

DVB-T2: Optionen für Deutschland

Mariem Slimani, Peter Schlegel, Jan Zöllner, TU Braunschweig/Institut für Nachrichtentechnik, Braunschweig, Deutschland, {slimani, schlegel, zoellner}@ifn.ing.tu-bs.de

Jörg Robert, Lehrstuhl für Informationstechnik (Kommunikationselektronik)/Friedrich-Alexander-Universität, Erlangen, Deutschland, robert@like.eei.uni-erlangen.de

Kurzfassung

Die zweite Generation des DVB- (Digital Video Broadcasting) Standards für die digitale terrestrische Fernsehstrahlung (DVB-T2) wurde mit Hilfe eines Toolbox-Konzepts entwickelt. Verglichen mit seinem Vorgänger DVB-T enthält der neue Standard viele neue Algorithmen und ermöglicht eine flexible Parameterauswahl. Die Parameter lassen sich perfekt für jedes Empfangsszenario optimieren, ausgehend vom stationären Empfang mit Dachantennen, bis hin zum portablen oder mobilen Empfang. Viele Länder haben bereits DVB-T2 eingeführt. Die Netze wurden aber vor allem für den stationären Empfang optimiert. Im Gegensatz dazu ist der stationäre Empfang keine relevante Option für eine mögliche Nutzung von DVB-T2 in Deutschland. Eine eventuelle Einführung würde sich auf die Vorteile des terrestrischen Rundfunks im Vergleich zu Satellit und Kabel konzentrieren, d. h. die Möglichkeit, mit portablen und mobilen Empfängern TV-Programme zu nutzen. Innerhalb eines umfangreichen Feldversuchs in Norddeutschland wurde die Leistung der unterschiedlichen Parameter-Konfigurationen und der neuen Algorithmen von DVB-T2 z. B. M-PLP (Multiple Physical Layer Pipes), Rotated Constellations, MISO (Multiple Input Single Output) im Detail analysiert. Dieser Beitrag stellt den Modellversuch und dessen Ergebnisse vor, die auf Tausenden von Einzelmessungen beruhen. Darüber hinaus gibt das Dokument einen kurzen Überblick über die optimalen Parameter-Konfigurationen für Deutschland.

1. Einleitung

Die Welt der digitalen TV-Übertragung hat sich in den letzten Jahrzehnten stetig weiterentwickelt. Der erste DVB-Standard für die digitale terrestrische Videoübertragung, DVB-T [1], war nicht nur in Deutschland ein großer Erfolg, sondern auch in Europa und vielen anderen Ländern der Welt. Laut dem Digitalisierungsbericht 2012 [2] nutzen 12,5% der deutschen TV-Haushalte DVB-T. Das sind insgesamt knapp 5 Millionen Haushalte. Zusätzlich sind in Deutschland ca. 1 Million Fahrzeuge mit DVB-T-Empfängern ausgestattet. Der Nachfolger von DVB-T, DVB-T2 [3], wurde bereits im Juni 2008 fertig gestellt. Das System der zweiten Generation ist wesentlich leistungsfähiger und robuster als das System der ersten Generation. So ermöglicht DVB-T2 im Vergleich zu DVB-T deutlich gesteigerte Datenraten bei vergleichbarer Struktur des Sendernetzes, bzw. eine erhebliche Reduzierung der Sendeleistung bei vergleichbarer Nutzdatenrate. Zudem bietet DVB-T2 eine große Anzahl an möglichen Parameter-Kombinationen, die für unterschiedliche Anwendungsszenarien angepasst werden können. Um die Leistungsfähigkeit von DVB-T2 zu untersuchen und die neuen Algorithmen, die DVB-T2 bietet, unter realen Empfangsbedingungen praktisch zu testen, wurde im August 2009 der „Modellversuch DVB-T2 in Norddeutschland“ gestartet. Ziel war dabei auch, eine mögliche Einführungsstrategie für Deutschland zu definieren und Parameter-Empfehlungen zu geben. Der Modellversuch endete im Juli 2012 [4]. Im Rahmen des Modellversuchs wurden zahlreiche Messungen durchgeführt. Bei diesen

Messungen wurden der portable Empfang (Empfang mit Zimmerantenne) und der mobile Empfang (Empfang in einem fahrenden Fahrzeug) berücksichtigt. Der stationäre Empfang mit Dachantenne wurde nur am Rande betrachtet, da dieser für Deutschland weniger relevant ist.

Der Rest des Beitrags ist wie folgt gegliedert: In Abschnitt 2 werden die neuen Algorithmen von DVB-T2 erläutert. Der Modellversuch in Norddeutschland und die durchgeführten Messungen werden in Abschnitt 3 vorgestellt. In Abschnitt 4 werden die wichtigsten Messergebnisse analysiert. Abschnitt 5 gibt Parameter-Empfehlungen für DVB-T2 in Deutschland. In Abschnitt 6 wird der Beitrag zusammengefasst.

2. Innovative Algorithmen bei DVB-T2

Das DVB-T2-System basiert auf dem Mehrträgermodulationsverfahren OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplex) [5], genauso wie DVB-T. Dabei wird die gesamte Bandbreite des Signals in mehrere schmalbandige Unterträger aufgeteilt. Allerdings wurden bei DVB-T2 die OFDM-Parameter wesentlich erweitert. So bietet DVB-T2 z. B. sechs unterschiedliche Varianten für die Anzahl der Unterträger pro OFDM-Symbol, die sog. FFT- (Fast Fourier Transform) Größe, nämlich 1k, 2k, 4k, 8k, 16k und 32k. DVB-T erlaubt dagegen nur zwei FFT-Größen: 2k und 8k. Die neuen FFT-Größen 16k und 32k sollen den Ausbau größerer und somit spektral effizienterer Gleichwellennetze als die heutigen DVB-T-Gleichwellennetze erlauben. Gleichzeitig beeinträchtigt die Erhöhung der FFT-Größe den Mobilempfang, da der Ein-

fluss der Dopplerverschiebung ansteigt.

Ein weiterer OFDM-Parameter, der bei DVB-T2 erweitert wurde, ist das Verteilungsmuster der Pilote innerhalb eines Übertragungsrahmens, das sog. Pilot Pattern. Pilote sind einzelne Unterträger, deren Modulation beim Sender und Empfänger bekannt ist. Sie ermöglichen die Abtastung und somit auch die Entzerrung des Übertragungskanals. DVB-T2 verfügt über acht unterschiedliche Pilot Pattern. Das Pilot Pattern PP1 entspricht dem Pilot Pattern bei DVB-T. Wie bereits erwähnt wurde, verfügt DVB-T2 über mehrere innovative Algorithmen darunter das M-PLP-Konzept und Rotated Constellations [6]. Beim M-PLP-Modus wird der Transportstrom in mehrere Physical Layer Pipes (PLP) aufgeteilt. Jede PLP erhält eine eigene Modulation und Fehlerschutzcodierung. Deshalb können verschiedene Dienste mit unterschiedlichen Robustheitsebenen innerhalb eines einzigen DVB-T2-Signals übertragen werden. Bei Rotated Constellations wird das Konstellationsdiagramm um einen bestimmten Winkel gedreht und die I- und Q-Komponente werden getrennt und an unterschiedlichen Stellen innerhalb des DVB-T2-Rahmens übertragen. Im Folgenden werden zwei weitere neue Algorithmen ausführlich vorgestellt.

2.1. Time Interleaver

Beim Time Interleaving werden die QAM-Symbole eines Fehlerschutzrahmens über einen langen Zeitbereich verteilt übertragen. Dieser Ansatz ist sehr vorteilhaft bei kurzzeitigen Störungen, wie z. B. Impulsstörungen oder zeitvarianten Schwundeffekten beim Mobilempfang. Durch das Interleaving verteilen sich die durch die Störung betroffenen fehlerhaften Daten über mehrere nebeneinander liegende Blöcke. Somit wird die Korrekturfähigkeit des Fehlerschutzes nicht überschritten. Allgemein ist ein langes Time Interleaving (TI) im Bezug auf die Robustheit vorteilhaft. Langes Time Interleaving kann aber die Umschaltmöglichkeiten zwischen Kanälen verlangsamen.

Abhängig von dem Übertragungsmodus (Single-PLP (S-PLP) oder Multiple-PLP) können unterschiedliche Längen für das Time Interleaving erreicht werden. Beim S-PLP Modus werden die Nutzdaten gesammelt bis der TI-Block gefüllt ist und dann ausgesendet. Bedingt durch die maximal erlaubte Speichergröße kann bei 8 MHz Kanalbandbreite nur eine Time-Interleaver-Länge von ca. 100 ms realisiert werden (abhängig von der gewählten QAM-Modulation und FEC- (Forward Error Correction) Coderate). Bei dem M-PLP Modus werden die Daten getrennt für jede PLP interleaved. Je mehr PLPs ein Datenstrom enthält, desto länger ist die Time-Interleaver-Dauer. Die maximale Time-Interleaver-Dauer kann somit bei gleichem Speicher erheblich gesteigert werden.

2.2. Multiple Input Single Output (MISO)

MISO ist eine weitere Innovation bei DVB-T2 und stellt eine Art Sende-Diversität dar, da mehrere Sende- und nur eine Empfangsantenne verwendet werden. Die Sender werden in zwei Gruppen geteilt. Beide Gruppen senden dieselben Daten aus, aber unterschiedlich vorcodiert. Bei

DVB-T2 wird das sogenannte „Alamouti-Schema“ [7] verwendet. Dabei bleiben die Daten der ersten Sendergruppe unverändert. Die Daten der zweiten Gruppe werden allerdings orthogonal zu den Daten der ersten Gruppe codiert. Folglich ist das empfangene Signal weniger anfällig für Mehrwegstörungen und die Frequenzselektivität in Gleichwellennetzen kann reduziert werden. Der Gewinn, der durch MISO erreicht werden kann, ist von der Stärke des empfangenen Signals aus den beiden Sendergruppen abhängig. Wenn beide Signale nahezu identische Signalstärke am Empfangsort aufweisen, kann ein hoher Gewinn erwartet werden. Auf der anderen Seite, wenn eine Sendergruppe das Empfangssignal dominiert, ist kein Gewinn mehr zu erwarten.

3. Untersuchung des mobilen Empfangs innerhalb des DVB-T2-Modellversuchs

Die Leistungsfähigkeit von DVB-T2 beim mobilen und portablen Empfang wurde bislang nur anhand von Simulationen und theoretischen Untersuchungen analysiert. Um u.a. diese Leistungsfähigkeit in realen Netzen praktisch zu testen, wurde der „Modellversuch DVB-T2 in Norddeutschland“ im August 2009 gestartet. Das Projekt dauerte drei Jahre und wurde vom Institut für Nachrichtentechnik (IfN) der Technischen Universität Braunschweig technisch geleitet. Träger des Modellversuchs waren die Niedersächsische Landesmedienanstalt, öffentlich-rechtliche und private Programmanbieter und der Netzbetreiber Media Broadcast. Außerdem wurde der Modellversuch durch viele Gäste unterstützt, die u.a. Empfangs- und Messgeräte bereit stellten. In dem Versuchsgebiet sollten die Leistungsmerkmale von DVB-T2-Parameterkombinationen, die für Deutschland relevant sein könnten, getestet werden, um eine Einführungsstrategie für Deutschland zu definieren. Dafür wurden umfangreiche Messungen durchgeführt. Im Folgenden wird zunächst das Versuchsnetz kurz vorgestellt. Danach werden die Messungen beschrieben.

3.1. Das DVB-T2-Versuchsnetz

Der Modellversuch fand in der Region südlich von Hamburg statt. Das Netz bestand aus zwei Sendern (Siehe Bild 1). Der erste Sender stand in Rosengarten und der zweite in Lüneburg. Beide Sender waren ca. 45 km voneinander entfernt und wurden auf der Frequenz 690 MHz im Single Frequency Network- (SFN) Modus betrieben, d. h. beide Sender strahlten identische Signale – synchronisiert in Zeit und Frequenz – auf derselben Sendefrequenz aus. Der Sender Rosengarten strahlte mit einer Leistung von 10 kW ERP und bei einer Antennenhöhe von 150 m horizontal polarisierte Signale aus. Die Sendeleistung des Senders Lüneburg lag bei 5 kW ERP und die Antennenhöhe war 131 m. Dieser Sender strahlte das Signal vertikal polarisiert aus. Der MISO-Betrieb war in dem Versuchsnetz möglich.

3.2. Messungen des Mobilempfangs

Um die Leistungsfähigkeit von DVB-T2 beim Mobilempfang zu untersuchen, war auf dem Weltmarkt kein Messempfänger verfügbar. Deshalb wurde am IfN ein mobiler DVB-T2 Messempfänger entwickelt [8] [9]. Der Empfänger basiert auf dem „Software Defined Radio“ – Prinzip. Dies bedeutet, dass die eigentliche Decodierung in Software auf einem Standard-PC durchgeführt wird. Daher wurden die Messungen in zwei Schritten durchgeführt. Im ersten Schritt wurde der komplette Übertragungskanal mit Hilfe eines generischen Hardware-Frontends abgetastet und die resultierenden Daten wurden auf einer Festplatte gespeichert. Im zweiten Schritt wurden die Daten offline auf einem Standard-PC decodiert. Zusätzlich zum Decodieren des aufgezeichneten Signals war der Empfänger in der Lage, die Eigenschaften des Übertragungskanals zu messen. Während der Messung wurden die GPS-Daten gleichzeitig aufgezeichnet. Der Empfänger verknüpfte die Messdaten mit ihren geografischen Positionen und stellte sie auf einer Satellitenkarte dar. Als die Messungen durchgeführt wurden, unterstützte der Empfänger weder den Diversity-Empfang noch eine Inter-Carrier-Interference-Reduzierung.



Bild 1 Messkarte, die verschiedene Bereiche der Mobilmessungen zeigt. Die farblich markierte Messroute stellt die unterschiedlichen Geschwindigkeiten dar. Die beiden Sender sind mit Nadeln markiert.

Die Messroute für die mobilen Messungen enthielt verschiedene Bereiche mit unterschiedlichen Empfangseigenschaften. Diese Bereiche umfassten Städte und Stadtzentren (z. B. Winsen) mit starkem Verkehrsaufkommen, hoher Gebäudedichte und einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 50 km/h, sowie Landstraßen (bis zu 100 km/h) und die "Autobahn" zwischen Lüneburg und Rosengarten ohne Geschwindigkeitsbegrenzung. Bild 1 stellt die Messroute farblich markiert dar. Die Farben zeigen die unterschiedlichen Geschwindigkeiten, mit denen die Messstrecke befahren wurde. Die Messroute enthielt auch einen Tunnel (Elbtunnel), wo kein Empfang möglich war. Dieser Tunnel wurde verwendet, um den Rauschpegel des Messempfängers zu ermitteln. Der Schwerpunkt der Messungen lag auf der Mitte des SFN-

Netzes sowie auf einigen Bereichen, in denen das empfangene Signal von einem Sender dominiert wurde. Das Zentrum des SFN befand sich in der Mitte zwischen den beiden Sendestationen. Es stellte eine sehr schwierige Empfangssituation für den mobilen Empfang dar, vor allem während der Fahrt auf der Verbindungslinie zwischen Rosengarten und Lüneburg (maximale Dopplerverschiebung). Die durchgeführten Mobilmessungen waren sehr umfangreich. Insgesamt wurde eine Strecke von ca. 1600 km zurückgelegt. Während einer einzelnen Messfahrt wurden im Durchschnitt ca. 300 GB an Messdaten gespeichert.

3.3. Getestete DVB-T2-Modi

Insgesamt wurden 16 unterschiedliche DVB-T2-Modi (siehe Tabelle 1) zur Auswertung der Leistungsfähigkeit von DVB-T2 beim Mobilempfang definiert (Diese Modi wurden auch zur Untersuchung der Leistungsfähigkeit beim portablen Empfang verwendet). Die FFT-Größen der OFDM-Modulation reichten von 8k (höchster unterstützter Modus bei DVB-T) bis 32k (höchster unterstützter Modus bei DVB-T2) und die QAM-Konstellationen wurden bis zu 256-QAM gewählt. Die Parameter-Kombinationen umfassten die in Abschnitt 2 vorgestellten innovativen Algorithmen, welche noch nicht zuvor unter realen Bedingungen getestet worden waren, z. B. Rotated Constellations oder die MISO-Codierung.

Modus Nr.	FFT-Größe	Guard Intervall	Pilot Pattern	QAM-Modulation	FEC-Code-rate
1	8k	1/4	PP1	16-QAM	3/5
2	8k	1/4	PP1	64-QAM	2/3
3	16k	19/128	PP2	64-QAM	2/3
4	16k	19/128	PP3	256-QAM	1/2
5	16k	19/128	PP3	64-QAM	3/4
6	16k	19/128	PP3	256-QAM	3/5
7	16k	19/128	PP3	64-QAM	2/3
8	8k	19/128	PP2	16-QAM	1/2
9	8k	1/4	PP1	64-QAM	3/5
10	16k	19/128	PP2	64-QAM	3/5
11	32k	1/16	PP2	64-QAM	2/3
12	16k	19/128	PP2	16-QAM	2/3
13	16k	19/128	PP2	16-QAM	3/4
14	16k	19/128	PP2	64-QAM	1/2
15	32k	1/16	PP2	64-QAM	3/4
16	32k	1/16	PP2	16-QAM	1/2

Tabelle 1: DVB-T2-Parameter-Kombinationen, die während des Modellversuchs untersucht wurden.

Die Parametersätze wurden in mehreren M-PLP-Gruppen gruppiert, was die gleichzeitige Messung von verschiedenen Parametern unter identischen Kanalbedingungen und den anschließenden Vergleich zwischen den einzelnen Parametern erlaubte. Es wurden 6 M-PLP-Gruppen für den SISO- (Single Input Single Output) Modus und 5 M-PLP-Gruppen für den MISO-Modus

definiert. Die folgende Tabelle 2 stellt als Beispiel die SISO-M-PLP-Gruppen III.1 und V.1 dar. Beide M-PLP-Gruppen bestehen jeweils aus 6 unterschiedlichen PLPs. Die OFDM-Parameter (z. B. FFT-Größe, Guard Intervall und Pilot Pattern) müssen für alle PLPs einer Gruppe identisch sein. Die übrigen Parameter können verschieden sein. Die beiden ersten PLPs aus Gruppe III.1 haben z. B. dieselbe QAM-Modulation (16-QAM) und dieselbe Code-rate (2/3). Bei PLP 0 wurden Rotated Constellations, bei PLP 1 hingegen wurde die normale 16-QAM-Konstellation verwendet. Auf diese Weise konnte der Einfluss von Rotated Constellations hervorragend untersucht werden.

M-PLP-Gruppe	Modus Nr.	QAM-Modulation	FEC Code-rate	Rot. Const.	PLP ID
III.1 16k-FFT, 19/128 GI, PP2	12	16-QAM	2/3	rot	0
	12	16-QAM	2/3	no rot	1
	14	64-QAM	1/2	rot	2
	14	64-QAM	1/2	no rot	3
	13	16-QAM	3/4	rot	4
	13	16-QAM	3/4	no rot	5
V.1 32k-FFT, 1/16 GI, PP2	11	64-QAM	2/3	rot	0
	11	64-QAM	2/3	no rot	1
	16	16-QAM	1/2	rot	2
	16	16-QAM	1/2	no rot	3
	15	64-QAM	3/4	rot	4
	15	64-QAM	3/4	no rot	5

Tabelle 2: SISO-M-PLP-Gruppe III.1 und V.1 mit Parametern der einzelnen PLPs.

4. Ausgewählte Ergebnisse der Untersuchung des mobilen DVB-T2-Empfangs

4.1. Einfluss des FFT-Modus

Wie bereits in Abschnitt 2 erwähnt wurde, wurden bei DVB-T2 hohe FFT-Modi eingeführt. Mit der Erhöhung der FFT-Größe reduziert sich der Abstand zwischen den einzelnen Unterträgern. Dieser Effekt beeinträchtigt den mobilen Empfang, weil die relative Bewegung zwischen Sender und Empfänger zu einer Frequenzverschiebung führt. Ein wichtiges Ziel des Feldversuchs war es, herauszufinden, ob die neuen hohen FFT-Größen (16k und 32k) von DVB-T2 für den mobilen Empfang geeignet sind. Dafür wurden die drei FFT-Modi 8k, 16k und 32k untereinander verglichen und zwar unter Verwendung der 16-QAM sowie auch der 64-QAM. Für die Messungen mit der 16-QAM wurden die Modi 1, 12 und 16 aus Tabelle 1 verwendet. Die Modi 9, 14 und 11 wurden für die Messungen bei der 64-QAM eingestellt. Für die Unter-

suchung des Einflusses der FFT-Größe wurden keine Rotated Constellations verwendet. Da die FFT-Größe für alle PLPs einer M-PLP-Gruppe identisch sein muss, wurden die Messungen an unterschiedlichen Tagen durchgeführt. Daher waren die Verkehrsverhältnisse und die Wetterbedingungen unterschiedlich. Die Messeinrichtung und das Fahrverhalten blieben aber unverändert. Bild 2 zeigt die Ergebnisse der Analyse der 16-QAM-Messungen. Die Diagramme zeigen die BCH-Fehlerrate¹ [10] in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit in Intervallen von 1 km/h. Für die Auswertung der Messungen wurden nur Messpunkte mit ausreichendem Empfangspegel betrachtet

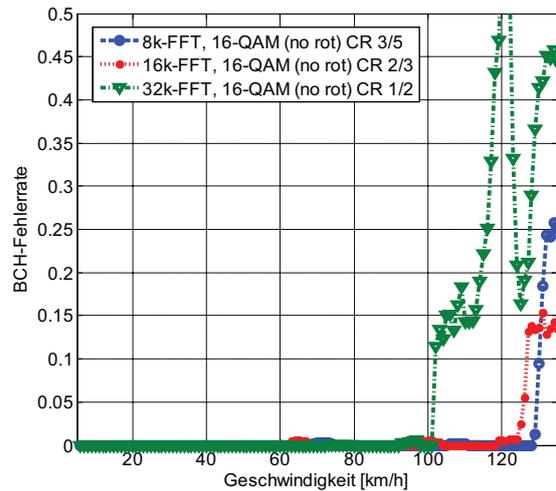


Bild 2 BCH-Fehlerrate in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit für drei unterschiedliche FFT-Modi mit normaler 16-QAM-Modulation.

(d. h. der minimal erforderliche Eingangspegel für fehlerfreien Empfang bei statischen Kanalbedingungen zuzüglich einer Marge von 3 dB). Das Vergleichskriterium zwischen den drei Diagrammen ist der Knickpunkt, ab dem die Kurve anfängt, deutlich anzusteigen. bei der Kurve, welche die Ergebnisse der Messung mit der 8k-FFT darstellt, liegt der Knickpunkt bei ca. 130 km/h, was einer maximalen Dopplerfrequenz von ca. 80 Hz bei der Sendefrequenz von 690 Hz entspricht. Mit dem 16k-FFT-Modus beginnt die Kurve bei ca. 120 km/h anzusteigen (entspricht einer maximalen Dopplerfrequenz von 76 Hz). Die 32k-FFT ermöglicht fehlerfreien Empfang bis zur Geschwindigkeit von ca. 100 km/h (entspricht einer maximalen Dopplerfrequenz von 64 Hz). Die Tatsache, dass die BCH-Fehlerrate in einigen Modi mit zunehmender Geschwindigkeit abnimmt (hier bei 32k-FFT bei ca. 120 km/h), wird dadurch verursacht, dass die Geschwindigkeit mit der Position in dem SFN-Netz korreliert. Als Beispiel gibt es einen Teil auf der Autobahn, der ziemlich nah an einem Sender ist und wo die Geschwindigkeit typischerweise 130 km/h war. Daher sind die Empfangsbedingungen dort besser als in anderen

¹ Die BCH-Fehlerrate gibt die Anzahl der fehlerhaften FEC-Blöcke über die Gesamtanzahl der FEC-Blöcke in einer Messung an.

Teilen des Netzes, wo die Geschwindigkeit typischerweise 120 km/h war, aber die Signale aus beiden Sendern mit identischen Pegel empfangen werden. Deshalb ist der einzig interessante Teil der Kurve die Position, wo die Kurven beginnen, deutlich anzusteigen.

Überraschenderweise zeigen die 16k- und die 8k-Modi fast identische Leistung. Der Grund für dieses Ergebnis sind die Pilot Pattern. Beide Pilot Pattern haben fast identische Auflösung in der Zeitrichtung, was zu diesem Ergebnis

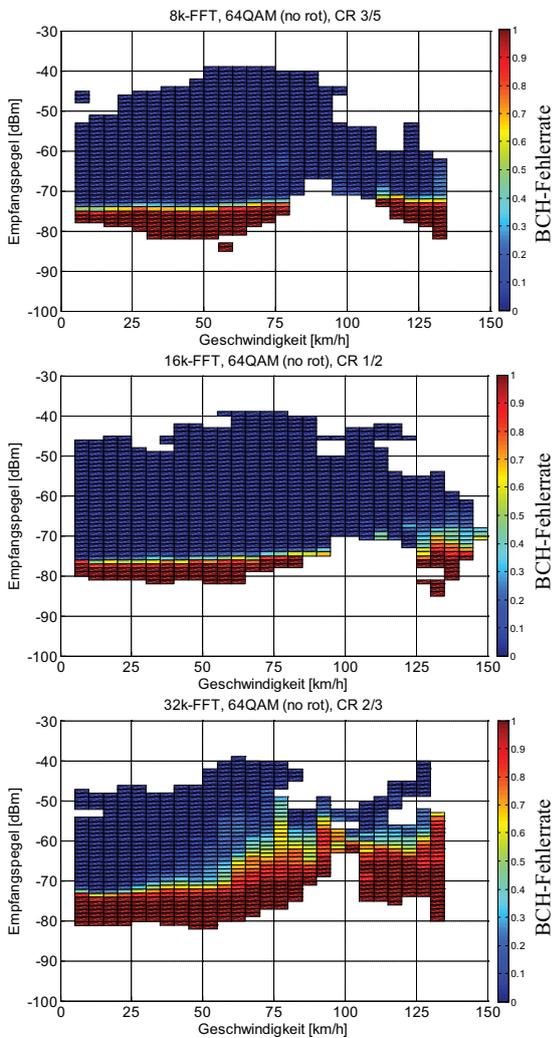


Bild 3 BCH-Fehlerrate in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit und dem Empfangspegel für drei unterschiedliche FFT-Modi mit normaler 64-QAM-Modulation.

geführt hat. Weiterhin erlaubt der 32k-Modus überraschend hohe Geschwindigkeiten (wenn robuste QAM/FEC-Parameter ausgewählt werden) - eine Tatsache, die nicht für möglich gehalten wurde, als die Messungen gestartet wurden.

Bild 3 zeigt die Ergebnisse bei Wahl der 64-QAM-Modulation in einer anderen Darstellungsform. Dargestellt wird die BCH-Fehlerrate in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit und von dem Empfangspegel. Aus Bild 3 ist zu erkennen, dass mit der 8k-FFT (oberes Diagramm) bei

allen Geschwindigkeiten ein nahezu identischer Mindestempfangspegel für den fehlerfreien Empfang benötigt wurde. Bei hohen Geschwindigkeiten ist ein minimaler Anstieg des erforderlichen Empfangspegels festzustellen. Die 16k-FFT (mittleres Diagramm) zeigte ein ähnliches Verhalten. Ab etwa 125 km/h war allerdings der Anstieg des für fehlerfreien Empfang erforderlichen Mindestempfangspegels deutlicher als bei der 8k-FFT. Bei der 32k-FFT (unteres Diagramm) war ein signifikanter Anstieg des benötigten Empfangspegels schon ab ca. 50 km/h festzustellen. Bei Geschwindigkeiten über 100 km/h war fehlerfreier Empfang nur mit sehr hohem Pegel möglich. Damit lassen die Messungen mit der 16-QAM und mit der 64-QAM eine Schlussfolgerung zu: Die QAM-Modulation sowie die FEC-Coderate haben keinen Einfluss auf die Wahl der FFT-Größe, sondern lediglich die gewünschte Geschwindigkeit.

4.2. Einfluss des Time Interleavers

DVB-T2 ermöglicht die Nutzung von unterschiedlichen Längen für den Time Interleaver (siehe Abschnitt 2.3). In der Anfangsphase des Modellversuchs unterstützten die Modulatoren nur kurzes Time Interleaving. Erst in einer späteren Phase konnte der lange Time Interleaver getestet werden. Dafür wurde eine weitere M-PLP-Gruppe mit insgesamt 7 PLPs definiert. PLP 0 und PLP 2 hatten dieselbe

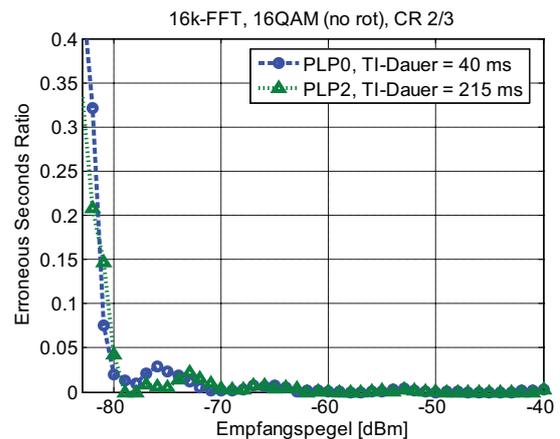


Bild 4 ESR in Abhängigkeit von dem Empfangspegel für zwei PLPs mit unterschiedlichen Time Interleaver Längen.

QAM/FEC-Kombination (normale 16-QAM mit CR 2/3) aber unterschiedliche Time-Interleaver-Längen. Bei PLP 0 war die Dauer des Time Interleavers 40 ms und bei PLP 2 war sie 215 ms. Diese beiden PLPs dienen dem direkten Vergleich, um den Effekt vom langen Time Interleaving zu analysieren. Die Ergebnisse zeigten allerdings keinen deutlichen Unterschied zwischen diesen beiden Modi. Bild 4 stellt das ESR (Erroneous Seconds Ratio)² in Abhängigkeit von dem Empfangspegel dar. Für eine ausreichende QoS (Quality of Service) soll ein ESR von 0,05 nicht über-

² ESR (Erroneous Seconds Ratio) gibt die Anzahl der fehlerhaften Sekunden geteilt durch die Gesamtanzahl der Sekunden in einer Messung an.

schritten werden. Beide Kurven erreichen diesen Wert bei ungefähr -80 dBm. Außerdem zeigen die Kurven einen sehr ähnlichen Verlauf. Diese Ergebnisse waren nicht zu erwarten. Eigentlich sollte der lange Time Interleaver viel bessere Leistung aufweisen. Der Grund hierfür könnte darin liegen, dass eine längere Time-Interleaver-Dauer als 40 ms bei der gefahrenen Strecke nicht nötig war. Ein Fehler bei den Modulatoren und dem Empfänger ist auszuschließen, da diese gründlich geprüft wurden. Allgemein ist aber ein langes Time Interleaving vorteilhaft gegenüber einem kurzen Time Interleaving, insbesondere beim mobilen Empfang.

4.3. Weitere Ergebnisse

Bei der Untersuchung von Rotated Constellations zeigte sich kein deutlicher Vorteil gegenüber den normalen Konstellationen. Die Rotated Constellations zeigten bei den meisten getesteten Parameter-Kombinationen keinen Gewinn. Ein kleiner Gewinn wurde nur bei suboptimalen Parametern festgestellt (hohe Coderate und niedrige QAM-Modulation). Die Feldmessungen bewiesen, dass solche QAM/FEC-Kombinationen eine schlechtere Leistung lieferten als andere QAM/FEC-Kombinationen [4]. Die Feldmessungen zeigten auch keinen überzeugenden MISO-Gewinn. Ein kleiner effektiver Gewinn ist im Zentrum des SFN-Netzes vorhanden. Allerdings wird er mit einem Verlust im restlichen Netz erkaufte. Bezüglich Pilot Pattern bestätigten die mobilen Messungen, dass das Pilot Pattern PP2 für den mobilen Empfang sehr gut geeignet ist. Für niedrige Geschwindigkeiten sind PP3 bzw. PP4 besser geeignet.

5. DVB-T2-Parameter für eine Einführung in Deutschland

Im Ergebnis der Analyse von zahlreichen Feldmessungen des portablen und mobilen Empfangs wurden für Deutschland folgende DVB-T2-Parameter vorgeschlagen:

- Für den portablen und mobilen Empfang mit niedriger Geschwindigkeit (Dopplerfrequenz ≤ 30 Hz, entsprechend 50 km/h bei einer Sendefrequenz von 690 MHz) wurde die 32k-FFT mit PP4, GI 1/16 und QAM/FEC-Kombinationen bis zu 64-QAM CR 3/4 bzw. 64-QAM CR 1/2 empfohlen
- Für den mobilen Empfang mit hoher Geschwindigkeit (Dopplerfrequenz ≤ 80 Hz, entsprechend 130 km/h bei einer Sendefrequenz von 690 MHz) wurde die 16k-FFT mit PP2, GI 19/128 und QAM/FEC-Kombinationen bis zu 64-QAM CR 3/5 empfohlen.

Außerdem wurden drei mögliche Einführungsszenarien erarbeitet. Beim ersten Szenario werden portable und mobile Endgeräte mit SDTV-Bildqualität adressiert. Das zweite Szenario richtet sich an stationäre, portable und mobile Empfänger mit SDTV+-Bildqualität. Und beim dritten Szenario werden „primär stationäre HDTV-fähige

Endgeräte“ [4] adressiert.

Weil eine Einführung von DVB-T2 in Deutschland derzeit eher unwahrscheinlich [11] ist, wird auf eine ausführliche Erklärung der unterschiedlichen Einführungsszenarien in diesem Beitrag verzichtet.

6. Zusammenfassung

Im Rahmen des „Modellversuchs DVB-T2 in Norddeutschland“ wurden zahlreiche Messungen zur Untersuchung der Leistungsfähigkeit von DVB-T2 beim mobilen und portablen Empfang durchgeführt. Diese Messungen zeigten, dass die hohen FFT-Modi beim Mobilempfang überraschend gut funktionierten. Außerdem wiesen einige der innovativen Algorithmen von DVB-T2, z. B. Rotated Constellations oder MISO, keinen Gewinn auf. Zum Schluss wurden für Deutschland interessante Dienste-Szenarien erarbeitet und entsprechende Parameterempfehlungen gegeben.

7. Danksagung

Die Autoren danken ihren Kollegen des Instituts für Nachrichtentechnik der Technischen Universität Braunschweig, insbesondere Prof. Dr.-Ing. Ulrich Reimers, für die hilfreichen Kommentare und Anmerkungen. Außerdem danken sie allen Teilnehmern und Gästen des Modellversuchs DVB-T2 in Norddeutschland.

8. Literatur

- [1] Digital Video Broadcasting (DVB); Frame structure channel coding and modulation for digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T), ETSI EN 300 744, V1.6.1, 2009
- [2] Digitalisierungsbericht 2012: Von Macht und Kontrolle im digitalen Zeitalter; Vistas-Verlags Berlin
- [3] Digital Video Broadcasting (DVB); Frame structure channel coding and modulation for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2), ETSI EN 302 755, V1.1.1, 2009
- [4] Terrestrik der Zukunft: Zukunft der Terrestrik, Projektbericht DVB-T2 Norddeutschland; Shaker Verlag, Aachen 2012
- [5] Reimers, U.: DVB – Digitale Fernsehtechnik. 3. Aufl., Springer Verlag 2008
- [6] Nour, C.A., Douillard, C.: Rotated qam constellations to improve bicm performance for dvb-t2, Proc. ISSSTA, pp. 354-359, 2008
- [7] Alamouti, S.M.: “A Simple Transmit Diversity Technique for Wireless Communications,” *Selected Areas in Communications, IEEE Journal on*, vol.16, no.8, pp.1451-1458, Oct. 1998.
- [8] Slimani, M.; Robert, J.; Zoellner, J.: A Software-Based Mobile DVB-T2 Measurement Receiver, IEEE International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting, Seoul, June 2012.

- [9] Slimani, M.; Robert, J.; Zoellner, J.: Software-basierter Messempfänger für DVB-T2, FKT 3/2012 Seite 84-87.
- [10] Digital Video Broadcasting (DVB); Implementation guidelines for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2), ETSI TS 102 831, V1.2.1 (08/2012)
- [11] Kürner, T.; Reimers, U.; et al.: Abschlussbericht zur Untersuchung der zukünftigen Frequenzbedarfe des terrestrischen Fernsehens und des Mobilfunkdienstes sowie weiterer Funknutzungen im Frequenzband 470-790 MHz sowie Bewertung von Optionen zur Verteilung der Frequenznutzungen unter sozio-ökonomischen und frequenztechnischen Gesichtspunkten insbesondere im Teilfrequenzband 694-790 MHz, Januar 2013, verfügbar über www.bmwi.de