



## Einblicke in die Frequenzkoordination von Wireless Multi-Channel Audio Systems (WMAS) und drahtlosen Schmalbandsystemen

Von Dr. Andreas Wilzeck



*Dr. Andreas Wilzeck ist Leiter Frequenzpolitik und Standardisierung bei der Sennheiser electronic GmbH & Co. KG. Er promovierte in drahtloser Kommunikationstechnik an der Fakultät für Elektrotechnik und Informatik der Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover. Wilzeck ist seit mehr als 10 Jahren in der Standardisierung und Regulierung von Drahtlossystemen tätig – u. a. in Gremien der ETSI, 3GPP, CEPT und ITU-R.*

### Einführung

Das Funkspektrum für drahtlose Mikrofone und drahtlose In-Ear-Monitorsysteme (IEM) ist grundsätzlich eine gemeinsam genutzte Ressource. Professionelle Audioanwendungen teilen sich dasselbe Spektrum mit verschiedenen anderen Funkdiensten und Nutzungen, wie zum Beispiel dem Rundfunk, der Radioastronomie und dem Militär. Das professionellen drahtlosen Mikrofon- und Monitorsystemen zur Verfügung stehende TV-UHF-Spektrum kann je nach Standort erheblich variieren, je nachdem, welche Rundfunksender und welche anderen Anwendungen vor Ort aktiv sind. Während die (gemeinsame) Nutzung des Frequenzspektrums von den nationalen Regulierungsbehörden festgelegt und überwacht wird, erfolgt die Koordinierung von Funkfrequenzen für eine Veranstaltung oder für eine Spielstätte vor Ort. Das liegt im gemeinsamen Interesse aller Nutzer\*innen drahtloser Geräte, die sich auf einen störungsfreien Betrieb ihres Equipments verlassen müssen.

Üblicherweise übernimmt eine Fachkraft, manchmal mit Unterstützung eines Teams, die Aufgabe der Frequenzkoordinierung von den Ausrichtenden einer Veranstaltung oder der Leitung eines Theaters. Diese Fachkraft, in der Regel als „Frequenzkoordinator\*in“ oder HF-Manager\*in bezeichnet, ist die zentrale Person in allen Frequenzfragen, die eine Veranstaltung oder eine Spielstätte betreffen. Ihre Aufgabe ist es, sich um alle frequenzbezogenen Angelegenheiten zu kümmern, sie zu kommunizieren und zu überwachen. Für die Frequenzkoordinierung werden Anfragen von allen Nutzern gesammelt, die zu nutzenden Frequenzen geplant und berechnet sowie den Nutzern zugewiesen. Der\*die Frequenzkoordinator\*in überwacht Störpegel, kümmert sich um Störer und ist generell für die Problembehebung und Überwachung aller genutzten Frequenzen vor und während einer Veranstaltung verantwortlich.

Die Frequenzkoordinierung arbeitet Hand in Hand mit der Tontechnik, die sich um alle Audiobelange kümmert. Die Tontechnik zeichnet bei Konzerten, Firmenveranstaltungen, Theater- und Sportereignissen für den Live-Sound verantwortlich, das schließt das Setup, den Soundcheck, den Monitormix und den Front-of-House-Mix einschließlich Effekte ein.

In diesem Zusammenhang sei erwähnt, dass Veranstaltungen generell immer größer und komplexer werden, das verfügbare Funkspektrum für drahtlose Mikrofone und In-Ear-Monitorsysteme aufgrund von regulatorischen Entscheidungen aber schrumpft. Frequenzkoordinator\*innen sehen sich heute einer deutlich



größeren Nachfrage gegenüber, während gleichzeitig weniger Frequenzressourcen zur Verfügung stehen und mehr Störungen aus benachbarten Bändern auftreten können. So kann der zellulare Mobilfunk in benachbarten Frequenzbereichen sehr dicht an koordinierten Funkmikrofon- und IEM-Verbindungen liegen, sowohl was räumliche Entfernung als auch Frequenztrennung angeht.

Im Vergleich zu einem Open-Air-Festival ist die Frequenzplanung für eine Indoor-Nutzung – zum Beispiel in Theatern, Rundfunkhäusern oder Musikclubs – um einiges einfacher, da das Gebäude selbst einen gewissen Schutz bietet und Funkfrequenzen von außen dämpft. Die HF-Umgebung ist kontrollierbarer als im Freien. Wenn man beispielsweise Frequenzen für ein Rundfunkstudio koordiniert, geht es um eine stabile Frequenzplanung für die verschiedenen Studios und die damit verbundenen drahtlosen Anwendungen. Bei Festivals oder Events kommen dagegen viele verschiedene Nutzer zusammen, die durchaus unterschiedliche Interessen haben können.

In beiden Szenarien muss sich die Frequenzkoordinierung um Intermodulationsprodukte und Störungen kümmern, die von anderen Nutzungen oder von anderen für die Produktion wichtigen Geräten ausgehen, beispielsweise von Videosignalwandlern oder der Video-/Licht-Signalverteilung (Splitter und Combiner).

### **Der Ausgangspunkt: Schrumpfende Frequenz-Ressourcen sind ein erheblicher Störfaktor für große Events und Installationen**

In der Europäischen Union sind die potenziell verfügbaren Ressourcen im TV-UHF-Band unter 1 GHz aufgrund der digitalen Dividenden I und II von 392 MHz auf 233 MHz geschrumpft, inklusive der Duplexlücke im 800-MHz-Band. Für professionelle drahtlose Audiogeräte verbleiben also nur 59,4 % der Ressourcen. Dieser Prozentsatz ist in Wirklichkeit sogar geringer, da alle im 700- und 800-MHz-Bereich angesiedelten Rundfunkstationen ebenfalls in den Bereich 470–694 MHz migriert wurden und als Folge viel enger gepackt sind. Was an TV-UHF-Spektrum zur Verfügung steht, ist von Ort zu Ort sehr unterschiedlich; besonders in der Nähe von Landesgrenzen sind nur sehr wenige TV-Kanäle frei. Es besteht die Gefahr, dass die knappen TV-UHF-Ressourcen durch nationale Regulierungsentscheidungen nach der World Radio Conference 2023 (WRC-23) weiter reduziert werden.

In den USA bleibt nur der Frequenzbereich zwischen 470 und 608 MHz, also nur 138 MHz Bandbreite. Daher gibt es in einigen großen Städten keinen freien Fernsehkanal für professionelles, drahtloses Audio-Equipment mehr. Für Großveranstaltungen und Mega-Events gewährt die FCC darum Ausrichtenden von Veranstaltungen so genannte „Special Temporary Authority“, also eine zeitlich begrenzte Sondergenehmigung, damit sie ihre Geräte in „Frequenzbändern der Vergangenheit“ betreiben können, die noch nicht vom zellularen Mobilfunk genutzt werden.

Die Einführung digitaler Funkmikrofone hat die Lage nur begrenzt verbessert. Diese Mikrofonsysteme ermöglichen durch die äquidistante Platzierung der Sendefrequenzen zwar eine einfachere Frequenzplanung und eine dichtere Belegung des Spektrums, aber eine echte Lösung zur Bewältigung der wachsenden Frequenz-Nachfrage und der steigenden Komplexität von Veranstaltungen und Produktionen fehlt noch.

Insgesamt erfordert die steigende Nachfrage nach Funkfrequenzen weitere Effizienzsteigerungen, zusätzliche geeignete Frequenzbereiche und eine stärkere Koordinierung, insbesondere bei Großveranstaltungen und Mega-Events.



## WMAS – der „Game Changer“ für professionelle drahtlose Audioanwendungen bei Großveranstaltungen, Mega-Events und Installationen

Mit seiner Umsetzung von Wireless Multi-Channel Audio Systems (WMAS) denkt Sennheiser die drahtlose Audioübertragung für Multikanal-Szenarien neu, ganz gleich, ob es um große Live-Events, Theater oder Rundfunkstudios geht. WMAS ist im Wesentlichen eine bidirektionale drahtlose Breitbandtechnologie, die Mikrofone, In-Ears und Fernsteuerung in einem einzigen HF-Breitbandkanal vereint. Dies bringt erhebliche Effizienzsteigerungen bei der Frequenznutzung mit sich – nicht nur durch die Technologie selbst, sondern auch durch die Verbesserungen im Workflow, die damit möglich werden.

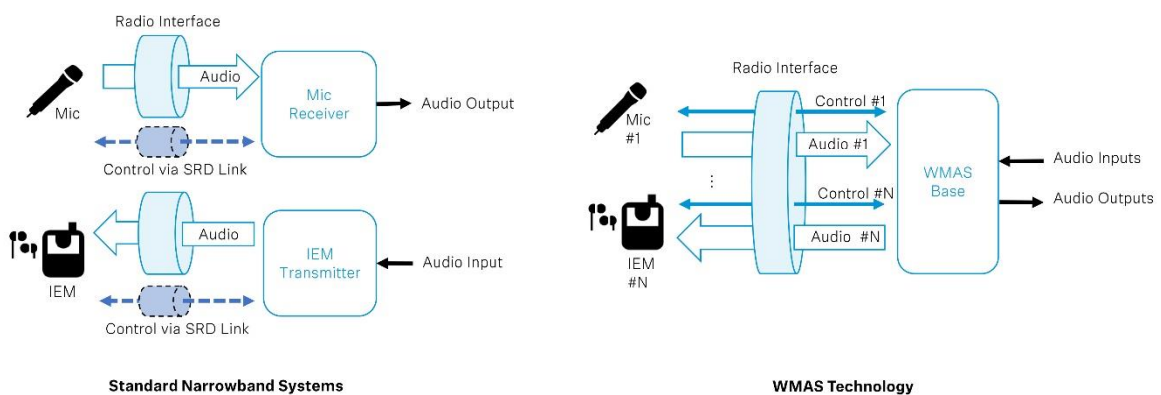


Abb. 1: Signal- und Steuerflüsse bei Schmalbandsystemen (links) und mit WMAS-Technologie (rechts)

Sennheisers Umsetzung der WMAS-Funktechnologie basiert auf der orthogonalen Frequenzteilungsmodulation (OFDM), dem Zeitduplexverfahren (Time Division Duplex, TDD) und dem Zeitmultiplexverfahren (Time Division Multiple Access, TDMA).

Als digitale Übertragungstechnik wird OFDM in Kombination mit einer Kanalcodierung eingesetzt, wodurch sich die Frequenzdiversität des drahtlosen HF-Kanals vollständig nutzen lässt. Je mehr Diversität genutzt werden kann, desto zuverlässiger wird die Übertragung, ganz gleich, ob sie in Räumen oder im Freien stattfindet.

TDD ermöglicht eine bidirektionale Übertragung, indem ein bestimmter Zeitraum für den Empfang und ein anderer für die Übertragung vorgesehen wird. Die Dauer der beiden Zeiträume lässt sich frei wählen, was bedeutet, dass die Tontechnik alle mobilen WMAS-Geräte zu Mikrofonen, zu IEMs oder zu einer Kombination aus beidem machen kann.

TDMA teilt diese Sende- und Empfangszeiten in dedizierte Zeitslots auf. Einem WMAS-Gerät können ein oder mehrere Zeitslots zugeordnet sein. Diese dedizierten Zeitslots sind sozusagen die grundlegende Ressource für WMAS, während es bei Schmalband-Übertragungsstrecken die dedizierten Frequenzen sind. Jedes WMAS-Gerät spricht (sendet) nur in seinen dedizierten Zeitslots und bleibt während der anderen Zeitslots stumm. Jedes Gerät weiß, wann es zuhören (empfangen) muss. Es sendet immer nur ein WMAS-Gerät, sodass jedes Gerät die volle HF-Kanalbandbreite für sich alleine hat, wenn auch nur für kurze Zeit.

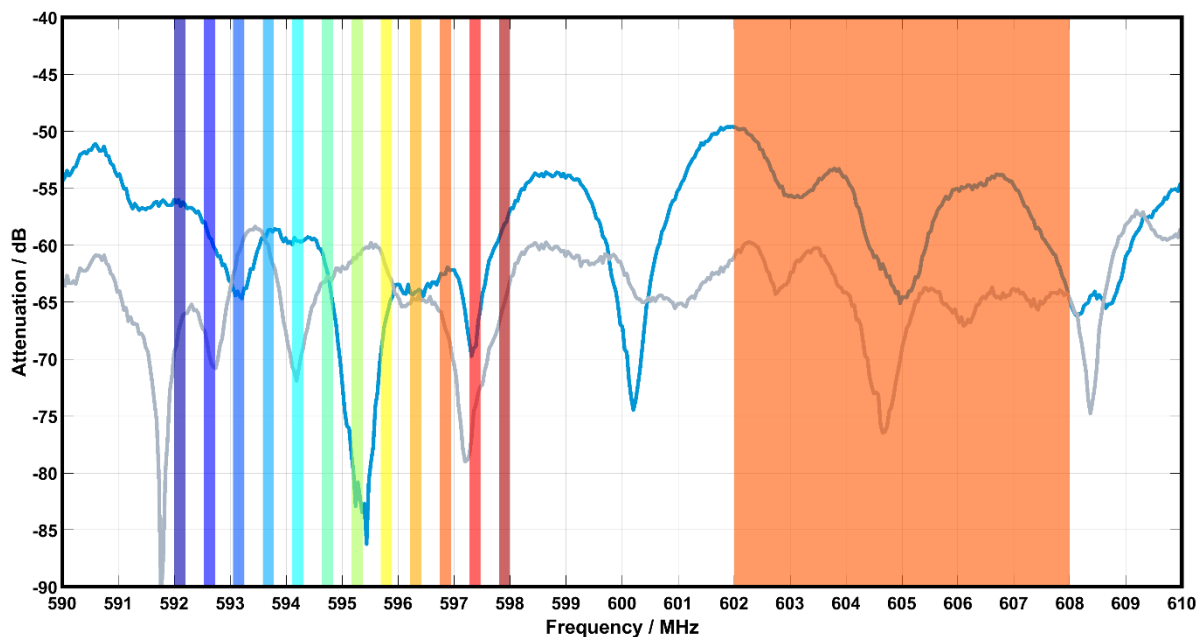


Was die Frequenzkoordinierung angeht, so wird ein WMAS-System dieselben Frequenzen nutzen wie die heutigen Schmalbandsysteme. Ein großer Unterschied: IEMs und Mikrofone, die heute auf zwei mehrere MHz auseinander liegende HF-Bereiche aufgeteilt sind, können dann gemeinsam in einem einzigen TV-Kanal arbeiten und damit auch in ein Bodypack integriert werden. Außerdem wird nur eine Antenne benötigt.

Anstelle der heute üblichen Raumdiversität mit zwei Antennen wird WMAS mit dieser einzigen Antenne eine 30-fache Diversität in einem 6-MHz-TV-Kanal bzw. 40-fache Diversität in einem 8-MHz-TV-Kanal erzielen. Dieser Diversitätsgewinn steht allen Empfangsgeräten zur Verfügung, sodass auch kombinierte, bidirektionale Bodypacks mit latenzarmem, echtem digitalen In-Ear-Monitoring davon profitieren werden.

Der Einsatz von mehreren Antennen bleibt möglich, aber aus ganz anderen Gründen, nämlich Redundanz, Erhöhung der Reichweite und Nutzung weiterer Frequenzbänder – WMAS wird es in verschiedenen Versionen für den Betrieb im TV-UHF-Spektrum und im Bereich 1350 MHz bis 1525 MHz geben.

Das System arbeitet mit einer Gesamtsendeleistung von bis zu 50 mW – im Prinzip also mit der Leistung eines einzigen Schmalbandmikrofons heute –, die über einen 6 MHz oder 8 MHz breiten HF-Kanal verteilt ist. Innerhalb der Kapazitätsgrenzen des Systems wird sich dessen Gesamtsendeleistung also nicht mehr mit der Anzahl der verwendeten Geräte aufaddieren.



*Abb. 2: Während bei der Schmalbandübertragung (links) die einzelnen Übertragungsfrequenzen die grundlegende Ressource sind, verwendet WMAS für jedes Gerät dedizierte Zeitslots (rechts: ein WMAS-Gerät nutzt die volle HF-Bandbreite)*

Eine umfangreiche Frequenzplanung ist nicht erforderlich, es muss lediglich ein einziger HF-Kanal innerhalb eines TV-UHF-Kanals ausgewählt werden. Innerhalb dieser 6 oder 8 MHz kann die Tontechnik dann 16, 32 oder sogar mehr Audiokanäle in beliebiger Richtung einrichten. Der\*die Frequenzkoordinator\*in weist der



Tontechnik für das WMAS-System einen 6 oder 8 MHz großen Block mit einer Mittenfrequenz zu und legt ebenfalls den optimalen Standort der Antenne fest (bzw. der Antennen, falls die Reichweite erhöht werden soll).

Innerhalb des WMAS kann die Tontechnik dann flexibel die Audioqualität, Latenz, Reichweite und Ressourcenbelegung für jede einzelne Audioübertragung von und zu den beteiligten Geräten auswählen. Die diesen Geräten zugewiesenen Audioressourcen können je nach Bedarf geändert und neu vergeben werden. Eine einzige Basisstation kann 64 Audiokanäle (32 Eingänge und 32 Ausgänge als Schnittstellen) in einem 19-Zoll-/1HE-Rack verarbeiten.

WMAS liefert dabei hochwertigen digitalen Ton und erleichtert die Frequenzkoordinierung erheblich.

### **Koexistenz von Schmalbandtechnik und WMAS – mehr Details zur WMAS-Technologie**

Schmalbandsysteme und Breitband-WMAS werden in der Praxis koexistieren; dabei wird WMAS die gleichen Frequenzen nutzen, auf denen die heutigen Schmalbandsysteme arbeiten. In der Funktechnik beschreibt der Begriff Koexistenz den Betrieb verschiedener Geräte, Technologien und Anwendungen in einem Frequenzbereich, ohne den Betrieb der anderen zu beeinträchtigen. Die Frequenzkoordinierung organisiert das Nebeneinander an einem festen oder temporären Ort. Bei der Koordinierung von Schmalbandlösungen und WMAS bleiben alle etablierten Methoden für die Frequenzplanung bestehen, doch WMAS wird die Koordinierung erleichtern und beschleunigen.

Bestimmte Eigenschaften der WMAS-Technologie erleichtern diese Koexistenz, vor allem die Bidirektionalität. Schauen wir uns das genauer an.

Gemäß ETSI TR 103 450 besteht ein WMAS aus einer WMAS-Basisstation und mobilen WMAS-Geräten, beispielsweise einem Handheld, einem Bodypack oder Geräten mit einem beliebigen anderen Formfaktor.

Bei der WMAS-Technologie müssen alle Geräte Transceiver sein, da sie in der Lage sein müssen, Steuerinformationen zu senden und zu empfangen, um das gesamte System zu organisieren und zu synchronisieren. Ein WMAS-Gerät kann ein Audiosender, ein Audioempfänger oder beides in einem sein. Das Senden und Empfangen von Audio kann auf einem oder mehreren Audiokanälen stattfinden. Ein WMAS-Gerät kann als Audiosender und als Zweikanal-Audioempfänger verwendet werden, muss aber nicht notwendigerweise beide Funktionen ausüben – es hängt ganz davon ab, wie die Tontechnik das Gerät konfiguriert hat.

Eine WMAS-Basisstation ist in der Lage, das HF-Spektrum zu scannen, sodass die Tontechnik sehen kann, was gerade „auf Sendung“ ist, ohne dass dafür zusätzliche Geräte benötigt werden. Die von der Frequenzkoordinierung zugewiesene einzelne WMAS-Trägerfrequenz wird ausgewählt und die HF eingeschaltet.

WMAS-Geräte müssen vor der Übertragung mit einer WMAS-Basisstation gepairt, verbunden und konfiguriert werden. Das Risiko, unabsichtlich auf einer alten oder voreingestellten Funkfrequenz zu senden, besteht nicht mehr.

Ein WMAS-Gerät, das die Verbindung zur WMAS-Basisstation verliert, hört nach einer bestimmten Zeit auf zu senden und versucht, die Verbindung wiederherzustellen. Dadurch wird die Gefahr von Störungen durch unbeabsichtigt eingeschaltete Sender vermieden, beispielsweise wenn Künstler\*innen den Veranstaltungsort erkunden, mit anderen plaudern oder einem dringenden Bedürfnis nachgehen.



Die geringe spektrale Leistungsdichte und geringe Sendeleistung eines WMAS-Systems sind der Schlüssel für eine gute Koexistenz und machen WMAS in einem dicht besiedelten Funkspektrum zu einem „guten Nachbarn“. WMAS reduziert die erforderlichen Trennabstände und ermöglicht eine viel dichtere Belegung des Spektrums, beispielsweise bei Festivals mit mehreren Bühnen sowie für Installationen in Spielstätten und Studios. Die erneute Nutzung von Frequenzen erfordert weiterhin einen gewissen Planungsaufwand, aber die einstellbare Sendeleistung erleichtert eine fortschrittliche Standort- und Frequenzplanung.

Wenn Nutzer den koordinierten Frequenzplan nicht einhalten, kann es dazu kommen, dass Schmalband und WMAS im gleichen Kanal betrieben werden. Schauen wir uns dieses Szenario genauer an. Ein 200-kHz-Schmalbandempfänger empfängt nur einen kleinen Bruchteil der WMAS-Sendeleistung (1/30 oder 1/40, je nachdem, ob der TV-Kanal 6 oder 8 MHz breit ist). Auf der anderen Seite würde ein 200-kHz-Schmalbandsender seine volle Sendeleistung in die Empfängerbandbreite eines WMAS-Gerätes abstrahlen.

Nehmen wir an, ein Schmalbandmikrofon sendet versehentlich mit 50 mW/200 kHz in einem WMAS-Kanal von 8 MHz. Der Schmalband-Empfänger wird in seiner Empfängerbandbreite von 200 kHz einer Störleistung von weniger als 1,25 mW ausgesetzt (ohne Berücksichtigung der Ausbreitungsverluste). Ein 8-MHz-WMAS-Empfänger empfängt hingegen einen Störpegel von 50 mW (Ausbreitungsverluste werden wieder vernachlässigt). Um es nochmals zu betonen: Wir betrachten ein einzelnes Schmalband-Mikrofon, das im gleichen Kanal wie ein Mehrkanal-Audiosystem arbeitet, welches 16, 32 oder sogar mehr Kanäle haben kann.

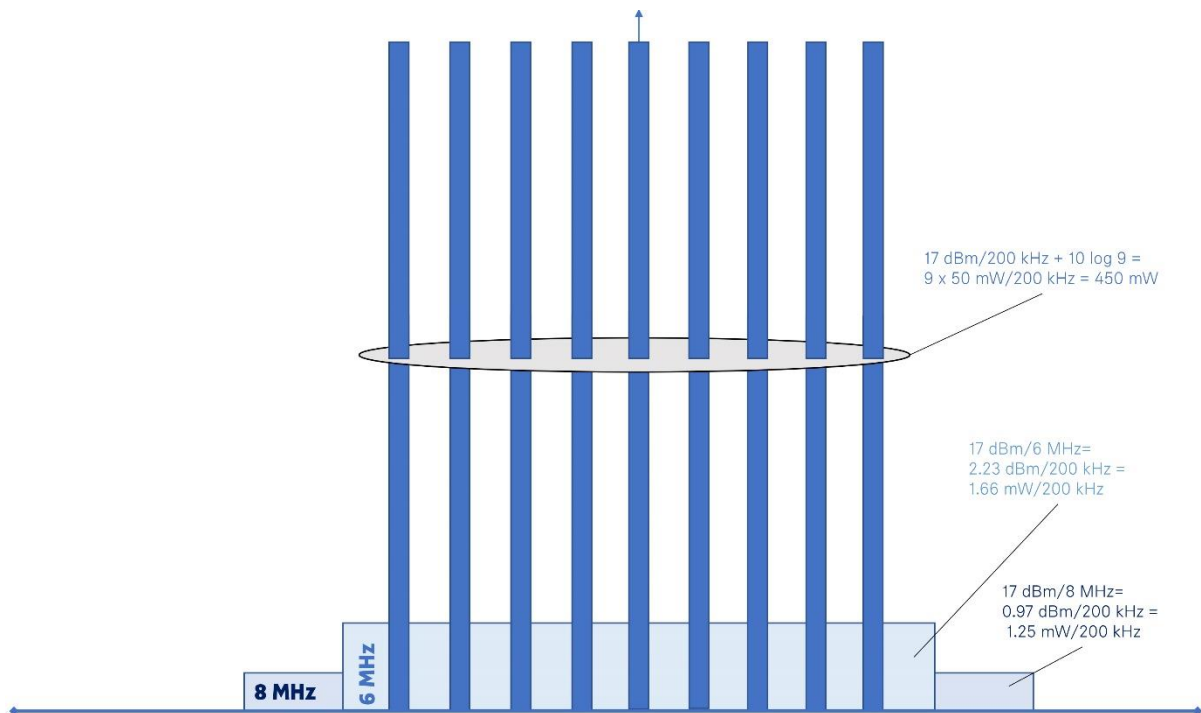


Abb. 3 Abgestrahlte Leistung von Schmalbandsendern (dunkelblau) im Vergleich zu WMAS (hellblau)

Wie immer bei der digitalen Übertragung bestimmt in beiden Fällen das Verhältnis zwischen Empfangssignal und Rauschen, ob sich die Störung schädlich auswirkt oder nicht. Mit dem gut durchdachten Systemdesign, der



Nutzung der Frequenzdiversität und der fortschrittlichen Signalverarbeitung ist eine WMAS-Lösung so robust, dass sie den Betrieb auch dann fortzusetzen vermag, wenn solche Schmalband-Störer in ihrer Nähe auftreten.

Obwohl empfohlen wird, denselben Schutzabstand wie bei Schmalbandsystemen einzuhalten, hat sich das WMAS-System bei einem [Praxistest](#) in den Räumlichkeiten der Sennheiser electronic als außerordentlich robust erwiesen. Hier wurde das System direkt zwischen einem TV-Kanal mit analogen IEM-Strecken und einem TV-Kanal mit mehreren digitalen Mikrofonstrecken betrieben.

Bei der WMAS-Lösung von Sennheiser trägt jedes WMAS-Gerät (Handheld, Bodypack oder Antenne) während des Betriebs zu einer verteilten Störer-Erkennung bei, sodass der Tontechnik der Störpegel jedes einzelnen Gerätes immer bekannt ist. Die Situation kann genau beobachtet und auf dieser Grundlage fundierte Entscheidungen getroffen werden. Genau wie heute wird es in erster Linie darum gehen, die Störquelle zu suchen und abzuschalten. Sollte das nicht möglich sein, kann gegebenenfalls auf einen anderen Breitbandkanal ausgewichen werden. Dies würde nur zu einer relativ kurzen Unterbrechung führen, da alle Geräte von der Basisstation gesteuert werden.