

# Digitaler Aspekte der Strahlungs

Mathias Pauli, Chris Weck

Das Digital Audio Broadcasting (DAB) System ist ein digitales Rundfunksystem, das im Rahmen der europäischen Forschungsinitiative EUREKA 147 Anfang der 90er Jahre entwickelt wurde. In neuerer Zeit spricht man auch einfach von Digital Radio. DAB zeichnet sich aus durch hervorragende Mobilempfangeigenschaften und die Möglichkeit Gleichwellennetze zu bilden. Die erste Version des aktuellen europäischen Standards [1] wurde 1995 fertig gestellt. DAB ist in erster Linie ein Hörfunksystem, das eine ausgezeichnete Audioqualität ähnlich der der CD ermöglicht. Auf Grund der digitalen Natur des Übertragungssystems kann DAB aber auch für viele verschiedene Datendienste verwendet werden. Im Gegensatz zum analogen Verfahren (UKW), bei denen die Tonsignale direkt in analoge Änderungen der Rundfunkfrequenz umgesetzt werden, geschieht die Kodierung bei DAB in den digitalen Informationseinheiten '0' und '1'. So entsteht ein binärer Datenstrom, der verschiedene Information beinhalten kann, wie zum Beispiel Töne, Texte, Bilder oder beliebige Daten und Software. Der traditionelle Begriff des Hörfunks lässt sich dadurch zum Multimedia-Rundfunk erweitern, wenn entsprechende Dienste ausgestrahlt werden.

# Rundfunk emission

## 1. Einleitung und Technische Grundlagen

Um die Datenmengen übertragen zu können, die bei der Digitalisierung von Audiosignalen entstehen, benutzt DAB ein standardisiertes Verfahren zur Datenreduktion. Hierbei macht sich DAB die psychoakustischen Effekte des menschlichen Gehörs zunutze. So nimmt zum Beispiel das menschliche Ohr Töne nicht wahr, die unter einer bestimmten Mindestlautstärke liegen, der so genannten **Ruhehörschwelle**. Entsprechend können diese Töne herausgefiltert und brauchen nicht übertragen zu werden. Ein weiterer psychoakustischer Effekt des menschlichen Gehörs liegt darin, dass in einem Tonsignal leisere von den lautereren Anteilen überlagert werden können und somit unter der so genannten **Mithörschwelle** liegen. Diese überlagerten Töne können ebenfalls aus dem Signal herausgefiltert werden. Beide Effekte führen zu einer erheblichen Reduzierung des zu übertragenden Datenstroms, ohne zu einem hörbaren Klangunterschied zu führen. Der Fachbegriff für dieses Verfahren nennt sich MUSICAM (**M**asking Pattern **U**niversal **S**ub-Band **I**ntegrated **C**oding and **M**ultiplexing). Es ist eingegangen in die von DAB verwendete Audiokodierung nach MPEG (Motion Pictures Expert Group) Audio Layer II. Bei diesem Audiokodierverfahren werden Abtastraten von 24 bis 48 kHz verwendet und ein komprimierter resultierender Audiodatenstrom mit Datenraten von 8 bis 384 kBit/s erzeugt.

Um die so komprimierten binären Daten für die Ausstrahlung vorzubereiten, werden sie mit einem **Feh-**



**Bild 1: Gemessenes DAB Frequenzspektrum**



**Bild 2: Resultierende Empfangsleistung eines DAB Signals**

**Fehlerschutz** versehen. Der Fehlerschutz ermöglicht es, am Empfänger die gesendete Information fehlerfrei wieder zu gewinnen, auch wenn bei der Übertragung einige Fehler aufgetreten sind. DAB verwendet einen Faltungscodes, der durch Punktieren auf verschiedene Koderaten eingestellt werden kann. Ein besonderes Merkmal des Fehlerschutzes bei DAB ist die so genannte „Unequal Error Protection“. Diese verwendet für besonders wichtige Information einen höheren und für weniger empfindliche Information einen niedrigeren Fehlerschutz. Für heutige Mobilanwendungen wird eine mittlere Koderate von ca. 0,5 eingesetzt, die eine Nutzdatenrate in einem DAB Kanal von etwa 1,2 Mbit/s ermöglicht. Eine weitere Eigenschaft von DAB ist das so genannte **Zeitinterleaving**, bei dem die Information in zeitlich verschachtelter Weise übertragen und am Empfänger wieder in die richtige Reihenfolge zusammengesetzt wird. Dadurch ist der integrierte Fehlerschutz noch besser in der Lage, kurzzeitige Empfangsstörungen zu korrigieren und einen fehlerfreien Empfang zu ermöglichen.

Die komprimierten, verschachtelten und mit Fehlerschutz versehenen Daten werden anschließend in einem OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)-Modulator auf die einzelnen bis zu 1536 Frequenzunterträger verteilt. Ein gemessenes Frequenzspektrum mit einer Gesamtbandbreite von 1,5 MHz

ist in Bild 1 dargestellt. Die breite Streuung der Daten auf das Frequenzspektrum macht die Daten unempfindlicher gegenüber schmalbandigen Störungen, da in der Regel dabei lediglich ein Teil der Information verloren gehen kann. Das ursprüngliche Signal kann mittels des eingebauten Fehlerschutzes rekonstruiert werden.

Eine Besonderheit des OFDM-Verfahrens ist es, dass es auf Grund seiner Frequenzstruktur eine große Symboldauer  $T$  ermöglicht, in der keine Änderungen an den einzelnen modulierten Frequenzen vorgenommen wird. Eine künstliche Verlängerung der Symboldauer um das so genannte Schutzintervall macht DAB robust gegen Mehrwegeempfangsstörungen und ermöglicht die Bildung von Gleichwellennetzen, die eine hohe Frequenzökonomie aufweisen.

Die bei UKW störenden Reflexionen von Signalen an Häusern und Bergen führen so bei DAB zur Verbesserung des Empfangs. Mit einem Kanalaraster von ca. 1,75 MHz arbeitet DAB in verschiedenen Frequenzbereichen im VHF-Bereich (174-230 MHz) und L-Band-Bereich (1452-1492 MHz). Um in allen Frequenzbereichen sehr gute Mobilempfangseigenschaften zu gewährleisten, sind verschiedene Modi mit unterschiedlicher Anzahl von Frequenzunterträgern definiert [1]. Da das Übertragungsverfahren OFDM nur mit einem integrierten Fehlerschutzverfahren effizient ein-



**Bild 3: Standorte der WDR 2 UKW-Sender**



**Bild 4: Standorte der DAB Sender in Nordrhein-Westfalen, die WDR 2 ausstrahlen**

gesetzt werden kann, spricht man häufig auch von kodiertem OFDM (englisch: coded OFDM = COFDM). Zur Synchronisation wird bei DAB alle 96 Symbole, das entspricht 0,1 Sekunden, ein so genanntes Nullsymbol gesendet, bei dem die Leistung verringert ist und nur eine spezielle Sendernetz-Information übertragen wird. Der zeitliche Verlauf der daraus resultierenden Empfangsleistung ist in Bild 2 zu sehen. Somit handelt es sich bei DAB um ein System mit konstanter mittlerer Leistung. Versteht man unter Pulshaltigkeit den spektralen Leistungsanteil eines Signals zwischen 1 Hz und 1 kHz bezogen auf den Effektivwert des Signals [4], der unter gesundheitlichen Aspekten von Mobilfunkgegnern häufig als kritisch angesehen wird, weist das DAB-Signal keine hohe Pulshaltigkeit auf.

Die zu übertragende Information, seien es Audioprogramme oder Datendienste werden bei DAB in so genannten Ensembles zusammen gefasst. Ein Ensemble, auch Multiplex genannt, besteht aus 5 bis 9 Radioprogrammen und zusätzlichen Datendiensten. Die Gesamtkapazität eines Ensembles ist festgelegt, wobei die zur Verfügung stehende Datenrate flexibel unter den verschiedenen Programmen und Diensten aufgeteilt werden kann. Alle Programme und Dienste eines Ensembles haben somit das gleiche Ausbreitungsgebiet, das im Hinblick auf eine beliebige Sen-

dernetzstruktur auch als **Bedeckung** bezeichnet wird. Die Bedeckung kann hierbei eine Stadt, ein Bundesland oder sogar das gesamte Bundesgebiet umfassen. Jedes Ensemble wird in einem Frequenz-Kanal übertragen, und somit können mehrere Ensembles auf unterschiedlichen Frequenzen im gleichen Gebiet ausgestrahlt werden [2].

## 2. Strahlungsemission bei Versorgung mit DAB

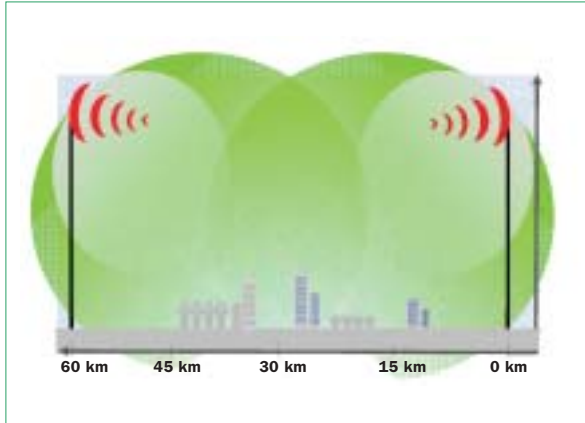
Um die Strahlungsemission von DAB bewerten zu können, ist im folgenden ein Vergleich der digitalen terrestrischen Strahlungsemission (DAB) mit der Strahlungsemission bei analoger terrestrischer Versorgung (UKW) dargestellt. Als Beispiel dient die flächendeckende Versorgung Nordrhein-Westfalens mit dem Hörfunkprogramm WDR 2, das zur Zeit sowohl auf UKW als auch mit DAB ausgestrahlt wird. Um eine flächendeckende Versorgung auf UKW sicherzustellen, sind derzeit 26 Sender mit zusammen circa 400 kW Senderleistung notwendig. Die Standorte der UKW-Sender, die das Programm WDR 2 ausstrahlen, sind in Bild 3 dargestellt. Derzeit werden 88% Prozent der Fläche und 90% der Bevölkerung Nordrhein-Westfalens mit DAB versorgt (Quelle: [www.digitalradiowest.de](http://www.digitalradiowest.de)). Dafür sind 33 Sender mit einer Gesamtleistung von circa 23 kW in Betrieb. Die Standorte der DAB-



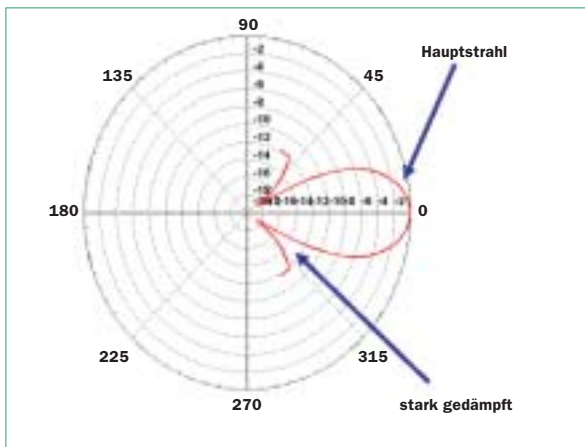
**Bild 5: Standorte der Bayern 3 UKW-Sender**



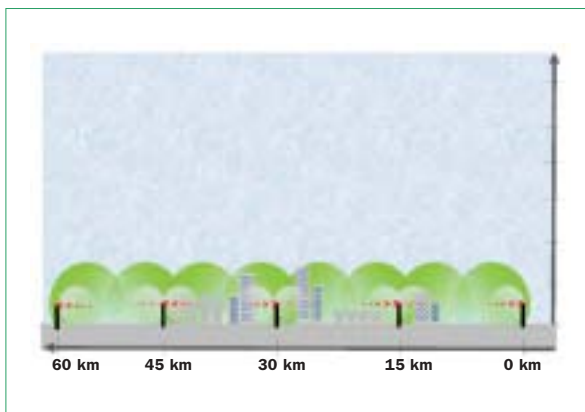
**Bild 6: Standorte der DAB Sender in Bayern, die Bayern Mobil ausstrahlen.**



**Bild 7 : Netzstruktur mit wenigen Großsendern (Makrozellenstruktur)**



**Bild 8: Typisches Vertikalantennendiagramm einer Rundfunkantenne**




**Bild 9: Netzstruktur mit vielen Sendern geringer Leistung (Mikrozellenstruktur)**

Sender sind in Bild 4 zu sehen. Sie strahlen ein Ensemble mit 9 Programmen bzw. Diensten mit unterschiedlicher Datenrate aus. Es ergibt sich eine anteilige Leistung für WDR 2 auf DAB von nur 2,5 kW. Dieses Beispiel zeigt, dass mit digitaler Rundfunkübertragungstechnik basierend auf dem effizienten COFDM-Verfahren gegenüber UKW eine deutliche Reduzierung der Strahlungsemission - in diesem Fall um den Faktor 160 - möglich ist, bei gleichzeitiger Verbesserung der Mobilempfangsqualität.

Ein Vergleich der Strahlungsemission von UKW und DAB für Bayern liefert ähnliche Resultate. Als Beispiel wird die erforderliche Sendeleistung für das UKW-Programm Bayern 3 mit dem DAB Autofahrerprogramm Bayern Mobil verglichen. Die Standorte der jeweiligen Sender sind in den Bildern 5 und 6 dargestellt. Im analogen Fall sind 36 UKW-Sender mit einer Leistung von circa 790 kW notwendig. Beim Vergleich der Bilder fällt auf, dass besonders im Alpenvorland erheblich mehr UKW- als DAB-Sender notwendig sind. Dies zeigt die Vorteile, die DAB gerade im topographisch schwierigen Gelände besitzt. Laut [www.bayerndigitalradio.de](http://www.bayerndigitalradio.de) werden bereits mehr als 92 % der Fläche Bayerns mit DAB versorgt. Dafür sind zur Zeit 37 DAB-Sender mit zusammen nur circa 30 kW Sendeleistung in Betrieb. Da auch in Bayern 9 Programme bzw. Dienste mit unterschiedlicher Datenrate im DAB-Ensemble ausgestrahlt werden, ergibt sich ein Leistungsbedarf für Bayern Mobil von nur 4 kW. Somit ist es auch in diesem Beispiel möglich, bei gleichzeitiger Verbesserung der Mobilempfangsqualität, die Strahlungsemission deutlich zu reduzieren und zwar in diesem Fall gegenüber UKW um den Faktor 190.

### 3. Vergleich der Sendernetzstrukturen von Rundfunk und Mobilfunk

Die Struktur von Rundfunknetzen zeichnet sich dadurch aus, dass wenige Sender mit relativ großer Leistung betrieben werden, um eine flächendeckende Versorgung sicherzustellen (Bild 7). Da diese Sender eine große Reichweite besitzen, spricht man auch von einer **Makrozellenstruktur**. Um die Strahlungsexposition für die Bevölkerung möglichst gering zu halten, werden Sendeantennen mit einem Vertikaldiagramm



gramm verwendet und in großer Höhe aufgestellt (zum Beispiel 300 m). Ein typisches Diagramm ist in Bild 8 dargestellt. Das Vertikaldiagramm einer Antenne gibt die Dämpfung einer Antenne in Abhängigkeit vom Elevationswinkel (Vertikalwinkel) an. Man erkennt aus Bild 8, dass die Antenne eine starke Dämpfung in Richtung Boden besitzt und somit die Strahlungsexposition im Bereich des Senderstandortes deutlich vermindert wird. Zu den wenigen leistungsstarken Großsendern, kommen noch so genannte Füllsender, die mit kleinerer Leistung betrieben werden. Diese werden für die Versorgung von Teilgebieten eingesetzt, die beispielsweise auf Grund der Topologie nicht von den Großsendern versorgt werden können. Da jedem Sender die zu übertragende Information zugeführt werden muss, bedeutet eine Sendernetzstruktur mit wenigen Sendern eine einfachere und damit kostengünstigere Zuführungsnetzstruktur.

Im Gegensatz zum Rundfunk werden im Mobilfunk viele Sender (Basisstationen) verwendet, die mit geringer Leistung betrieben werden. Da diese Sender eine wesentlich kleinere Reichweite haben, spricht man von einer **Mikrozellenstruktur** (Bild 9). Mobilfunksysteme ermöglichen bidirektionale Kommunikation, das bedeutet, dass nicht nur die Basisstationen, sondern auch die Mobilstationen Information senden. Da Mobilstationen Batterie betrieben sind, ist eine möglichst kurze Distanz zwischen Mobil- und Basisstation wichtig, damit Mobilstationen mit geringer Sendeleistung operieren können und somit eine lange Batterielaufzeit besitzen. Auch wird so die Strahlungsexposition des Teilnehmers durch die Mobilstation geringer gehalten. Weiterhin ist in der Regel die zu übertragende Information für jeden Teilnehmer unterschiedlich. Somit erhöht sich mit der Anzahl der Basisstationen die Kapazität des Netzes, da mehr Teilnehmer gleichzeitig unterschiedliche Information übertragen bzw. empfangen können. Der Mobilfunk ist somit wegen der notwendigen kurzen Distanz zwischen Mobil- und Basisstation und wegen der benötigten Kapazität auf eine Mikrozellenstruktur angewiesen.

Im Gegensatz dazu findet in einem Rundfunksystem unidirektionale Kommunikation statt, das heißt, die

Information wird von den Sendern ausgestrahlt und alle Teilnehmer empfangen diese gleichzeitig mit ihrem Endgerät. Weiterhin sollen alle Teilnehmer innerhalb eines Sendegebietes das gleiche Programm empfangen können. Aus diesem Grund kann ein Rundfunknetz als Makrozellenetz aufgebaut sein. Prinzipiell könnte man ein Rundfunknetz auch als Mikrozellenetz gestalten. Für eine flächendeckende Versorgung müssten dann sehr viel mehr Sender mit einem aufwendigeren Zuführungsnetz installiert werden. Dies bedingt, dass nicht mehr genügend exponierte und verfügbare hohe Senderstandorte zur Verfügung stünden und niedrigere Standorte nahe oder in Wohngebieten gefunden werden müssten, was in der heutigen Zeit zunehmend schwieriger wird. Auch kann die Hauptstrahlrichtung der Antenne bei niedrigen Senderstandorten in Richtung der Bebauung zeigen. Dies führt dazu, dass trotz geringerer Sendeleistung die Strahlungsexposition bei einem Mikrozellenetz einen größeren Anteil der Bevölkerung betrifft als bei einem Makrozellenetz. Somit überwiegen die Nachteile einer Mikrozellenstruktur für Rundfunkanwendungen und die Makrozellenstruktur erweist sich hier als die vorteilhaftere.

#### 4. Stand der Einführung

Der Aufbau des DAB Sendernetzes ist in Deutschland schon weit fortgeschritten. So umfasst derzeit der Auf- und Ausbau der technischen Infrastruktur bereits 80 % der Bevölkerung. Ein aktueller Stand der Verbreitung und der gesendeten Programme findet sich auf der Homepage [www.digitalradio.de](http://www.digitalradio.de). Eine weltweite Übersicht wird auf [www.worldDAB.org](http://www.worldDAB.org) geboten. Bis jetzt sind aber nur wenige Empfänger (ca. 80.000, Quelle: [www.lvn.parlanet.de](http://www.lvn.parlanet.de)) in Deutschland verkauft worden. Dies liegt zum einen Teil an den immer noch relativ hohen Endgerätepreisen, aber auch an der mangelnden Kenntnis des Verbrauchers über die hervorragende Empfangsqualität beim mobilen Empfang. Auch befinden sich DAB Radios derzeit standardmäßig noch nicht in der Erstausrüstung von Neuwagen. Der Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie (ZVEI) schätzt, dass derzeit etwa 10.000 PKW mit einem DAB Endgerät ausgestattet sind. Allerdings

bieten erste Hersteller DAB Radios schon als Option an. Alles rund um das digitale Radio DAB, seien es neue Programmangebote oder neue Endgeräte, kann auf [www.rein-hoeren.de](http://www.rein-hoeren.de) nach gelesen werden.

Einen positiven Schub könnte die Einführung von DAB in Deutschland durch die Entwicklung in Großbritannien bekommen. Dort sind bereits mehr als 400.000 Endgeräte verkauft und es wird erwartet, dass diese Zahl auf eine Million bis zum Jahresende 2004 anwächst. Durch attraktive Programme, die nur über DAB zu empfangen sind, ist es dort gelungen, großes Interesse bei den Radiohörern zu wecken. Einher geht dieses gesteigerte Interesse mit fallenden Endgerätpreisen. So ist eine Vielzahl von verschiedenen DAB Geräten verfügbar, die preiswertesten bereits für unter 150 Euro.

## 5. Schlussfolgerung

DAB ist ein effizientes digitales Rundfunksystem, das einen hervorragenden Mobilempfang sogar im hügeligen Gebiet ermöglicht. Durch die Fähigkeit Gleichwellennetze zu bilden, wird DAB zudem zu einem hochfrequenzökonomischen System. Diesen Mehrwert bietet DAB mit einem Bruchteil der ausgestrahlten Sendeleistung, das heißt mit einer für die gezeigten Beispiele um den Faktor 160 bis 190 gegenüber UKW verringerten Strahlungsemission. DAB könnte daher mehr als nur ein Ersatz für das herkömmliche UKW Radio sein.

## 6. Literatur

- **ETS EN 300401**, Radio Broadcasting Systems; Digital Audio Broadcasting (DAB) to mobile, portable and fixed receivers, V1.3.3, 2001.
- **Günter Schneeberger**, Datendienste mit DAB, DAB-Plattform, 1996.
- **Wolfgang Hoeg und Thomas Lauterbach**, Digital Audio Broadcasting Principles and Applications, Wiley, 2. Auflage, 2003.
- **Bundesministerium für Bildung und Forschung**, Mobilkommunikation und Rundfunk der Zukunft, [http://www.pt-dlr.de/PT-DLR/kt/miniwatt\\_broschuere.pdf](http://www.pt-dlr.de/PT-DLR/kt/miniwatt_broschuere.pdf), Köln 2004.

*Dr. Mathias Pauli und Dr. Chris Weck arbeiten am Institut für Rundfunktechnik in München.*

# Blutuntersu Dich

Alexander Lerchl

**Das Ziel dieses kurzen Beitrags ist es, das Blut, dessen Bestandteile und Aufgaben zu beschreiben, die Diagnosen und Methoden zu beleuchten, mit denen Blutwerte erhoben werden, und Kriterien und mögliche Schwachpunkte von Analysen aufzuzeigen. Es kann dagegen nicht Ziel sein, eine vollständige Übersicht über die Literatur oder eine komplette Diskussion der Pathophysiologie einzelner Blutbestandteile zu geben.**

