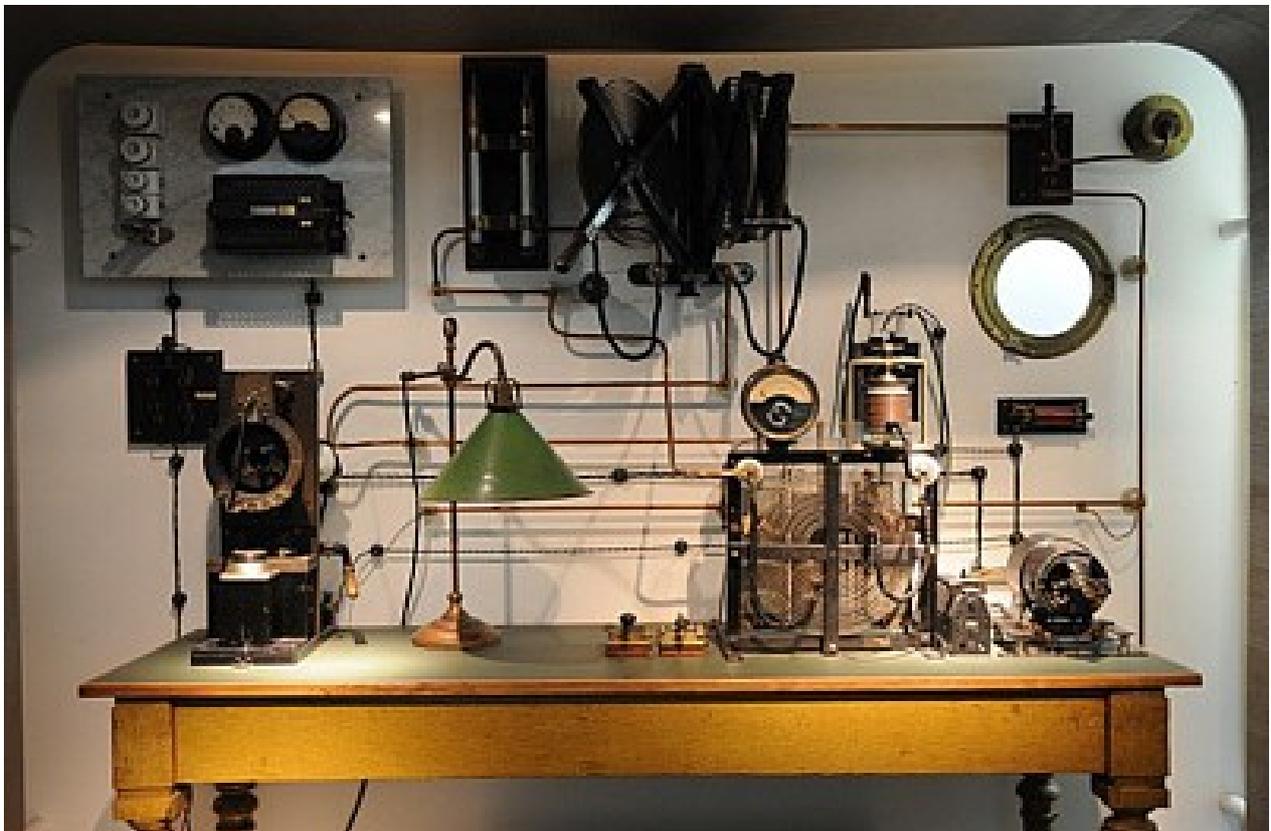


Geschichte drathlos Mikrofone

Die Existenz von Radiowellen wurde 1864 von James Clerk Maxwell auf Grund theoretischer Überlegungen vorhergesagt und 1888 von Heinrich Hertz experimentell bestätigt. Der Name „Funk“ geht auf den Begriff *Funke* zurück. Die ersten Sender arbeiteten mit Funkenstrecken - durch die starken, oberwellenreichen Strom- und Spannungsimpulse entstanden hierbei auch die gewünschten Funkwellen. Die erste Funkverbindung gelang Guglielmo Marconi 1896 mit einem Knallfunksender und dem Nachbau eines Empfängers von Alexander Stepanowitsch Popow über eine Entfernung von etwa 5 km. Diese Pioniere der Funktechnik gelten heute als die ersten Funkamateure.

Diese primitive und heute unerwünschte Erzeugung von Funkwellen erlaubte nur Nachrichtenübermittlung durch Morsezeichen, beispielsweise von der Großfunkstelle Nauen zu den Schiffen der kaiserlichen Marine. Erst nach der Entdeckung der Oszillatorschaltungen mit konstanter Ausgangsleistung im Jahr 1913 konnten weitere Modulationsarten entwickelt werden, die die Übertragung von Ton, Bild und später auch Daten ermöglichten.



WMS 300

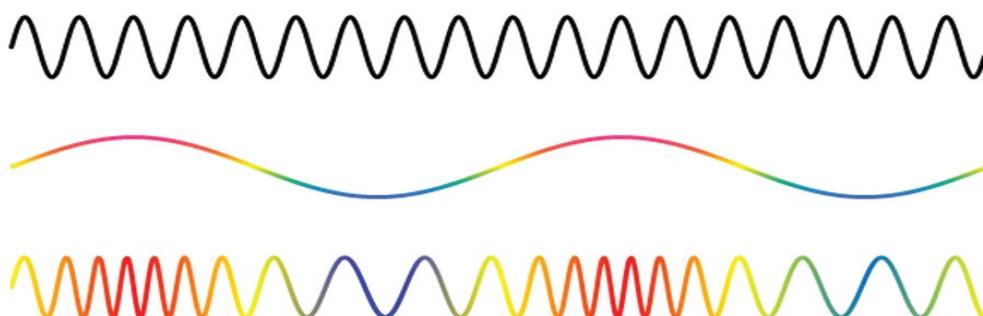
1996 brachte AKG sein erstes UHF-Drahtlos-Mikrofonsystem WMS 300 auf den Markt. Dieses UHF-Mehrkanalsystem überzeugte die Fachwelt nicht nur durch seinen Klang, sondern auch durch das revolutionäre Modulsystem mit wechselbaren Kapseln sowie dem umfangreichen Zubehör.



Funktionsprinzip

Frequenzmodulation

Die Frequenzmodulation (FM) ist ein Modulationsverfahren, bei dem die Trägerfrequenz (hochfrequentes Signal) durch das zu übertragende Signal (niederfrequentes Signal) verändert wird. Dabei wird an das niederfrequente Audiosignal (NF) eine hochfrequente Sinus-Trägerschwingung angelegt (HF), die nun im Takt des NF-Pegels zu schwingen beginnt. Pegeländerungen (Lautstärkeschwankungen) des NF-Signals erzeugen somit Frequenzänderungen der HF-Trägerschwingung (Sendefrequenz), diese Technik wird „Modulationshub“ bezeichnet.



Die Frequenzmodulation ermöglicht gegenüber der Amplitudenmodulation einen höheren Dynamikumfang des Informationssignals. Weiterhin ist sie weniger anfällig gegenüber Störungen. Die Frequenzmodulation ist eine Winkelmodulation und verwandt mit der Phasenmodulation.

Ein frequenzmoduliertes Signal kann im einfachsten Fall mit Hilfe eines Oszillators erzeugt werden, dessen frequenzbestimmender Schwingkreis ein spannungsabhängiges Element, typischerweise eine Kapazitätsdiode enthält, an welche das Modulationssignal als Signalspannung angelegt wird. Die Diode ändert ihre Kapazität durch diese Spannung und der Schwingkreis damit seine Resonanzfrequenz.

Sie wird seit Jahrzehnten im UKW- Rundfunk eingesetzt und hat sich dank hoher Übertragungssicherheit und hoher Signalqualität bewährt.

Bandbreite (Hub)

Bei der Auswahl von Funkmikrofonen, Taschensender, Gitarrensendern und IN-Ear-Funk gibt es eine Menge an technischen Angaben. Einer der wichtigsten ist der FM-Hub. Jedes frequenzmodulierte Trägersignal schwingt nicht starr in der zugeordneten Frequenz, sondern belegt auch Frequenzen im benachbarten Bereich. Diesen Bereich nennt man Bandbreite oder auch Hub. Je größer die zur Verfügung stehende Bandbreite, desto besser die Übertragungsqualität. Verschiedene Trägersignale liegen daher im Idealfall weit genug auseinander, um Überschneidungen der Bandbreiten zu vermeiden.

Erklärung:

Der Ton wird in der Modulationsart FM (Frequenzmodulation) z.B. auf die Trägerfrequenz 850 MHz gesetzt.

Die Schwingungen des Tons verschieben ganz einfach die Trägerfrequenz nach oben und unten. Dabei bleibt die Signalstärke der Hochfrequenz-Schwingung jederzeit gleich.

Ein leiser Ton wobbelt die Frequenz zum Beispiel zwischen 850 MHz plus/minus 5 kHz (849,995 - 850,005) hin und her.

Wenn der Ton doppelt so stark wird (6 dB mehr), dann wobbelt er doppelt so stark: 850 MHz plus/minus 10 kHz (849,990 - 850,010).

Übrigens: hohe und tiefe Töne wobbeln die Frequenz unterschiedlich schnell.

Manche Hersteller geben als Hub sogar nur 15 kHz an. Allerdings sind 15 kHz FM-Hub bei reinen Instrumentenanwendungen (Geige, Gitarre, ...) noch vertretbar, für Sprache ist das aber eindeutig zu wenig.

Belegung eines Kanals bei einem Funkmikrofon bei FM-Modulation Beispiel: Kanal 850 MHz

Bei Stille: Rauschende Bauteile geben ein kleines Signal ab.	Leises Mikro- fonsignal gibt kleine Auslenkung (Wobbelung)	Lautes Mikro- fonsignal gibt starke Auslenkung (Wobbelung)
--	--	--



Mitte ist 850 MHz (oder eine andere Trägerfrequenz).
Wenn der "Nenn-Hub" 40 kHz ist, dann braucht das
lauteste Signal den Bereich 849,960 bis 850,040 MHz.

Die Tonhöhe spielt dabei keine Rolle !!!

Die Elektronik (FM) erzeugt weitere Signalanteile, die auch
übertragen (und empfangen) werden sollten.

Spricht: die echte, benutzte Bandbreite ist noch größer als der Hub.
Das wird sehr gerne vergessen, ist aber für eine verzerrungsarme
Übertragung unbedingt nötig.

Somit "spratzelt" es auch noch im Nachbarkanal, wenn
rechnerisch alles OK ist.

Die Tonhöhe steckt so in dem Funksignal:
hohe Töne wobbeln den Träger schnell,
tiefe Töne wobbeln den Träger langsam.
Beispiel: ein Ton mit 100 Hz schickt den Träger einhundertmal in
jeder Sekunde um die Ruhelage herum.

Es gibt leider keine Elektronik, die eine hundertprozentig stabile Trägerfrequenz liefert. Die 850 MHz aus dem Beispiel oben wobbeln durch Eigenrauschen der Bauteile schon bei absoluter Stille, und zwar im Sender und im Empfänger.

Der Empfänger rauscht also auch bei Stille schon ein wenig.

Ein sehr leiser Ton ist somit nicht weit vom Eigenrauschen der FM-Funktechnik entfernt.

Mit einem großen Hub kann man das Rauschverhalten deutlich verbessern

Interferenz

Wenn die Bandbreiten der benachbarten Signale zu groß sind oder die Trägerfrequenzen zu nahe beieinander liegen, kommt es zu Überschneidungen der Frequenzen. Diese Überschneidungen nennt man Interferenzen. Die Anteile der übertragenen Signale, die in diesem Bereich liegen, werden von den Empfängern nicht mehr eindeutig erkannt und führen zu Rauschen oder Ausfall des Signals. Aus diesem Grund können auch nicht zwei oder mehrere Systeme mit der selben Frequenz arbeiten. Auch bei ungleichen Frequenzen ist auf genügend Abstand der verwendeten Frequenzen zueinander zu achten.

Rauschsperr (Squelch)

Die Rauschsperr ("Squelch") unterdrückt die Audio- Ausgabe, solange kein Signal vom Sender empfangen wird. Ohne diese Schaltung würde ein Empfänger in solchen Pausen starkes Rauschen ausgeben, das von den zufällig empfangenen Radiofrequenzen erzeugt wird. Wenn der Sender aber wohl aktiv ist, benötigt das System ein Kriterium, anhand dessen es das Nutzsignal von eventuell vorhandenen Interferenzen trennen kann. Das wird mit einem Pilotton erzielt, der gemeinsam mit dem Audiosignal übertragen wird. Dieses in der Regel sehr hohe Signal wird vom Empfänger vor der Ausgabe aus dem Signal gefiltert. Solange der Pilotton nicht den erwarteten Pegel hat, aktiviert der Empfänger die Rauschsperr und unterdrückt das gesamte Audiosignal. Aber selbst dieses Verfahren ändert nichts daran, dass Interferenzen zu Modulationen führen, die in bestimmten Fällen nicht unterdrückt werden können.

Antennen

Antennen sind eine technische Anordnung zur Abstrahlung und zum Empfang elektromagnetischer Wellen. Es gibt verschiedene Arten von Antennen. Es gibt interne Antennen die im Gerät integriert sind und es gibt externe die man separat an den Empfänger anschließen kann. Externe Antennen kommen zum Beispiel dann zum Einsatz wenn die Sendeleistung nicht ausreicht oder man Antennen an verschiedenen Orten braucht.

Antennen können als Sendeantennen oder Empfangsantennen verwendet werden. Als Sendeantenne wandelt sie leitungsgebundene elektromagnetische Wellen in Freiraumwellen um, oder umgekehrt als Empfangsantenne die als Freiraumwelle ankommenden elektromagnetischen Wellen zurück in leitungsgebundene elektromagnetische Wellen. Wesentlich dafür ist die Anpassung des Wellenwiderstandes der Leitung an den Wellenwiderstand des freien Raumes.

Auch Antennen haben eine Bandbreite die mit dem der Drahtlosmikrofonsysteme übereinstimmen muss.

Diversity

Bei der drahtlosen Übertragung von Mikrofonsignalen kommt es aufgrund des wechselnden Standortes zu unterschiedlichen Empfangsqualitäten. Ein Diversity-Empfänger verwendet immer mindestens zwei Empfangssysteme und zwei Antennen für dasselbe Mikrofon. Die beiden Empfangsantennen sind so positioniert, dass immer eine Antenne über die besseren Empfangsverhältnisse verfügt. Es findet eine ständige, nicht hörbare Umschaltung zwischen den beiden Empfängern statt, wobei immer das empfangsstärkere Signal weiterverarbeitet wird.

Werden bei einem Betrieb im Studio mehrere Antennen über einen größeren Raum verteilt, ist jede Antenne für ein bestimmtes Raumsegment verantwortlich. Die Position der Antennen ist dann von den Raumverhältnissen abhängig. Bei einem Betrieb mit zum Beispiel EB-Equipment wird die so genannte True Diversity-Technik verwendet.

Bei der Antennenanordnung wird zwischen Raumdiversität und Polarisationsdiversität unterschieden.

Beim Raumdiversität werden (identische) Antennen in gewissem Abstand zueinander aber mit gleicher Ausrichtung montiert. Ein Mindestabstand von zehn Wellenlängen (Faustformel) sollte eingehalten werden, um den Diversitätsgewinn voll auszunutzen.

Bei Polarisationsdiversität werden zwei Antennen mit einem Winkelunterschied von 90° zueinander montiert. Da sich Interferenz zu einem bestimmten Zeitpunkt und Ort meist nur auf eine Polarisationsrichtung auswirkt, kann mit gekreuzten Antennen ein Diversitätsgewinn erzielt werden. Das hängt damit zusammen, dass (bei linearer Polarisation) durch Beugung oder Reflexion an Gegenständen die Polarisationssebene gedreht werden kann. Bei rotierender Polarisation kann durch Reflexion die Rotationsrichtung verändert werden. Hier kommen dann zwei Antennen mit unterschiedlicher Rotationsrichtung zum Einsatz.

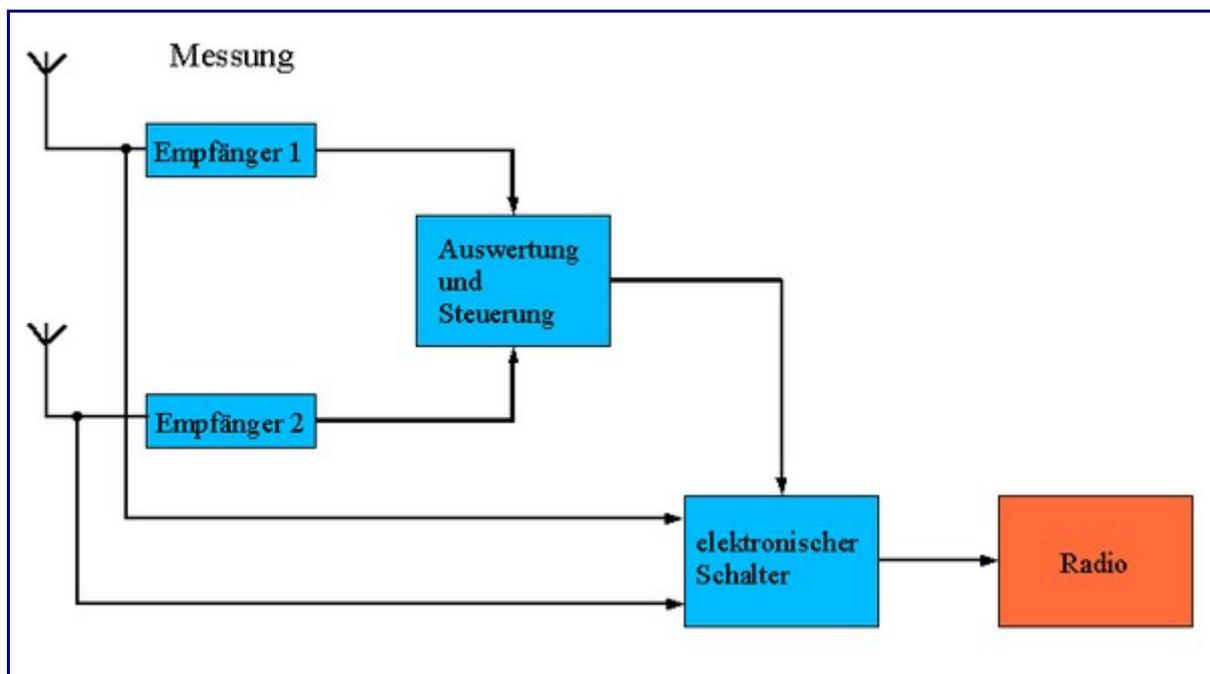
True Diversity

Bei True Diversity sind die Empfangsantennen nahe beieinander positioniert. Der Abstand ist entsprechend der Wellenlänge des Signals so dimensioniert, dass immer eine Antenne über die besseren Empfangsverhältnisse verfügt. Auch hier findet eine ständige, nicht hörbare Umschaltung zwischen den beiden Empfängern statt, wobei immer das empfangsstärkere Signal weitergeleitet wird.

Bei der Antennendiversität werden mehrerer Antennen pro Sender oder Empfänger bei der Funkübertragung verwendet, zum Beispiel als Strategie zur Reduzierung von Interferenz-Effekten. Dies ist besonders bei mobilen Funkanwendungen sinnvoll.

Bei der Ausbreitung von Funkwellen treten Reflexionen der Funkwelle an Gebäuden oder dem Erdboden auf, ähnlich wie beim Schall Echos in den Bergen. Es kann dann passieren, dass sich die direkte Funkwelle mit einer reflektierten Funkwelle an einer bestimmten Stelle auslöscht, da es zwischen beiden aufgrund der unterschiedlichen Weglänge zu einem Laufzeitunterschied und damit zu einer Phasenverschiebung kommt. Beträgt zum Beispiel die Verschiebung eine halbe Wellenlänge, kommt es zur Auslöschung oder zumindest zu einer Schwächung des Signals.

Benutzt man nun mehrere Empfangsantennen, so ist die Wahrscheinlichkeit hoch, dass sich mindestens eine der Antennen an einer Stelle befindet, die nicht von der Signalauslöschung betroffen ist. Entsprechend ist im Empfänger eine Funktion erforderlich, die erkennt, welche der Antennen gerade das beste Signal empfängt und dann deren Signal verwendet.



Blockschaltbild Antennendiversität mit zwei Antennen

Das Bild zeigt ein Verfahren, bei welchem jede Antenne einen eigenen Empfänger besitzt, der das Antennensignal misst. Das Messergebnis geht dann zu einem Auswerter, der einen elektronischen Schalter steuert und dem Hauptempfänger (hier einem Radio) die Antenne zuschaltet, die den höchsten Pegel beziehungsweise den besten Rauschabstand erzeugt. Zusätzlich zu den Empfängern in den Antennenzweigen gibt es also einen dritten Empfänger, der dann das Signal weiterverarbeitet.

Dieses Verfahren hat den Vorteil, Antennen unabhängig voneinander messen zu können, ohne dass ein Antennenwechsel erfolgen muss. Einer der Nachteile besteht darin, dass für jede Antenne ein eigener Empfangszweig vorhanden sein muss. Dies ist mit einem erheblichen Kostenaufwand verbunden, welcher gerade in mobilen Endgeräten möglichst gemieden wird.

Im Bereich der funktechnischen Übertragung von Mikrofonsignalen ist die Konstruktion mit mehreren Empfängern ein Qualitätsmerkmal und wird mit „True Diversity“ bezeichnet. Hochwertige Funkmikrofone beziehungsweise deren Empfangsteile sind in der Regel nach diesem Prinzip aufgebaut.

Der Begriff „Scanning-Diversity“ bezeichnet ein Verfahren, welches das Umschalten verschiedener Antennen an einen Empfänger beinhaltet. Unterschreitet die momentan aufgeschaltete Antenne einen festgelegten Wert oder weist die Antenne ein Störsignal auf, so wird dem Empfänger die nächste, das Kriterium erfüllende Antenne angeboten. Weitere Antennen lassen sich problemlos integrieren. Im gesamten System ist lediglich ein Empfänger vorhanden, welcher neben der Signalübertragung auch der Signalauswertung für die Diversitäts-Logik dient.

Frequenzbänder

Da die Übertragung des Signals per Funk erfolgt, ist die Nutzung drahtloser Mikrofone und Mikrofonanlagen durch die Bundesnetzagentur (früher Regulierungsbehörde für Telekommunikation und Post) gesetzlich geregelt. Um einen möglichst störungsfreien Betrieb mit anderen Funkdiensten (Fernsehen/Radio/Mobilfunk etc.) gewährleisten zu können, hat der Gesetzgeber allen Diensten bestimmte Frequenzen und Sendeleistungen zugeordnet.

Die Bundesnetzagentur gibt für den professionellen und semiprofessionellen Anwender eine Allgemeinzuteilung der Frequenzen 790- 814 Mhz und 838- 862 Mhz für die Übertragung von drahtlosen Mikrofonsystemen und InEar-Monitoring frei. Das entspricht den Fernsehkanälen 61 - 63 und 67 – 69.

Durch die verstärkte Verbreitung des Digitalfernsehens DVB-T (Digital Video Broadcasting Terrestrial) sind einige Frequenzbereiche durch den Wegfall der analogen Fernsehfrequenzen frei geworden, die nun das Bundesministerium für Wirtschaft als „digitale Dividende“ für kabelloses Breitbandinternet vorsieht.

Deshalb wurde der Frequenzbereich 790 – 862MHz wurde im Mai 2010 an Mobilfunkunternehmer verkauft.

Bis zum 31.12.2015 dürfen Drahtlosanlagen in diesem Frequenzbereich weiterhin uneingeschränkt verkauft und betrieben werden. Er wird auch bis 2016 anmelde- und gebührenfrei bleiben.

Der ISM- Bereich 863 – 865MHz ist von all dem nicht betroffen, und darf auch nach dem 31.12.2015 uneingeschränkt verwendet werden.

Jedoch kann es vorkommen, dass es durch den Ausbau des Drahtlos-Internets zu Störungen oder zu Ausfällen der Drahtlossysteme kommen kann.

Ab 2016 können Frequenzen im Bereich 790 – 822MHz und 833 - 862MHz weiterhin per Einzelzuteilung beantragt und benutzt werden, natürlich in Abhängigkeit der Verfügbarkeit der Frequenzen. Diese Einzelzuteilung ist allerdings kostenpflichtig.

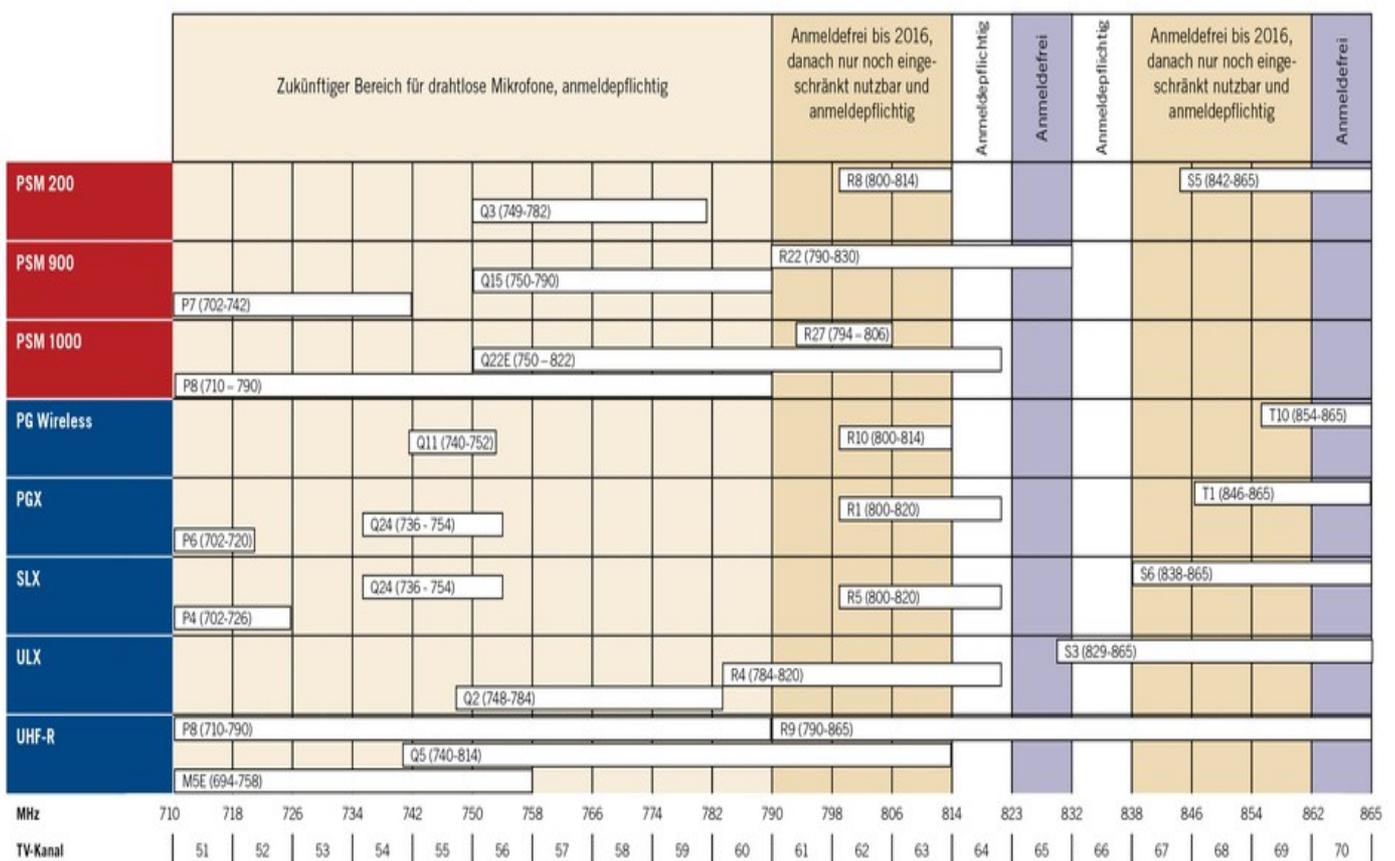
Durch den Wegfall des Frequenzbereichs ist ein Großteil der nutzbaren Frequenzen für Drahtlossysteme nicht mehr verfügbar. Deshalb hat die Bundesnetzagentur auch den Bereich der Duplex- Lücke für die Nutzung von Funkmikrofonen freigeben. Die Duplex-Lücke ist der Bereich zwischen dem LTE Up- und Downloadbereich. Dieser bleibt frei, um mögliche Frequenzstörungen bzw. Überschneidungen zu vermeiden. Sie befindet sich bei 820 – 832 Mhz.

Die Verwendung von Funkmikrofonen ist freigegeben bis zu einer Sendeleistung von 50mW und wird kostenlos und anmeldefrei nutzbar sein bis zum 31.12.2021.

Auch neu hinzugekommen für die Nutzung von Funkmikrofonen ist der Bereich 1,785 – 1,805 GHz. Auch dieser Bereich bleibt anmelde- und gebührenfrei und wurde genauso wie die Duplex-Lücke bis zum 31.12.2021 begrenzt.

Funkmikrofone können jetzt auch im Bereich 710 – 790MHz betrieben werden, allerdings nur nach Anmeldung. Die Anmeldung kostet einmalig 130,- €, egal wie viele Funkssysteme beantragt werden. Zusätzlich wird pro Sender eine Jahresgebühr von ca. 10,- € erhoben. Bei Anschaffung und Anmeldung weiterer Funkssysteme im gleichen Jahr wird die Hälfte der Anmeldekosten erhoben, d.h. 65,- €.

DVB-T vor Ort muss allerdings trotzdem noch berücksichtigt werden.



Das Gesetz kann man nachzulesen im [§ 55 des Telekommunikationsgesetzes](#). Es trat am 01. Januar 2006 in Kraft und wurde befristet bis zum 31.12.2015.

Mikrofone

Kabellose Mikrofone werden überall dort eingesetzt, wo eine Kabelverbindung aus technischen, praktischen oder auch optischen Gründen von Nachteil ist. Deshalb gibt es verschiedene Mikrofonarten für verschiedene Anwendungsbereiche, wie zum Beispiel die dynamischen Mikrofone mit integriertem Sender. Oft besitzen die Mikrofone austauschbare Kapseln und sind mit einer Nieren-Charakteristik ausgestattet.

Die Drahtlossysteme mit Handmikrofonen haben meistens eine Sendeleistung von 10mW.



Kopfbügelmikrofone oder auch Headsets genannt, haben entweder Kugel oder Nierencharakteristik und eignen sich gut um Rückkopplungen zu vermeiden. Weiterhin hat man beide Hände frei und man sieht sie nicht auf den ersten Blick, weshalb sie häufig bei Fernsehproduktionen oder auch bei Aufführungen von Musicals Verwendung finden. Headsets werden mit einem separaten Sender verwendet.



Ansteckmikrofone bzw Lavaliermikrofone verwenden genauso wie Kopfbügelmikrofone Kugel- und Nierencharakteristiken. Ansteckmikrofone werden am Jacket oder an der Krawatte oder ähnliches auf Brusthöhe festgemacht. Das macht sie nahezu Unsichtbar aber es kann zu einigen Problemen kommen, zum Beispiel wenn der Kopf vom Mikrofon weggedreht wird. Auch diese Mikrofone brauchen einen separaten Sender für die Drahtlosübertragung.



Wie oben bereits erwähnt funktionieren Elektret-Ansteckmikrofone oder Kopfbügelmikrofone mit separatem batteriebetriebenen Funksender (Bodypack). Nicht alle Sender sind mit allen Mikrofonen kompatibel.

Die Sender haben wie die Dynamischen Mikrofone meistens 10mW Sendeleistung.



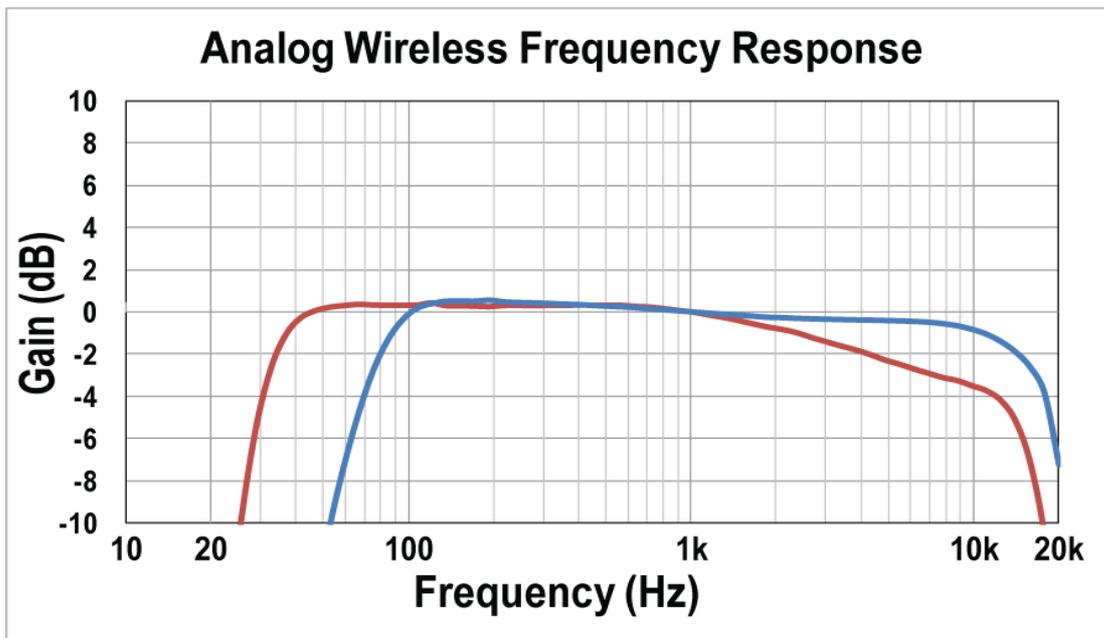
Vor- und Nachteile

Die Vorteile gegenüber kabelgebunden Systemen sind, dass

- es sehr viele unterschiedliche Trägerfrequenzen gibt, die sich gegenseitig nicht beeinflussen
- keine elektrischen Kabel verlegt werden müssen
- sie nicht so viel Aufmerksamkeit erregen (optisch)
- sie schneller auf und abgehaut werden können

Nachteilig ist, dass

- man die Signalübertragen eventuell abhören kann, ohne entdeckt zu werden.
- die Übertragung durch Störungen erschwert oder unmöglich gemacht werden kann
- die Anschaffung und die Betriebskosten sehr viel teurer sind.



Frequenzgang der Übertragung von zwei unterschiedlichen Systemen

Quellen

<http://de.wikipedia.org/wiki/Antennendiversit%C3%A4t>

http://www.shure.de/dms/shure/support_downloads/pdf_guides/shure-frequenz-guide2011/shure-frequenz-guide2011_v4.pdf

http://www.thomann.de/de/onlineexpert_10_4.html

http://www.clearingstelle-bw.de/download/Tagung%20Funktechniken%2014-05-09/Berner_Praesentation_14-05-09.pdf

<http://www.elektronik-kompodium.de/sites/kom/0810301.htm>

http://www.justmusic.de/mall/1/files/if68447akg_wms_catalog_de.pdf

<http://www.funk-mikrofon.info/downloads/handbuchuberdiefunkmikrofontechnologiev2.pdf>