

**Endgeräte für Dynamic Broadcast: Modellbasierte Analyse des
Einflusses von Programmdistribution und TV-Nutzungsverhalten
auf den Energieverbrauch**

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

zur Erlangung des Grades eines Doktors

der Ingenieurwissenschaften (Dr.-Ing.)

genehmigte Dissertation

von Peter Neumann

aus Leipzig

eingereicht am: 26.07.2016

mündliche Prüfung am: 10.02.2017

1. Referent: Prof. Dr.-Ing. Ulrich Reimers

2. Referentin: Prof. Dr. Monika Taddicken

Vorsitzender: Prof. Dr.-Ing. Bernd Engel

Druckjahr: 2017

Mitteilungen aus dem Institut für Nachrichtentechnik der
Technischen Universität Braunschweig

Band 51

Peter Neumann

**Endgeräte für Dynamic Broadcast: Modellbasierte
Analyse des Einflusses von Programmdistribution
und TV-Nutzungsverhalten auf den Energieverbrauch**

Shaker Verlag
Aachen 2017

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., 2017

Copyright Shaker Verlag 2017

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

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-5334-0

ISSN 1865-2484

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

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

Internet: www.shaker.de • E-Mail: info@shaker.de

Vorwort

Die vorliegende Dissertation entstand während meiner fünfjährigen Tätigkeit am Institut für Nachrichtentechnik (IfN) der Technischen Universität Braunschweig im Rahmen von Forschungsarbeiten auf dem Gebiet „Dynamic Broadcast“. Mein Dank gilt daher insbesondere meinem Doktorvater Prof. Dr.-Ing. Ulrich Reimers, der mir zum einen die Möglichkeit zur wissenschaftlichen Mitarbeit am IfN eröffnet hat und der mich zum anderen auf dem Weg zur Promotion stets exzellent betreute und persönlich unterstützte. Unsere anregenden Gespräche und fachlichen Diskussionen haben mich in den entscheidenden Phasen zur Fertigstellung der Arbeit motiviert. Des Weiteren danke ich Frau Prof. Dr. Monika Taddicken für die Anfertigung des Zweitberichts. Ihr Rat hat wesentlich zum Gelingen dieser interdisziplinär ausgerichteten Arbeit beigetragen. Für die Übernahme des Prüfungsvorsitzes möchte ich mich zudem bei Prof. Dr.-Ing. Bernd Engel bedanken. Ein Dankeschön geht auch an Dr. Bernhard Engel für die Bereitstellung von Daten.

Forschung ist Teamarbeit, sie lebt vom Gedankenaustausch und vom Diskurs. Aus diesem Grund möchte ich an dieser Stelle Dr.-Ing. Junge Qi und Dr.-Ing. Piotr Palka meinen Dank für die hervorragende Zusammenarbeit im Dynamic-Broadcast-Team des IfN aussprechen. Mein Dank richtet sich weiterhin auch an alle anderen ehemaligen Kolleginnen und Kollegen am IfN. So war der Arbeitsalltag hier aus meiner Sicht stets durch eine besonders gemeinschaftliche Atmosphäre geprägt. Denjenigen aus dem Kollegium, die Teile dieser Arbeit durchgesehen und Verbesserungsvorschläge beige-steuert haben, sei besonders gedankt. Außerdem möchte ich dankend hervorheben, dass auch Studierende, die ich bei der Anfertigung von Abschluss- und Projektarbeiten oder im Rahmen einer Tätigkeit als wissenschaftliche Hilfskraft betreuen durfte, Forschungsbeiträge geleistet haben, die in Teilen in diese Arbeit eingeflossen sind.

Schließlich möchte ich meiner Familie für das Ermöglichen eines Studiums und für die anhaltende Unterstützung von Herzen danken. Und natürlich: Liebe Anika, vielen Dank für Deine Geduld und den uneingeschränkten Rückhalt an jedem Tag!

Köln, im März 2017

Peter Neumann

Inhaltsverzeichnis

1.	EINLEITUNG	1
2.	TERRESTRISCHE TV-ÜBERTRAGUNG – DER STATUS QUO	4
2.1	Das digitale terrestrische Fernsehen der neuesten Generation	6
2.2	Der MPEG-2-Transportstrom	9
2.3	Leistungsfähigkeit aktueller Videocodierverfahren	11
2.4	Internetbasierte Zusatzdienste für <i>smarte</i> Fernsehgeräte und Set-Top-Boxen	14
2.5	Recommender-Systeme für TV-Anwendungen	17
2.6	Techniken zur Messung von Einschaltquoten	21
2.7	Die Kosten der terrestrischen Programmverbreitung	25
2.8	Modifizierung der Frequenzbereichszuweisungen und deren Auswirkungen auf den Fernseh Rundfunk	27
2.9	Die Erschließung von TV-White-Spaces für neuartige Anwendungsfelder	31
3.	DYNAMIC BROADCAST	35
3.1	Einführung	35
3.2	Systembeschreibung	38
3.3	Kostenmodelle für die Programmverbreitung mittels Dynamic Broadcast	43
3.4	Dynamische TV-White-Spaces	47
3.5	Breitbandverfügbarkeit als Voraussetzung für Dynamic Broadcast	54

4.	ENERGIEVERBRAUCH VON DYNAMIC-BROADCAST-ENDGERÄTEN	56
4.1	Besonderheiten bei der Berechnung des Energieverbrauchs	57
4.2	Konzeption eines Frameworks zur Energieverbrauchsanalyse	57
5.	EIN ENDGERÄT FÜR DYNAMIC BROADCAST	61
5.1	Sicherstellung einer unterbrechungsfreien Programmpräsentation	61
5.2	Aufgabe und Funktion geräteinterner Recommender-Systeme	70
5.3	Entwurf einer SoC-basierten Set-Top-Box für Dynamic Broadcast	76
5.4	Ermittlung der zustandsabhängigen Leistungsaufnahme der Set-Top-Box	79
6.	PROGRAMMDISTRIBUTION IN DYNAMIC BROADCAST	83
6.1	Zusammenhang von Programm-, Programmstruktur- und Distributionsplänen	83
6.2	Analyse von Programminformationen zur Erstellung von Programmstrukturplänen	85
6.3	Rundfunk oder Breitband? – Wahl eines Übertragungsweges unter Kostengesichtspunkten	96
6.4	Berücksichtigung der Frequenzbedarfe von Sekundärnutzern	111
6.5	Erstellung von Distributionsplänen auf Basis von Programmstrukturplänen	114
7.	KLASSIFIZIERUNG VON TV-HAUSHALTEN MITTELS CLUSTERANALYSE	122
7.1	TV-Nutzungsdaten aus dem AGF-Fernsehpanel	122
7.2	Auswahl von TV-Haushalten für die Clusteranalyse und Datenaufbereitung	124
7.3	Klassifizierung von TV-Haushalten anhand der Sehgewohnheiten	129
7.4	Charakterisierung des gruppenspezifischen TV-Nutzungsverhaltens	143

8.	MODELLBASIERTE ENERGIEVERBRAUCHSANALYSE	150
8.1	Ein Verfahren für die modellbasierte Energieverbrauchsanalyse	151
8.2	Einfluss der Programmdistribution	158
8.3	Einfluss des TV-Nutzungsverhaltens & geräteinterner Recommender-Systeme	169
8.4	Einfluss des Speichermediums als kritische Endgeräte-Komponente	175
9.	ZUSAMMENFASSUNG & AUSBLICK	177
	ANHANG	181
A	ZIPF-PARAMETER FÜR 96 TAGESZEITABSCHNITTE	181
B	BEGRIFFSERKLÄRUNGEN	182
	ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	189
	SYMBOLVERZEICHNIS	197
	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	203
	VERÖFFENTLICHUNGSLISTE VON PETER NEUMANN	209
	LITERATURVERZEICHNIS	211