

Optimierung der Audiocodierung durch Spectral Band Replication in DAB – Konsequenzen für die Hörer

Optimising the audio coding with Spectral Band Replication in DAB - consequences for the listeners

1. Zusammenfassung

Die Kombination aus Spectral-Band-Replication (SBR) und Layer II verbessert die Kodiereffizienz im Bereich niedriger Datenraten bis zu 40%. Der entscheidende Vorteil liegt in der Rückwärtskompatibilität, d. h. in der Tatsache, dass bestehende DAB-Empfänger den Layer II Datenstrom von Layer II+SBR Signalen dekodieren können. Somit könnte Layer II+ eine kompatible Lösung für mehr Programme im DAB-Multiplex darstellen. Der Frage, inwieweit sich die Empfangseigenschaften durch eine mögliche höhere Fehlerempfindlichkeit des übertragenen Signals ändern, wurde im Rahmen einer kürzlich am IRT durchgeführten Untersuchung zum Übertragungsverhalten von SBR-codierten Audiosignalen nachgegangen und mit früheren Tests des EUREKA 147 DAB Konsortiums mit normalen Layer II-Signalen verglichen. Die Ergebnisse zeigen, dass bei Einführung des auf der SBR-Codierung basierenden Layer II+ Formates aufgrund der unveränderten Fehlerempfindlichkeit die bisherigen DAB-Versorgungsgebiete erhalten bleiben.

- ✚ Basics of Spectral Band Replication
- ✚ Advantages of SBR within DAB
- ✚ Choice of appropriate Audio Coding Method
- ✚ Error Performance within DAB-Channel
- ✚ Test Equipment
- ✚ Implementation of test
- ✚ Modified MUSHRA-method
- ✚ Audio Test Sequences
- ✚ Results in Gaussian-Channel
- ✚ Results in Rayleigh-Channel (Rural / Urban)
- ✚ Comparison with earlier tests and Conclusions

Abbildung 1: Inhalt des Vortrages

2. Grundlagen des SBR-Verfahrens

SBR steht für Spectral-Band-Replication und ist eine Entwicklung der Firma CodingTechnologies. Der Vorteil des Verfahrens liegt darin, dass es sich mit den bekannten Verfahren der Wellenform-Codierung (MP3, AAC, MPEG Layer2) kombinieren läßt. Das Verfahren der SBR-Codierung nutzt bei Sprach- und Musiksignalen, also Audiosignalen mit harmonischer Spektralzusammensetzung, die Korrelation zwischen tieffrequenten und höherfrequenten Spektralanteilen des Audiosignals dahingehend, dass sich die spektralen Anteile aus den tieferen Teilbändern in die höheren Teilbänder „replizieren“ lassen, und somit nur die Hüllkurven der oberen Teilbänder zur Wiederherstellung der höherfrequenten Signalanteile übertragen werden muss. Die „eingesparten Bits“ lassen sich für eine effektivere Codierung in den unteren Teilbändern nutzen, die bei niedrigen Datenraten besonders gut ausfällt, wenn innerhalb des DAB-Systems diese gemäß dem erweiterten MPEG2-Standard (ISO/IEC 13818) mit der halben Abtastrate bei dann doppelter Anzahl von Teilbändern im unteren Frequenzbereich quantisiert werden (Dual Rate Modus bei SBR).

Layer II^{SBR} with DAB transmission: Principles of Spectral Band Replication (SBR)

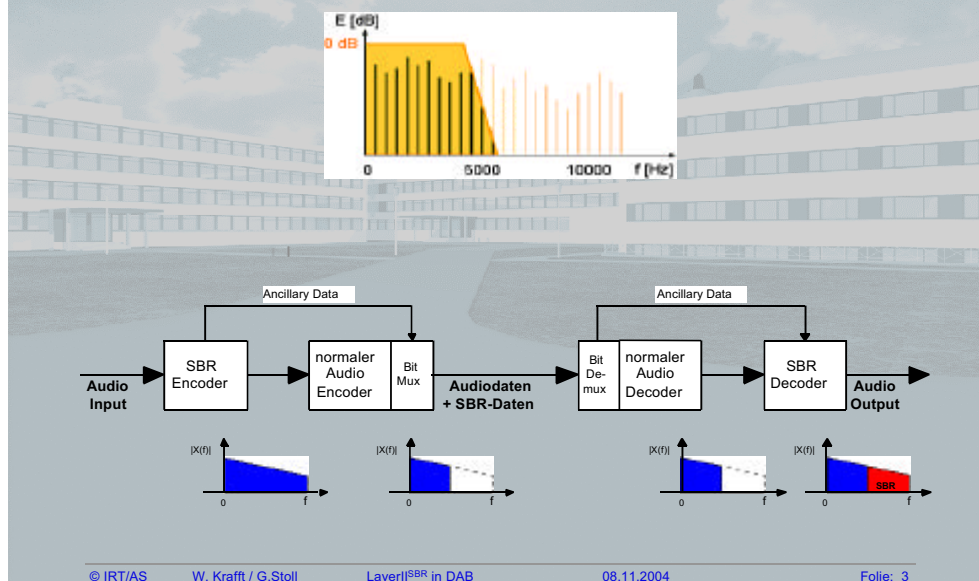


Abbildung 2: Prinzip des SBR-Verfahrens

Die Realisierung des SBR-Konzeptes geschieht auf die folgende Weise:

Der SBR-Codec wird sozusagen „huckepack“ auf einen normalen Waveform-Audiocodec aufgesetzt. Dabei analysiert der SBR-Encoder mittels einer komplexwertigen QMF Filterbank die hohen Frequenzanteile des Eingangsspektrums und gewinnt so Steuerdaten für den SBR-Decoder. Diese enthalten Informationen über die Hüllkurve und die spektrale Zusammensetzung des zu replizierenden Frequenzbandes. Danach wird das Audiosignal von einem konventionellen Audio-Encoder mit der gewünschten Bitrate codiert. Der „normale“ Audio-Encoder (Basis-Encoder) arbeitet dabei mit halber Abtastrate, um das Basisfrequenzband des Audiosignals mit maximaler Qualität zu codieren, auf dessen Basis die oberen Spektralanteile repliziert werden. Ein Multiplexer setzt den Audiodatenstrom einschließlich der SBR-Zusatzdaten (Ancillary Data) zusammen.

Im Decoder erfolgt dieser Prozess in umgekehrter Reihenfolge, so dass am Ausgang des Decoders das Audiosignal wieder in der Originalabtastrate (48 kHz) bei voller Audiobandbreite erscheint.

Durch die Einbindung der SBR Steuerdaten als Zusatzdaten (Ancillary Data) in den MPEG Audiostrom wird gewährleistet, dass die Information für die Decodierung von Layer II und die Zusatzinformation für SBR über die komplette DAB-Übertragungskette synchron bleiben. Dabei darf aber weder der ISO- noch der DAB Standard verletzt werden. Einerseits muss gewährleistet sein, dass sich die Zusatzdaten im Bereich des ISO 11172-3 spezifizierten

Bereich der „Ancillary Data“ befinden, andererseits darf der im DAB-Standard ETS 300 401 festgelegte Aufbau des PAD Datenfeldes nicht verändert werden. Aus diesem Grund sitzt der SBR-Datenteil direkt hinter den Subbandsamples vor dem „Stuff“-Block, der das PAD einleitet.

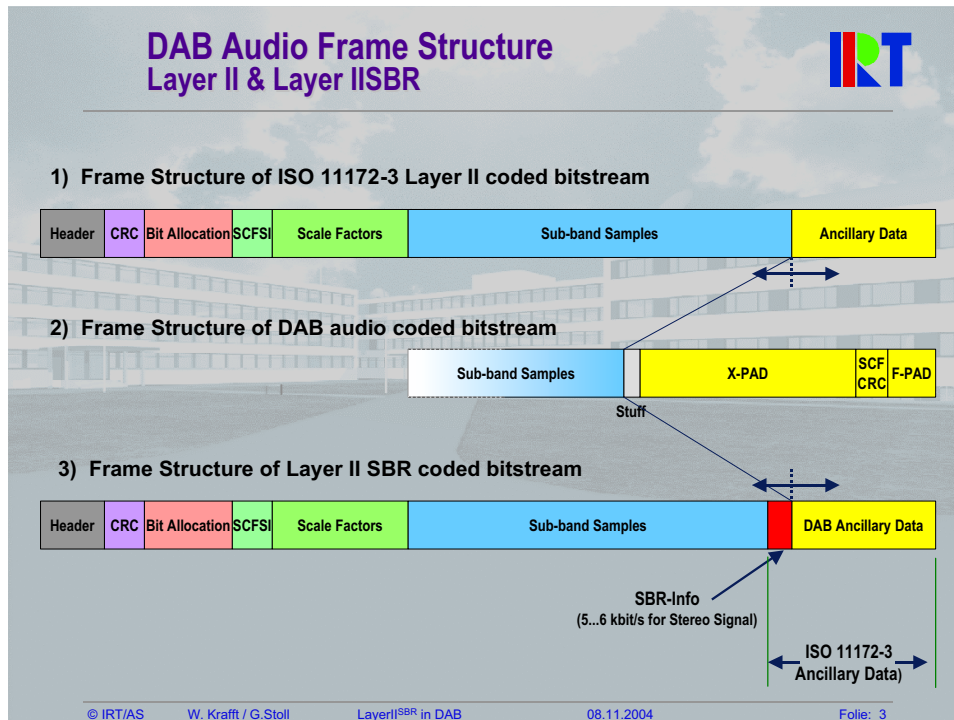



Abbildung 3: DAB-Audio-Frame-Struktur

Mit anderen Worten gesagt bedeutet dies, dass die SBR-Info außerhalb der DAB-Zusatzdatenfelder liegen muss, aber als Ancillary-Data im Sinne des ISO11172-3- Standards zu gelten hat und damit zwangsläufig in den Bereich der Subband-Samples fällt. Dadurch wird zwar die dem Basis-Encoder zur Verfügung stehende Nutzdatenrate geringfügig vermindert. Der Verlust wird aber bei weitem durch den Qualitätszuwachs durch den Einsatz der SBR-Codierung kompensiert und dürfte bei „normalen“ Audio-Decodern (ohne SBR-Zusatzfunktion) erst bei extrem niedrigen Datenraten wahrnehmbar werden, die normalerweise bei DAB-Rundfunkübertragungen nicht zum Einsatz kommen.

3. Vorteile für DAB durch den Einsatz des SBR -Verfahrens

Improvements by using Layer II^{SBR} in DAB 

- ✚ **Enhanced Audio Quality with LayerII+SBR (coding gain up to 40 %)**
- ✚ **Backwards compatible with Layer II in DAB**
- ✚ **Existing DAB receiver can decode DAB Audio bit-stream with quality according to selected bit-rate minus payload of about 5 kbit/s, used for SBR info**
- ✚ **Service provider can exchange encoder at any time**
- ✚ **Mixed operation of Layer II and LayerII+SBR encoder in one multiplex on service provisioning side possible**
- ✚ **Listener can upgrade to better audio quality by using SBR-decoder whenever wanted**

© IRT/AS W. Krafft / G.Stoll LayerII^{SBR} in DAB 08.11.2004 Folie: 5

Abbildung 4: Vorteile der SBR-Codierung innerhalb von DAB

Die Verwendung von SBR bietet mehrere Vorteile:

1. durch die Erhöhung der Audioqualität.

Aus früheren Hörversuchen der BBC, des IRT und der NRK (EBU) geht hervor, dass das SBR-Verfahren im Vergleich zum normalen LII-Verfahren bei gleichen Datenraten auf der 5-stufigen ITU-Bewertungsskala (bad-poor-fair-good-excellent) um ca. 1-2 Qualitätsstufen besser eingeschätzt wird, was einem Codiergewinn von bis zu 40 % entspricht. Es hat sich bei SBR im Gegensatz zu anderen stärker bitreduzierenden Verfahren keine spezielle andersartige Abhängigkeit auf die Auswahl der verwendeten Test-Audiosignale gezeigt, als sie nicht ohnehin schon bei LII gegeben ist.

2. Vorwärts- und Rückwärtskompatibilität

Durch die Identifikation der SBR-Daten als Zusatzdaten innerhalb des Audiodatenstromes können vorhandene normale DAB-Empfänger das Audiosignal mit der gleichen Qualität (abzüglich der für die Übertragung der SBR-Information zusätzlichen Datenrate von ca. 5 kBit/s) empfangen wie dies beim Einsatz eines normalen LII-Encoders auf der Sendeseite gegeben ist (Rückwärtskompatibilität). Die volle Qualität, die auf der Sendeseite durch Verwendung eines LII+SBR-Encoders gegeben ist, steht insbesondere im „half-sampling-

rate“ – Betrieb nur bei Vorhandensein eines entsprechenden LII+SBR-Decoders auf der Empfängerseite zur Verfügung. Umgekehrt kann ein LII+SBR-Decoder ohne weiteres das Audiosignal eines normalen LII-Encoders auswerten, selbstverständlich nur in der auf der Sendeseite erzeugten Qualität (Vorwärtskompatibilität).

3. Einführungsszenario

Seitens der Programmanbieterseite kann der Umstieg auf LII+ schrittweise erfolgen. Dazu ist auf der Sendeseite lediglich der Austausch des bestehenden normalen LII-Encoders durch einen LII+SBR-Encoders nötig. Während der Einführungsphase ist ein gemischter Betrieb von Audioprogrammen mit und ohne SBR-Verfahren im DAB-Multiplex möglich. Auf die Empfängerseite hat der Umstieg keine Auswirkungen. Der Hörer allein entscheidet, wann er für sich die höhere Audioqualität durch Anschaffung eines LII+tauglichen DAB-Empfängers nutzen will.

4. Auswahl des AudioCodierverfahrens

DAB and Audio Quality:
choice of audio coding technique

+ Service provider want more Data and Multimedia applications within DAB

+ Service provider want more Audio-Programmes without audible loss of quality within DAB

+ New, more efficient audio coding techniques necessary

- ↳ incompatible!
- ↳ improvements in coding gain are negated by higher complexity in error protection

+ Layer II + SBR compatible improvements

- ↳ Coding gain?
- ↳ Error sensitivity?

+ Layer II + SBR is compatible with UEP profiles

© IRT/AS W. Krafft / G. Stoll LayerII+SBR in DAB 08.11.2004 Folie: 6

Abbildung 5: Kompatibilität der Codierverfahren innerhalb von DAB

Prinzipiell kann das SBR-Verfahren mit MP3 (MPEGLayer3), AAC (AdvancedAudioCoding) oder MPEG Layer2 kombinieren werden. Daher darf die Frage erhoben werden, ob innerhalb von DAB ein Umstieg auf ein bei niedrigen Datenraten höhereffektivere Codierverfahren sinnvoll ist. Untersuchungen, die an der Loughborough Universität in UK [4]


mit MP3-Signalen durchgeführt wurden, haben gezeigt, dass der bei niedrigen Datenraten gegenüber MPEG Layer2-Signalen(half-sampling-rate) für MP3-Signale erzielte Codier-Gewinn durch den höheren Aufwand für den Fehlerschutz wieder zunichte gemacht wird.


Im Gegensatz dazu erlaubt das LII+SBR Format ohne Einschränkung die kompatible Weiternutzung des speziell auf die Audiocodierung innerhalb von DAB zugeschnittenen UEP (UnequalErrorProtection)-Profiles des bisherigen Normal LII Formates.

Daher ist derzeit die Kombination aus LII+SBR das Mittel der Wahl, um dem Wunsch der Rundfunkanstalten und Programmanbieter nach Erhöhung der in DAB übertragbaren Audioprogramme, respektive Reduzierung der Datenrate ohne Verringerung der Audioqualität, nachzukommen und gleichzeitig auch noch Raum für die Ausweitung von Datendiensten innerhalb von DAB zu schaffen.




5. Untersuchungen zum Fehlerverhalten im DAB-Übertragungskanal


Neben der Frage nach der Audioqualität ist das Fehlerverhalten von SBR-codierten Audiosignalen im DAB-Übertragungskanal von entscheidender Bedeutung, ganz besonders, ob beim Übergang von normalen MPEG Layer II Signalen zu LII+SBR es zu einer Änderung der Empfangseigenschaften auf Grund einer möglichen höheren Fehlerempfindlichkeit des übertragenen Signals kommen wird. Im Rahmen einer Diplomarbeit [1] am IRT wurden hierzu bereits erste Untersuchungen angestellt, die aber wegen technischer Probleme der damals verwendeten Meßgeräte nicht mehr ganz zum Abschluss gebracht werden konnten. Wir haben am IRT diese Tests nun wiederholt und erweitert. Als Referenz dienten uns in beiden Fällen die Untersuchungen des Research & Development-Zentrums der BBC, das im Rahmen des EUREKA 147 Projektes in den Jahren 1994 [2] und 1996 [3] das Fehlerverhalten des DAB-Systems in subjektiven Testreihen für Normal-MPEG LayerII-codierte Audiosignale (im folgenden mit L2Normal bezeichnet) untersucht hat. Für die jetzt am IRT mit MPEG LayerII+SBR-codierten Audiosignale(im folgenden kurz mit SBR bezeichnet) durchgeführten Untersuchungen wurden die BBC-Tests hinsichtlich Versuchsaufbau und – durchführung zu Grunde gelegt. Die BBC-Untersuchungen zeigten für die beiden bei DAB genutzten Frequenzbändern (VHF Band III und L-Band) vergleichbare Ergebnisse. Aus diesem Grund haben wir unsere Tests auf das Band III beschränkt. Zur Simulation der DAB-Übertragungsstrecke diente uns ein Kanalsimulator, mit dem wir die Test in den folgenden Kanalkonfigurationen durchführten:

 **Gaussian noise added to received Band III signal**

-  Simulation of error sensitivity at the borders of the receiving area

 **Rural conditions in simulated Rayleigh Channel**

-  Error sensitivity in driving car
-  Speed: 100 km/h
-  Multiple reflexions of DAB-signal with higher delay-times

 **Urban conditions in simulated Rayleigh Channel**




-  Error sensitivity in driving car
-  Speed: 15 km/h
-  Multiple reflexions of DAB-signal with short delay-time

Abbildung 6: Untersuchung der Fehlerempfindlichkeit im DAB-Kanal

- **Gauss** (Simulation des Fehlerverhaltens an den Versorgungsgrenzen, dient zur Kalibrierung des Versuchsaufbaues und als Referenz)
- **Rural** (Simulation des Fehlerverhaltens im fahrenden Auto in ländlichen Gebieten, hohe Fahrgeschwindigkeit, Mehrfachreflexionen mit längeren Verzögerungszeiten)
- **Urban** (Simulation des Fehlerverhaltens im fahrenden Auto im Stadtgebiet, geringe Fahrgeschwindigkeit, Mehrfachreflexionen mit kurzen Verzögerungszeiten)

6. Versuchsaufbau

Im folgenden Bild ist der Versuchsaufbau dargestellt und wird im folgenden beschrieben.

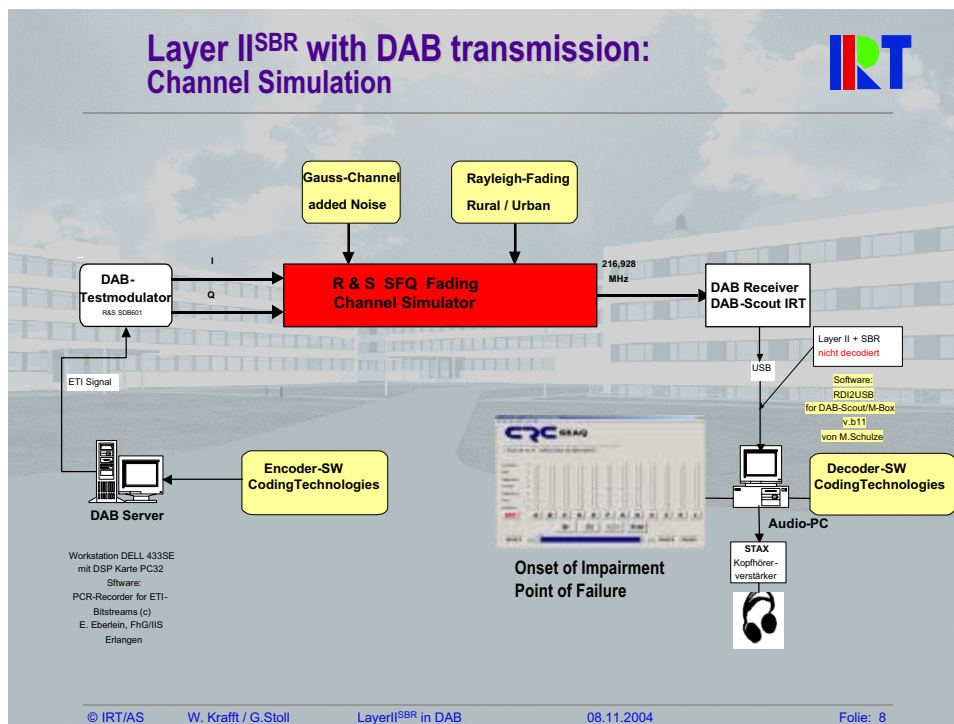


Abbildung 7: Versuchsaufbau

In der Mitte befindet sich der FadingChannelSimulator. Dieser enthält einen integrierten Rauschgenerators zur Nachbildung des Gauss-Kanales. Durch Variation des zugeschalteten Rauschpegels wird das C/N-Verhältnisses sukzessive verändert und damit die Empfangsbedingungen an den Rändern des Versorgungsgebietes simuliert. Zum Test realer Empfangsverhältnisse beim mobilen Empfang kann das sog. Rayleigh-Fading simuliert werden. Aus einer Vielzahl von Kombinationsmöglichkeiten werden für dem Test speziell die beiden Konfigurationen Rural und Urban ausgewählt.

Die mit der Encoder-SW von CodingTechnologies codierten Audiobeispiele werden als Files auf dem DAB Server abgelegt und von dort als DAB Multiplex-Signal (ETI-Signal) ausgespielt und im DAB-Testmodulator auf das HF-Sendesignal aufmoduliert. Die I/Q-Anteile (inphase, Quadratur) des COFDM-Sendesignales (Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing) werden zur weiteren Untersuchung auf den Fading Channel Simulator gegeben.

Als DAB-Empfänger diente uns der im IRT entwickelte sog. DAB-Scout. Dieser ist zwar nur in der Lage einen Normalen-LII-Datenstrom in Echtzeit zu decodieren, besitzt aber eine USB-Schnittstelle, über die der komplette codierte LII+SBR Datenstrom auf einen PC übertragen

werden kann. Leider stand uns keine Software zur Verfügung, die in der Lage gewesen wäre, diesen Datenstrom in Echtzeit fehlerfrei aus dem PC heraus wiederzugeben. So entschieden wir uns, für jedes Audiobeispiel den DAB-Datenstrom in Abhängigkeit von der gewählten Konfiguration der Kanalsimulation (Gauss, Rural, Urban) und der C/N-Variation als einzelne Dateien mit dem Audio-PC aufzuzeichnen, offline mit der Decoder-SW von CodingTechnologies zu decodieren und die Versuchspersonen (VP) über die noch zu besprechende modifizierte MUSHRA-Bedienoberfläche (CRC-SEAQ, SW-Entwicklung des Communications Research Centre Canada) die Qualität der Audiosignale auf der Empfangsseite beurteilen zu lassen.

7. Versuchsdurchführung – Aufgabenstellung an die Versuchsperson

Da die Decoder-Software von CodingTechnologies, gegenüber den bei den früheren BBC und IRT Untersuchungen verwendeten Decodern, eine andere Fehlerstrategie verfolgt, nämlich bei Zunahme der Übertragungsfehler statt des Stummschaltens (Muting) des Signal ein Fehlerverschleiervorgang (error concealment) durchzuführen, haben wir die Versuchsbedingungen dahingehend abgeändert, dass die Versuchsperson nicht mehr die Zahl der Fehlerausfälle innerhalb eines definierten Zeitraumes abzuzählen hatten, sondern für die Feststellung des **Onset of Impairment (OoI)** die Frage zu beantworten hatten, ab welchem C/N-Wert von ihr erste Signalstörungen wahrgenommen wurden, und für die Festlegung des **Point of Failure (PoF)**, ab welchem C/N-Wert sie das Audioprogramm als nicht mehr anhörens-wert betrachtete.

The slide features a background image of a modern building. At the top left, the text reads 'Layer II SBR with DAB transmission: Questions of hearing test' in purple. To the right is the IRT logo. Below this, a section titled 'Determination of' with a small icon lists two criteria: '„Onset of Impairment“ (OoI) i.e. first audible degradations' and '„Point of Failure“ (PoF) i.e. unacceptable quality of service', each preceded by a red arrow icon. The footer contains copyright information: '© IRT/AS W. Krafft / G. Stoll LayerII SBR in DAB 08.11.2004 Folie: 9'.

Abbildung 8: Beurteilungskriterien im Hörversuch

8. modifiziertes MUSHRA-Testverfahren

Auf Grund der bereits beschriebenen Wiedergabeprobleme kam für die Hörtests eine Modifikation der MUSHRA-Bedienoberfläche (**M**Ultiple **S**timulus **H**idden **R**eference and **A**nchor) zum Einsatz.

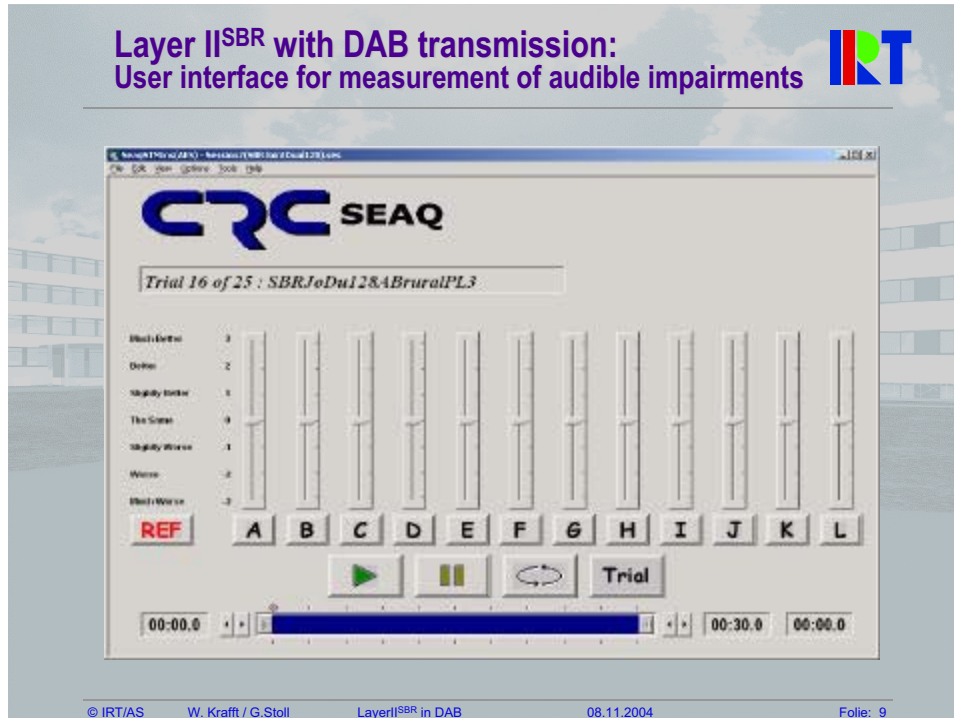


Abbildung 9: MUSHRA Bedienoberfläche (Software CRC-SEAQ Test 7-point Scale)

Die MUSHRA-Bedienoberfläche erlaubt der Versuchsperson bis zu 12 Audiosignale, zuzüglich des Referenzsignale, auszuwählen, abzuspielen und zu beurteilen.

Mit Hilfe der „Fader“ kann die Versuchsperson für jedes angewählte Beispiel eine Bewertung abgeben, die von der Software tabellarisch festgehalten wird.

Wir haben daher den Beispielen A,B,...K,L die maximal in 12 Schritten sukzessiv verschlechterten Audiodatenströme jedes der 5 Audiobeispiele (bei abnehmendem C/N-Verhältnis) dergestalt zugeordnet, dass bei „A“ ein praktisch noch ungestörtes, bei „L“ jedoch ein total gestörtes Signal präsentiert wurde.

Die MUSHRA-Bedienoberfläche stellt neben der 5-stufigen Skala nach ITU-R BS-1116 auch eine 7-stufige Bewertungsskala nach ITU-R BS-562-3 zur Verfügung, die spiegelbildlich um den 0-Wert von +3 bis –3 reicht.

Damit ließ sich die Aufgabe für die Versuchsperson recht einfach definieren:

- bei Wahrnehmung erster hörbarer Signalstörungen den „Fader“ auf +3 hochziehen, das ergibt den **Onset of Impairment (OoI)**
- bei extrem gestörtem, nicht mehr anhörensweisem Signal den „Fader“ auf -3 herunterziehen, das ergibt den **Point of Failure (PoF)**

Als Ergebnis des Hörversuches mit 9 Versuchspersonen konnte beispielsweise die folgende Häufigkeitsverteilung der Antworten für Onset of Impairment (OoI) und Point of Failure (PoF) ermittelt werden:

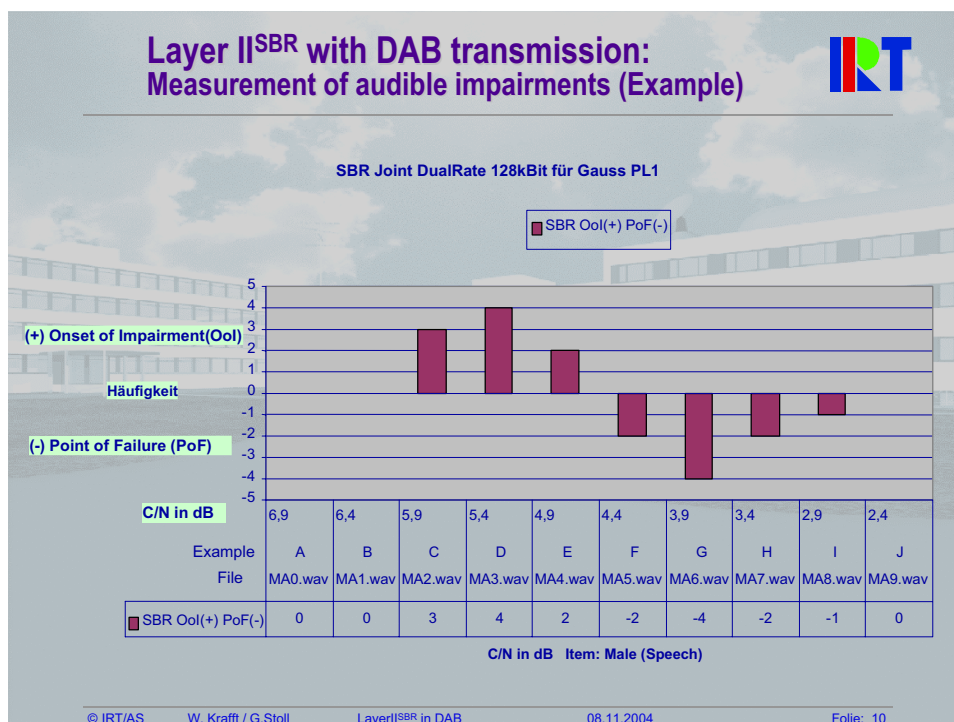


Abbildung 10: Auswertung der Hörversuche

Auf der Abszisse sind in absteigender Reihenfolge die für ein definiertes C/N-Verhältnis aufgezeichneten Audiofiles (A...J, maximal L) aufgetragen. Auf der Ordinate ist die Häufigkeit der Antworten der Versuchspersonen aufgetragen, wobei positive Werte dem Onset of Impairment (OoI), negative Werte dem Point of Failure (PoF) entsprechen.

Damit ist eine Korrelation zwischen der Häufigkeit der Antworten und einem bestimmten C/N-Wert hergestellt. Der Ergebnis-C/N-Wert wird als gewichtetes Mittel aus der Häufigkeit der Antworten bezüglich jedes Einzel-C/N-Werte anschließend getrennt für OoI und PoF berechnet

9. Auswahl der Audiobeispiele und der Testdatenraten

Als Audiosignale haben wir die gleichen Beispiele wie die BBC sie für ihre Untersuchungen verwendet hat. Sie stammen alle von der SQAM-Test-CD:

3 Musikbeispiele (AB=Abba, CL=Klarinette, KL=Glockenspiel) und

2 Sprachbeispiele (FR=weibliche Sprecherin, MA=männlicher Sprecher)

Unter Berücksichtigung der BBC-Untersuchungen und der Ergebnisse der früheren IRT-Diplomarbeit haben wir die folgenden Datenraten ausgewählt:

Datenrate	Funktion	Kanal-Eigenschaft	ProtectionLevel bzw. CodeRate	Versuch	AudioBeispiel
DAB-SBR-Test	SBR-Layer2plus				
160 kBit/s	Stereo SingleRate	Gauss	PL3 = 0,5	Session 1	AB/CL/FR/KL/MA
128 kBit/s	Joint DualRate	Gauss Gauss Gauss Rural Urban	PL1 = 0,35 PL3 = 0,5 PL5 = 0,75 PL3 = 0,5 PL3 = 0,5	Session 2	AB/CL/FR/KL/MA AB/CL/FR/KL/MA AB/CL/FR/KL/MA AB/CL/FR/KL/MA AB/CL/FR/KL/MA
96 kBit/s	Joint DualRate LowComp	Gauss	PL3 = 0,5	Session 3	AB/CL/FR/KL/MA
80 kBit/s	Mono SingleRate	Gauss	PL3 = 0,5	Session 4	AB/CL/FR/KL/MA
64 kBit/s	Mono DualRate LowComp	Gauss	PL3 = 0,5	Session 5	AB/CL/FR/KL/MA
48 kBit/s	Mono DualRate LowComp	Gauss Rural Urban	PL3 = 0,5 PL3 = 0,5 PL3 = 0,5	Session 6	AB/CL/FR/KL/MA FR/MA FR/MA

Hierbei bedeutet „SingleRate“, dass sowohl der kompatible Teil (Basis-Encoder) des Audiodatenstromes als auch der SBR-Zustzanteil mit 48 kHz codiert werden.

Im Modus „DualRate“ wird dagegen der kompatible Teil (Basis-Encoder) des Audiodatenstromes mit 24 kHz (half-sampling-rate) codiert, was bei mittleren und niedrigen Datenraten wie bereits eingangs beschrieben zu einer höheren Audioqualität führt.


„LowComp“ ist ein spezielle Eigenschaft des Encoders von CodingTechnologies, mit deren Hilfe eine effektivere Codierung des SBR-Zusatzanteils bei gleichzeitig verringerter Kompatibilität des Basis-Encoders zur normalen LII-Codierung ermöglicht wird.


Zum Vergleich haben wir die gleichen Audiobeispiele als Normal-Layer2-codierten Signale in den Konfigurationen 192 kBit/s JointStereo Abtastrate 48 kHz und 48 kBit/s Mono Abtastrate 48 kHz herangezogen.







Datenrate	Funktion	Kanal-Eigenschaft	ProtectionLevel bzw. CodeRate	Versuch	AudioBeispiel
DAB Referenz	Normal-Layer2				
192kBit/s	Joint	Gauss Gauss Gauss Rural Urban	PL1 = 0,35 PL3 = 0,5 PL5 = 0,75 PL3 = 0,5 PL3 = 0,5	Session 0	AB/CL/FR/KL/MA AB/CL/FR/KL/MA AB/CL/FR/KL/MA AB/CL/FR/KL/MA AB/CL/FR/KL/MA
48 kBit/s	Mono	Gauss Rural Urban	PL3 = 0,5 PL3 = 0,5 PL3 = 0,5	Session 7	AB/CL/FR/KL/MA FR/MA FR/MA

Etwas kompakter läßt sich die für die Versuchsdurchführung getroffene Auswahl der Beispiele und der Testkonfigurationen dem folgenden Bild darstellen:

**Layer II^{SBR} with DAB transmission:
Measurement of audible impairments**



 **Data Rates and Test Configurations of LayerII+SBR**

-  Same audio test signals (ABBA, Clarinet, Glockenspiel, Female and Male Speech) as used in IRT 2002 and BBC 1994 / 1996
-  Transmission Mode I, VHF Band III
-  Bit-rates Joint/Stereo: 160/128/96 kBit/s (Layer II+ SBR)
192 kBit/s (Normal-Layer II)
-  Bit-rates Mono: 80/64/48 kBit/s (Layer II+SBR)
48 kBit/s (Normal-Layer II)
-  Protection levels 1, 3 and 5 (high, medium, low)
-  Gauss- and Rayleigh-Channel under Rural and Urban condition

© IRT/AS W. Krafft / G. Stoll LayerII^{SBR} in DAB 08.11.2004 Folie: 12

Abbildung 11: Durchführung der Hörversuche, Testkonfigurationen

10. Ergebnis für den Gauss-Kanal – Vergleich LII mit LII+SBR

Das folgende Diagramm zeigt die Ergebnisse für den Gauss-Kanal.

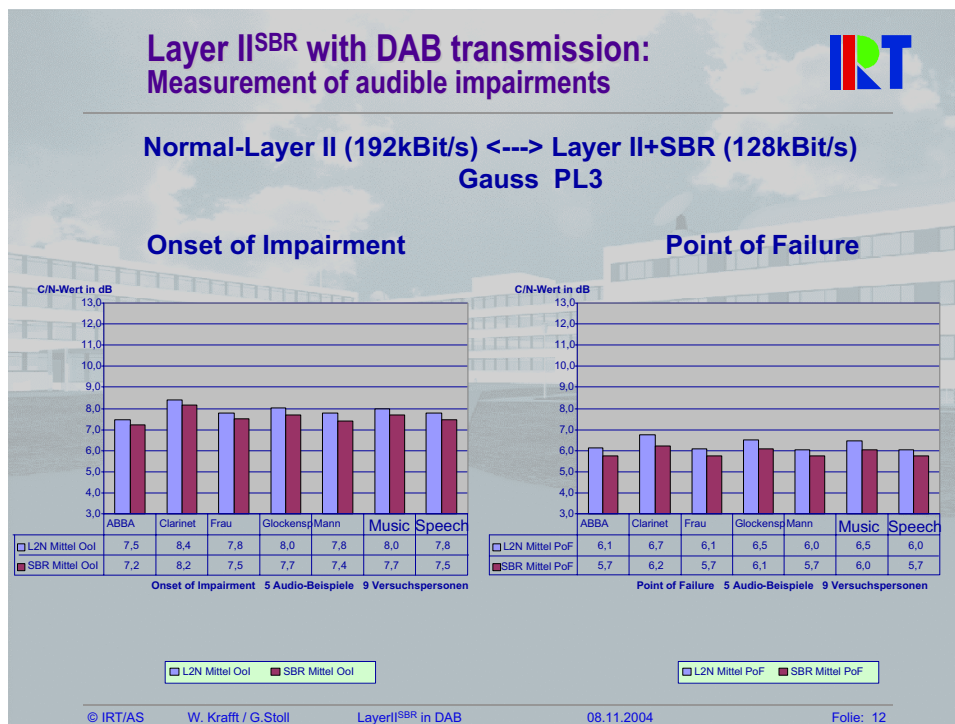


Abbildung 12: Ergebnis der Hörversuche im Gauss-Kanal bei mittlerer Datenrate

Durch Hinzufügen von Rauschen wurde das C/N-Verhältnis sukzessive verschlechtert und damit das Übertragungsverhalten an den Rändern des Versorgungsgebietes simuliert. Die Diagramme zeigen einzeln für jedes der gewählten Audiobeispiele und als Mittelwert für die 3 Musikbeispiele (ABBA, Klarinette, Glockenspiel) und die beiden Sprachbeispiele (Frauenstimme, Männerstimme) die aus den mit 9 Versuchspersonen durchgeführten Hörversuchen bei mittleren Datenraten ermittelten Werte für **OoI** (Onset of Impairment) und **PoF** (Point of Failure) im Vergleich der beiden Codierformate **L2N** (Normal-MPEG LayerII) und **SBR** (LayerII+SBR), dargestellt durch blaue und rote Säulen.

Als Ergebnis ist zunächst einmal festzustellen, dass die Übertragungsstörungen abhängig von dem gewählten Audiosignal leicht unterschiedlich (ca. 2,5 dB) wahrgenommen werden. So gehört die Klarinette neben dem Glockenspiel zu den kritischeren Signalen dieses Hörtestes, was aber aus der Erfahrung mit anderen subjektiven Tests im Rahmen der Audiocodierung nicht weiter verwundert. Diese Tendenz setzt sich durchgängig für alle Testkonfigurationen (Datenraten, ProtectionLevel, Kanaleigenschaft) fort. Beim Vergleich der Mittelwerte aus Musik- und Sprachsignalen fanden wir wie die früheren BBC-Tests für Musiksignale eine um ca. 0,5 dB höhere Empfindlichkeit auf Kanalstörungen.

Für LayerII+SBR scheint es bei der gewählten mittleren SBR-Datenrate von 128 kBit/s verglichen mit der Normal-LayerII-Codierung von 192 kBit/s (bei gleicher Audioqualität) eine minimale Verbesserung zu geben.

11. Ergebnis für unterschiedliche Datenraten im Gauss-Kanal – Vergleich LII mit LII+SBR

Aus den vorangegangenen Untersuchungen der BBC war bekannt, dass bezüglich des Onset of Impairment (OoI) und des Point of Failure (PoF) praktisch keine Abhängigkeit von der Codier-Datenrate des Audiosignals vorhanden ist. Zur Überprüfung haben wir im Gauss-Kanal das Fehlverhalten bei verschiedenen Datenraten zwischen 192 und 48 kBit/s untersucht. Für SBR-codierte Audiosignale fanden wir keine signifikante Abhängigkeit von der Codierdatenrate (Session 1 ... 6). In diesem Punkte zeigt Layer II+SBR kein anderes Verhalten wie Normal-Layer II und entspricht somit den BBC-Untersuchungen.

Aus diesem Grund haben wir detailliertere Untersuchungen auf die beiden folgenden Beispieldatenraten beschränkt: mittlere Datenrate (192 kBit/s Normal-Layer II; 128 kBit) und niedrige Datenrate (48 kBit/s für Normal-Layer II und Layer II+SBR).

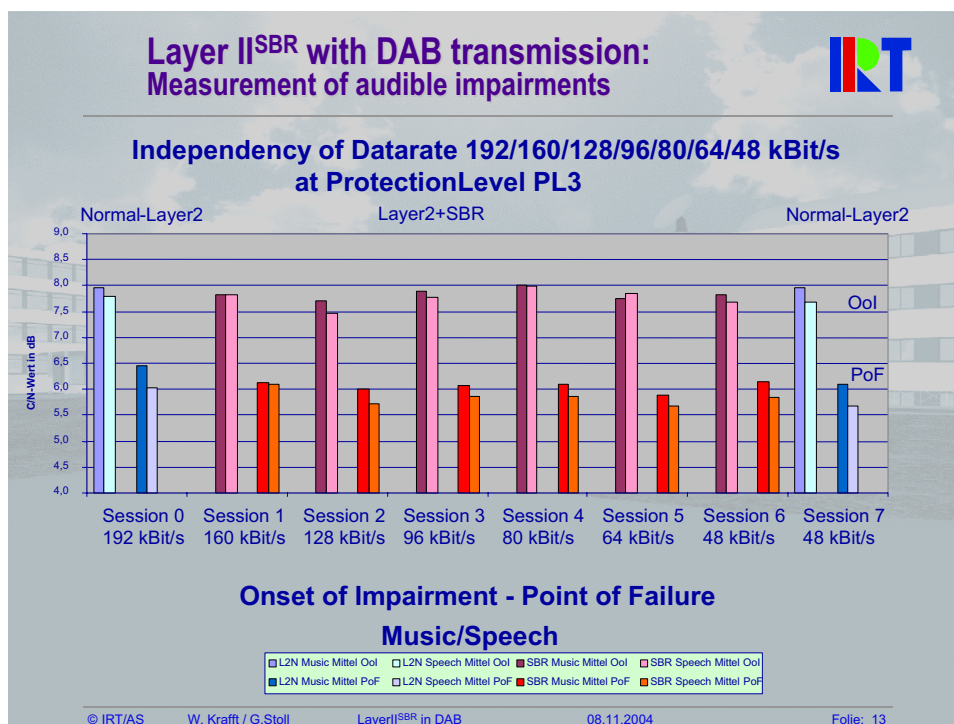


Abbildung 13: Ergebnis der Hörversuche im Gauss-Kanal bei unterschiedlichen Datenraten

Auf eine kleine Auffälligkeit bezüglich Normal-Layer II-codierten Audiosignalen in den beiden Session 0 (192 kBit/s) und 7 (48 kBit/s) ist noch hinzuweisen: Das niedrigcodierte Normal-Layer II-Signal scheint besonders beim PoF ein um 0,5 dB besseres Ergebnis zu zeigen, was dazu führt, dass das mit gleicher Datenrate von 48 kBit/s codierte Layer II+SBR-Signal scheinbar schlechter abschneidet. Wir führen dieses Verhalten darauf zurück, dass die Versuchspersonen wegen der bei 48 kBit/s Normal-Layer II bereits sehr schlechten Audioqualität des ungestörten Signals bei der Bestimmung des Point of Failure wesentlich toleranter reagierten oder die eigentlich gesuchten Signalstörungen des Übertragungskanales wegen der Audio-Codierfehler stärker verdeckt und daher erst bei einem geringeren C/N-Verhältnis hörbar werden. Umgekehrt führt die bessere Audioqualität des SBR-Signals offenbar dazu, dass die Versuchspersonen Übertragungsfehler im DAB-Kanal deutlicher (d. h. bereits bei einem höheren C/N-Wert) wahrnehmen.

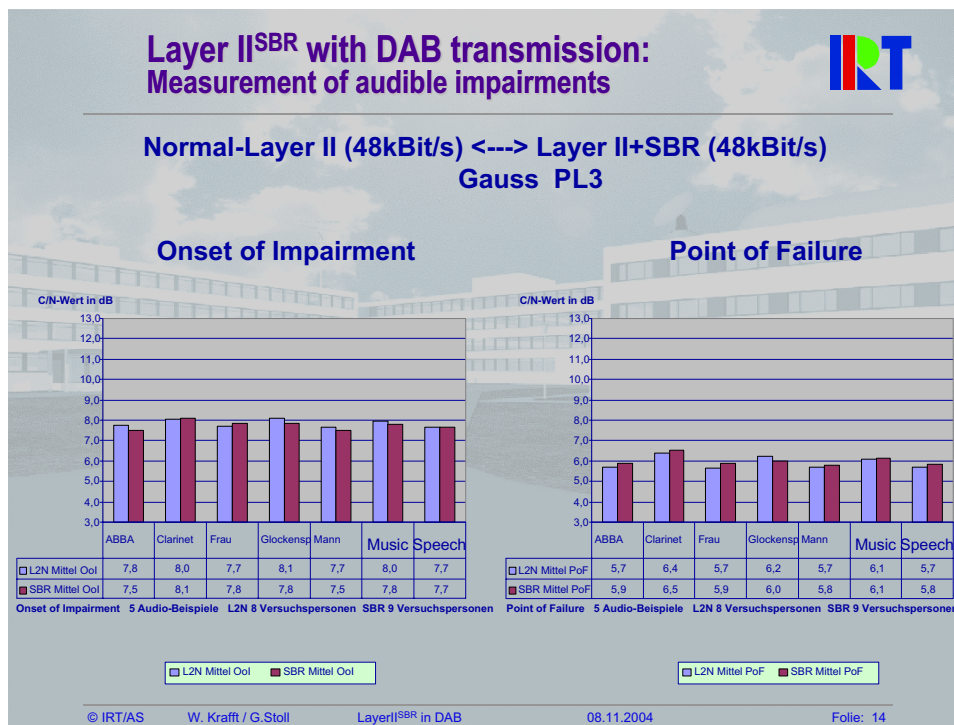


Abbildung 14: Ergebnis der Hörversuche im Gauss-Kanal bei niedriger Datenrate

12. Ergebnisse im Rayleigh-Kanal (Rural/Urban) – Vergleich LII mit LII+SBR

Für die Simulation des mobilen Empfang im Rayleigh-Kanal ergeben sich ganz ähnliche Ergebnisse. Es ist leicht einzusehen, dass durch die Nachbildung realer Empfangsbedingungen im sich bewegenden Fahrzeug in den beiden Konfigurationen „rural“ und „urban“ die Störungen im DAB-Übertragungskanal bereits bei höheren C/N-Werten als in der „Gauss-Simulation“ auftreten. Auch hier gehören wieder Klarinette und Glockenspiel zu den

kritischen Signalen, der Unterschied der Mittelwerte für Musik- und Sprachsignale beträgt bis zu 1,5 dB und entspricht damit den früheren BBC-Tests.

Auch das um ca. 1,5 dB kritischere C/N-Verhältnis in der Konfiguration „Rural“ gegenüber der Konfiguration „Urban“ ist konform zu den BBC-Untersuchungen.

Wie im Gauss-Kanal ergibt sich auch im Rayleigh-Kanal für LayerII+SBR bei der für den Test gewählten mittleren SBR-Datenrate von 128 kBit/s verglichen mit der Normal-LayerII-Codierung von 192 kBit/s (gleiche Audioqualität) ein etwas günstigerer C/N-Wert (ca. 1,8 dB), bei der niedrige Datenrate (48 kBit/s für Normal-Layer II und Layer II+SBR) zeigte sich aus den bereits erwähnten Gründen eine Tendenz (um ca. 0,8 dB) in die entgegengesetzte Richtung.

Im folgenden Diagramm sind die hier beschriebenen Ergebnisse für die SBR-Datenrate von 128 kBit/s verglichen mit der Normal-LayerII-Codierung von 192 kBit/s einander gegenübergestellt, wobei die grünen Säulen für die Konfiguration „rural“, die roten Säulen dagegen für „urban“ gelten.

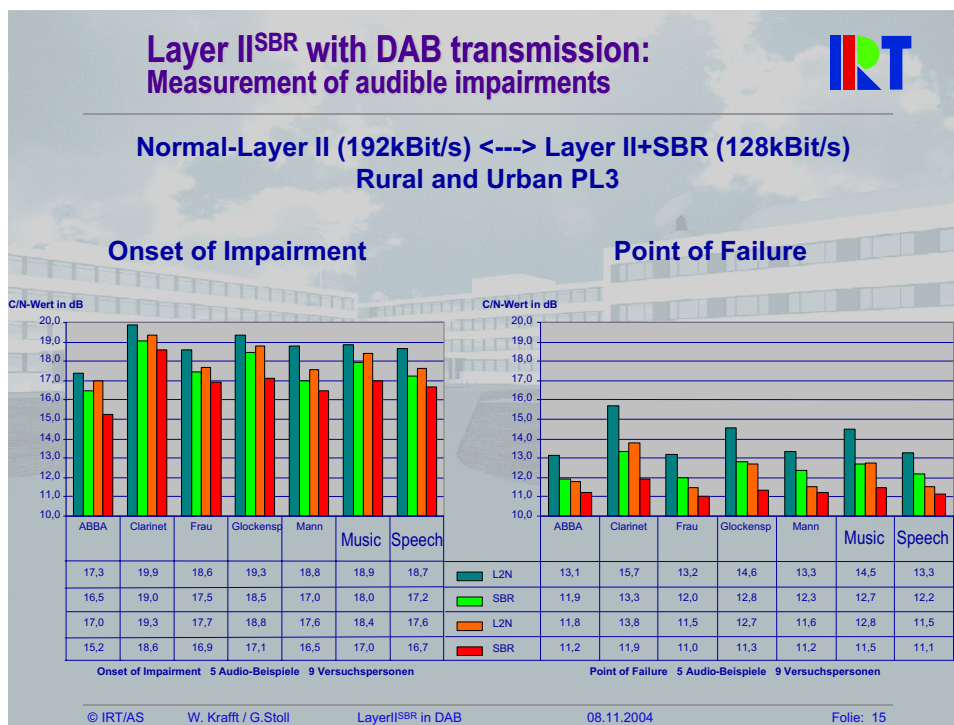


Abbildung 15: Ergebnis der Hörversuche im Rayleigh-Kanal

(Konfiguration „rural“ und „urban“ bei mittlerer Datenrate)

13. Vergleich der IRT-Ergebnisse mit den früheren BBC-Ergebnissen

Im folgenden Diagramm (Beispiel „Sprache“) wird versucht eine Gesamtdarstellung der am IRT gefundenen Ergebnisse des Übertragungsverhaltens im DAB-Kanal für LII+SBR-codierte und Normal-LII-codierte Audiosignale bei einer mittleren Datenrate darzustellen und diese mit früheren BBC-Ergebnissen für Normal-LII-codierte Audiosignale zu vergleichen. Hierbei stehen die roten Säulen für SBR-Signale, die blauen Säulen für Normal-LII-Signale, und die gelben Säulen für die zum Vergleich herangezogenen Untersuchungen der BBC mit Normal-LII-Signalen. Dabei ist zu beachten, dass unsere Untersuchungen innerhalb des für die öffentlich-rechtlichen Rundfunkanstalten interessierenden Fernsehbandes (VHF Band III) durchgeführt wurden, für das seitens der BBC nicht für alle Konfigurationen Ergebnisse vorlagen, jedoch aus den Messungen des L-Bandes abgeleitet werden konnten.

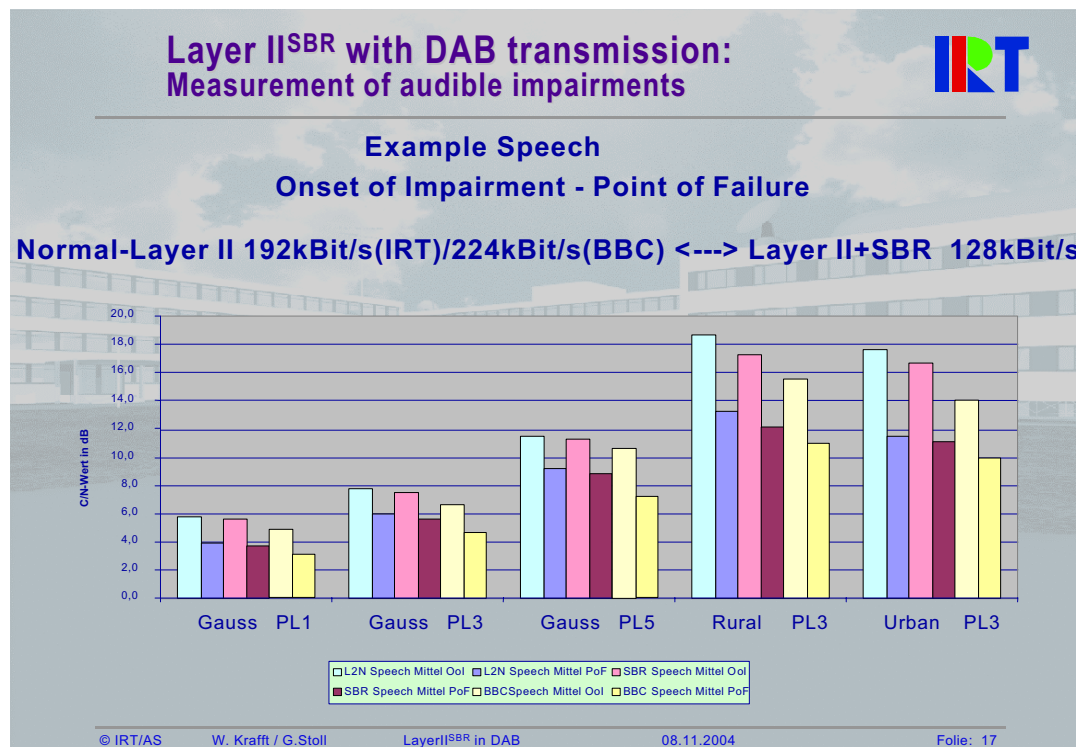


Abbildung 16: Gesamtdarstellung der Ergebnisse mittlerer Datenrate

Tendenziell ergeben sich für die IRT- und BBC-Untersuchungen vergleichbare Ergebnisse:

- 1) Im Gauss-Kanal beträgt die Differenz zwischen **OoI** (Onset of Impairment) und **PoF** (Point of Failure) unabhängig vom gewählten ProtectionLevel (PL1, PL3, PL5) etwa 2...3 dB, im Rayleigh-Kanal unabhängig von der Konfiguration „rural“ – „urban“ etwa 4...6 dB.

- 2) Mit abnehmendem ProtectionLevel (PL1 = hoch, PL3 = mittel, PL5 = niedrig) verschlechtern sich die Übertragungseigenschaften, das heißt, es wird ein höheres C/N-Verhältnis für eine störungsfreie Übertragung benötigt. PL5 ist nur für Übertragung im Kabel geeignet, für DAB ist dieser ProtectionLevel zu gering.
- 3) Beim Vergleich der Messungen des IRT und der BBC für Normal-LII-codierte Audiosignale (blaue und gelbe Säulen) ergeben sich bei einem ProtectionLevel PL=3 ähnliche Verhältnisse für die Konfigurationen „Gauss“, „Rural“ und „Urban“, sieht man davon ab, dass die IRT-Messungen generell um ca. 2 dB höhere C/N-Werte aufweisen. Die Ursache vermuten wir in dem gegenüber der BBC leicht veränderten Versuchsaufbau (R&S-Kanalsimulator und Decoder-Software von CodingTechnologies).
- 4) Der Vergleich zwischen LII+SBR-codierten und Normal-LII-codierten Audiosignale (rote und blaue Säulen) zeigt sowohl im Gauss-Kanal wie im Rayleigh-Kanal einer bei mittleren Datenraten (gemessen 128 kBit/s) ein etwas besseres C/N-Verhalten gegenüber Normal-Layer2 (gemessen 192 kBit/s). Das gegenteilige Verhalten (maximal 0,8 dB) bei niedrigen Datenraten (gemessen bei 48 kBit/s), wie es das folgende Diagramm zeigt, führen wir auf Artefakte der Audiocodierung zurück.

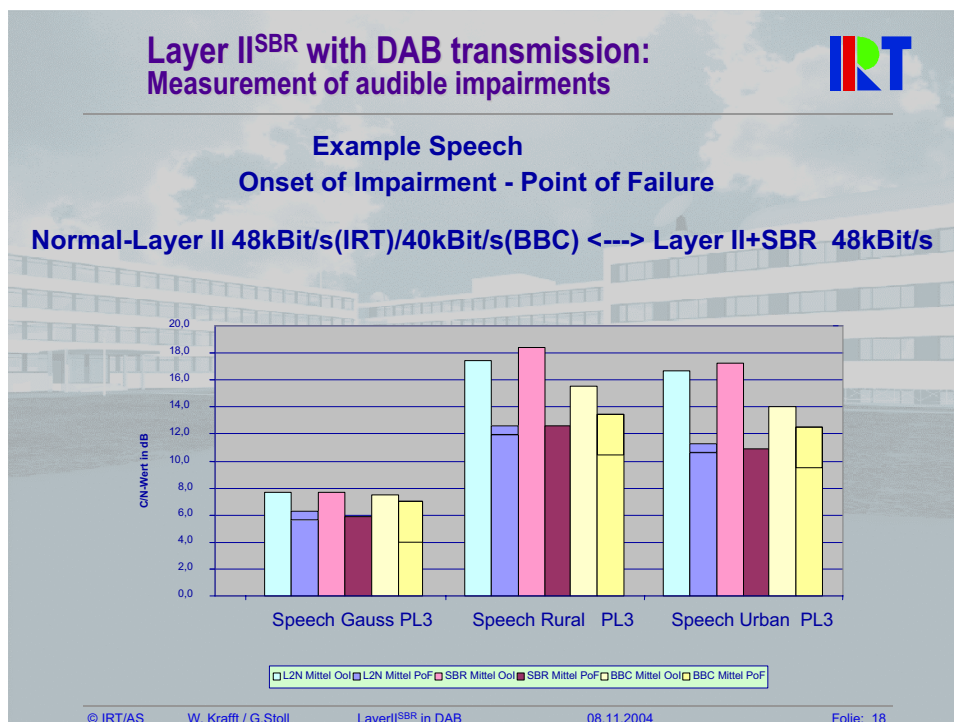


Abbildung 17: Gesamtdarstellung der Ergebnisse bei niedriger Datenrate

Das LII+SBR Format scheint geringfügig schlechter auszufallen. Hierbei ist aber in Betracht zu ziehen, dass unserer Referenz-Normal-LII-Signal beim Point of Failure um 0,5 dB (vgl. Abschnitt 11.) zu niedrig bewertet sein kann. Auch die für den Point of Failure nur bei EqualErrorProtection ermittelten Werte der BBC sind zum Vergleich mit den mit UnequalErrorProtection (dem wegen der besseren Übertragungseigenschaften bei DAB gewählten Fehlerschutzniveau) durchgeführten Tests des IRT um ca. 3 dB nach unten zu korrigieren. Wenn dieses berücksichtigt wird, ergeben sich auch bei niedriger Datenrate (48 kBit/s) des Audiosignales keine anderen Verhältnisse als bei mittlerer Datenrate.

14. Zusammenfassung

Conclusions Layer II^{SBR} in DAB

- ✚ No higher Error-Sensitivity of SBR-signal
- ✚ No change of existing Coverage-Areas of DAB
- ✚ LayerII+SBR full compatible with Normal-Layer II
- ✚ Lower bit-rates possible without loss of audio-quality because of coding-gain
- ✚ More Audio-Programmes and Data-Services within DAB-Multiplex possible
- ✚ LayerII+SBR format should defined as an enhanced DAB-standard by the EBU

© IRT/AS W. Krafft / G.Stoll LayerII^{SBR} in DAB 08.11.2004 Folie: 19

Abbildung 18: Schlußfolgerungen zum Einsatz des Layer II+SBR Formates

Mit unseren am IRT durchgeführten Untersuchungen (ausführliche Darstellung unter [5]) konnte die volle Kompatibilität beim Umstieg von normalen MPEG Layer II Signalen zu LII+SBR codierten Audiosignalen für den Einsatz bei DAB gezeigt werden. Bei der Verwendung des LII+ Formates kommt es auf der Übertragungsstrecke zu keiner Änderung der Fehlerempfindlichkeit. Die bisherigen DAB-Versorgungsgebiete bleiben somit erhalten.

Durch den mit dem LII+ Format durch die **Spectral-Band-Replication** gegebenen Codiergewinn ist eine Reduzierung der Bitrate ohne Verlust an Audioqualität möglich. Damit verbunden ist eine Erhöhung der Anzahl der Audioprogramme und Datendienste innerhalb des DAB-Multiplex.

Aus unserer Sicht sollte eine Standardisierung durch die EBU vorangetrieben werden, um damit der Einführung von Layer II+SBR bei DAB den Weg zu bereiten.

Literaturhinweise

- [1] Christian Kain: Untersuchungen zur Verbesserung der Audiocodierung bei DAB mit dem kompatiblen Verfahren der Spectral Band Replication
Diplomarbeit IRT 2002 EBU-Dokument B/AIM112
ftp://baim:Audio@ftp.ebu.ch/B_AIM_112.pdf
- [2] Gilchrist et al. : EUREKA147: Test of Error Performance of the DAB System BBC
Dokument BBC RD 1994/18
<http://www.bbc.co.uk/rd/pubs/reports/1994-18.pdf>
- [3] Lever, Richard, Gilchrist: EUREKA147 : Subjective Assessment of the Error Performance of the DAB System, including tests at 24 kHz Audio Sampling Frequency
Dokument BBC RD 1996/7
<http://www.bbc.co.uk/rd/pubs/reports/1996-07.pdf>
- [4] Duncumb et al. : The use of more efficient audio compression to provide low bit-rate specialist services over DAB
Loughborough University UK, vorgetragen auf der IBC 2002
<http://www.broadcastpapers.com/ibc2002/ibc2002.htm>
- [5] Wolfgang Krafft : Subjective Assessment of the Error Performance of the DAB-Systems at Audio coding according to the compatible Method of Spectral Band Replication (SBR) in comparison with the normal MPEG Layer-2-Coding
IRT 2004 EBU-Dokument B/AIM 143
ftp://baim:Audio@ftp.ebu.ch/B_AIM_143.pdf