systems</b>	<b>41</b>
4.1. Szenarien für die Analyse der Leistungsmerkmale	41
4.1.1. Empfang bei statischem Betrieb der Endgeräte ( <i>Portable</i> )	41
4.1.2. Empfang bei langsamer Bewegung ( <i>Pedestrian</i> )	42
4.1.3. Mobiler Empfang in Fahrzeugen ( <i>Mobile</i> )	42
4.1.4. Beeinträchtigungen durch externe und geräteinterne Interferenzen	42
4.2. Simulationsumgebung	44
4.2.1. Merkmale der Implementierung	45
4.2.2. Empfängeralgorithmen	48
4.3. Modellierung der Übertragungskanäle und Interferenzen	48
4.3.1. Kanalmodelle	48
4.3.2. Rausch- und Interferenzmodelle	51
4.4. Gütemaße und Kriterien zur Beurteilung der Empfangsqualität	53
4.4.1. Leistungsbilanz und Signal-Rausch-Abstand	53
4.4.2. Restfehlerraten	53
4.4.3. Dienstgütekriterien	54
4.5. Einfluss der Übertragungsparameter auf die Versorgungsgüte	55
4.5.1. Einfluss des untersuchten Szenarios	56
4.5.2. Einfluss der Dopplerfrequenz beim mobilen Empfang	62
4.5.3. OFDM-Modus (Größe der DFT)	64
4.5.4. Subträger-Modulationsart	67
4.5.5. Coderate des inneren Fehlerschutzes	68
4.5.6. Schutzintervalldauer	70
4.5.7. Coderate der MPE-FEC	71
4.5.8. Rahmengröße der MPE-FEC	73
4.5.9. Dauer der Time Slicing Bursts	75
4.6. Einfluss der Übertragungsparameter auf die Empfindlichkeit gegenüber impulsartigen Interferenzen	77
4.6.1. OFDM-Modulation	77
4.6.2. Innerer Fehlerschutz	80
4.6.3. Äußerer Fehlerschutz	82
4.6.4. Rahmengröße der MPE-FEC und Dauer der Time Slicing Bursts	86
4.7. Zusammenfassung der Ergebnisse	88
<b>5. Abstimmung und Auswahl der DVB-H-Parameter und Vorschläge zur Optimierung</b>	<b>90</b>
5.1. Referenz-Systemkonfiguration mit typischen Betriebsparametern	90
5.2. Optimierung der Parameter des Time-Slicing-Multiplexes	92
5.2.1. Parameter und deren Wechselbeziehungen	92
5.2.2. Randbedingungen	97
5.2.3. Wahlmöglichkeiten bei der Parametrisierung	98
5.2.4. Abstimmung von Burstgröße, Burstdauer und Zykluszeit	99
5.2.5. Parallele Ausstrahlung von Time-Slicing-Multiplexen	103
5.2.6. Zusammenfassung von Diensten in einem Elementarstrom	104
5.3. Optimierung des Fehlerschutzes	106

5.3.1.	MPE-FEC-Coderate und Coderate des inneren Fehlerschutzes . . . . .	106
5.3.2.	Coderaten des Fehlerschutzes und Modulationsart . . . . .	109
5.3.3.	MPE-FEC-Rahmengröße und Tiefe des Zeitinterleavings . . . . .	112
5.3.4.	Anpassung der MPE-FEC-Rahmenstruktur . . . . .	115
5.4.	Folgerungen für eine optimale Multiplex-Parametrisierung . . . . .	118
5.5.	Synthese eines Multiplexes . . . . .	119
5.6.	Vorschläge zur Parameterdimensionierung der Systemkonfiguration . . . . .	120
<b>6.</b>	<b>Resultate der Optimierungen</b>	<b>122</b>
6.1.	Übertragungskapazität und spektrale Effizienz . . . . .	122
6.2.	Leistungsaufnahme im Empfänger . . . . .	122
6.3.	Dienstzugriffszeit . . . . .	123
6.4.	Anforderungen an den Signal-Rausch-Abstand . . . . .	123
6.4.1.	Restfehlerrate beim mobilen Empfang . . . . .	124
6.4.2.	Abhängigkeit von der Dopplerfrequenz . . . . .	125
6.4.3.	Resultierende S/N-Schwellen . . . . .	127
6.5.	Komplexität und Speicherbedarf . . . . .	128
6.6.	Kompatibilität zum DVB-H-Standard . . . . .	128
<b>7.</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>129</b>
<b>8.</b>	<b>Beiträge zu internationalen und nationalen Arbeitsgruppen</b>	<b>132</b>
	<b>Symbol- und Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>133</b>
	Symbole und Formelzeichen . . . . .	133
	Abkürzungen . . . . .	134
	<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>138</b>
	<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>141</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>142</b>
	<b>Verzeichnis der Beiträge zu internationalen und nationalen Arbeitsgruppen</b>	<b>151</b>
	<b>Anhänge</b>	
<b>A.</b>	<b>Berechnung des Protokolloverheads und der Nutzdatenraten</b>	<b>154</b>
<b>B.</b>	<b>Parameter der Kanal- und Interferenzmodelle</b>	<b>157</b>
<b>C.</b>	<b>Details der Implementierung und der Empfängeralgorithmen</b>	<b>163</b>
<b>D.</b>	<b>Messmethodik und Fehlerstatistik</b>	<b>165</b>
<b>E.</b>	<b>MPE-FEC-Rahmenstrukturen zu Kapitel 5</b>	<b>167</b>