

# Zwischenbericht

Projektvorhaben mit Modellversuch

**Erweiterung des Systems DAB/DAB+  
um die Möglichkeit der lokalen Auseinanderschaltung  
innerhalb von Gleichwellennetzen**

Berichtszeitraum:  
1.11.2015 bis 31.10.2016

Fabian Schrieber (IfN), Dr. Dirk Jaeger (NLM), Prof. Dr. Ulrich Reimers (IfN)

Braunschweig, Hannover, 30. November 2016

## Executive Summary

Die kommerzielle Einführung von DAB+ erfolgt in Niedersachsen sehr zögerlich. Insbesondere Hörfunkveranstalter aus der Privatwirtschaft haben Bedenken, die für eine Verbreitung ihrer Programme über das digitale Medium notwendigen Investitionen zu tätigen. Ihre Zurückhaltung begründen sie größtenteils mit unternehmerischen Risiken und Nachteilen, die durch eine Migration von UKW auf DAB+ entstehen würden.

Auf Einladung der Niedersächsischen Landesmedienanstalt (NLM) trafen sich am 19. Mai 2015 Vertreter niedersächsischer Hörfunkveranstalter, um der NLM zu erläutern, welche faktischen Nachteile eine Hörfunkverbreitung per DAB+ gegenüber der UKW-Verbreitung von heute mit sich bringen würde. Dabei wurde insbesondere betont, dass ein Großteil der Werbeeinnahmen durch die lokale Verbreitung von Werbeinformationen generiert wird. Einer der Hörfunkveranstalter verbreitet ein unterschiedliches Werbeangebot zeitgleich in über 20 Lokalgebieten in Niedersachsen. Die Anforderung nach lokaler Differenzierbarkeit des Angebotes steht der effizienten Nutzung großflächiger Gleichwellennetze gegenüber.

Am 1. November 2015 wurde ein Projekt mit einem technischen Modellversuch gestartet, in dessen Rahmen wissenschaftlich untersucht wird, auf welche Art eine zeitlich begrenzte Auseinanderschaltung der Gleichwellennetze bei einer DAB+-Übertragung erfolgen kann. Das Bundesministerium für Verkehr und Digitale Infrastruktur (BMVI) fördert das Projekt zu 50 Prozent. Für die wissenschaftlich-technischen Untersuchungen wurde das Institut für Nachrichtentechnik (IfN) der Technischen Universität Braunschweig gewonnen.

Der vorliegende Zwischenbericht dokumentiert die im ersten Projektjahr durchgeführten Arbeiten und erzielten Ergebnisse. Es wird festgestellt, dass das Projekt im Zeitplan liegt. Nachdem vom IfN verschiedene Möglichkeiten für eine Auseinanderschaltung analysiert wurden, entschieden die Projektpartner am 18. April 2016 einvernehmlich, welche dieser Lösungen im weiteren Projektverlauf vertiefend untersucht, technisch umgesetzt und im Feld erprobt werden soll. Die bevorzugte Lösung wurde im Berichtszeitraum vom IfN in Software realisiert und durch erste Versuche an einem Laboraufbau verifiziert.

Nach bisherigen Kenntnissen erlaubt die gefundene Lösung die weitere Verwendung sowohl von heute bereits eingesetzten DAB+-Empfangs- als auch -Sendegeräten. Die lokalen Programminhalte sind ebenso wie die im gesamten Gleichwellennetz einheitlich verbreiteten Programminhalte empfangbar. Einschränkungen sind jedoch an den Grenzen der Lokalgebiete zu erwarten. Außerdem werden etwa 5,5 Prozent der bestehenden DAB+-Übertragungskapazität für Informationen aufgebracht, die über den DAB+-Kanal hinweg zu den Empfängern zusätzlich übertragen werden müssen. Diese Referenz-Informationen stellen die eigentliche Erfindung der neuen Technik dar.

Im weiteren Projektverlauf wird ein vollständiger Demonstrator realisiert, sodass er für einen Feldversuch eingesetzt werden kann. Außerdem wird der Feldversuch vorbereitet und später auch durchgeführt werden. Dazu ist die Unterstützung durch externe Partnerfirmen notwendig. Die Media Broadcast GmbH hat bereits ihr Interesse an einer Mitarbeit gezeigt. Es ist geplant, die Ergebnisse des Modellversuches auf der IFA 2017 auszustellen und zum 31. Dezember 2017 in einem Abschlussbericht zu erläutern.

## Inhaltsverzeichnis

1	Vorbemerkung .....	4
2	Einführung .....	4
3	Grundlagen des Systems DAB/DAB+ .....	5
3.1	Transmission Modes .....	5
3.2	Framing .....	6
3.3	Vorwärtsfehlerschutz.....	7
3.4	Interleaving .....	7
3.5	Differentielle Modulation .....	7
4	Überblick verschiedener Varianten der Auseinanderschaltung .....	8
4.1	Möglichkeiten im Frequenzmultiplex – DAB+-System-intern.....	8
4.2	Möglichkeiten im Frequenzmultiplex – Absolutes OFDM .....	8
4.3	Möglichkeiten im Frequenzmultiplex – DAB+ und UKW bzw. DRM+ .....	9
4.4	Möglichkeiten im Frequenzmultiplex – Internet-Anbindung .....	9
4.5	Möglichkeiten im Zeitmultiplex – Re-Synchronisierung der Daten durch zusätzliche Phasenangleichung .....	9
4.6	Möglichkeiten im Zeitmultiplex – Future Extension Frames .....	11
4.7	Möglichkeiten im Codemultiplex – Layered Division Multiplexing .....	12
5	Entscheidung zur Umsetzung .....	12
5.1	Kompatibilitätsbetrachtungen.....	12
5.2	Betrachtungen der Interferenzeigenschaften .....	13
5.3	Auswahl der umzusetzenden Möglichkeiten.....	14
6	Implementierung der Software für das Verfahren zur Re-Synchronisierung der Daten durch zusätzliche Phasenangleichung .....	15
6.1	DAB+-Messempfänger und -Modulator .....	15
6.2	Untersuchungen.....	15
6.3	Status der Demonstrator-Entwicklung .....	16
7	Zusammenfassung und Ausblick .....	17
8	Referenzen .....	18
9	Anhang .....	19
9.1	Liste der Projekttreffen.....	19
9.2	Liste der Gespräche mit dritten Organisationen .....	20
9.3	Polygon des Gebietes für den Feldversuch.....	21

## 1 Vorbemerkung

Eine der bedeutenden Stärken von DAB/DAB+ besteht in der Möglichkeit, großflächige Sendernetze durch Gleichwellennetze frequenzeffizient realisieren zu können. Realisiert werden diese sogenannten Single Frequency Networks (SFN) durch die Nutzung derselben Frequenz an allen Senderstandorten. Voraussetzung ist, dass von allen an einem SFN beteiligten Senderstandorten die exakt selben Daten ausgestrahlt werden. Dieses Konzept steht damit im Widerspruch zur Einführung lokaler Werbung und anderer lokaler Hörfunkdienste, die gerade nicht in großflächigen SFNs dieselben Daten benötigen, sondern für die unterschiedliche Daten von unterschiedlichen Senderstandorten ausgestrahlt werden. Das Niedersächsische Mediengesetz (NMedienG) unterstützt das Aussenden von lokalem Hörfunk durch lokale Veranstalter und lokale Fensterschaltungen in den landesweit ausgestrahlten Programmen. Beide Dienstangebote werden in Niedersachsen mit UKW realisiert und sind Bestandteil der aktuellen Geschäftsmodelle niedersächsischer Hörfunkveranstalter.

Aus diesem Grund wurde durch die Niedersächsische Landesmedienanstalt (NLM) die Durchführung eines Modellversuches bei der Niedersächsischen Staatskanzlei (StK) nach § 31 Abs. 2 NMedienG angezeigt. Der Modellversuch erfolgt auf Basis einer durch die StK erlassenen Verordnung. Er hat zum Ziel, die oben beschriebene Problematik wissenschaftlich zu untersuchen und Lösungsmöglichkeiten aufzuzeigen. Das Versuchsgebiet ist durch ein Polygon (vgl. Anhang 9.3 auf Seite 21) im Großraum Hannover/Braunschweig festgelegt. Das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) konnte für eine Projektbeteiligung gewonnen werden. Die wissenschaftlich-technische Betreuung erfolgt durch das Institut für Nachrichtentechnik (IfN) der Technischen Universität Braunschweig.

Der Modellversuch unterteilt sich in zwei Projektphasen. Die erste Projektphase dient hauptsächlich der Untersuchung von grundsätzlichen Lösungsmöglichkeiten. Sie endet mit der Festlegung einer technischen Möglichkeit und der Untersuchung der Variante durch Computer-Simulationen. In der zweiten Projektphase wird die Variante in Form eines Demonstrators realisiert. Das Projekt wird mit einem Feldversuch abgeschlossen.

Zum Zeitpunkt der Erstellung des Zwischenberichtes ist die erste Projektphase abgeschlossen, während die zweite Projektphase begonnen hat.

## 2 Einführung

Der Digitale Hörfunk DAB+ wird derzeit in Deutschland eingeführt und soll den analogen Hörfunk als letztes analoges Massenmedium digitalisieren. Eine Besonderheit von DAB+ ist die Tatsache, dass DAB+-Sendernetze als Gleichwellennetze ausgelegt werden können, die spektral besonders effizient sind. Der Nutzung von Gleichwellennetzen stehen aber aktuelle Geschäftsmodelle, insbesondere von privaten Hörfunkanbietern, entgegen, die beispielsweise in Niedersachsen landesweit ausgestrahlte Programme zu beliebigen Zeiten durch lokal ausgestrahlte Nachrichten oder Werbeeinblendungen in lokale Programmfenster aufteilen. Im Extremfall werden Programmanteile jeweils nur von einem einzigen UKW-Sender ausgestrahlt.

Innerhalb des Berichtszeitraums hat das IfN in der ersten Projektphase verschiedene Techniken auf ihre Tauglichkeit für die temporäre Auseinanderschaltung eines DAB+-Gleichwellennetzes untersucht. Einige dieser Techniken sind dem IfN aus der Welt des Digitalen Fernsehens wohlbekannt; weitere Techniken wurden als ergänzende Lösungsansätze erarbeitet.

Nachdem in Kapitel 3 die für das Verständnis der Untersuchungen notwendigen technischen Grundlagen von DAB/DAB+ erläutert werden, werden in Kapitel 4 alle Lösungsansätze separat vorgestellt. Sie werden daraufhin bewertet, inwieweit sie die vorgegebenen Anforderungen für die Auseinanderschaltung erfüllen. Es folgt in Kapitel 5 die Erläuterung der Entscheidung über die Lösungsansätze, die im weiteren Projektlauf verfolgt und in Form eines Demonstrators implementiert werden soll. Nach der Implementierung und der Untersuchung der bevorzugten Variante per Computer-Simulation (Kapitel 6) schließt die erste Projektphase ab. In Kapitel 7 erfolgt eine Zusammenfassung und ein Ausblick auf das weitere Vorgehen im Projekt.

### 3 Grundlagen des Systems DAB/DAB+

Die technische Basis von DAB (Digital Audio Broadcasting) wurde in dem von der Europäischen Kommission geförderten Eureka-Projekt 147 entwickelt, welches im Jahre 1987 ins Leben gerufen wurde. Die Ergebnisse dieser Arbeiten flossen in die europäische Norm ETSI EN 300 401 [1] ein, deren erste Version im Februar 1995 veröffentlicht wurde. In den Jahren 1997, 2000 und 2006 gab es verschiedene Aktualisierungen der Norm. Erst im Oktober 2016 wurde eine neue vorläufige Version mit der Versionsnummer V2.1.1 in die ETSI-Abstimmung gebracht. Eine von verschiedenen Änderungen in diesem Dokument besteht in der Streichung der Transmission Modes II, III und IV. Über die Bedeutung der Transmission Modes wird in Abschnitt 3.1 näher eingegangen.

Bezeichnend für DAB ist die Tatsache, dass das Verfahren OFDM (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing) erstmals in einem standardisierten System mit kommerziell genutzten und für den Massenmarkt entwickelten Endgeräten eingeführt wurde. OFDM ermöglicht es, ein Sendernetz als Gleichwellennetz (SFN) auszulegen, das besonders spektrums- und kosteneffizient betrieben werden kann.

DAB beschreibt ein komplettes digitales Hörfunkübertragungssystem mit der Eigenschaft, dass die zu übertragenden Audioprogramme MPEG-2 codiert sind. DAB+ ist eine Erweiterung von DAB um die Eigenschaft, dass nun auch MPEG-4-HE-AAC-codierte Audioprogramme übertragen werden können. Dabei nutzt DAB+ das ursprüngliche DAB-Übertragungssystem. Zusätzlich werden die DAB+-Daten mit einem weiteren Fehlerschutz versehen. Für das in dem vorliegenden Zwischenbericht beschriebene Projekt ist das DAB-Übertragungssystem das zu untersuchende Element, erweitert um einen Fehlerschutzmechanismus durch DAB+. Im Folgenden schließt die Nutzung des Namens DAB+ das zugrundeliegende Hörfunkübertragungssystem DAB mit ein.

#### 3.1 Transmission Modes

DAB+ besitzt vier verschiedene Transmission Modes, die für verschiedene Anwendungs- und Frequenzbereiche, wie Satellitenübertragung und terrestrische Übertragung sowie für

Mehr- und Gleichwellennetze ausgelegt wurden. Zur Anpassung werden unterschiedliche OFDM-Trägerabstände sowie unterschiedlich lange Schutzintervalllängen verwendet. Der in Deutschland genutzte Modus I ist für den Frequenzbereich im VHF-Band III gedacht und darauf ausgelegt, ein großes terrestrisches Gleichwellennetz aufspannen zu können. Die maximal erlaubte Laufzeitdifferenz der einfallenden Signale beträgt  $246 \mu\text{s}$  und entspricht damit einer maximalen Signalumwegsdistanz von  $73,7 \text{ km}$ . Die maximale Signalumwegsdistanz ist als Richtwert für die maximal zulässige Distanz zwischen den beitragenden Sendern im SFN zu verstehen.

Nachfolgend werden der Vollständigkeit halber und für ein besseres Verständnis des Berichtes die drei verbleibenden Modi II bis IV aufgeführt. Wie oben erwähnt wurde, werden sie nach dem Kenntnissstand der Autoren dieses Berichtes in der Praxis nicht eingesetzt. Außerdem sind sie in der aktuell vorläufigen Version des DAB-Standards, die sich derzeit in ETSI zur Ratifizierung befindet, nicht mehr aufgeführt.

Modus II ist für die Auslegung von terrestrischen Mehrfrequenznetzwerken im L-Band ( $<1,5 \text{ GHz}$ ) gedacht. Ein theoretisch mögliches Gleichwellennetz darf eine maximale Signalumwegsdistanz von  $18,4 \text{ km}$  aufweisen.

Modus III wurde für eine Verwendung im L-Band ( $<3 \text{ GHz}$ ) zur Satellitenübertragung entwickelt. Ein SFN würde hier nur  $9,2 \text{ km}$  maximale Signalumwegsdistanz erlauben.

Modus IV dient dem Aufspannen eines kleinen SFNs im L-Band ( $<1,5 \text{ GHz}$ ) und erlaubt eine maximale Signalumwegsdistanz von  $36,8 \text{ km}$ .

### 3.2 Framing

Die Übertragung der Daten ist in sog. Transmission Frames organisiert. Dabei werden zeitlich in fest definierter Reihenfolge (siehe Abbildung 1) die Synchronisationsdaten (im Synchronization Channel), Signalisierungsdaten (im Fast Information Channel) und anschließend die Audio- bzw. Nutzdaten (im Main Service Channel) übertragen.

Der Synchronisationskanal besteht aus einem Nullsymbol, das zur zeitlichen Synchronisation des Empfängers genutzt wird und einem Phasenreferenzsymbol, das die Referenz für die differentielle Modulation (vgl. Abschnitt 3.5) darstellt.

Im Signalisierungskanal werden die Informationen zum Aufbau des Nutzdatenkanals

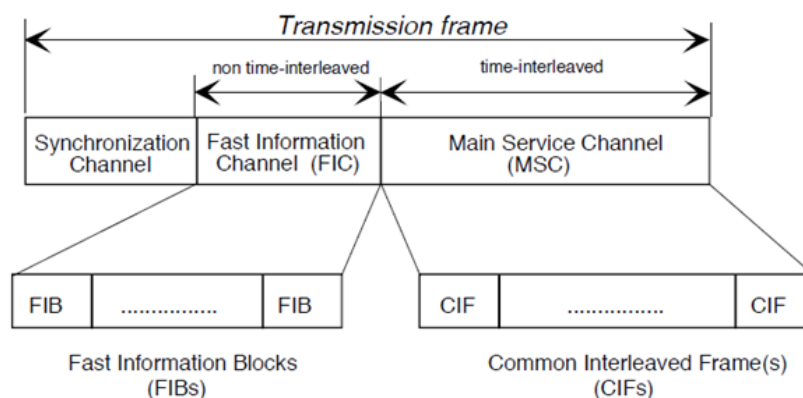


Abbildung 1: Modus-unabhängige Beschreibung des Übertragungsfensters [1]

übertragen sowie bspw. das Label der Audioprogramme und weitere Signalisierungs-  
informationen. Dabei werden die Daten in sog. Fast Information Blocks (FIB) eingefügt, die  
wiederrum sog. Fast Information Groups (FIG) beinhalten. Die Anzahl der FIB unterscheidet  
sich je nach Übertragungsmodus. In den FIG befinden sich unterschiedlich wichtige  
Signalisierungsinformationen, die unterschiedlich häufig (alle 96 Millisekunden bis weniger  
als alle 10 Sekunden) ausgespielt werden.

Im Nutzdatenkanal (MSC) befinden sich je nach Transmission Mode verschieden viele  
Common Interleaved Frames (CIFs); im Modus I sind es vier CIFs. Ein CIF beinhaltet zu  
jedem im DAB+-Ensemble/-Multiplex enthaltenen Audioprogramm Daten für 24 ms Spielzeit  
und fasst 864 Capacity Units (CUs), wobei eine CU insgesamt 64 bit enthält und 3 CU einer  
Datenrate von 8 kbit/s entsprechen. Ein Audioprogramm ist für die Gültigkeit der  
Multiplexkonfiguration in jedem CIF in einem sog. Subchannel an gleicher Position mit  
gleicher Kapazität zu finden.

### 3.3 Vorwärtsfehlerschutz

Die Nutzdaten werden vor der Übertragung mit einem Vorwärtsfehlerschutz (FEC)  
versehen. Bei DAB+ gibt es hierfür zwei unterschiedliche FEC-Mechanismen. Ein DAB+-  
Audioprogramm wird zuerst mit einem Reed-Solomon-Code der Coderate 11/12 versehen,  
bevor ein Faltungscodierung appliziert wird, der acht verschiedene Coderaten annehmen kann  
(1/4, 3/8, 4/9, 1/2, 4/6, 3/4, 4/5). Der Signalisierungskanal ist mit einer Coderate von  
etwa 1/3 geschützt.

### 3.4 Interleaving

Die Nutzdaten werden nach der FEC-Codierung in drei Stufen interleaved (verschachtelt):

1. Auf Zeitbasis: Der Inhalt eines CIFs wird über 16 CIFs verteilt.
2. Auf Bitstrombasis: Einem Dibit, das später die Phasenlage eines übertragenen QPSK-  
Symbols bestimmt, werden zwei nicht aufeinanderfolgende Bits zugeordnet.
3. Auf Frequenzbasis: Aufeinanderfolgende QPSK-Symbole werden pseudo-zufällig auf  
die OFDM-Träger verteilt.

### 3.5 Differentielle Modulation

Die Dibits werden nach dem Interleaving in einem ersten Schritt auf eine QPSK moduliert.  
Anschließend werden die einzelnen QPSK-Symbole, die in zwei aufeinanderfolgenden  
OFDM-Symbolen auf den OFDM-Trägern mit derselben Ordnungsnummer liegen, differen-  
tiell moduliert, beginnend mit dem Phasenreferenzsymbol im Synchronisationskanal über  
den Signalisierungskanal bis einschließlich des Nutzdatenkanals. Mit jedem neuen  
Transmission Frame wird ein Phasenreferenzsymbol übertragen.

Die differentielle Modulation ist eine rekursive Operation, bei der das Sendesignal des  
letzten OFDM-Symbols im Transmission Frame von allen vorherigen Daten abhängig ist.



## 4 Überblick verschiedener Varianten der Auseinanderschaltung

Eine Bedingung für die störungsfreie Übertragung von zusätzlichen Informationen – dies könnten beispielsweise lokale Programminformationen sein – über ein bestehendes Übertragungssystem ist die Möglichkeit für die Verwendung orthogonaler Informationsträger. Die Orthogonalität kann dabei im Zeitbereich, im Frequenzbereich oder im Bereich der Codierung erfolgen. Auf Grundlage der DAB+-Systemeigenschaften wurden am IfN verschiedene Möglichkeiten recherchiert bzw. erarbeitet, die eine Auseinanderschaltung der SFNs grundsätzlich erlauben. Bei DAB+ werden verschiedene Programme in einem Ensemble im Zeitmultiplex getrennt und mehrere Ensembles auf verschiedenen Frequenzen übertragen. Die nachfolgend vorgestellten Möglichkeiten werden nach den verschiedenen Dimensionen (Zeit, Frequenz, Code) des Multiplexings untergliedert.

### 4.1 Möglichkeiten im Frequenzmultiplex - DAB+-System-intern

Um zu bestehenden Empfängern kompatibel zu bleiben, müssen die Frequenzeigenschaften wie FFT-Größe, Anzahl an aktiven Trägern, Trägerabstand, Bandbreite, Mittenfrequenz etc. beibehalten werden. In Abbildung 2 ist die Anordnung von benachbarten DAB+-Multiplexen im Frequenzspektrum zu sehen. Es zeigt die typische Kanalbandbreite von etwa 1,71 MHz, in der das aktive DAB+-Signal 1,538 MHz einnimmt. Es ist nicht möglich, weitere Programme innerhalb des aktiven DAB+-Signals störungsfrei einzubringen. Im Frequenzschutzabstand zwischen zwei DAB+-Signalen können unter Beibehaltung der Kompatibilität zu bestehenden Empfängern und Sendern auch keine weiteren DAB+-Signale untergebracht werden. Folglich ist ohne Anpassung bestehender Empfänger und Sender keine DAB+-System-interne Auseinanderschaltung im Frequenzmultiplex umsetzbar.

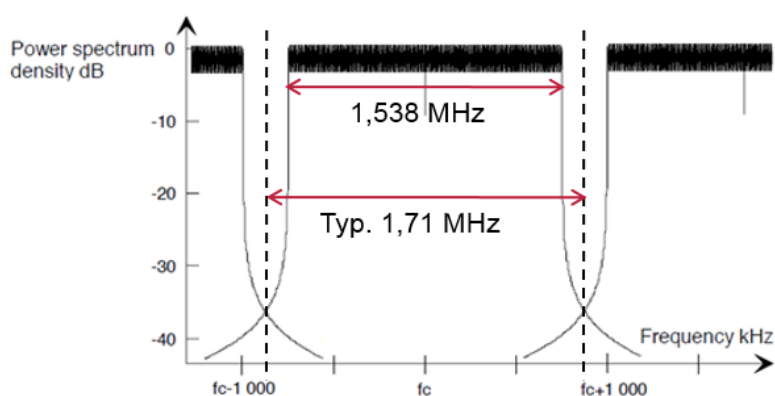


Abbildung 2: Spektrum von benachbarten DAB+-Multiplexen (nach [1])

### 4.2 Möglichkeiten im Frequenzmultiplex - Absolutes OFDM

Wie im vorhergehenden Abschnitt gezeigt, werden zwei spektral benachbarte DAB+-Signale mit einem Frequenzschutzabstand übertragen. In diese Frequenzbänder fallen sogenannte Out-of-Band-Emissionen, die beim Aussenden der Signale nicht optimal unterdrückt werden können. Arbeiten des IfN zu modernen Übertragungsstandards wie DVB-C2 belegen, dass bei Einhaltung definierter Randbedingungen kein Frequenzschutzabstand benötigt wird. Dies trifft beispielsweise zu, wenn die Out-of-Band-Emissionen, ebenso wie die OFDM-



Träger selbst, orthogonal zu allen anderen OFDM-Trägern sind. Ermöglicht wird eine solche Orthogonalität beispielsweise durch das Erzeugen aller Signale im gesamten genutzten Frequenzband durch einen einzigen FFT-Prozess. Um dieses Verfahren bei DAB+ zu ermöglichen, müssten alle im VHF-Band III eingesetzten Sender zeit- und frequenzsynchron abgestimmt laufen. Der so für die Übertragung nutzbar gemachte Frequenzschutzabstand böte dann neue Kapazitäten, die z.B. für die Übertragung von Lokalprogrammen verwendet werden könnten. Jedoch würden hierfür angepasste Sender und Empfänger benötigt.

#### 4.3 Möglichkeiten im Frequenzmultiplex - DAB+ und UKW bzw. DRM+

Eine weitere Möglichkeit bietet die simultane Nutzung von DAB+ und UKW bzw. DRM+ in einem hybriden System. DAB+ stellt bereits die Signalisierung bereit, um einem Service, der auch über UKW bzw. DRM+ ausgesendet wird, zu folgen (Service Following). Die UKW- bzw. DRM+-Sender stellen die lokalen Programme zur Verfügung und der dazu benötigte Hybrid-Empfänger wechselt von DAB+ auf die entsprechenden Übertragungsverfahren. Nachteilig an dieser Möglichkeit ist, dass die im Markt vorhandenen Empfänger ausschließlich Hybrid-Empfänger sein müssten und dass das notwendige Service Following von allen Empfängern unterstützt werden müsste. Diese Eigenschaft ist jedoch heute gerade bei Heimempfängern vermutlich nicht gegeben. Zusätzlich wäre ein permanenter DAB+- und UKW/DRM+-Simulcast-Betrieb notwendig, bei dem die UKW-Frequenzen weiterhin benötigt werden würden.

#### 4.4 Möglichkeiten im Frequenzmultiplex - Internet-Anbindung

Dieses Verfahren verknüpft das DAB+-Sendernetz mit der IP-Welt. Dabei werden DAB+-Empfänger mit einer IP-Schnittstelle versehen, die an eine verfügbare Internetanbindung (DSL, WLAN, Mobilfunk, etc.) angeschlossen ist. Über DAB+ werden nun zu jedem Lokalprogramm Links bereitgestellt (z.B. denkbar über RadioDNS). Schaltet ein SFN-weit sendendes Programm in den Lokalprogramm-Modus, bezieht das Empfangsgerät die Lokalprogramme über die IP-Schnittstelle.

Dies setzt voraus, dass ein IP-Anschluss sowie eine IP-Infrastruktur vorhanden sind. Insbesondere durch die Bereitstellung der notwendigen Internetanbindung können Mehrkosten für den Nutzer anfallen. Unterstützt ein Empfänger die Technik nicht, kann während der Lokalsendezeit das landesweite Programm weiter über DAB+ empfangen werden. Heutzutage existieren bereits Empfänger, die sowohl DAB+ als auch IP-Hörfunk-Streams empfangen können. Die Verknüpfung zu Lokalprogrammen und der unterbrechungsfreie Wechsel zwischen DAB+- und IP-basierter Übertragung sind unseres Wissens nach noch nicht möglich.

#### 4.5 Möglichkeiten im Zeitmultiplex - Re-Synchronisierung der Daten durch zusätzliche Phasenangleichung

Bei dieser Technik werden die Programmfenster mit lokalen Inhalten von den jeweiligen Sendern im SFN ausgesendet. Durch die Ausspielung unterschiedlicher Programminhalte auf derselben Frequenz entstehen zwischen den verschiedenen Lokalgebieten Interferenzen. Dieser Effekt ist allgemein bekannt. Bei einer DAB+-Übertragung entstehen diese Interferenzen jedoch nicht nur während der Zeiten, zu denen die Lokalfenster unterschiedlicher Inhalte gesendet werden, sondern für eine gewisse Zeit auch während

der nachfolgenden Übertragung von Programminhalten, die im gesamten SFN identisch sind und sich eigentlich nicht stören dürften. Grund für diese Fehlerfortpflanzung ist die Verwendung der in Unterkapitel 3.5 erläuterten differentiellen Modulation. Ohne zusätzliche Maßnahmen würde die Fehlerfortpflanzung bis zum Ende eines Transmission Frames dauern, da erst am Anfang des folgenden Transmission Frames die nächste Phasenreferenz übertragen wird und eine Phasengleichung stattfindet. Dieser Mechanismus wurde bereits in Unterkapitel 3.2 beschrieben. Im Vergleich z.B. zu Modus II, bei dem nach jedem CIF eine Phasengleichung erfolgt, findet die Phasengleichung im Modus I erst nach einer Folge von 4 CIFs statt. Das Einfügen von lokalen Programminhalten im ersten CIF des Transmission Frame würde somit bewirken, dass sich alle nachfolgenden Daten stören, unabhängig davon, ob es sich bei ihnen um lokale (uneinheitliche) oder globale (SFN-weit einheitliche) Signale handelt. Um die Fehlerfortpflanzung mit dem zeitlichen Ende der lokalen Programminhalte zu stoppen und zu verhindern, dass es auch bei globalen Programminhalten zu Interferenzen kommt, muss eine zusätzliche, „künstliche Phasengleichung“ der DAB+-Signale außerhalb der Regelphasengleichung erfolgen. Diese vom IfN entwickelte Maßnahme besteht im Einbringen eines OFDM-Symbols mit Daten zur Phasengleichung unmittelbar nach dem Block, in dem die lokalisierten Programme übertragen werden. Abbildung 3 zeigt beispielhaft die Position dieser Daten (durch Ovale gekennzeichnet) am Ende eines jeden CIFs innerhalb eines Transmission Frames. Durch diese Maßnahme wird der Einfluss der Fehlerfortpflanzung durch die differentielle Modulation egalisiert. Die Sendesignale aller Sender sind für die SFN-weit einheitlichen Programminhalte wieder identisch und überlagern sich konstruktiv.

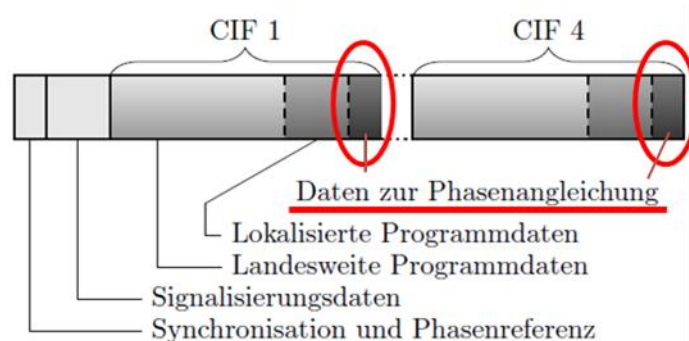


Abbildung 3: Schematischer Aufbau des Transmission Frames mit lokalen Inhalten

Die Interferenz zwischen den lokalisierten Sendern äußert sich in einem verminderten Störabstand, da sich die Sendesignale während der Lokalisierung unterscheiden und somit destruktiv wirken. Die Interferenz am Empfangsort wird umso ausgeprägter, je ähnlicher die Empfangsleistung der verschiedenen lokalisierten Sender wird.

Das OFDM-Symbol zur Phasengleichung trägt keine Nutzdaten, sodass hierdurch Übertragungskapazität verloren geht. Der Kapazitätsverlust beträgt 5,56 Prozent, entsprechend einem OFDM-Symbol von 18 Symbolen, die für die Übertragung der Nutzdaten einem CIF zugeordnet sind.

Das Einbringen der Phasengleichung ist senderseitig durchzuführen und an zwei Stellen möglich: Zum einen kann im Modulator während der differentiellen Modulation das jeweils auf die Lokalprogrammdateien folgende OFDM-Symbol mit vordefinierten DQPSK- bzw. Phasengleichungsdaten ausgespielt werden. Für diese Lösung wäre jedoch eine Modifikation des DAB+-Standards notwendig. Zum anderen ist es möglich, die notwendigen Daten

zur Phasenangleichung dem Zuspil-Multiplex vor dem Modulator beizufügen. Die Phasenangleichungsdaten müssen dazu im Multiplexer oder einem zusätzlichen Gerät berechnet und eingefügt werden. Da zur Berechnung die Ausgangsdaten des Zeit-Interleavers bekannt sein müssen, wird dem durch diese Implementierungslösung modifizierten Signal eine Verzögerung von 16 CIFs (384 ms) hinzugefügt.

#### 4.6 Möglichkeiten im Zeitmultiplex - Future Extension Frames

Bei diesem Ansatz werden die Lokalprogramme in einem gesonderten neuartigen Zeitfenster (sog. Future Extension Frame, FEF) übertragen. Dieses neu spezifizierte Zeitfenster kann nun einerseits innerhalb der CIFs untergebracht werden: Die lokalisierten Programmdateien werden in diesem Fall nicht mehr konform zum aktuellen DAB+-Standard übertragen. Der Ansatz ähnelt der in Abschnitt 4.5 vorgestellten Möglichkeit der „Re-Synchronisierung der Daten durch zusätzliche Phasenangleichung“ und hat zur Folge, dass das Einbringen der Daten zur zusätzlichen Phasenangleichung nach jedem FEF notwendig wird. Andererseits könnte sich das Zeitfenster über die Länge eines gesamten CIFs (z.B. jedem 4. CIF) eines Transmission Frames erstrecken. Das Einbringen von Daten zur zusätzlichen Phasenangleichung ist bei dieser Version nicht notwendig, da jedem 4. CIF ein neues Transmission Frame unmittelbar folgt, welches mit einem Nullsymbol und einem Phasenreferenzsymbol, wie in Abschnitt 3.2 beschrieben, beginnt.

Bei der ersten Variante tritt durch das Einfügen der Daten zur Phasenangleichung ein Kapazitätsverlust auf, während bei der zweiten Variante diese Daten nicht eingefügt werden und somit kein Kapazitätsverlust auftritt. Die Verwendung der heute im Feld eingesetzten Geräte ist bei keiner der beiden Varianten möglich. Vielmehr müssen sowohl senderseitig als auch empfängerseitig neue Geräte eingesetzt werden, die konform zu der vorgestellten Signalstruktur des Future Extension Frames sind.

Eine mögliche Spezifizierung dieses Future Extension Frame, die besonders die auftretenden Interferenzen zwischen den Lokalgebieten berücksichtigt, ist die Aufteilung der gesamten OFDM-Träger in Gruppen disjunkter OFDM-Träger für jedes Lokalgebiet. Diese Einteilung entspricht einem orthogonalen Frequenzmultiplex für die Übertragung der lokalen Programme.

Wie Abbildung 4 beispielhaft zeigt, wird ein globales Versorgungsgebiet (dargestellt durch die große Kreisfläche) in drei Lokalgebiete aufgeteilt. Die drei Lokalgebiete sind in Abbildung 4 durch einzelne, sich teilweise überlappende Kreisflächen (S1, S2, S3) gekennzeichnet. In jedem Lokalgebiet wird für die Übertragung von lokalen Programmdateien eine Gruppe von OFDM-Trägern verwendet, wobei die Gruppen untereinander disjunkt sind. So

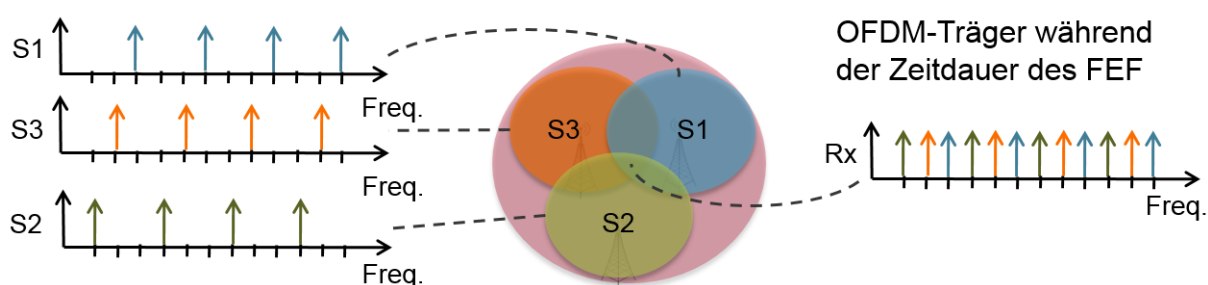


Abbildung 4: Aussendung von drei Lokalprogrammen auf unterschiedlichen OFDM-Trägern

ist es möglich, dass sich die Lokalprogramme nicht gegenseitig stören. Ein Nachteil dieses Verfahrens ist die Reduktion der Gesamtkapazität während der Übertragungszeiten der lokalen Programmfenster. Dieser Verlust kann erst in großen SFNs eingestellt werden.

#### 4.7 Möglichkeiten im Codemultiplex - Layered Division Multiplexing

Eine bei DAB+ ungenutzte Dimension des Multiplexings ist der Codemultiplex. Eine Anwendung dieser Lösung im Nachhinein ist ohne Hinzufügen von Störungen in Form von Eigeninterferenzen nicht möglich. Ein Verfahren um zusätzliche - z.B. lokale - Programmdateien zu übertragen, welches das ursprüngliche DAB+-Signal nur leicht stört, ist das Layered Division Multiplexing. Hier wird das DAB+-Signal mit den SFN-weit einheitlichen Programminhalten mit hoher Leistung und einem robusten Fehlerschutz übertragen und mit dem Signal für die Lokalprogramme additiv überlagert, wobei das überlagerte Signal mit deutlich weniger Leistung übertragen wird.

In Abbildung 5 ist dies beispielhaft an den Signalräumen für zwei überlagerte QPSK-Konstellationen zu sehen. Als Ergebnis der Überlagerung ergibt sich eine 16-QAM. Ein aktueller DAB+-Empfänger würde das überlagerte Lokalprogrammssignal als Störung wahrnehmen, was in dem rechten Diagramm in Abbildung 5 durch die eingezeichnete Kreisfläche symbolisiert wird. Nachteilig ist, dass zum Decodieren des Lokalprogramms ein Empfänger zuerst das SFN-Signal vom Empfangssignal entfernen muss. Dies stellt einen erhöhten Aufwand dar. Zwischen zwei verschiedenen Lokalgebieten entsteht eine Interferenzzone ohne Empfangbarkeit der Lokalprogramme. Vorteilhaft ist, dass durch das Verfahren eine deutliche Kapazitätssteigerung im Ensemble möglich ist.

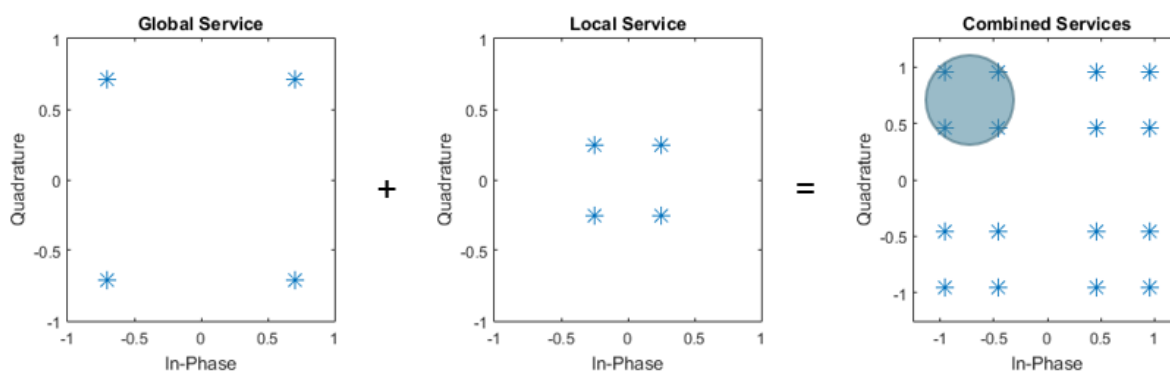


Abbildung 5: Additive Überlagerung zweier QPSK-Konstellationen

## 5 Entscheidung zur Umsetzung

Im Folgenden werden die Kriterien für die Auswahl der oben betrachteten technischen Möglichkeiten beschrieben; anschließend wird die Auswahl darüber getroffen, welcher Ansatz in einem Demonstrator realisiert wird.

### 5.1 Kompatibilitätsbetrachtungen

Die verschiedenen Techniken wurden von den Projektbeteiligten kategorisiert und priorisiert in

1. Techniken, die zu bereits im Markt befindlichen Empfängern und ggf. Modulatoren kompatibel sind (4.3, 4.5),
2. Techniken, die neue/modifizierte Modulatoren und/oder modifizierte Empfänger benötigen (4.2, 4.4, 4.6, 4.7).

Bei Verwendung von Techniken der Priorität 2 sind heutige Empfänger maximal nur in der Lage, die nicht lokalisierten Programme zu empfangen. Nach aktuellem Informationsstand sollte die in Abschnitt 4.4 (DAB+ und IP) beschriebene Möglichkeit ohne Modifikation der Hardware des DAB+-Systems zu realisieren sein. Vorhandene Komponenten wie Modulatoren können weiterverwendet werden. Jedoch muss die Software/Firmware durch eine entsprechende Signalisierung (z.B. Transmitter Identifikation, Hinweis auf Programmwechsel, Sendemodus (global, lokal)) erweitert werden und Empfänger müssen diese (erweiterte) Signalisierung interpretieren sowie eine Umschaltung vornehmen können.

Die Ansätze 4.6 (Future Extension Frames) und 4.7 (Layered Division Multiplexing) benötigen eine umfangreiche Erweiterung des DAB+-Systems und sind als Einbettung eines zusätzlichen, quasi eigenständigen (Sub-)Systems in DAB+ interpretierbar. Bei diesen Ansätzen und bei Ansatz 4.2 (Absolutes OFDM) werden sendeseitig neue Modulatoren, Multiplexer, Zuspilwege etc. sowie neue Empfänger benötigt.

Die Techniken der Priorität 1 ermöglichen hingegen die Verwendung insbesondere der aktuellen Empfänger. Bei dem Ansatz 4.3 (Verbreitung der Lokalprogramme über UKW/DRM+) werden Features wie das systemübergreifende Service Following und Announcements benötigt. Da diese Features nur als optionale Features in den Empfänger-richtlinien [2] gelistet und daher insbesondere in stationären Empfängern vermutlich nicht implementiert sind, ist diese Technik nicht für alle Empfangsgeräte im Markt geeignet. Möglicherweise könnten diese durch einen Firmware-Upgrade aktualisiert werden. Ob diese Möglichkeit besteht und ggf. für welche Empfänger, konnte jedoch im Rahmen der bisherigen Projektarbeiten nicht untersucht werden. Der Ansatz 4.5 (Re-Synchronisierung der Daten durch zusätzliche Phasenangleichung) benötigt keine optionalen Features, sodass nach aktueller Erkenntnis alle im Markt befindlichen Empfänger zu diesem Ansatz kompatibel sein sollten. Sendeseitig sind die Daten zur Phasenangleichung in den Datenstrom einzubringen.

## 5.2 Betrachtungen der Interferenzeigenschaften

Wie oben beschrieben wurde, kann das Aussenden von Programmen mit lokalen Programminhalten von verschiedenen lokalen Senderstandorten in einem Gleichwellennetz, in dem zudem SFN-weit einheitliche Programminhalte verbreitet werden, Interferenzstörungen erzeugen. Diese Störungen können abhängig von der gewählten technischen Lösung für das Auseinanderschalten nach Kapitel 4 unterschiedliche Störeeigenschaften aufweisen:

1. Signalanteile mit lokalisierten Programminhalten stören Signalanteile, die SFN-weit einheitliche Programminhalte enthalten,
2. Signalanteile mit lokalisierten Programminhalten stören Signalanteile, die lokalisierte Programminhalte eines anderen Veranstalters enthalten,
3. Signalanteile mit lokalisierten Programminhalten stören Signalanteile, die unterschiedliche lokalisierte Programminhalte desselben Veranstalters enthalten.

Die Störung nach Punkt 1 ist bei den Ansätzen 4.6 (Future Extension Frames) mit Einbringung der Lokalprogramme in einem gesamten CIF und 4.7 (Layered Division Multiplexing) zu erwarten. Bei den übrigen Ansätzen ist keine Störung dieser Kategorie zu erwarten. Dies gilt gleichermaßen für Punkt 2.

Die Störung zwischen den unterschiedlichen lokalisierten Programmen eines Anbieters ist bei den Ansätzen 4.3 (Lokalprogramme über UKW/DRM+), 4.4 (DAB+ und IP) und 4.6 (Future Extension Frames) mit Einbringung der Lokalprogramme in einem gesonderten Abschnitt im CIF und Auslegung des Future Extension Frames mit disjunkten OFDM-Trägern nicht zu erwarten. Bei den Ansätzen 4.5 (Re-Synchronisierung der Daten durch zusätzliche Phasenangleichung) und 4.7 (Layered Division Multiplexing) ist eine Interferenzzone zu erwarten, in der der Empfang beeinträchtigt ist.

An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass bei der Verwendung von Ansatz 4.5 (Re-Synchronisierung der Daten durch zusätzliche Phasenangleichung) und einer Aussendung von lokalen Programmfenstern verschiedener Programme zu unterschiedlichen Zeiten der Fall auftreten könnte, dass sich im Lokalprogrammblock innerhalb eines CIFs SFN-weit einheitliche Programminhalte befinden, die auf Lokalprogramminhalte folgen. Dies würde zu Störungen nach Punkt 1 und 2 führen, die jedoch durch eine zuvor durchgeführte Multiplex-Rekonfiguration umgangen werden können.

### 5.3 Auswahl der umzusetzenden Möglichkeiten

Die vom IfN erarbeiteten Ansätze wurden beim Projekttreffen am 18.4.2016 präsentiert [7] und mit den Projektpartnern diskutiert. Die Projektbeteiligten beschlossen, den Fokus auf diejenigen Ansätze zu legen, die die bereits im Markt befindlichen Empfänger unterstützen (Priorität 1). Weiterhin sind in die Entscheidung eingeflossen die Ergebnisse von Gesprächen mit langjährigen Experten von DAB+ aus dem Fraunhofer IIS [6], mit der Technischen Konferenz der Landesmedienanstalten (TKLM) nach Vorstellung der Zwischenergebnisse [9] und mit Experten aus der Branche nach dem öffentlichen Vortrag auf dem Workshop Digital Broadcasting 2016 [8]. Nach Abwägung aller Erkenntnisse wurde von den Projektbeteiligten der Ansatz 4.5 zur Re-Synchronisierung der Daten durch zusätzliche Phasenangleichung als prioritär für die weitere Bearbeitung durch das IfN ausgewählt.

An dieser Stelle sei erwähnt, dass diese Lösung Ähnlichkeit zu einem Verfahren besitzt, das in einem DAB-Projekt der Sächsischen Landesmedienanstalt (SLM) im Jahre 1996 untersucht wurde [3]. Das Verfahren der SLM ist jedoch bei der allgemein und insbesondere in Deutschland angewendeten Übertragung im Transmission Mode I nicht einsetzbar. Erst die vom IfN entwickelte Lösung erlaubt die Anwendung im Modus I.

Wegen des großen Markterfolges von IP (Internet Protokoll) im Streaming-Bereich soll zudem mit Ansatz 4.4 die Integration von DAB+ und IP weiterverfolgt werden. Dieser Ansatz wurde ebenso zu den oben genannten Anlässen vorgestellt.



## 6 Implementierung der Software für das Verfahren zur Re-Synchronisierung der Daten durch zusätzliche Phasenangleichung

Für die Durchführung des Modellversuchs ist die Entwicklung und Realisierung eines Demonstrators notwendig. Entsprechende Arbeiten werden am IfN im zweiten Projektabschnitt erfolgen. Der Demonstrator wird aus einem DAB+-Messempfänger und der Sendetechnik zur Umsetzung des Ansatzes 4.5 bestehen. Die Realisierung des Empfängers und Modulators geschieht mittels Software-Defined-Radio, wobei die Kernkomponenten des Systems in Software umgesetzt werden. Die Wandlung des Basisbandsignals in ein HF-Signal oder umgekehrt geschieht mit einem universellen Software-Defined-Radio-Front-End. Für die Programmierung der Demonstrator-Software werden Programm-Routinen verwendet, die im ersten Projektabschnitt am IfN erstellt wurden, um insbesondere den Ansatz 4.5 genauer zu untersuchen. Die Software enthält die beiden wichtigen Blöcke für den DAB+-Messempfänger und den DAB+-Modulator, die im Folgenden erläutert werden.

### 6.1 DAB+-Messempfänger und -Modulator

Das IfN hat für die Untersuchung des ausgewählten Ansatzes 4.5 die Funktionalität des DAB+-Messempfängers in Software realisiert. Dazu wurden die verschiedenen Komponenten (OFDM-Demodulator, DQPSK-Demodulator, Zeit-, Frequenz- und Bit-Deinterleaver, Deframing-Block, Viterbi- und Reed-Solomon-Decoder, Audio-Deframing-Block, FIC-Decoder etc.) programmiert.

Der Empfänger unterstützt den Empfang eines DAB+-Datenstroms inkl. der Ausgabe des Audiosignals. Dazu wurden die Hauptelemente der DAB+-Signalisierung implementiert. Die Ermittlung von CRC-Fehlern im Signalisierungskanal ist möglich. Ebenso werden CRC-Fehler im Audio-Super-Frame und in den einzelnen Audio Units erkannt und ausgegeben. Zusätzlich stellt die Reed-Solomon-Decodierung eine Information bereit, die angibt, ob Übertragungsfehler erkannt wurden.

Zusätzlich hat das IfN einen funktionsfähigen DAB+-Modulator in Software entwickelt, der zudem die in Ansatz 4.5 festgelegten Daten zur Re-Synchronisation der empfangenen DAB+-Datenströme durch Phasenangleichung in die zu sendenden DAB+-Datenströme einfügen kann.

### 6.2 Untersuchungen

Mit der oben vorgestellten Software wurden Computer-Simulationen durchgeführt. Bei den Simulationen wurde zunächst festgestellt, dass sowohl Modulator als auch Empfänger DAB+-konforme Signale erzeugen bzw. verarbeiten können. Zudem wurde der vorgeschlagene Ansatz 4.5 untersucht. Es wurde nachgewiesen, dass der Ansatz wie oben beschrieben eine Einbettung von lokalen Inhalten erlaubt und dabei keine Störungen an den SFN-weit einheitlichen Programminhalten hervorgerufen werden.

Anschließend wurde die entwickelte Software für erste Labortests vorbereitet. Dazu wurde sie mit Schnittstellen ausgestattet, die eine physikalische Übertragung der Signale zwar nicht durch die Luft aber per Kabel erlauben. Erste Messergebnisse dieser Tests werden durch zwei Diagramme in Abbildung 6 wiedergegeben. In den Diagrammen sind auf der Ordinate Messwerte dargestellt, die die Größe der auftretenden Interferenzstörung



kennzeichnen. Die Messwerte ergeben sich als mittlere absolute Differenzen zwischen den zeitlichen Abtastwerten der von zwei Sendern ausgesendeten OFDM-Symbole. Ein Messwert identisch 0 bedeutet, dass keine Interferenz vorliegt. Auf der Abszisse sind die OFDM-Symbole über die Länge eines Übertragungsframes im Modus I aufgetragen.

In dem zugrundeliegenden Szenario senden zwei Sender dauerhaft SFN-weit einheitliche und lokalisierte Programminhalte in jedem übertragenem MSC. Bei der Überlagerung beider Signale wurden ihre Leistungen auf identische Werte eingestellt. Dies entspricht bei den durchgeführten Tests dem Worst-Case-Szenario.

In den beiden Diagrammen ist zu sehen, dass zu Beginn des Transmission Frames während der Ausstrahlung des Synchronisationskanals und der Signalisierungsdaten (OFDM-Symbole mit Index 1-5) wie zu erwarten keine Interferenz auftritt. Anschließend beginnt das erste CIF mit SFN-weit einheitlichen Programminhalten (OFDM-Symbole 6-12), in denen ebenfalls keine Interferenz auftritt. In den OFDM-Symbolen 13-23 werden lokale Inhalte ausgestrahlt. Aufgrund der identischen Signalleistung beider Signale mit unterschiedlichen Daten treten wie erwartet Interferenzen auf, die bei den entsprechenden Indizes zu erkennen sind.

Wird keine Phasengleichung durchgeführt - dies ist im linken Diagramm dargestellt -, sind alle folgenden OFDM-Symbole des Übertragungsframes durch Interferenzen gestört. Abschnittsweise werden dabei auch in diesem Versuch wieder während der oben angegebenen Zeiten die gleichen SFN-weit identischen Programminhalte übertragen.

Im rechten Diagramm wird die Phasengleichung nun im jeweils letzten OFDM-Symbol der CIFs (OFDM-Symbole 23, 41, 59, 77) eingefügt. Es ist zu erkennen, dass die SFN-weit einheitlichen Inhalte in allen CIFs ohne Interferenz empfangen werden. Die vorgeschlagene Phasengleichung ermöglicht also eine Einbettung von lokalen Programminhalten ohne die SFN-weit einheitlichen Programme zu stören.

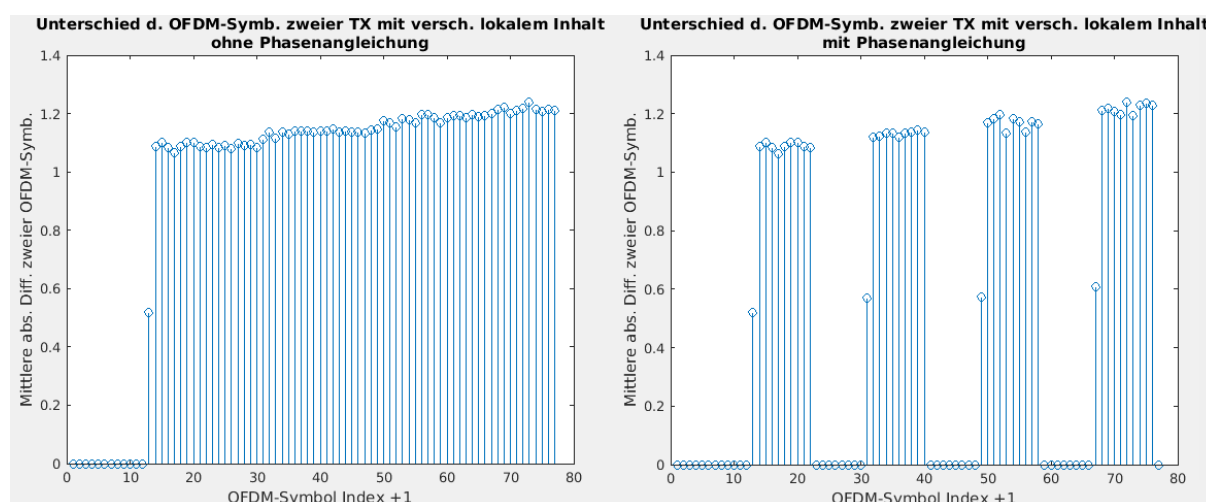


Abbildung 6: Messung der Interferenz zwischen OFDM-Symbolen zweier Sender mit Lokalisierung - linkes Diagramm ohne und rechtes Diagramm mit Phasengleichung.

### 6.3 Status der Demonstrator-Entwicklung

Zum Ende des Berichtszeitraumes ist am IfN eine Software verfügbar, die, wie oben beschrieben, eine DAB+-konforme Signalverarbeitung im Modulator und im Empfänger

durchführt. Zudem besteht die Möglichkeit, senderseitig Daten in die DAB+-Datenströme einzufügen, um die gewünschte Re-Synchronisierung der Daten am Empfänger durch die zusätzliche Phasenangleichung entsprechend Ansatz 4.5 zu erzeugen.

Untersuchungen durch Computer-Simulationen ergaben, dass das Verfahren nach Ansatz 4.5 eine temporäre Auseinanderschaltung von Gleichwellennetzen grundsätzlich erlaubt. Zusätzlich wurde die Software durch Schnittstellen ergänzt, die erste Labortests ermöglichten. Dadurch konnte die Software mit kommerziell verfügbaren DAB+-Komponenten auf Standardkonformität überprüft und die per Computer-Simulation erzielten Untersuchungsergebnisse bestätigt werden.

Im kommenden Berichtszeitraum wird auf der Basis dieser Software ein voll funktionsfähiger Demonstrator bestehend aus senderseitiger und empfängerseitiger Signalverarbeitung entwickelt werden. In einer ersten Konzepterstellung wurde entschieden, ein Software-Defined-Radio-Front-End von der Firma DekTec senderseitig zu integrieren. Im Empfänger wird zum Zweck des Empfangs der OFDM-Signale ein Software-Defined-Radio-Front-End der Firma USRP integriert. Beide Komponenten wurden am IfN auf ihre Eignung untersucht und positiv bewertet.

## 7 Zusammenfassung und Ausblick

In dem zu Ende gegangenen Berichtszeitraum untersuchte das IfN unterschiedliche Möglichkeiten zur Auseinanderschaltung im Gleichwellennetz. Diese wurden von den Projektbeteiligten kategorisiert und priorisiert. Zur weiteren Untersuchung und Umsetzung in einem Feldversuch wurden zwei Möglichkeiten ausgewählt. Mit höherer Priorität wird Ansatz 4.5 weiterverfolgt. Zusätzlich wurde mit geringerer Priorität Ansatz 4.4 ausgewählt.

Eine Umsetzung des Ansatzes 4.5 erfolgte am IfN in Software. Diese Software wurde um Schnittstellen ergänzt, die erste Labortests mit kabelgeführte DAB+-Übertragungen erlaubten. Sowohl in den Labortests als auch in Computer-Simulationen wurde zum einen die DAB+-Konformität der Softwaremodule nachgewiesen. Zum anderen wurde gezeigt, dass bei der Aussendung von unterschiedlichen lokalen Programmfenstern eine Re-Synchronisierung der DAB+-Daten am Empfänger durch zusätzliche Phasenangleichung mit handelsüblichen DAB+-Empfängern funktioniert.

Im weiteren Verlauf des Projektes wird der Demonstrator um eine GUI (Graphik User Interface) zur Steuerung und Statusanzeige erweitert. Der DAB+-Messempfänger wird vollständig entwickelt und erhält ebenfalls weitere Features wie die Dekodierungsmöglichkeit für weitere Signalisierungskomponenten, die Erkennung von Transmitter IDs, die framegenaue Ausgabe von CRC-Fehlerraten, SNR-Schätzungen, Kanalschätzungen und weiterer charakteristischer Merkmale digitaler Übertragungssysteme.

Der mit den neuen Fähigkeiten ausgestattete DAB+-Modulator wird fertig gestellt und um die Fähigkeit des Aussendens von Transmitter IDs erweitert. Die Unterstützung von USRPs als Sendeeinheit mit GPS-gesteuerten Oszillatoren zur synchronen Ausstrahlung ist umzusetzen, damit die Modulatoren an verschiedenen Sendestandorten synchronisiert betrieben werden können. Die Erstellung eines Multiplexers, mit der Fähigkeit, Phasenangleichungsdaten in den Zuspelungsstrom einzufügen, ist geplant.

Der Ansatz 4.4 wird zurzeit am IfN ausführlich untersucht. Dabei wird ein Konzept zur Realisierung erstellt. Die im Demonstrator verwendeten Komponenten können vermutlich zur Umsetzung dieses Ansatzes zu weiten Teilen wiederverwendet werden.

Für den nächsten Berichtszeitraum ist neben der Fertigstellung der Modulator- und Empfängerkomponenten geplant, die ausgewählten Ansätze in einem Feldversuch im Raum Hannover/Braunschweig zu untersuchen. Diesbezüglich fand ein erstes Treffen mit Herrn Wächter (Media Broadcast GmbH) statt. Er zeigte sich interessiert an dem Projekt und hat signalisiert, voraussichtlich bei der Umsetzung helfen zu wollen. Weitere Gespräche sind geplant. Es soll versucht werden, Media Broadcast zur Bereitstellung der für den Feldversuch notwendigen Infrastruktur an den Senderstandorten zu bewegen.

## 8 Referenzen

- [1] ETSI EN 300 401: “Radio broadcasting systems; Digital Audio Broadcasting (DAB) to mobile, portable and fixed receivers”
- [2] ETSI TR 101 496-2: “Digital Audio Broadcasting (DAB); Guidelines and rules for implementation and operation; Part 2: System features”
- [3] Sächsische Landesanstalt für Privaten Rundfunk und Neue Medien: „Lokale Programmfenster in DAB-Gleichwellennetzen“, Dresden 1996
- [4] Schrieber, Fabian: „Local Service Insertion (LoSI) bei DAB+“, Präsentation für das Kick-off-Meeting, Braunschweig, 16. November 2015
- [5] Jaeger, Dirk: „Untersuchung von Möglichkeiten für ‚Local Service Insertion‘ bei DAB+ - ein niedersächsischer Modellversuch“, Präsentation vor dem Digitalradio-Leiterkreis, 24. November 2015
- [6] Schrieber, Fabian: „LoSI-Ansätze“, Präsentation während eines Projekttreffens, Braunschweig, 9. Februar 2016
- [7] Schrieber, Fabian: „Statusbericht Lokal Service Insertion“, Präsentation während eines Projekttreffens, Braunschweig, 18. April 2016
- [8] Schrieber, Fabian: „Local Service Insertion (LoSI) in DAB+-SFNs“, Präsentation im Rahmen der TKLM-Sitzung, Berlin, 14. Juni 2016
- [9] Schrieber, Fabian: „Optionen zur Integration von lokalen Programmen in DAB-Gleichwellennetze“, WSDB, Erfurt, 29. September 2016

## 9 Anhang

### 9.1 Liste der Projekttreffen

Datum	Ort	Teilnehmer	Bemerkung
19.6.2015	NLM	Herren Dohmen (Radio Hannover), Gehrung (ffn), A. Fischer (NLM), K. Fischer (Antenne NDS), Haase (LeineHertz), Jaeger (NLM), Müller (Radio 21), Prof. Reimers (IfN), Vogt (Radio 21), Zoellner (IfN)	Vorbesprechung mit Geschäftsführern und Technischen Leitern privater Hörfunkveranstalter
19.10.2015	IfN	Prof. Reimers, Herren Schrieber, Jaeger	Vertragsunterzeichnung
16.11.2015	IfN	Prof. Reimers, Herren Schrieber, Jaeger, Berninghaus, Gundlach, Fischer, Kurzella	Kick-Off
9.2.2016	IfN	Prof. Reimers, Herren Schrieber, Jaeger	Diskussion versch. Varianten
18.4.2016	IfN	Prof. Reimers, Herren Schrieber, Jaeger, Berninghaus, Fischer, Kurzella	Festlegung weiteres Vorgehen
3.6.2016	IfN	Prof. Reimers, Herr Jaeger	Weiteres Vorgehen + Vorgespräch TKLM
1.7.2016	IfN	Prof. Reimers, Herren Schrieber, Jaeger	Besprechung Varianten mit hoher Priorität
10.10.2016	IfN	Prof. Reimers, Herren Schrieber, Jaeger	Präsentation Software DAB+-LoSI-Labortests
17.10.2016	IfN	Herren Schrieber, Jaeger	Besprechung Zwischenbericht und MA DAB+IP

## 9.2 Liste der Gespräche mit dritten Organisationen

Datum	Ort	Organisation	Teilnehmer Projekt	Bemerkung
24.11.2015	Berlin	Leiterkreis Digitalradio	Herr Jaeger	Kurzvorstellung Projekt bei Leiterkreis Digitalradio
26.1.2016	IfN	WDR (Delegation)	Prof. Reimers, Herr Schrieber	Kurzvorstellung Projekt
21.4.2016	IfN	Fraunhofer IIS (Herren Korte, Speitel)	Prof. Reimers, Herr Schrieber	Vorstellung Projekt & Diskussion Techniken
14.6.2016	Berlin	Technische Konferenz der Landesmedienanstalten (TKLM)	Prof. Reimers, Herren Schrieber, Jaeger	Vorstellung Projekt
31.8.2016	IfN	Media Broadcast GmbH (Herr Wächter)	Prof. Reimers, Herren Schrieber, Jaeger	Vorstellung Projekt
24.11.2016	IfN	MDR/WDR/SWR (Dr. Liebenow, Dr. Sommer, Herr Malfeld)	Prof. Reimers, Herr Schrieber	Vorstellung Projekt

### 9.3 Polygon des Gebietes für den Feldversuch

Geographische Koordinaten des Versuchsgebietes auf der Grundlage des geodätischen Bezugssystems World Geodetic System 1984.

Polygon-Koordinaten	Ost	Nord	Höhe
Hannover-Nord	09° 38' 03''	52° 29' 21''	46 m
Gifhorn	10° 32' 00''	52° 32' 40''	54 m
Wolfsburg	10° 55' 20''	52° 25' 50''	62 m
Helmstedt	11° 04' 00''	52° 12' 50''	167 m
Wolfenbüttel	10° 38' 00''	52° 08' 50''	179 m
Salzgitter	10° 16' 10''	52° 08' 30''	88 m
Hannover-Süd	09° 38' 00''	52° 18' 50''	64 m

Kartenauszug des Versuchsgebietes

