

<p align="center">Technische Richtlinie der öffentlich-rechtlichen Rundfunkanstalten in der Bundesrepublik Deutschland</p>	<p align="center">Richtlinie Nr. 5/9.4</p>
<p align="center">Bearbeiter dieses Heftes: Konferenz Programmverbreitung Herausgeber: Institut für Rundfunktechnik</p>	<p align="center">2. Auflage</p>
	<p align="center">13 Seiten</p>
	<p align="center">Stand: Feb. 2016</p>
<p align="center">Messtechnische Beurteilung der DABplus-Versorgung</p>	

Der Nachdruck – auch auszugsweise – ist nur mit ausdrücklicher Genehmigung des Institutes für Rundfunktechnik gestattet.

Schutzrechte - Hinweis:

Es kann nicht gewährleistet werden, dass alle in dieser Richtlinie enthaltenen Forderungen, Vorschriften, Richtlinien, Spezifikationen und Normen frei von Schutzrechten Dritter sind.

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der Zitierfreiheit des Urheberrechtsgesetzes und jegliche elektronische Weitergabe ist ohne vorherige schriftliche Zustimmung des IRT nicht zulässig.

Inhaltsverzeichnis

1.	Allgemeines.....	3
1.1	Anwendungsbereich.....	3
1.2	Versorgung.....	3
2.	Messtechnische Erfassung.....	3
2.1	Grundsätzliche Vorgehensweise.....	3
2.2	Blockschaltbild zur Durchführung der Messungen.....	4
2.3	Messantenne, Verteilverstärker und Kabeldämpfung.....	4
2.4	Wegtrigger des Fahrzeugs.....	5
2.5	Empfänger zur Feldstärkemessung.....	5
2.6	Empfänger zur Erfassung der Qualität.....	5
2.7	Erfassung von Feldstärke und Qualität.....	6
2.8	EMV-Anforderungen an das Messfahrzeug.....	6
3.	Auswertung der Messungen, Beurteilung der Versorgung.....	6
3.1	Mindestfeldstärke.....	6
3.2	Feldstärkekriterium.....	6
3.3	Qualitätskriterium.....	7
3.4	Darstellung und Export der Ergebnisse.....	7
4.	Hinweise zur Durchführung der Messungen und Interpretation der Ergebnisse.....	7
4.1	Gültigkeit der Ergebnisse.....	7
4.2	Einfluss von EMV-Störungen.....	7
4.3	Extrapolation der Messergebnisse auf Flächen.....	7
4.4	Wahl der Messstrecken.....	7
5.	DAB-Versorgung in Tunnels.....	8
5.1	Problematik der Tunnelversorgung.....	8
5.2	Messtechnische Erfassung.....	8
5.3	Auswertung.....	8
5.4	Hintergrund.....	9
6.	Anhang 1: Mindestfeldstärken.....	10
6.1	C/N-Werte.....	10
6.2	Mindestfeldstärke für mobilen Empfang.....	10
6.3	Literatur für die Berechnung des Link Budgets unter Punkt 6.2.....	11
7.	Anhang 2: Zitierte Richtlinien und Spezifikationen.....	11
8.	Addendum: Anforderungen für den Betrieb einer DAB-Tunnelfunkanlage.....	12
8.1	Anforderungen an die MER (Modulation Error Ratio).....	12
8.2	Ein vereinfachtes Verfahren zum Nachweis der Versorgung.....	12

1. Allgemeines

Die Richtlinie definiert die Vorgehensweise bei der messtechnischen Erfassung und Beurteilung der Versorgung für mobilen Empfang in DAB-Netzen. Dabei wird ausschließlich die Versorgung mit sog. DABplus-Programmen (Audio-Codierung MPEG 4, HE AAC v2) berücksichtigt.

Anmerkung:

Für die Beurteilung der Versorgung von Programmen, die in klassischem DAB (Audio-Codierung MUSICAM = MPEG 1, Layer 2) abgestrahlt werden, gibt es eine interne ARD-Richtlinie [ARD02]. Da die Abstrahlung von Programmen in klassischem DAB nur noch begrenzte Zeit erfolgen soll, wird diese Audio-Codierung in der aktuellen Richtlinie nicht mehr berücksichtigt.

1.1 Anwendungsbereich

Der Anwendungsbereich umfasst derzeit den mobilen Empfang in PKWs im VHF-Band (174 - 230 MHz).

Aussagen für portable Empfangsarten sind in Vorbereitung.

1.2 Versorgung

Als „Versorgung“ wird in dieser Richtlinie die beim Teilnehmer zu erwartende Versorgung bei mobilem Empfang verstanden. In diesem Sinne liegt Versorgung vor, wenn eine dem Stand der Technik entsprechende Empfangseinrichtung ein von deutlich wahrnehmbaren Störungen freies Audiosignal liefert.

In DAB-Netzen können die einzelnen Programme innerhalb eines Multiplexes eine unterschiedliche Audio-Codierung und einen unterschiedlichen Fehlerschutz aufweisen. Gemäß dieser Richtlinie wird eine Versorgungsaussage für ein einzelnes Programm innerhalb eines vom Sendernetz ausgestrahlten Multiplexes getroffen. Man kann jedoch davon ausgehen, dass Programme mit gleicher Codierung und gleichem Fehlerschutz eine vergleichbare Versorgung aufweisen.

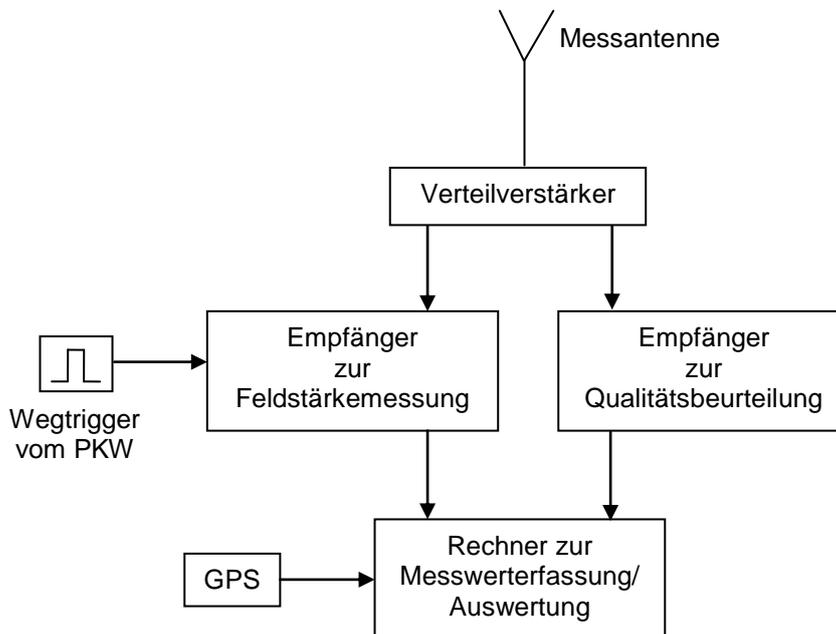
2. Messtechnische Erfassung

2.1 Grundsätzliche Vorgehensweise

Es werden ausschließlich mobile Messungen mit einer Rundempfangsantenne in 1,5 bis 2,5 m Höhe durchgeführt.

Bei den Messungen werden Feldstärke und Qualitätsparameter mit jeweils geeigneten Empfängern erfasst. Diese Messwerte führen durch Anwendung der in Abschnitt 3 definierten Feldstärke- und Qualitätskriterien zur Versorgungsaussage.

2.2 Blockschaftbild zur Durchführung der Messungen



Das Antennensignal wird über einen Verteilverstärker dem Feldstärke-Messempfänger und einem Empfänger zur Qualitätsbeurteilung zugeführt. Der Feldstärkeempfänger erhält vom Fahrzeug weggetriggert Impulse, durch die eine Feldstärkemessung ausgelöst wird. Die Feldstärkewerte und die Parameter des Qualitätsempfängers werden an einem Rechner übertragen, der die Erfassung und Auswertung der Messergebnisse vornimmt. Ein GPS-Empfänger übermittelt dem Rechner außerdem die aktuelle Position des Fahrzeugs.

2.3 Messantenne, Verteilverstärker und Kabeldämpfung

Die Messungen erfolgen mit einer auf den Empfangskanal abgestimmten, vertikal polarisierten Rundempfangsantenne auf dem Dach eines PKWs.

Die Messantenne muss folgende Bedingungen erfüllen:

- Mittlerer Gewinn bzgl. Halbwellendipol ca. -2 dB_d
- Abweichung von der Rundheit maximal $\pm 2 \text{ dB}$
- Rückflussdämpfung größer 10 dB

Gewinn und Rundheit der am Fahrzeug montierten Antenne werden unter einem Elevationswinkel von $+10^\circ$ bezogen auf den geometrischen Fußpunkt der Antenne ermittelt. Die Montagehöhe muss zwischen $1,5 \text{ m}$ und $2,5 \text{ m}$ liegen.

Die mobilen Messungen werden stets mit einer vertikal polarisierten Empfangsantenne durchgeführt, auch für den Fall, dass die Abstrahlung in horizontaler Polarisation erfolgt.

Der Verteilverstärker muss mindestens die Verluste durch die Aufteilung des Antennensignals ausgleichen. Die Verstärkung sollte 6 dB nicht übersteigen. Eine zu hohe Verstärkung erhöht die Gefahr einer Übersteuerung des Systems. Es ist ein rauscharmer Verstärker mit einer guten Großsignalfestigkeit zu empfehlen.

Die Kabeldämpfung zwischen Antenne und Verteilverstärker sollte nicht größer als 1 dB sein.

2.4 Wegtrigger des Fahrzeugs

Das Fahrzeug muss weggetriggert alle 0,2 bis 0,3 m einen Impuls zur Verfügung stellen, der eine Feldstärkemessung des Messempfängers auslöst. Bei weggetriggerten DAB-Messungen sind Messungen im Nullsymbol unvermeidlich. Diese Messwerte verfälschen jedoch die Ergebnisse und müssen daher eliminiert werden.

Eine Möglichkeit ist, dem Triggerimpuls des Fahrzeugs im Abstand von 2 ms einen zweiten Impuls folgen zu lassen und von jeder dieser Doppelmessungen den höheren Wert für die Auswertung heranzuziehen. Damit liegt bei Messungen im Abstand von 2 ms höchstens eine Messung in einem Nullsymbol. Dieses Verfahren bildet den tatsächlichen Feldstärkeverlauf sehr gut ab, nur bei starkem Fading sind die Ergebnisse etwas zu optimistisch.

2.5 Empfänger zur Feldstärkemessung

Der Feldstärkepegel ist mit folgenden Empfänger-Einstellungen zu ermitteln:

- Bandbreite 1,5 MHz
- Detektor Effektivwert (RMS)
- Integrationszeit 1 ms

Hinweise:

- Die Dynamik der Feldstärke-Empfänger ist begrenzt. Daher sind für den jeweiligen Einsatzfall sinnvolle Dämpfungseinstellungen zu wählen. Häufig müssen für Messungen in Sendernähe andere Einstellungen als am Rand des Versorgungsgebiets gewählt werden.
- Die Filter vieler Feldstärke-Messempfänger ermöglichen keine optimale Nachbarkanaluntrennung. Daher kann bei direkt benachbarten DAB-Kanälen mit großen Pegelunterschieden die Messung des schwächeren Kanals einen zu hohen Feldstärkepegel liefern.
- Der Empfänger muss in der Lage sein, alle 2 ms einen Messwert auszugeben.

2.6 Empfänger zur Erfassung der Qualität

Ein Maß für die Empfangsqualität ist das Auftreten von Fehlern in einem DABplus-Audiosignal nach der Demodulation. Dabei bestimmen die Eigenschaften und das Verhalten des Empfängers (Synchronisation, HF-Eingangsteil, Demodulator, Immunität gegenüber Störungen, etc.) ganz erheblich das Auftreten von Fehlern. Da die Eigenschaften und das Verhalten des Empfängers nicht hinreichend genau beschrieben werden können und außerdem Empfängerhersteller diese Parameter nicht offen legen, ist es kaum möglich, einen Referenzempfänger für die Erfassung der Qualität zu definieren.

Daher wird zur Erfassung der Qualität ein beliebiger, jedoch möglichst guter¹ Empfänger eingesetzt. Liefert dieser Empfänger ein fehlerfreies Signal, so kann man von einem fehlerfreien Feld ausgehen.

Die einzelnen Programme innerhalb eines DAB-Multiplexes werden in Frames von 24 ms übertragen. Bei DABplus bilden fünf aufeinanderfolgende Frames ein sog. Superframe mit 120 ms Länge. Der Dateninhalt eines Superframes wird in mehrere Blöcke gleicher Größe unterteilt, die jeweils mit einem Reed-Solomon-Fehlerschutz versehen sind. Der Reed-Solomon-Fehlerschutz gestattet das Erkennen und Korrigieren von Fehlern.

¹ Mit dem Empfänger wird geprüft, ob das am jeweiligen Empfangsort vorhandene C/N für eine Decodierung ausreichend groß ist. Das System aus Empfänger und Verteilverstärker soll hierfür möglichst empfindlich sein. Da bei mobilem Empfang die Eingangspegel stark schwanken, sollte das System einen hohen Dynamikbereich aufweisen.

Der Empfänger zur Erfassung der Qualitätsparameter muss für das gewählte DABplus-Programm den Reed-Solomon-Fehlerschutz auswerten und das Ergebnis für jedes Superframe zur Verfügung stellen.

Eine Möglichkeit zur Realisierung besteht darin, den gesamten Dateninhalt eines DAB-Multiplexes aufzuzeichnen (wie er z.B. im RDI-Datenstrom eines Empfängers zur Verfügung gestellt wird) und dann den Reed-Solomon-Fehlerschutz der einzelnen Programme auszuwerten. Die Berechnung des Reed-Solomon-Fehlerschutzes ist bei ETSI [ETSI10] definiert.

2.7 Erfassung von Feldstärke und Qualität

Die Erfassung der Feldstärke erfolgt wegabhängig, die Erfassung der Qualitätsparameter erfolgt zeitabhängig. Die beiden Messgrößen müssen so registriert und aufgezeichnet werden, dass eine eindeutige Zuordnung der beiden Parameter möglich ist.

2.8 EMV-Anforderungen an das Messfahrzeug

Für das Messfahrzeug mit dem vollständig installierten Messequipment ist zu überprüfen, ob bei der Mindestfeldstärke tatsächlich störungsfreier Empfang möglich ist. Eventuell auftretende EMV-Störungen, die durch das Fahrzeug oder durch den Betrieb von Messgeräten verursacht werden können, dürfen keinesfalls die Empfangbarkeit bei Feldstärkepegeln im Bereich der Mindestfeldstärke stören.

3. Auswertung der Messungen, Beurteilung der Versorgung

Eine Versorgungsaussage erfolgt für ein DABplus-Programm innerhalb eines Multiplexes.

Die Auswertung erfolgt in Streckenabschnitten von 100 m Länge, in denen die Feldstärken und die Qualitätsparameter bestimmte Kriterien erfüllen müssen. Ein Streckenabschnitt ist versorgt, wenn sowohl das Feldstärkekriterium als auch das Qualitätskriterium erfüllt ist.

3.1 Mindestfeldstärke

Die erforderliche Mindestfeldstärke ist nicht frequenzabhängig, sondern wird für das gesamte VHF-Band (174 - 230 MHz) als konstant angenommen. Sie hängt ausschließlich vom Fehlerschutz des betrachteten DABplus-Programms ab. Die folgende Tabelle definiert die Mindestfeldstärken, eine ausführliche Herleitung findet sich im Anhang 1 in Abschnitt 6.

Fehlerschutz	Mindestfeldstärke in dB(μ V/m)
EEP 1-A	28,5
EEP 2-A	30,8
EEP 3-A	33,3
EEP 4-A	38,8

3.2 Feldstärkekriterium

Für einen Streckenabschnitt ist das Feldstärkekriterium erfüllt, wenn die erforderliche Mindestfeldstärke von 99% aller Messwerte erreicht oder überschritten wird.

3.3 Qualitätskriterium

Es werden alle Superframes herangezogen, die beim Durchfahren des betrachteten 100 m-Streckenabschnitts registriert wurden. Dabei dürfen höchstens 120 ms mit nicht korrigierbaren Reed-Solomon-Fehlern auftreten.

Anmerkung:

Die Zeit, die zum Durchfahren eines 100 m-Abschnitts benötigt wird, hängt von der Fahrtgeschwindigkeit ab. Daher sollte bei den Messungen wenn möglich mit der Geschwindigkeit gefahren werden, die für die jeweilige Strecke typisch ist.

3.4 Darstellung und Export der Ergebnisse

Die Ergebnisse der Messfahrten werden in Landkarten grafisch dargestellt. Versorgte und unversorgte Streckenabschnitte werden hierbei mit unterschiedlichen Farben gekennzeichnet. Zusätzlich ist ein Export der Daten im ASCII-Format vorzusehen, wobei für die 100 m-Abschnitte die Versorgungsaussage und Informationen zu den Abschnitten (mittlere Koordinaten, Medianwert und Standardabweichung der Feldstärke) anzugeben sind.

4. Hinweise zur Durchführung der Messungen und Interpretation der Ergebnisse

4.1 Gültigkeit der Ergebnisse

Die Versorgungsaussage gilt für den Zeitpunkt der Messung. Da sich Ausbreitungsbedingungen u.a. wetterabhängig ändern können, gelten auch für die Versorgungsaussage entsprechende Unsicherheiten. Eventuell kann die Wiederholung einer Messung bei anderen Bedingungen Aufschluss bei Versorgungsproblemen (z.B. Überreichweiten) geben.

4.2 Einfluss von EMV-Störungen

Tritt bei einer Messung, bei der das Feldstärkekriterium erfüllt ist, eine Minderung der Qualität ein, die sich eindeutig auf EMV-Störungen zurückführen lässt, so kann die jeweilige Messstrecke als versorgt ausgewiesen werden. Die verursachende stationäre oder regelmäßig wiederkehrende Störung muss dokumentiert werden.

4.3 Extrapolation der Messergebnisse auf Flächen

Mobile Messungen liefern keine Versorgungsaussage für „isoliert“ betrachtete Punkte, sondern beschreiben die Versorgung entlang einer Messstrecke durch eine statistische Auswertung. Das Ziel ist es, aus den Streckenmessungen eine Versorgungsaussage über die angrenzenden Flächen zu gewinnen. Die Größe dieser angrenzenden Flächen („Vertrauensbereich“) kann nicht allgemein definiert werden, sondern hängt von mehreren Faktoren ab. Die Fläche, für die eine Versorgungsaussage gilt, wird umso größer, je weiter die ermittelte Feldstärke von der Mindestfeldstärke (positiv oder negativ) abweicht. Im Bereich der Mindestfeldstärke, wo versorgte und unversorgte Abschnitte häufig abwechselnd auftreten, sind die Flächen nur sehr klein. Außerdem beeinflussen die Topographie (Berge, Tieflagen, Ebene) und die Bebauung ebenfalls die Größe dieser Flächen.

4.4 Wahl der Messstrecken

Die komplexen Zusammenhänge zwischen Messstrecke und der Fläche, für die die statistische Versorgungsaussage gilt, gestatten keine allgemeine Vorgabe der Messstrecken. Prinzipiell sollten dort, wo die Flächen klein sind, also am Rand des Versorgungsgebietes oder bei stark wechselnder Topographie (z.B. im Mittelgebirge) die Strecken erheblich dichter gelegt werden als z.B. in Sendernähe oder in einer Ebene.

5. DAB-Versorgung in Tunnels

5.1 Problematik der Tunnelversorgung

Da in Tunnels das terrestrische DAB-Signal abgeschattet wird und vor allem in längeren Tunnels kein Empfang mehr möglich ist, erfolgt häufig eine Einspeisung des DAB-Signals in eine Tunnel funkanlage über zusätzliches Equipment. Typischerweise wird das DAB-Signal über eine terrestrische Antenne außerhalb des Tunnels empfangen, anschließend verstärkt und verteilt und abschnittsweise über Strahlerkabel im Tunnel abgestrahlt. Da in Tunnels viele zusätzliche technische Anlagen wie Lüftungen, Beleuchtungen, etc. vorhanden sind und einen höheren Man Made Noise verursachen, müssen für eine sichere Versorgung in Tunnels höhere Anforderungen als bei normalen Versorgungsmessungen gestellt werden.

In den folgenden beiden Abschnitten werden die Anforderungen an die Messungen und Auswertungen im Rahmen dieser Richtlinie definiert.

Die Betreiber einer Tunnel funkanlage müssen diese Anforderungen ebenfalls erfüllen, zusätzlich wird ein Mindestwert für die MER (Modulation Error Ratio) nach der letzten Verarbeitungsstufe vor den Antennen bzw. dem Strahlerkabel gefordert. Der Mindestwert ist im Addendum im Abschnitt 8 definiert. Da die Betreiber der Anlagen oft nicht über eine wie in der Richtlinie geforderte Messeinrichtung verfügen, wird im Abschnitt 8 zusätzlich ein vereinfachtes Messverfahren mit herkömmlichen Messgeräten beschrieben.

5.2 Messtechnische Erfassung

Beim Durchfahren eines Tunnels werden mobile Messungen wie bei herkömmlichen Versorgungsmessungen durchgeführt, d.h. die Feldstärke und die Qualität des decodierten Signals werden aufgezeichnet. Die Anforderungen an das Messequipment und das Fahrzeug sind in Abschnitt 2 dieser Richtlinie definiert.

Da in Tunnels für beide Fahrtrichtungen häufig getrennte Röhren mit getrennten Einspeisungen genutzt werden, sind die Messungen in beiden Richtungen durchzuführen. Bei mehreren Spuren in einer Richtung können gegebenenfalls auch Messungen auf allen Fahrspuren (soweit möglich) vorgenommen werden. Dies ist z.B. dann sinnvoll, wenn das Strahlerkabel nicht mittig in der Röhre verlegt ist.

Es wird empfohlen, die Messungen in regelmäßigen Abständen (z.B. alle zwei Jahre) zu wiederholen. Änderungen an den zum Tunnel gehörenden technischen Anlagen können den Man Made Noise im Tunnel verändern und damit die DAB-Versorgung negativ beeinflussen.

5.3 Auswertung

Bei herkömmlichen Versorgungsmessungen werden stets 100m-Abschnitte ausgewertet. Da mögliche Versorgungsprobleme in Tunnels genauer lokalisiert werden müssen, erfolgt hier die Auswertung in 33,3m-Abschnitten. Ein 33,3m-Abschnitt ist versorgt, wenn das Feldstärke- und das Qualitätskriterium erfüllt sind.

In einem 33,3m-Abschnitt ist das Feldstärkekriterium erfüllt, wenn 99% aller Feldstärkewerte die Mindestfeldstärke von **43,3 dB(μ V/m)** erreichen oder überschreiten. Das Qualitätskriterium ist erfüllt, wenn in dem 33,3m-Abschnitt höchstens 120 ms mit nicht korrigierbaren Reed-Solomon-Fehlern auftreten.

5.4 Hintergrund

Im Vergleich zu herkömmlichen Versorgungsmessungen wurde die Mindestfeldstärke für den Fehlerschutz EEP 3-A um 10 dB erhöht. Die Erhöhung ist notwendig, um für das DABplus-Signal trotz des höheren Man Made Noise ein ausreichendes C/N zu gewährleisten. Außerdem können große Fahrzeuge wie LKW's zu Abschattungen führen und den Empfang in anderen Fahrzeugen verschlechtern. Da langfristig bei Notfällen in Tunnels auch ein Einsprechen in das DAB-Signal realisiert werden wird, muss auch bei schlechteren Empfangssystemen (Fahrzeug, Antenne, Empfänger) ein sicherer Empfang gewährleistet sein.

Der Fehlerschutz eines Audio-Programms innerhalb eines Multiplexes kann vom Programm-anbieter individuell gewählt werden. Trotzdem müssen die Anforderungen für den Betreiber einer Tunnelfunkanlage davon unabhängig sein. Daher wurde als Basis für die Mindestfeldstärke der am häufigsten genutzten Fehlerschutz EEP 3-A herangezogen.

6. Anhang 1: Mindestfeldstärken

6.1 C/N-Werte

Die folgende Tabelle enthält C/N-Werte für die vier Fehlerschutzstufen von DABplus-Programmen bei mobilem Empfang (Rayleigh-Kanal, [1] in Abschnitt 6.3):

Fehlerschutz	C/N
EEP 1-A	7,0
EEP 2-A	9,3
EEP 3-A	11,8
EEP 4-A	17,3

6.2 Mindestfeldstärke für mobilen Empfang

Die folgende Tabelle enthält die Mindestfeldstärke für die Bewertung von DABplus-Programmen mit Fehlerschutz EEP 3-A bei mobilem Empfang.

Mindestfeldstärke für Versorgung bei mobilem Empfang (Rayleighkanal)				Quelle
Frequenz f		200	MHz	
Bandbreite B		1540	kHz	
Therm Rauschen kTB	+	-112,1	dBm	"-174+10log(B)"
Rauschzahl des Empfängers F	+	7	dB	
Störabstand C/N	+	11,8	dB	[1]
Minimale Nutzleistung am Empfängereingang P_{min}	=	-93,3	dBm	
Minimale äquiv. Nutzspannung am Empfänger U_{min}	↔	15,5	dB μ V	
Kabeldämpfung K_D	+	1	dB	
Minimale äquivalente Spannung an Antenne	=	16,5	dB μ V	
Antennenfaktor k_a für $\lambda/2$ -Dipol (75 Ω)	+	12,3	dB	"-33,7+20log(f)"
Gewinn der Antenne zum $\lambda/2$ -Dipol G_d	-	-2,2	dB $_d$	
Isotroper Gewinn der Antenne G_i		-0,1	dB $_i$	
Rauschzahl der Antenne F_a		8,8	dB	[2] "72,5-27,7*log(f)"
Effektive Rauschzahl der Antenne		6,6	dB	[3]
Zuschlag für MMN	+	2,3	dB	
Min. äquiv. Feldstärke an Antenne E_{min} (in 1,5-m-Höhe)	=	33,3	dBμV/m	Messung
 mobiler Empfang - Planung				
Feldstärkeschwankung-Standardabweichung σ_i		3,5	dB	
Versorgung		99	%	
Korrekturfaktor Versorgung c_{vw}		2,33	dB	
Zuschlag wegen Feldstärkeschwankung $c_{vw} * \sigma_i$	+	8,1	dB	[8]
Minimaler Medianwert der Feldstärke in 1,5-m-Höhe E_m	=	41,5	dB μ V/m	

Für einen anderen Fehlerschutz ist in der Zeile "Störabstand C/N" der entsprechende Wert aus der Tabelle unter Punkt 6.1 einzusetzen. Der C/N-Wert in dB geht additiv in die Berechnung für die minimale äquivalente Feldstärke an der Antenne E_{\min} ein.

Hinweis:

In der Tabelle für die Mindestfeldstärke sind alle Zwischenwerte auf eine Nachkommastelle gerundet. Für die Berechnung der Endergebnisse werden jedoch nicht diese gerundeten Zahlen zugrundegelegt, sondern die exakten Werte nach den angegebenen Formeln. Daher können sich beim Addieren der gerundeten Zwischenergebnisse um 0,1 dB andere Werte ergeben als beim Rechnen mit den exakten Formeln und einer Rundung erst beim Endergebnis.

6.3 Literatur für die Berechnung des Link Budgets unter Punkt 6.2

Einige der folgenden Literaturquellen sind nicht explizit angegeben, werden jedoch bei den Berechnungen zugrunde gelegt.

- [1] Schramm, R.: "C/N bei DAB+", IRT interner Bericht, 2011
- [2] ITU: "Recommendation ITU-R P.372-7 Radio Noise", Geneva, 2003
- [3] Schramm, R.: "Berechnung des MMN-Faktors bei DVB-T Empfang aus der Rauschzahl einer Antenne", IRT interner Bericht, März 2005
- [4] ITU: "Recommendation ITU-R P.1546 Method for point-to-area predictions for terrestrial services in the frequency range 30 MHz to 3 000 MHz ", Geneva, 2003
- [5] Großkopf, R. : "Höhengewinn nach Empfehlung ITU-R P.1546", IRT interner Bericht, Aug. 2002
- [6] EBU-UER: "Technical Bases for T-DAB Services Network Planning", BPN 003, Geneva, Feb. 2003
- [7] Schramm, R.: "MMN-Störungen im VHF- und UHF-Frequenzbereich, Messungen im Gebäude", IRT-Bericht, Mai 2006
- [8] ITU: Final Acts, Regional Radio Conference, Genf 2006

7. Anhang 2: Zitierte Richtlinien und Spezifikationen

- [ARD02] Richtlinie für die Beurteilung der mobilen DAB-Versorgung im Band III, ARD interne Richtlinie, 2002
- [ETSI10] ETSI TS 102 563 V1.2.1 (2010-05): Digital Audio Broadcasting (DAB); Transport of Advanced Audio Coding (AAC) audio

8. Addendum: Anforderungen für den Betrieb einer DAB-Tunnelfunkanlage

Beim Betrieb einer Tunnelfunkanlage wird eine Mindestanforderung an die MER des abgestrahlten Signals gestellt. Zusätzlich muss die Versorgung innerhalb des Tunnels nachgewiesen werden. Dies kann z.B. durch eine Versorgungsmessung mit den erhöhten Anforderungen, wie in Abschnitt 5 beschrieben, erfolgen. Da die Betreiber von Tunnelfunkanlagen häufig nicht über das geforderte Messequipment verfügen, wird im Abschnitt 8.2 ein Beispiel für ein vereinfachtes Verfahren mit herkömmlichen Messgeräten aufgeführt.

8.1 Anforderungen an die MER (Modulation Error Ratio)

Die MER nach der letzten Stufe der Verstärkung bzw. Verteilung der Tunnelfunkanlage muss mindestens 15 dB betragen.

8.2 Ein vereinfachtes Verfahren zum Nachweis der Versorgung

Bei dem vereinfachten Verfahren muss ebenfalls die Feldstärke und die Qualität überprüft werden. Zur Beurteilung dieser beiden Parameter muss der Tunnel durchfahren werden. Zum Empfang des Signals wird eine abgestimmte $\lambda/4$ -Stabantenne auf dem Wagendach eingesetzt.

Es soll mindestens ein Feldstärkewert pro Meter erfasst werden. Die Auswertungen sind ebenfalls in 33m-Abschnitten vorzunehmen. Wegen der geringeren Anzahl an Messwerten wird für die Mindestfeldstärke kein 99%-Wert, sondern der Medianwert herangezogen. Gemäß Abschnitt 6.2 der Richtlinie entspricht der 99%-Wert von 33,3 dB(μ V/m) einem Medianwert von 41,5 dB(μ V/m). Zusätzlich ist der in Abschnitt 5.3 beschriebene Aufschlag von 10 dB zu addieren. Als Feldstärkekriterium gilt damit, dass der **Medianwert** aller Feldstärkemessungen in einem 33m-Abschnitt die Mindestfeldstärke von **51,5 dB(μ V/m)** erreichen oder überschreiten muss.

Idealerweise erfolgt die Erfassung der Feldstärke mit einem Feldstärke-Messempfänger mit der Bandbreite 1,5 MHz und wird elektronisch aufgezeichnet. Wenn keine Erfassung der Koordinaten möglich ist, kann man beim Durchfahren mit konstanter Geschwindigkeit von einer gleichmäßigen Verteilung ausgehen und die Ergebnisse entsprechend interpolieren.

Steht kein Feldstärke-Empfänger zu Verfügung, kann alternativ auch ein Spektrum-Analysator (Einstellung Zero Span, Bandbreite RBW 1 MHz, Detektor RMS oder Average) herangezogen werden. Beim Durchfahren des Tunnels wird ein Sweep durchgeführt. Die Sweeptime ist so zu wählen, dass unter Berücksichtigung der Anzahl Sweep Points mindestens eine Messung pro Meter erfolgt. Das Ergebnis des Sweeps wird idealerweise elektronisch gespeichert und ausgewertet, kann notfalls jedoch auch als Hardcopy manuell ausgewertet werden. Falls nötig, kann der Tunnel eventuell auch abschnittsweise untersucht werden. Dabei ist auf eine hinreichende Überlappung der einzelnen Abschnitte zu achten.

Beispiel: Bei einem Tunnel mit 1,5 km Länge ergeben sich 1500 Messungen. Wird der Tunnel mit der Geschwindigkeit 50 km/h entsprechend 13,7 m/s durchfahren, so dauert das Durchfahren des Tunnels 110 Sekunden. Als Sweeptime erscheinen 120 Sekunden (mit Reserven beim Einfahren und Ausfahren des Tunnels) als sinnvoll. Die Anzahl der Sweep Points muss mehr als 1640 betragen ($1500 \cdot 120 / 110$), so dass mindestens eine Messung pro Meter erfolgt.

Häufig zeigen Feldstärke-Messempfänger oder Spektrum-Analysatoren die Eingangsspannung des Signals an. Diese muss für die Auswertung in eine Feldstärke umgerechnet werden, z.B. nach folgender Formel:

$$F = -31,9 + 20 \cdot \log(f) + U + k - g$$

- mit
- F = Feldstärke in dB(μ V/m)
 - f = Frequenz in MHz
 - U = Eingangsspannung in dB(μ V)
 - k = Kabeldämpfung in dB
 - g = Gewinn der Empfangsantenne bzgl. Halbwellendipol in dB

Bei der Überprüfung der Qualität wird ein Programm des Multiplexes mit typischen Parametern bzgl. Datenrate und Fehlerschutz abgehört. Dabei dürfen auf der gesamten Strecke durch den Tunnel keine hörbaren Audiofehler auftreten.