

Ermittlung der rauschähnlichen Komponente
des "Man-Made Noise" bei 227 MHz
aus mobilen T-DAB-Messungen

Nr. B 199/2007

Technischer **Bericht**

Ermittlung der rauschähnlichen Komponente des „Man-Made Noise“ bei 227 MHz aus mobilen T-DAB-Messungen

Inhaltsangabe

Für die Planung einer Rundfunkversorgung im VHF-Frequenzbereich wird der Pegel der „Man-Made Noise“-Störung (MMN) im Versorgungsgebiet benötigt. Neue Messungen deuten darauf hin, dass die Störung stärker ist, als bei der Entwicklung des T-DAB-Übertragungssystems angenommen wurde. Es wurde nach Möglichkeiten gesucht, den Pegel der MMN-Störung großflächig zu ermitteln.

1999 führte das IRT in der Schweiz mobile T-DAB-Messungen in einem Gleichwellennetz im VHF-Frequenzbereich durch. Ziel der Messungen war die Ermittlung der T-DAB-Versorgung und der Parameter des Übertragungskanals Sender-Empfänger. Dabei wurde eine riesige Menge Rohdaten aufgezeichnet. Der Pegel der rauschähnlichen MMN-Störung im Versorgungsgebiet konnte aus den Rohdaten der T-DAB-Messungen ermittelt werden. Aus dem Vergleich der aufgezeichneten Empfangsqualität bei mobilem T-DAB-Empfang im Versorgungsgebiet, und bei Empfang im Labor mit einem Übertragungskanalssimulator, konnten Natur und Pegel der MMN-Störung im Messgebiet ermittelt werden.

Es stellte sich heraus, dass die rauschähnliche Komponente der MMN-Störung bei 227 MHz einen wesentlich höheren Pegel hat, als bisher angenommen. Eine Antenne in einer Höhe von etwa 1,5 m über dem Boden (Autodachhöhe) empfängt eine Störung, die um 15,7 dB höher ist als das thermische Rauschen bei Umgebungstemperatur. Bei einer Empfängerrauschzahl von 7 dB ist der Zuschlag in der Sendeleistung, der nötig ist um die MMN-Störung zu kompensieren, gleich 9,1 dB. In den Schlussakten der T-DAB Planungstagung in Wiesbaden 1995 [1] wurde die MMN-Störung nicht berücksichtigt. Versorgungsrechnungen mit den in [1] angegebenen Parametern führen demnach zu etwa um 9 dB zu niedrigen Sendeleistungen.

Der Wert der rauschähnlichen Man-Made-Noise-Störung wird in der Fachliteratur als Antennenrauschzahl F_a angegeben. Im Vergleich zu dem in der ITU-Empfehlung ITU-R.P372 [2] angegebenen Wert für die Antennenrauschzahl in einer Umgebung vom Typ „business“, ist der in diesem Papier ermittelte Wert von 15,7 dB um 4,2 dB höher. Im Vergleich zur Antennenrauschzahl in einer Umgebung vom Typ „residential“ ist der hier ermittelte Wert sogar um 8,5 dB höher. Neue, aktuelle Messungen der BBC im Freien [3] und des IRT in Gebäuden [4,5] ergaben Antennenrauschzahlen die mit dem hier ermittelten Wert vergleichbar sind.

Bei der Planung von Versorgungsnetzen im VHF-Frequenzbereich muss die MMN-Störung unbedingt berücksichtigt werden, um realistische Ergebnisse zu erzielen. Für T-DAB ist dieser Zuschlag etwa 9 dB. Der genaue Wert wird noch von anderen Planungsparametern wie z.B. die Empfängerrauschzahl beeinflusst.

München, Dezember 2007

Verfasser:

Raul Schramm
Geschäftsfeld Programmverbreitung

INSTITUT FÜR RUNDfunkTECHNIK GmbH

Dr. Klaus Illgner
Direktor und Sprecher der Geschäftsleitung

Verteiler:

AKAS
AKO
ARV
IRT
ASF
Leiter Fernseh-Betrieb
Leiter Hörfunk-Betrieb
Leiter Sender-Betrieb
PTKO

Einführung

Für die Planung einer Rundfunkversorgung im VHF-Frequenzbereich wird der Pegel der „Man-Made Noise“-Störung (MMN) im Versorgungsgebiet benötigt. Neue Messungen deuten darauf hin, dass die Störung stärker ist, als bei der Entwicklung des T-DAB-Übertragungssystems angenommen wurde. Es wurde nach Möglichkeiten gesucht, den Pegel der MMN-Störung großflächig zu ermitteln.

1999 führte das IRT in der Schweiz mobile T-DAB-Messungen in einem Gleichwellennetz im VHF-Frequenzbereich durch. Ziel der Messungen war die Ermittlung der T-DAB-Versorgung und der Parameter des Übertragungskanals Sender-Empfänger. Dabei wurde eine riesige Menge Rohdaten aufgezeichnet. Auf einer Gesamtstrecke von etwa 480 km wurden jede 13 cm die Empfängereingangleistung und jede 24 ms die Bitfehlerquote (BFQ) beim Empfang mit einem Philips-DAB-452A-Empfänger gemessen und aufgezeichnet. Das entspricht etwa 3,3 Millionen Einzelmessungen der Leistung. Der Pegel der rauschähnlichen MMN-Störung im Versorgungsgebiet konnte aus den Rohdaten der T-DAB-Messungen ermittelt werden.

Aus dem Vergleich der aufgezeichneten Empfangsqualität bei mobilem T-DAB-Empfang im Versorgungsgebiet, und bei Empfang im Labor mit einem Übertragungskanalsimulator, konnten Natur und Pegel der MMN-Störung ermittelt werden.

Außer dem T-DAB-Gleichwellennetz in dem die Messungen stattfanden, gab es zu dem Zeitpunkt in der Schweiz keine anderen T-DAB- oder DVB-T-Sender in Betrieb, so dass sichergestellt ist, dass die gemessene Störung keine Gleich-

kanalstörung ist. Es ist auch keine Störung durch analoges Fernsehen, da dessen Signal nicht rauschähnlich ist.

Beschreibung der mobilen Messungen

Die mobilen Messungen im Versorgungsgebiet fanden hauptsächlich auf Landstraßen und in Ortschaften statt. Der Übertragungskanal Sender-Empfänger im Messgebiet ist überwiegend vom Typ Rayleigh (Mehrwegeausbreitung).

Die Messungen fanden mit einem DAB-Sendesignal statt, das im Kanal 12C (227,360 MHz) ausgestrahlt wurde. Gemessen wurde die Übertragungsqualität auf der Basis eines Programmes mit einer Datenrate von 160 kbit/s und dem Fehlerschutz PL 3.

In **Abbildung 1** ist das Blockschaltbild der wesentlichen Teile des eingesetzten Messaufbaus dargestellt.

Das Fahrzeug mit dem die Versorgungsmessungen durchgeführt wurden hatte eine $\lambda/4$ -Stabantenne auf dem Dach. Diese verfügte über ein horizontales Strahlungsdiagramm, das mit einer Unrundheit von ± 2 dB nur gering von dem eines Rundstrahlers abwich (Einfluss der Karosserie).

Der mittlere Antennengewinn lag bei $-2,2$ dB gegenüber dem $\lambda/2$ -Dipol (dB_d).

Das Signal der Antenne wurde von einem 3-dB-Leistungsteiler aufgeteilt. Die eine Hälfte der empfangenen Leistung wurde einem Rhode & Schwarz-Messempfänger (ESVB) zugeführt, der diese gemessen hat und den Wert über den IEC-Bus an einen Steuerrechner weitergegeben hat. Die Messbandbreite war gleich der Signalbandbreite von 1,5 MHz. Die Triggerung des Messempfängers, die einerseits die Messung und andererseits die Übergabe des vorangehenden Messwertes an den Steuerrechner auslöste, erfolgte wegabhängig alle 13 cm während der Fahrt.

Die andere Hälfte der empfangenen Leistung ging an einen DAB-Empfänger (Philips DAB 452), der an einer digitalen Schnittstelle Kanalbitfehler im „Main Service Channel“ in Echtzeit meldete.

Eine an den DAB-Empfänger angeschlossene Schaltung zählte die Bitfehler und gab die Anzahl der Kanalbitfehler pro Audiorahmen (d.h. jede 24 ms) an den Steuerrechner weiter. Dieser berechnete daraus die Bitfehlerquote (BFQ).

Im Steuerrechner wurden die Leistung und die Anzahl der Bitfehler

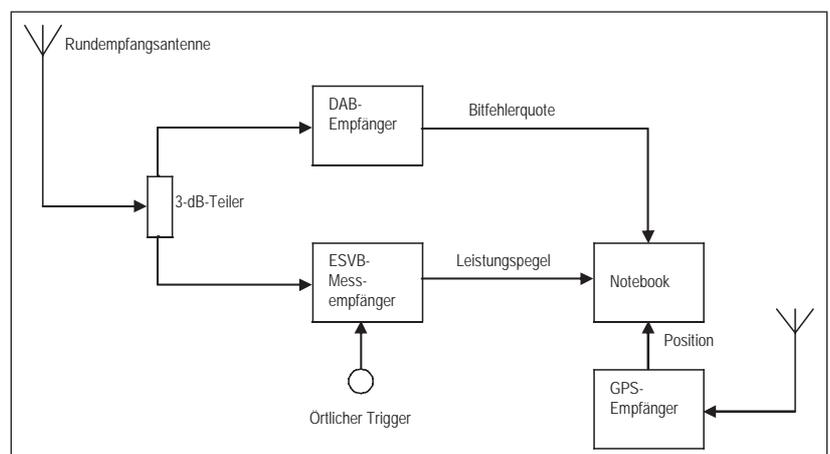


Abb. 1: Blockschaltbild des mobilen Aufbaus zur Messung der Empfängereingangleistung und der Übertragungsqualität bei DAB-Empfang

pro Audiorahmen so registriert, dass die Zuordnung zueinander jederzeit bekannt ist.

Auswertung der mobilen Messdaten

Für jedes 100-m-Intervall entlang der gemessenen 480-km-Gesamtstrecke im Versorgungsgebiet wurde der Medianwert der Empfängereingangleistung (P_{Sj}) und der Medianwert der entsprechenden Werte der

BFQ im „Main Service Channel“, vor dem Viterbi-Dekoder, aus den vielen Einzelmesswerten berechnet. Jedes 100-m-Intervall i entspricht also einem Wertepaar (P_{Sj} , BFQ_i).

Werden alle gemessenen Wertepaare (etwa 4800) in ein X-Y-Diagramm eingetragen, wo X für den Medianwert der Eingangsleistung und Y für den Medianwert der BFQ im 100-m-Intervall steht, entsteht eine Punktwolke wie in **Abbildung 2**.

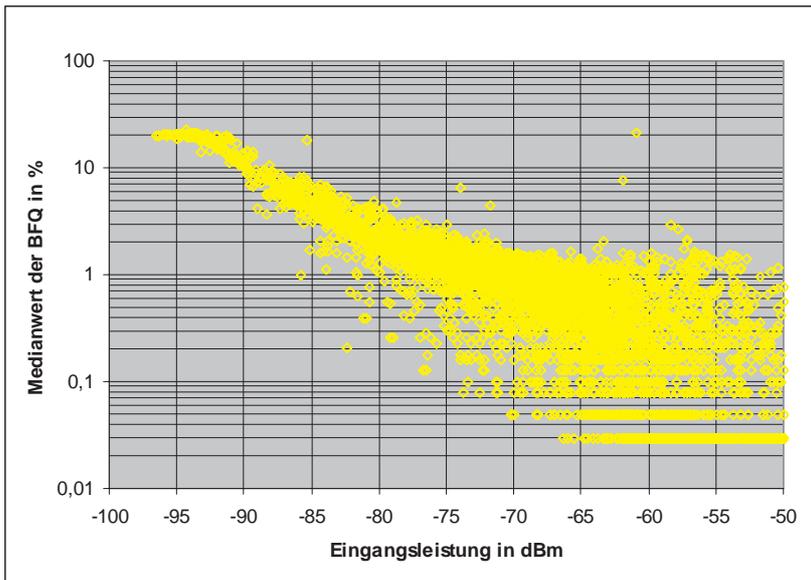


Abb. 2: Medianwerte der BFQ bei mobilem Empfang, in Abhängigkeit von den Medianwerten der Eingangsleistung eines DAB-452A-Empfängers, entsprechend den 100-m-Intervallen der gesamten Messstrecke (480 km)

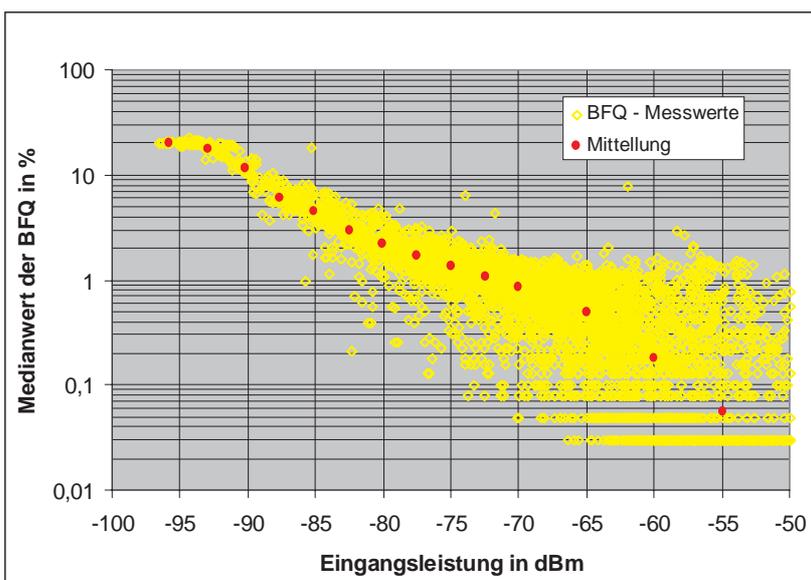


Abb. 3: Medianwerte der BFQ bei mobilem Empfang, in Abhängigkeit von den Medianwerten der Eingangsleistung eines DAB-452A-Empfängers, entsprechend den 100-m-Intervallen der gesamten Messstrecke, einzelne Messpunkte und Mittellung (rot)

Bei geringer Eingangsleistung ist der Empfang schlechter, die BFQ höher, bei hoher Eingangsleistung ist die BFQ geringer.

Die Wertepaare (P_{Sj} , BFQ_i) bilden besonders bei hohen Leistungswerten eine „Wolke“ statt einer Kurve. Ein Grund dafür ist die starke Schwankung der Größe der BFQ mit dem Kanaltyp und der Fahrgeschwindigkeit, bei gleicher Signalleistung. An den Stellen, an denen die Signalleistung hoch ist, ist die Wahrscheinlichkeit groß, dass Sicht zum Sender besteht. In diesem Fall ist der Übertragungskanal Sender-Empfänger vom Typ Rice und die BFQ geringer als im Rayleighkanal bei gleicher Signalleistung.

Ein zweiter Grund für die hohe Schwankung der BFQ bei höheren Signalleistungen ist die unterschiedliche Fahrgeschwindigkeit. Bei mobilen Messungen wird die Fahrgeschwindigkeit von der Verkehrssituation bestimmt. Bei hohen Signalleistungen ist aber die Anzahl der Übertragungsfehler stärker abhängig von der Größe der Fahrgeschwindigkeit als bei niedrigen Signalleistungen. Bei niedrigen Signalleistungen gibt es eine ständige Fehlerrate, die ein wenig schwankt. Bei hohen Signalleistungen kann die Fehlerrate im Ricekanal bei niedriger Fahrgeschwindigkeit sehr gering oder gleich Null sein, so dass relative Änderungen groß ausfallen.

Werden die vielen BFQ-Werte um einen Leistungswert statistisch ausgewertet, gibt es einen mittleren Verlauf der Abhängigkeit BFQ-Leistung, entsprechend der roten Punkte in **Abbildung 3**.

An festen Leistungswerten, z.B. -55 dBm, -60 dBm, usw., wurden die in einem Bereich von +/- 1dB befindlichen BFQ-Werte statistisch ausgewertet. Es wurde der Median-

wert berechnet und in das Diagramm eingetragen. Somit entsprechen die rote Punkte in **Abbildung 3** den Medianwerten der Medianwerte der BFQ in 100-m-Intervallen, bei konstanter Eingangsleistung (+/- 1 dB).

Simulation der Messfahrt im Labor

Der im Messgebiet anzutreffende Übertragungskanal Sender-Empfänger wird in Kanalsimulatoren mit dem Profil „Typical Urban“ (TU), wie in COST 207 [6] definiert, nachvollzogen.

Die weiter oben beschriebene mobile Messfahrt wurde im Labor simuliert. Der gleiche Messaufbau wurde eingesetzt, nur dass die örtliche Triggerung der Messungen jede 13 cm gefahrener Strecke mit einem Takt von 100 Hz ersetzt wurde. Auch für diese Messung wurde die momentane Empfänger-Eingangsleistung und die entsprechende Übertragungsqualität als Bitfehlerquote berechnet und dargestellt, analog mit der Darstellung für die mobile Messung in **Abbildung 3**. Auf diese Weise kann

die Abhängigkeit Übertragungsqualität - Eingangsleistung bei der tatsächlichen Messfahrt mit der bei der simulierten Messfahrt verglichen werden. In **Abbildung 4** ist der entsprechende Verlauf der Labormessung eingezeichnet, zusammen mit dem im Versorgungsgebiet gemessenen und gemittelten Verlauf.

Die Abhängigkeiten Übertragungsqualität - Eingangsleistung bei mobilem Empfang haben bei der tatsächlichen und bei der simulierten Messfahrt, bei niedrigen Signalleistungen, einen ähnlichen Verlauf. Die im Feld gemessenen Daten ergeben aber eine Kurve die zu höheren Leistungswerten verschoben ist. Die Empfindlichkeit des DAB-Empfängers bei Empfang im Versorgungsgebiet scheint auf den ersten Blick geringer zu sein als bei den Labormessungen.

Die ähnliche Form der Kurven im Bereich niedriger Signalleistungen deutet darauf hin, dass sowohl bei den mobilen Messungen als auch bei den Labormessungen die Empfindlichkeit des Empfängers auf die gleiche Art begrenzt wurde, durch weißes Rauschen. Die hori-

zontale Verschiebung der Kurven zeigt, dass im Feld der Rauschpegel (Störpegel) höher ist.

Die Größe der Anhebung der Rauschstörung im Feld gegenüber der Rauschstörung bei der Labormessung entspricht der Größe der Verschiebung der Abhängigkeitskurve Übertragungsqualität - Eingangsleistung.

Der Unterschied in der Form der Kurven bei hohen Signalleistungen, oberhalb von -70 dBm, wie in **Abbildung 4** sichtbar, wurde schon bei der Kommentierung der **Abbildung 2** begründet. Der Übertragungskanal Sender-Empfänger ist bei hohen Signalleistungen oft vom Typ Rice und nicht Rayleigh, und die BFQ ist stärker abhängig von der Fahrgeschwindigkeit. Für die Bestimmung der über Antenne empfangenen Störung ist aber der Bereich der niedrigen Eingangsleistungen ausschlaggebend.

Aus dem Vergleich der Kurven in **Abbildung 4** resultiert, dass der DAB-Empfänger im Feld, in einem Messaufbau wie in **Abbildung 1**, ein um 7 dB höheres Eingangssignal braucht um die gleichen mittleren BFQ zu erreichen, wie bei der Messung im simulierten Übertragungskanal. Da der Signal-zu-Rauschabstand C/N bei DAB-Empfang bei tatsächlicher und bei simulierter Übertragung gleich groß ist, muss bei tatsächlichem Empfang im Feld der Rauschpegel N um 7 dB höher sein.

Die Störleistung kann nur von der Empfangsantenne aus dem Feld entnommen worden sein. Die Störursachen liegen im breitbandigen Rauschen, das aus elektrischen Anlagen zurückzuführen ist, und als „Man-Made-Noise“ bezeichnet wird.

Bei der Berechnung des von der Antenne empfangenen „Man-Made-Noise“ muss noch berücksichtigt

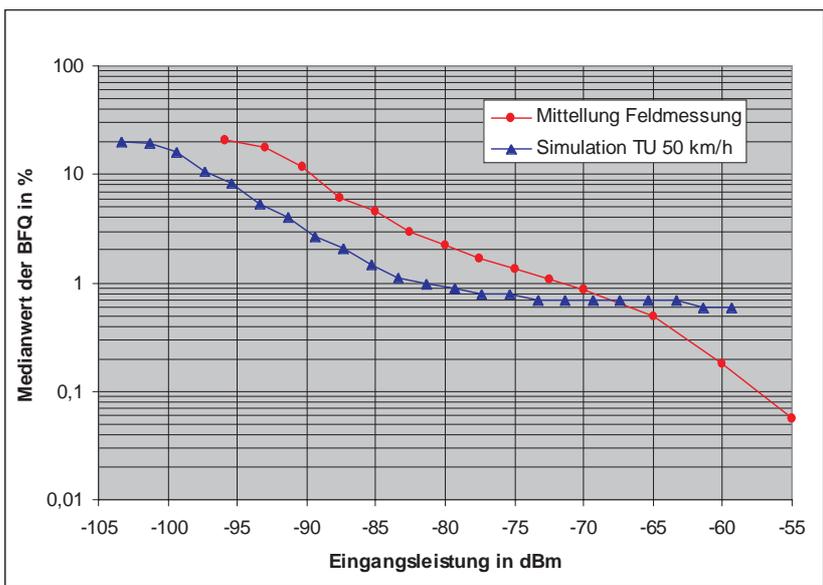


Abb. 4: Medianwerte der BFQ bei mobilem Empfang, in Abhängigkeit von den Medianwerten der Eingangsleistung eines DAB-452A-Empfängers, entsprechend den 100-m-Intervallen der Messstrecken; Messung im Feld und Simulation

werden, dass am Ausgang der Rundempfangsantenne auf dem Autodach der Störpegel 3 dB höher als am Eingang des DAB-Empfängers ist, weil nur die Hälfte des Antennensignals dem DAB-Empfänger zugeführt wird (wegen dem 3-dB-Teiler zwischen Antenne und Empfänger, siehe **Abbildung 1**).

Berechnung der Größe der „Man-Made-Noise“ Störung

Der bei den Messungen eingesetzte Philips-DAB-452A-Empfänger hat eine Rauschzahl von 6,5 dB. Das bedeutet, dass dem DAB-Eingangssignal im Empfänger Gauß-Rauschen mit einem äquivalenten Pegel zugefügt wird, der 6,5 dB über dem des thermischen Rauschens liegt.

Bei den Messungen im Feld ist der Pegel der Störung am Empfänger-eingang um 7 dB höher (Verschiebung der Kurven in **Abbildung 4**), also ist der Pegel des äquivalenten Gauß-Rauschens am Empfänger-eingang 13,5 dB.

Bei der Erstellung von Versorgungsprognosen wird die Mindestfeldstärke (oder Mindest-Eingangsleistung eines Empfängers) für guten Empfang berechnet. Dann wird ein Zuschlag, genannt „Allowance for Man-Made-Noise“, notiert als MMN und angegeben in dB, anhand der Größe des „Man-Made-Noise“ berechnet. Dieser Zuschlag MMN wird zur Mindestfeldstärke addiert und ergibt eine Mindestnutzfeldstärke.

Bei den hier beschriebenen Messungen ist die Verschiebung der Kurven das MMN, also $MMN = 7$ dB. Gegenüber der Prognoserechnung der Versorgung wird hier die Berechnung umgestellt; aus MMN wird die Größe der Störung berechnet. In der Literatur wird die von einer

Antenne empfangene rauschähnliche „Man-Made-Noise“-Störung als Rauschzahl der Antenne F_a angegeben. Für Einzelheiten dazu, siehe die Empfehlung ITU-R-P.372 [2].

Im **Anhang** werden die Formeln abgeleitet, mit denen aus MMN die Antennenrauschzahl F_a berechnet wird.

Am Eingang des DAB-Empfängers ist die Verschiebung der Kurve in **Abbildung 4** und entsprechend MMN gleich 7 dB. Der Empfänger hat eine Rauschzahl $F_e = 6,5$ dB. Mit den Formeln (A-8), (A-10) und (A-16) aus dem **Anhang** wird der Rauschfaktor f_a berechnet. Aus f_a wird mit (A-3) die Störleistung i berechnet, wie sie am Eingang des Empfängers anzutreffen ist.

Die Störleistung i (linearer Wert) am Eingang des Empfängers ist aber nur halb so groß wie am Ausgang der Empfangsantenne, wegen dem 3-dB-Teiler im Messaufbau (siehe **Abbildung 1**). Die Störleistung am Antennenausgang ist also $2i$.

Die Rauschzahl der Antenne wird mit (A-3) und (A-4) neu berechnet, wobei i mit $2i$ ersetzt wird. Die Berechnungen ergeben eine Antennenrauschzahl: $F_a = 15,7$ dB.

Das bedeutet, dass die rauschähnliche Störung, die bei 227 MHz von einer Antenne im Freien in einer Höhe von etwa 1,5 m über dem Boden (Autodachhöhe) aufgenommen wird, 15,7 dB höher ist als das thermische Rauschen bei Umgebungstemperatur.

Wenn man die in der ITU-Empfehlung [2] gegebene Formel für F_a bei 227 MHz anwendet, findet man für die Umgebung „business“ den Wert $F_a = 11,5$ dB, in einer „residential“-Umgebung sogar nur 7,2 dB. Die Messungen auf denen die Werte in [2] basieren wurden vor

mehr als 30 Jahren durchgeführt. Heute sind die Störungen wegen der starken Ausbreitung elektronischer Geräte jedoch deutlich höher.

Dass die Störungen zugenommen haben bestätigen Messungen der BBC [3]. Mit den in [3] gegebenen Formeln ist im „suburban“-Gebiet F_a gleich 11,8 dB, im „business centre“-Gebiet sogar gleich 22,6 dB.

Messungen des IRT in Gebäuden [4,5] haben ebenfalls höhere Störpegel ergeben. Für 227 MHz wurde eine Antennenrauschzahl F_a von 15,3 dB errechnet.

Wird bei der Berechnung einer Versorgungsprognose von einer Antennenrauschzahl von 15,7 dB und einer Empfängerrauschzahl von 7 dB ausgegangen, muss der Zuschlag zur Sendeleistung, genannt „Allowance for Man-Made Noise“, der nötig ist um die gleiche Empfangsqualität wie in einem ungestörten Netz zu erreichen, 9,1 dB sein. Der MMN-Wert kann mit der Formel (A-14) aus dem **Anhang** berechnet werden. Der bisher vielerorts bei Prognoserechnungen eingesetzte Zuschlag von 1 bis 2 dB ist demnach viel zu gering.

Fazit

Die Störungen durch rauschähnliches „Man-Made Noise“ im VHF Frequenzbereich sind stärker, als bei vielen Versorgungsrechnungen vorausgesetzt wird. Aus den Rohdaten von mobilen T-DAB-Versorgungsmessungen auf Landstraßen und in Ortschaften in einem Gleichwellennetz in der Schweiz, und aus Vergleichsmessungen im Labor, konnte die rauschähnliche Man-Made-Noise-Störung bei 227 MHz ermittelt werden.

Der Störpegel ist wesentlich höher als bisher angenommen. Eine An-

tenne in einer Höhe von etwa 1,5 m über dem Boden empfängt eine Störung die 15,7 dB höher ist als das thermische Rauschen, d.h. die „Antennenrauschzahl“ F_a ist 15,7 dB.

Den Berechnungen liegen etwa 3,3 Millionen Einzelwerte von mobilen Messungen entlang von 480 km auf Straßen im Kanton Zürich zugrunde.

Im Vergleich zu dem in der ITU-Empfehlung ITU-R.P372 [2] angegebenen Wert für die Antennen-

rauschzahl in einer Umgebung vom Typ „business“ ist der in diesem Papier ermittelte Wert um 4,2 dB höher, im Vergleich zur ITU-R.P372-Antennenrauschzahl in einer Umgebung vom Typ „residential“ sogar um 8,5 dB höher.

Neue, aktuelle Messungen der BBC im Freien [3] und des IRT in Gebäuden [4,5] ergaben Antennenrauschzahlen die mit dem hier ermittelten Wert vergleichbar sind. Die große Ausbreitung elektronischer Geräte und Baugruppen in den letzten Jahren, hat zu einer starken

Zunahme der „Man-Made-Noise“-Störungen geführt.

Wird für eine Versorgungsprognose bei 227 MHz eine Antennenrauschzahl von 15,7 dB und einer Empfängerrauschzahl von 7 dB vorausgesetzt, ist der Zuschlag zur Sendeleistung, genannt „Allowance for Man-Made Noise“, der nötig ist um die gleiche Empfangsqualität wie in einem ungestörten Netz zu erreichen, gleich 9,1 dB. Der bisher vielerorts bei Prognoserechnungen eingesetzte Zuschlag von 1 bis 2 dB ist demnach viel zu gering.

Literatur

- [1]. CEPT : „Final Acts of the CEPT T-DAB Planning Meeting“ Wiesbaden 1995
- [2]. ITU-R Recommendations: „Radio Noise“, Recommendation ITU-R P.372-8, Vol 2003
- [3]. ITU-R Dokument 3)/15-E: „Recent Measurements of Man-Made Noise in the United Kingdom; Work Towards a Revision of Recommendation ITU-R P.372“, 12 November 2003
- [4]. Schramm, R.: „DVB-T im VHF- und UHF-Frequenzbereich; Leistungszuschlag wegen Man-Made Noise, Höhenverlust und Antennenwirkfläche bei Indoor-Empfang“, ARD-AFM Dok. 0180, April 2005
- [5]. ITU-R Dokument 3)/89-E: „Man-Made Noise in the VHF- and UHF-Frequency Bands; Results of Indoor-Measurements“, September 2005
- [6]. European Commission: COST 207, „Digital Land Mobile Radio Communications“, Final Report, Sept. 1988
- [7]. Kraus, J.: „Antennas“, Second Edition, McGraw-Hill Book Company, NY, 1988

Anhang

Berechnung der Rauschzahl einer Antenne aus dem mmn-Faktor

Rauschzahl einer Antenne

Eine terrestrische Antenne mit großem Öffnungswinkel und angepasstem Lastwiderstand, empfängt aus dem Umfeld thermisches Rauschen n , dessen Leistung unabhängig vom Antennengewinn ist (siehe [7], Kapitel 17):

$$n = kTB \tag{A-1}$$

mit:

- k = Boltzmann-Konstante in J/K
- T = Umgebungstemperatur in K
- B = Bandbreite in Hz

Wenn von der Antenne auch rauschähnliche Störung i empfangen wird, (siehe auch **Abbildung A1** links), ist die von der Antenne empfangene Leistung:

$$p_a = n + i \tag{A-2}$$

mit:

- p_a = Summe der Rauschleistungen in W
- n = thermisches Rauschen (kTB) in W
- i = Leistung der rauschähnlichen Man-Made-Noise- Störung (bei gleicher Bandbreite B wie für n , die Signalbandbreite)

Die **Abbildung A1** rechts zeigt die äquivalente Schaltung einer Antenne. U_n entspricht der Quelle für die Rauschleistung n , U_i der Quelle für die Rauschleistung i und R_a ist der Strahlungswiderstand der Antenne.

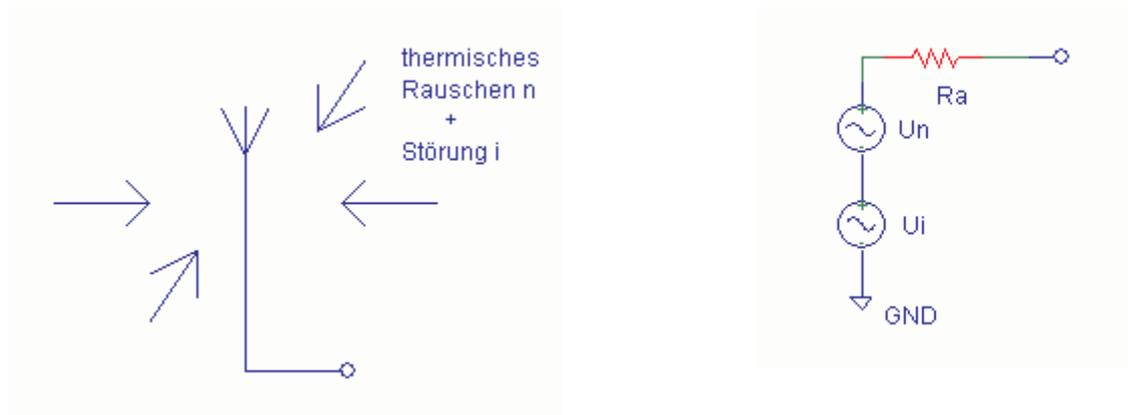


Abbildung A1 Antenne mit Störquellen und äquivalente Schaltung

Für eine Antenne wird ein Rauschfaktor f_a definiert:

$$f_a = \frac{p_a}{n} = \frac{n+i}{n} \quad (\text{A-3})$$

und eine Rauschzahl F_a :

$$F_a = 10 \log_{10}(f_a) \quad (\text{A-4})$$

Zuschlag MMN wegen Störungen bei der Versorgungsprognose (Man-Made-Noise-Allowance)

Bei der Berechnung der Mindestfeldstärke für Versorgungsprognosen wird von der Rauschzahl F_e eines typischen Empfängers ausgegangen. Die thermische Rauschleistung am Empfängereingang ist um F_e (in dB) höher als das thermische Rauschen N (in dBm), wobei:

$$N = 10 \log_{10}(n) \quad (\text{A-5})$$

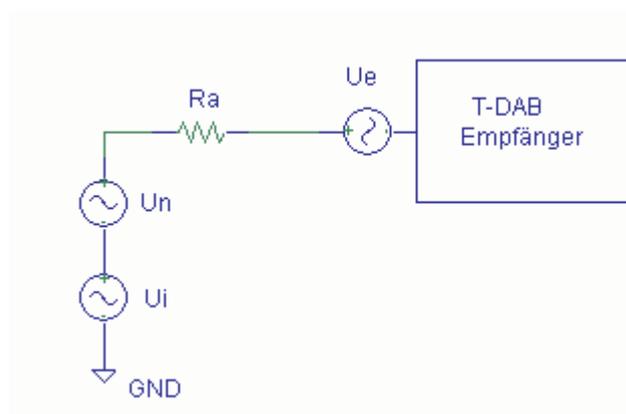


Abbildung A2 Äquivalente Schaltung eines Empfängers mit Antenne

Die Rauschleistung am Eingang eines Empfängers, wenn von der Antenne keine Man-Made-Noise-Störung i empfangen wird ist ($U_i = 0$ in **Abbildung A2**):

$$p = p_e + n \quad (\text{A-6})$$

mit:

p = Summe der Rauschleistungen in W

p_e = Rauschleistung des Empfängers in W (entsprechend der Rauschzahl des Empfängers F_e)

n = thermisches Rauschen bei Umgebungstemperatur in W (kTB)

In der äquivalenten Schaltung eines Empfängers mit Antenne in **Abbildung A2** ist U_e eine äquivalente Quelle für die Störung p_e aus dem Messempfänger, transferiert am Eingang.

Der Rauschfaktor f_e des Empfängers ist definiert als:

$$f_e = \frac{p_e + n}{n} \quad (\text{A-7})$$

Und die Rauschzahl ist:

$$F_e = 10 \log_{10}(f_e) \quad (\text{A-8})$$

Eine von der Antenne empfangene rauschähnliche Man-Made-Noise-Störung i erhöht die Störleistung am Empfängereingang um einen Faktor mmn :

$$mmn = \frac{p_e + n + i}{p_e + n} \quad (\text{A-9})$$

In dB ausgedrückt ist MMN:

$$\text{MMN} = 10 \log_{10}(mmn) \quad (\text{A-10})$$

Der Störpegel steigt also um den Faktor mmn , der auch als Funktion von f_e und f_a geschrieben werden kann:

$$mmn = 1 + \frac{i}{p_e + n} = 1 + \frac{\frac{i}{n}}{1 + \frac{p_e}{n}} \quad (\text{A-11})$$

Da aber:

$$\frac{i}{n} = f_a - 1 \quad (\text{A-12})$$

und

$$1 + \frac{p_e}{n} = f_e \quad (\text{A-13})$$

wird:

$$mmn = 1 + \frac{f_a - 1}{f_e} \quad (\text{A-14})$$

Die äquivalente Rauschzahl des Systems F_s ist nicht mehr die des Empfängers F_e , sondern ist gleich:

$$F_s = F_e + \text{MMN} \quad (\text{A-15})$$

Kennt man mmn und den Rauschfaktor des Empfängers, f_e , kann der Antennenrauschfaktor berechnet werden:

$$f_a = 1 + f_e (mmn - 1) \quad (\text{A-16})$$

oder die Antennenrauschzahl:

$$F_a = 10 \log_{10}(f_a) \quad (\text{A-17})$$

Technische Berichte des IRT

Titel der zuletzt erschienenen „blauen Berichte“

Nr./Jahr	Bericht	Autor
B 176/2001	Virtuelles Studio (Projektabschlussbericht)	Rotthaler
B 177/2002	Eigeninterferenz im Gleichwellennetz Verifikation von Prognosen durch Messungen	Schramm R.
B 178/2002	DVB-T mit Hierarchischer Modulation	Schertz Weck
B 179/2002	Inhaus-Versorgung für T-DAB und DVB-T durch Indoor-Repeater und Outdoor-Repeater (Sender mit kleiner Leistung)	Schwaiger
B 180/2003	Flachdisplays im Produktionsumfeld (1)Die Bedeutung von Leuchtdichte, Kontrast und Remissionsfaktor	Irmer
B 181/2003	Messbericht über die digitale Reportageanlage JR-2000/JB-2000	Sipek
B 182/2003	VERSCHELMUNG ODER "FEINDLICHE ÜBERNAHME" ? Trends zum Verhältnis von allgemeinem Rundfunk und individueller Information über das Internet	Mücke
B 183/2003	DAB - Inhouse-Versorgung	Schmalzer
B 184/2003	DVB-T Indoor Messungen in BerlinParameter des Übertragungskanal Sender - Empfänger	Schramm R.
B 185/2004	Flachdisplays im Produktionsumfeld (2) Akustische Störstrahlung von Flachdisplays	Irmer
B 186/2004	Qualität und Quantität von VDCP-Implementierungen von Videosevernen	Wilcke
B 187/2004	DVB-T in Gemeinschaftsantennen- (GA) und Großgemeinschaftsantennenanlagen (GGA)	Schmalzer
B 188/2004	Rundfunkempfangsstörungen durch Home-PLC-Systeme	Dinter
B 189/2004	Marktbeobachtung Display-Schnittstellen	Ortgies
B 190/2004	Farbwiedergabe von Fernseh-Flachdisplays und Projektionsgeräten	Irmer
B 191/2004	Empfindlichkeit von DAB-T-Empfängern gegenüber Impulsstörungen. Erste Messungen	Baier Schramm R.
B 192/2005	Eigenschaften von Flachdisplays: Fernseh-Bilder auf einem gemeinsamen oder mehreren einzelnen Displays	Irmer
B 193/2005	Austausch von Metadaten - Broadcast Metadata exchange Format, BMF	Ebner
B 194/2006	Farbwiedergabe in HD - Farbräume und Farbraummanagement	Gierlinger
B 195/2006	GMF4iTV: Neue Wege zur Interaktivität mit bewegten Objekten beim digitalen Fernsehen	Stoll Probst M.
B 196/2006	Weitverkehrsnetze in der Zuspierung und Verteilung - Was ändert sich mit HDTV?	Berg
B 197/2006	MIMO-OFDM. Erhöhung von Performance und spektraler Effizienz bei Wireless-Systemen. Messungen erster praktischer Realisierungen nach Draft IEEE 802.11n am Institut für Rundfunktechnik	Lipfert
B 198/2007	Abschlussbericht Projekt V-Security	Guist, Hammer, Berg



Institut für Rundfunktechnik GmbH
Floriansmühlstrasse 60
D-80939 München
Telefon +49 89 3 23 99-0
Telefax +49 89 3 23 99-351
www.irt.de

Registergericht München Eintrag Abteilung B Band 65 Nr. 5191