

Ton Seminar

Drahtlose Tonübertragung:
Mikroport- und Infrarot-Technik

Volker Smyrek

Stuttgart, Oktober 2003

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	2
Abbildungsverzeichnis	3
Tabellenverzeichnis	4
Abkürzungsverzeichnis	5
Vorwort.....	6
1 Mikroporttechnik	7
1.1 Signalweg einer Mikroportanlage	7
1.2 Modulation.....	8
1.3 Gesetzliche Vorgaben	10
1.4 Intermodulation und Frequenzplanung	11
1.5 Mikrofone und Sender	15
1.5.1 Handsender.....	15
1.5.2 Taschensender mit Miniaturmikrofon.....	15
1.6 Senderprinzip	18
1.6.1 HiDyn plus.....	19
1.7 Empfangsantennen.....	20
1.7.1 Dipol.....	20
1.7.2 Lambda/4-Halbdipol.....	20
1.7.3 Ground-Plane Antenne	21
1.7.4 Antennenkabel	22
1.7.5 Antennensplitter.....	23
1.8 Empfänger.....	23
1.9 Diversity-Verfahren.....	23
1.10 Anwendungsbeispiel: Empfängeranlage im Theater	25
2 Infrarotsendeanlage.....	26
2.1 Signalweg.....	26
2.2 Anwendungsbeispiel: Hörbehinderten-Anlage im Theater.....	26
2.3 Probleme bei IR-Übertragung	27
2.4 Modulation.....	27
2.5 Anlagenteile bei IR-Technik	29
2.5.1 Steuersender.....	29
2.5.2 Strahler	30
2.5.3 Empfänger.....	31
Glossar.....	33

Literaturverzeichnis	34
----------------------------	----

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Signalweg Mikroporttechnik (vgl. Sennheiser Revue, 2002)	7
Abbildung 2: NF-Signal mit niedriger Frequenz (Sennheiser Revue, 2002).....	8
Abbildung 3: NF-Signal mit hoher Frequenz (Sennheiser Revue, 2002).....	8
Abbildung 4: NF-Signal mit großer Amplitude (Sennheiser Revue, 2002)	9
Abbildung 5: Breitband- und Schmalbandtechnik (Sennheiser Revue, 2002).....	9
Abbildung 6: Spektrum der Intermodulationsprodukte (Sennheiser Revue, 2002).....	11
Abbildung 7: Intermodulationsprodukte (Sennheiser Revue, 2002).....	12
Abbildung 8: Screenshot RF Calculator.....	13
Abbildung 9: Screenshot Frequency Selection Guide	13
Abbildung 10: Screenshot HdM-Intranet: Vergebene Funkfrequenzen.....	14
Abbildung 11: Handsender und Taschensender mit Miniaturmikrofon.....	15
Abbildung 12: Miniaturmikrofone	16
Abbildung 13: MKE 2 mittig auf der Stirn (MKE 2 Gold, 1999)	17
Abbildung 14: MKE 2 auf der Backe (MKE 2 Gold, 1999)	17
Abbildung 15: Zugentlastung für Mikrofonkabel.....	18
Abbildung 16: Prinzipaufbau eines Senders (Sennheiser Revue, 2002).....	18
Abbildung 17: Arbeitsweise von HiDyn plus (Sennheiser Revue, 2002)	19
Abbildung 18: Dipol (Albrecht et al., 1995)	20
Abbildung 19: Halbdipol (Albrecht et al., 1995).....	21
Abbildung 20: Ground-Plane Antenne	21
Abbildung 21: Antennenkabel H2000 (Kabel-Kusch, 2003).....	22
Abbildung 22: Prinzipaufbau eines Empfängers (Sennheiser Revue, 2002).....	23
Abbildung 23: Prinzipaufbau Diversity-Empfänger (Sennheiser Revue, 2002)	24
Abbildung 24: Rack mit Empfänger	25
Abbildung 25: Kontrollmonitor	25
Abbildung 26: Signalweg IR-Technik (vgl. Sennheiser Revue, 1999).....	26
Abbildung 27: IR-Modulation (Sennheiser Revue, 1999)	28

Abbildung 28: Bandbreite bei IR-Übertragung (Sennheiser Revue, 1999).....	28
Abbildung 29: Prinzipaufbau IR-Steuerender (Sennheiser Revue, 1999)	29
Abbildung 30: Zwei Steuerender Sennheiser SI 1013.....	29
Abbildung 31: Prinzipaufbau IR-Strahler (Sennheiser Revue, 1999).....	30
Abbildung 32: Strahler Sennheiser SZI 1219.....	30
Abbildung 33: Prinzipaufbau IR-Empfänger (Sennheiser Revue, 1999)	31
Abbildung 34: Empfänger Sennheiser HDI 91	31
Abbildung 35: Empfänger Sennheiser HDI 407	32

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Nutzbare Frequenzbereiche in Deutschland (Albrecht et al., 1995)	10
Tabelle 2: Dämpfung von Antennenkabeln (SSB-Electronic, 2003).....	22

Abkürzungsverzeichnis

AM	Amplitudenmodulation
FM	Frequenzmodulation
HdM	Hochschule der Medien
HF	Hochfrequenz
IR	Infrarot
MS-DOS	(engl.) Microsoft Disc Operating System
NF	Niederfrequenz
NiMH	Nickel-Metallhydrid
RegTP	Regulierungsbehörde für Telekommunikation und Post
RF	(engl.) Radio Frequency
TKG	Telekommunikationsgesetz
UHF	(engl.) Ultra High Frequency
UKW	Ultrakurzwelle
VCA	(engl.) Voltage Controlled Amplifier
VHF	(engl.) Very High Frequency
ZF	Zwischenfrequenz

Vorwort

Die drahtlose Tonübertragung ist aus der modernen Medientechnik nicht mehr wegzudenken. Bei TV-Shows und für Beschallungszwecke gehören Funkmikrofone schon lange zur Selbstverständlichkeit. Sogar in den Hörsälen der HdM finden sich Mikroports.

In diesem Referat, im Rahmen des Ton-Seminars, möchte ich zwei Grundlegende Verfahren zur drahtlosen Tonübertragung aufzeigen:

- Die Mikroport-Technik.
- Die Infrarot-Technik.

Als Anwendungsbeispiel für beide Verfahren wird die Verwendung in einem Theater aufgeführt. Anlagenteile des Musicals „Tanz der Vampire“ im Apollo-Theater Stuttgart sind zu sehen.

1 Mikroporttechnik

Der Begriff „Mikroporttechnik“ ist eine für die Firma Sennheiser geschützte Bezeichnung, die inzwischen schon als Synonym für drahtlose HF-Tonübertragung gilt. Es gibt natürlich weitere Anbieter professioneller Drahtlostechnik, z.B. AKG, Shure und Trantec (Beyerdynamic).

Die Anwender von Mikroport-Anlagen sind hauptsächlich:

- Rundfunk und Fernsehen
- Theater
- Mehrzweckhallen
- Universitäten (z.B. Hörsäle)
- Firmen (z.B. Präsentationen)
- Musiker

Die größten Mikroport-Anlagen - mit den meisten Kanälen - sind in Musicals und im Showbereich installiert.

1.1 Signalweg einer Mikroportanlage

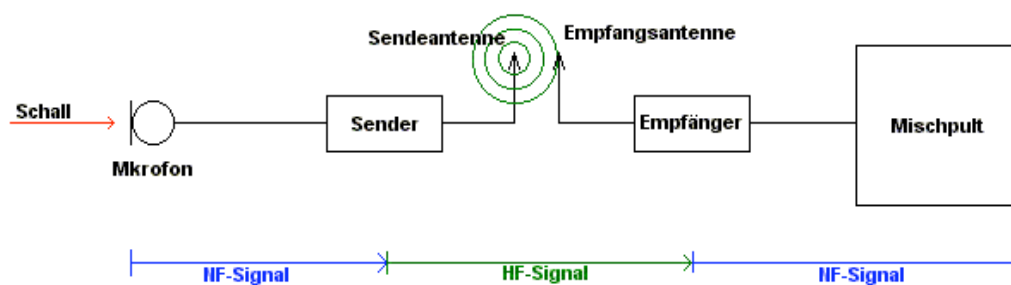


Abbildung 1: Signalweg Mikroporttechnik (vgl. Sennheiser Revue, 2002)

Erläuterung zur Abbildung: Der Schall wird durch das Mikrofon in ein elektrisches NF-Signal umgewandelt. Der Mikroport-Sender wandelt das NF-Signal in ein HF-Signal und strahlt dieses über die Sendeantenne ab. Über die Empfangsantenne gelangt das HF-Signal in den Mikroport-Empfänger, der wieder ein NF-Tonsignal erzeugt, das über Kabel zum Mischpult geleitet wird.

1.2 Modulation

Die Geräte arbeiten mit Frequenzmodulation (FM), ähnlich wie beim UKW-Radio. Dabei wird für *ein* Signal, das übertragen werden soll, jeweils *eine* aufeinander abgestimmte Kombination von Sender und Empfänger mit gleicher Frequenz benötigt. Sollen mehrere Signale übertragen werden, so sind mehrere Frequenzen notwendig.

Vorteil der Frequenzmodulation:

Die Information des NF-Signals ist in der Frequenz des HF-Signals enthalten. Die Amplitude des HF-Signals kann schwanken, ohne dass die NF-Information verloren geht. D.h. Änderungen in der Stärke des Empfangssignals haben keinen Einfluss auf die Übertragung, außer natürlich der Empfang bricht ganz ab.

Erklärungsmodell der Frequenzmodulation:

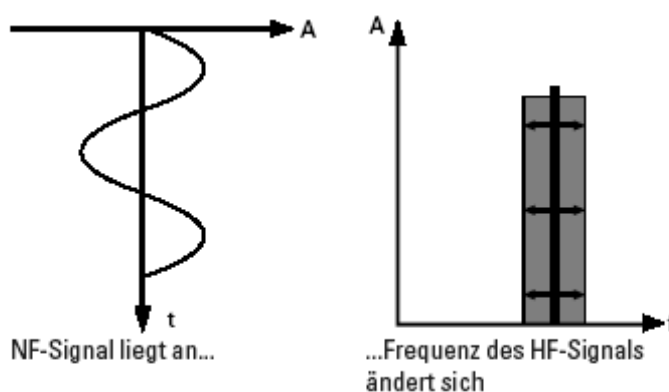


Abbildung 2: NF-Signal mit niedriger Frequenz (Sennheiser Revue, 2002)

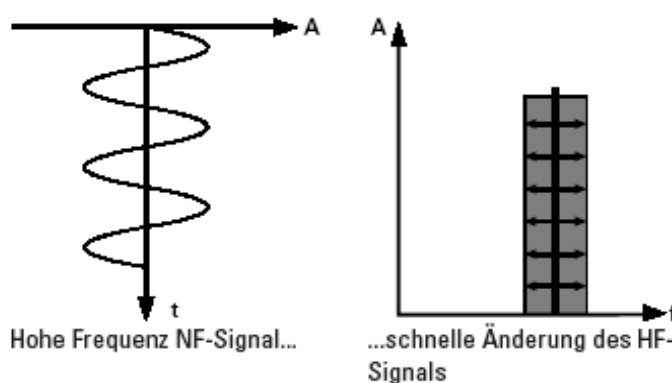


Abbildung 3: NF-Signal mit hoher Frequenz (Sennheiser Revue, 2002)

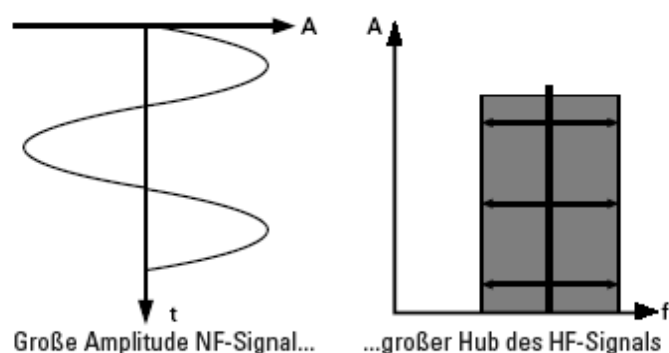


Abbildung 4: NF-Signal mit großer Amplitude (Sennheiser Revue, 2002)

Der **Hub** ist die Frequenzabweichung von der Trägerfrequenz. Die Größe dieser Abweichung wird durch die Amplitude des NF-Signals bestimmt.

Aus dem maximalen Hub des HF-Signals ergeben sich die Abstände der einzelnen Trägerfrequenzen zueinander. Es wird dabei zwischen der Breitband- und der Schmalbandtechnik unterschieden.

Bei der **Breitbandtechnik** müssen die Kanäle einen Mindestabstand von 300 kHz haben, um einen störungsfreien Betrieb zu ermöglichen. Es lassen sich nur wenige Kanäle innerhalb eines festgelegten Frequenzbereichs unterbringen.

Anwendung Breitbandtechnik: Übertragungen in Studio-Qualität z.B. für Sprache und Gesang.

Bei der **Schmalbandtechnik** haben die Kanäle einen Abstand von 40 kHz. In den gleichen Frequenzbereich passen damit mehr Kanäle.

Anwendung Schmalbandtechnik: Sprachübertragungen zur Kommunikation.

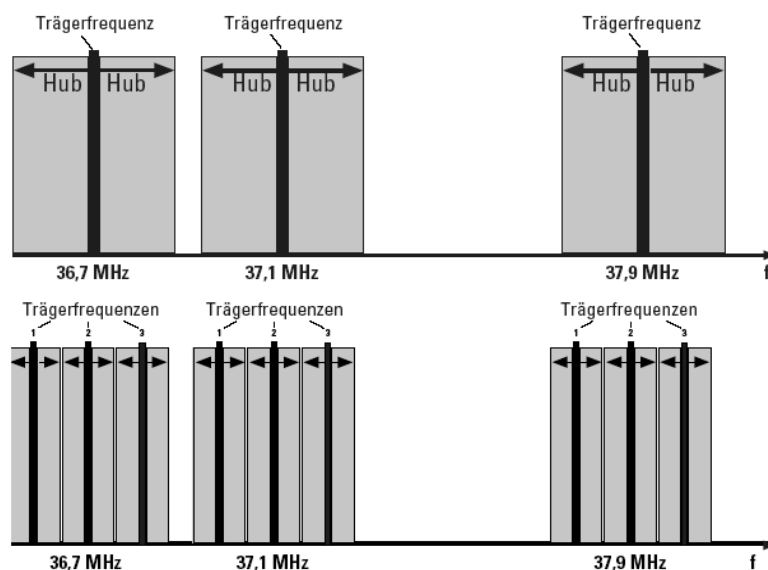


Abbildung 5: Breitband- und Schmalbandtechnik (Sennheiser Revue, 2002)

Unterscheidung von Nennhub und Spitzenhub:

- Nennhub = wird bei Vollaussteuerung des Senders erreicht.
- Spitzenhub = Maximalwert, der nicht überschritten werden darf, da sonst Nachbar-kanäle gestört werden.

Zur Vermeidung eines zu großen Hubs haben die Sender eine Hubbegrenzung (Limiter) eingebaut.

1.3 Gesetzliche Vorgaben

„Für jede Frequenznutzung bedarf es gemäß § 47 Abs. 1 TKG einer vorherigen Zuteilung durch die RegTP.“ (RegTP, 2003). Somit sind auch Mikroportanlagen genehmigungspflichtig.

Die RegTP regelt die **Frequenzzuteilung für Mikroportanlagen** wie folgt:

Tabelle 1: Nutzbare Frequenzbereiche in Deutschland (Albrecht et al., 1995)

Frequenzbereich	Verfügbare Frequenzen	Wellenlänge	Anwender
A	36,7 MHz 37,1 MHz 37,9 MHz	8 m	Allgemeine Anwendungen
B	32,55 ... 38,05 MHz	8 m	Private Programmanbieter, Theater, Kongresszentren, Stadthallen
C	30 ... 45 MHz	8 m	Allgemeine Anwendungen
D	138... 250 MHz VHF	2 m	Private Programmanbieter, Theater, Kongresszentren, Stadthallen
E	450 – 960 MHz UHF	0,70 m	Rundfunk- und Fernsehanstalten

Berechnung der Wellenlänge in Metern bei HF-Signalen:

$$\text{Wellenlänge [m]} = 300 / \text{Frequenz (MHz)}$$

Die VHF- und UHF-Bereiche liegen in TV-Kanälen der terrestrischen Fernsehübertragung. Die **Einteilung in TV-Kanälen** sieht so aus:

- TV-Kanal 5 – 11 (174 bis 230 MHz) für VHF
- TV-Kanal 12 = nicht mehr nutzbar, da für digitalen Rundfunk reserviert
- TV-Kanal 19 – 81 (454 bis 958 MHz) für UHF

Weiterhin ist durch die RegTP die **maximale Strahlungsleistung der Sender** festgelegt. Die Strahlungsleistung muss beschränkt sein auf...

... 5 mW für drahtlose Mikrofonanlagen im 8 m-Band

...100 mW für drahtlose Mikrofonanlagen im 2 m-Band (VHF und UHF)

1.4 Intermodulation und Frequenzplanung

Bei mehrkanaligen Mikroportanlagen ist darauf zu achten, dass es bei nicht aufeinander abgestimmten Sendefrequenzen zu Intermodulationsstörungen kommen kann.

Albrecht schreibt darüber: „Intermodulation tritt vorwiegend in den Empfängern auf. [...]. Beim Abhören des gestörten Kanals können dann die für diesen Effekt typischen Zwitschergeräusche im Hintergrund gehört werden. [...]. Die [...] Frequenzen mit den hohen Pegeln bilden an Nichtlinearitäten im Empfänger ein Mischprodukt, das heißt, es entstehen vollkommen neue Frequenzen, die unter Umständen direkt in andere Empfangskanäle fallen.“ (Albrecht et al., 1995, Seite 186).

Weitere Ursache für Intermodulationen: Nähern sich zwei Sendeantennen auf wenige Zentimeter (< 10 cm), kann HF-Strahlung in umgekehrter Richtung in die Ausgangsstufe gelangen. Dadurch werden Intermodulationsprodukte hervorgerufen, die unter Umständen eine dritte Frequenz stören.

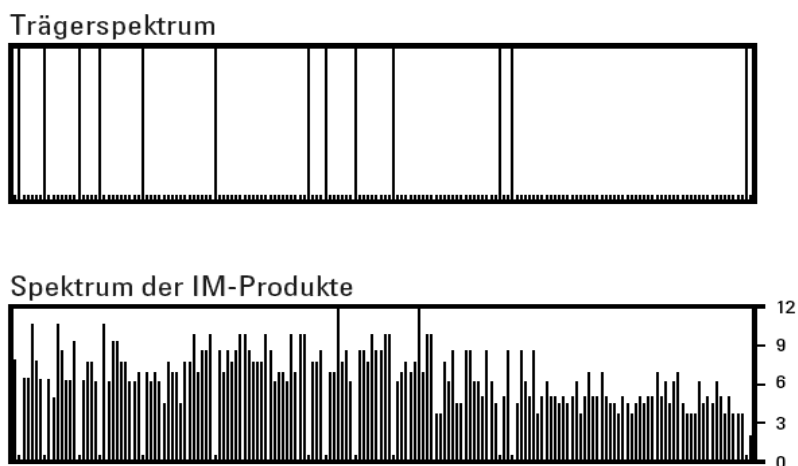


Abbildung 6: Spektrum der Intermodulationsprodukte (Sennheiser Revue, 2002)

Intermodulationsprodukte lassen sich bei bekannten Sendefrequenzen berechnen. Bei zwei Signalen ist diese Berechnung noch recht einfach. Für die Berechnung von Intermodulationen mehrkanaliger Anlagen gibt es geeignete Computerprogramme.

Berechnungsbeispiel mit zwei Trägerfrequenzen $f_1 = 200 \text{ MHz}$ und $f_2 = 200,4 \text{ MHz}$:

- Harmonische der Grundfrequenz:

$$2f_1 = 2 \times 200 \text{ MHz} = 400 \text{ MHz}$$

$$2f_2 = 2 \times 200,4 \text{ MHz} = 400,8 \text{ MHz}$$

$$3f_1 = 3 \times 200 \text{ MHz} = 600 \text{ MHz}$$

$$3f_2 = 3 \times 200,4 \text{ MHz} = 601,2 \text{ MHz}$$

Diese neuen Frequenzen liegen außerhalb des Empfangsbereichs und stören daher nicht.

- Einfache Summen- und Differenzfrequenzen:

$$f_1 + f_2 = 200 \text{ MHz} + 200,4 \text{ MHz} = 400,4 \text{ MHz}$$

$$f_2 - f_1 = 200,4 \text{ MHz} - 200 \text{ MHz} = 0,4 \text{ MHz}$$

Auch diese Frequenzen stören nicht.

- Summen- und Differenzfrequenzen 3. Ordnung:

$$2f_1 - f_2 = (2 \times 200 \text{ MHz}) - 200,4 \text{ MHz} = 199,6 \text{ MHz}$$

$$2f_2 - f_1 = (2 \times 200,4 \text{ MHz}) - 200 \text{ MHz} = 200,8 \text{ MHz}$$

Diese Frequenzen liegen innerhalb des Empfangsbereichs!

- Intermodulationsprodukte höherer Ordnung können ebenfalls entstehen:

$$\text{IM } 5 = 3f_1 - 2f_2 \quad \text{und} \quad \text{IM } 5 = 3f_2 - 2f_1$$

$$\text{IM } 7 = 4f_1 - 3f_2 \quad \text{und} \quad \text{IM } 7 = 4f_2 - 3f_1$$

Allerdings nehmen die Pegel immer mehr ab, wie die folgende Graphik verdeutlicht.

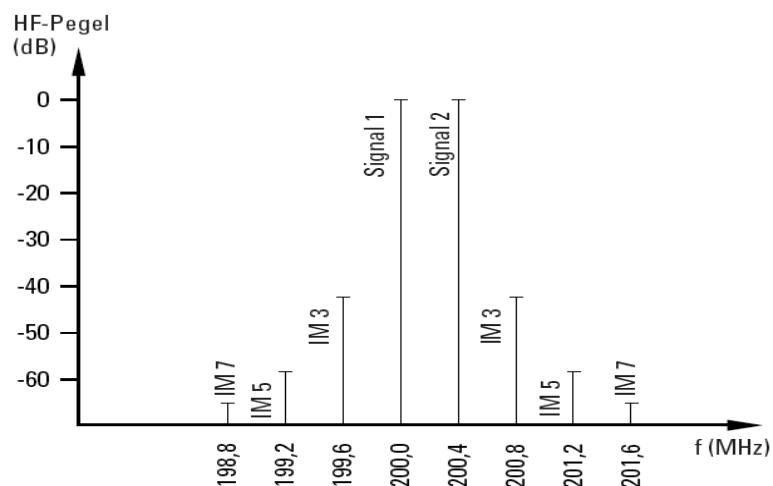


Abbildung 7: Intermodulationsprodukte (Sennheiser Revue, 2002)

Ein Beispiel für die Berechnung durch Computer: Das Freeware-Programm „**Intermodulation Interference Calculator**“ von Polar Electronics (<http://www.polarelec.com.au>) für das Betriebssystem Windows 98:

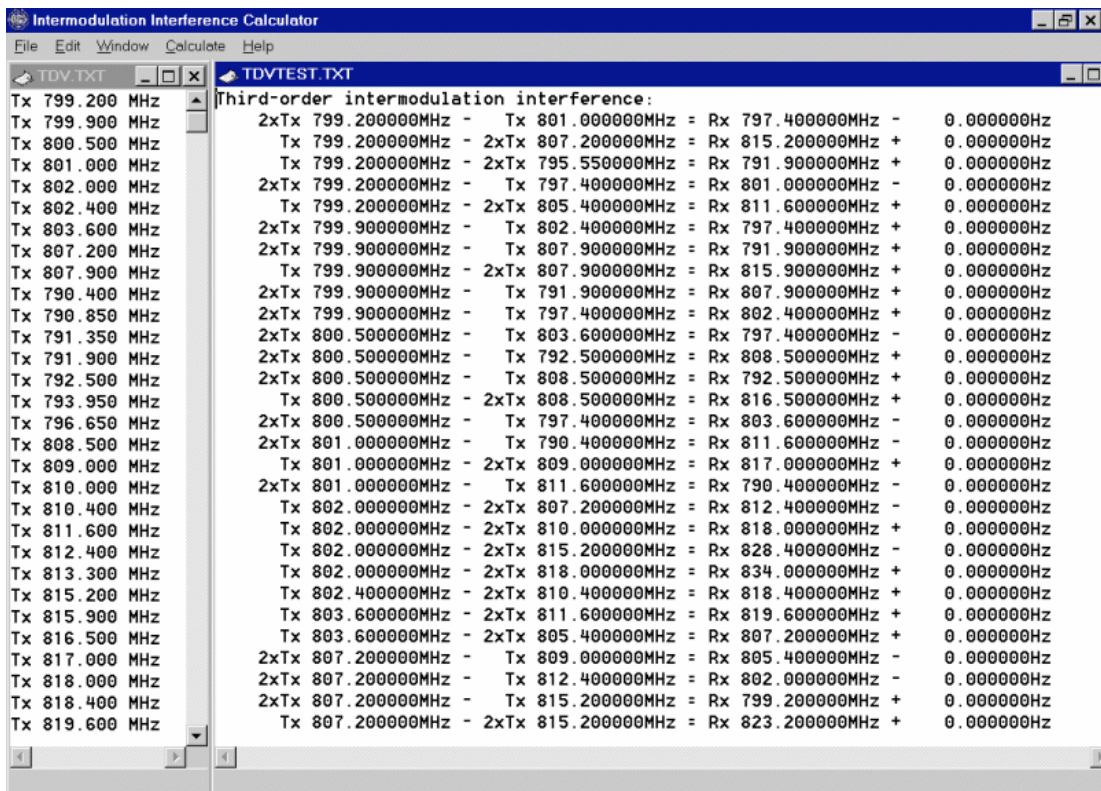


Abbildung 8: Screenshot RF Calculator

Ein anderes Freeware-Programm gibt es als Download von der Firma Comtek. Den „**Frequency Selection Guide**“ (<http://www.comtek.com>), der auf MS-DOS läuft:

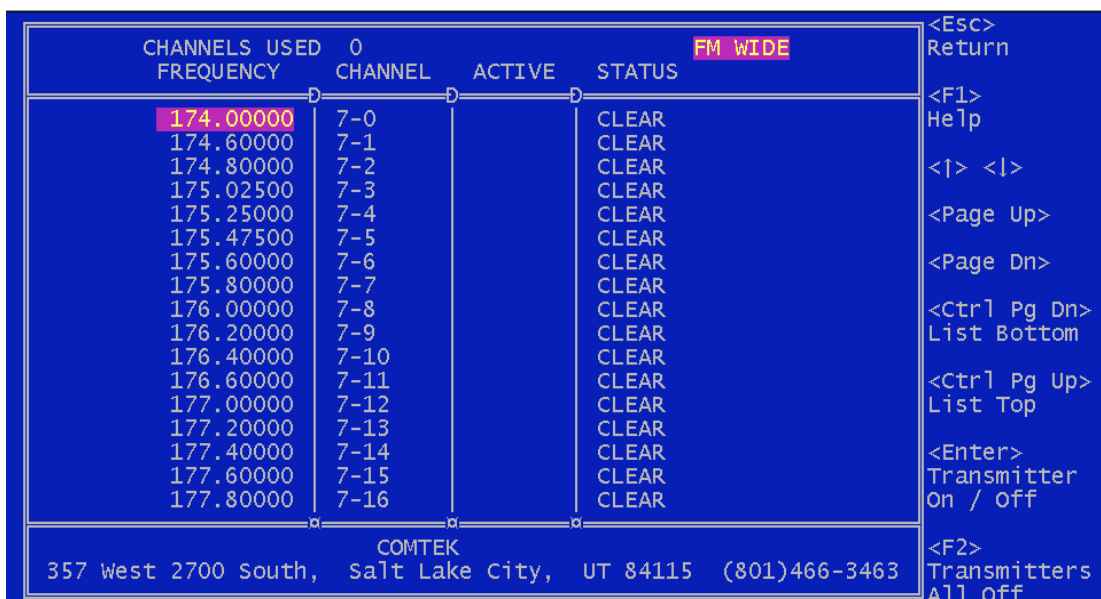


Abbildung 9: Screenshot Frequency Selection Guide

Um neue intermodulationsfreie Frequenzen berechnen zu können, müssen natürlich die am Standort bereits genutzten Funkfrequenzen bekannt sein. Im Falle der HdM findet sich im Intranet eine Liste der vergebenen **Funkfrequenzen in der Fachhochschule**:

https://www.hdm-stuttgart.de/intranet/technikboard/funk_frequenzen

Übersicht über die vergebenen Funkfrequenzen an der HdM – Mozilla (Build ID: 2003050714)

[Intranet-Startseite](#) | [Sitemap](#) | [Suchen](#) | [Hilfe](#) | [MyIntranet](#) | [Impressum](#)

Frequenz-Check

Ist Ihre gewünschte Frequenz noch frei?

Frequenz (z.B. **800.525**):

Übersicht über die vergebenen Funkfrequenzen an der HdM:
(Doppelt vergabene Frequenzen sind rot markiert, neue Frequenzen oder Änderungen bitte an fahrbach@hdm-stuttgart.de)

Frequenz	Typ	Raum/Standort	Kontakt
160.01 MHz	stationär	Videostudio, Nobelstraße	Kurt Müll
164.61 MHz	stationär	Videostudio, Nobelstraße	Kurt Müll
211.500 MHz	mobil	Video EB, Nobelstraße	Kurt Müll
212.125 MHz	mobil	Video EB, Nobelstraße	Kurt Müll
36.7 MHz	stationär	417, Wolframstraße	Jürgen Rüber
36.7 MHz	stationär	011, Wolframstraße	Jürgen Rüber
37.1 MHz	stationär	012, Wolframstraße	Jürgen Rüber
798.850 MHz	stationär	Hardcut, Nobelstraße	Steffen Mühlhöfer
799.400 MHz	stationär	- , Nobelstraße	Kurt Müll
800.100 MHz	stationär	RadioBar / Foyer, Nobelstraße	Peer Johannes
800.500 MHz	stationär	RadioBar / Foyer, Nobelstraße	Peer Johannes
800.525 MHz	stationär	Hardcut, Nobelstraße	Steffen Mühlhöfer
801.000 MHz	stationär	RadioBar / Foyer, Nobelstraße	Peer Johannes
801.100 MHz	stationär	Audimax, Nobelstraße	Heiko Schulz
801.100 MHz	stationär	- , Nobelstraße	Kurt Müll
801.475 MHz	stationär	- , Nobelstraße	Kurt Müll
801.600 MHz	stationär	RadioBar / Foyer, Nobelstraße	Peer Johannes
801.925 MHz	stationär	- , Nobelstraße	Kurt Müll

Termine

01.10.2003
Vorlesungsbeginn WS 2003/2004 für Neumatrikulierte
[mehr](#)

02.10.2003
Ringvorlesung
[mehr](#)

08.10.2003
Kükenführung
[mehr](#)

08.10.2003
MI-Statistik
[mehr](#)

09.10.2003
Kingvorlesung
[mehr](#)

Weitere Termine finden Sie im [Intranet-Kalender](#)

Abbildung 10: Screenshot HdM-Intranet: Vergebene Funkfrequenzen

1.5 Mikrofone und Sender

Bei der Mikroporttechnik kommen zwei Arten von Mikrofonen bzw. Sendern zum Einsatz: Handmikrofone mit integrierten Sendern und Miniaturmikrofone, die an Taschensender angeschlossen sind.



Abbildung 11: Handsender und Taschensender mit Miniaturmikrofon

1.5.1 Handsender

- Mikrofon, Sender und Antenne sind in einem Gerät integriert.
- Anwendung: Sprache, Gesang.
- Wechselköpfe verfügbar: Dynamische Kapseln, Kondensatorkapseln. Verschiedene Richtcharakteristiken.
- Vorteile: Einfach in der Handhabung, Nahbesprechungseffekt nutzbar.
- Nachteil: Nur wirklich sinnvoll für Personen, die im Umgang mit Mikrofonen geübt sind.
- Alternative: ‚normales‘ Handmikrofon mit Anstecksender für XLR-Buchse.

1.5.2 Taschensender mit Miniaturmikrofon

Das Mikrofon wird über eine Anschlussbuchse an einen Taschensender angeschlossen. Die Sendeantenne muss ebenfalls an einer Buchse angeschlossen werden.

Anwendungsbeispiele: Beim Fernsehen als Ansteckmikrofon, im Theater als „unsichtbare“ Mikrofonierung. Statt einem Mikrofon kann auch ein elektroakustisches Instrument (z.B. E-Gitarre) angeschlossen werden.

Bei den Mikrofonen handelt es sich um Kondensatorkapseln, meist mit Kugelcharakteristik. Gebräuchlich sind z.B. Mikrofone der Firma Sennheiser (MKE 2), von DPA (Typ 4060) oder von Countryman (Typ B 3 und B 6).



Abbildung 12: Miniaturmikrofone

Die vorangegangene Abbildung zeigt unten ein Sennheiser MKE 2 Gold und oben ein DPA 4060. auf den Mikrofonkapseln stecken jeweils die dazugehörigen kurzen Schutzkappen. Daneben liegen zum Vergleich die Kappen in der langen Ausführung. Durch die verschiedenen Schutzkappen kann der Frequenzgang der Miniaturmikrofone gezielt verändert werden. So bewirkt z.B. die kurze Kappe des DPA eine Anhebung von +3dB zwischen 8 und 20 kHz. Durch die lange Kappe wird eine eher schmalbandige Anhebung von +10dB bei 12 kHz erzielt (vgl. DPA 4060, 2003).

- Vorteil Taschensender: Kleines Mikrofon, dadurch kaum sichtbar. Sender kann unter der Kleidung versteckt getragen werden. Erhöhte Mobilität der Akteure.
- Nachteil: Sender und Mikrofon müssen getrennt gekauft werden → nicht so kostengünstig wie ein Handsender.

1.5.2.1 Anwendungsbeispiel: Miniaturmikrofone beim Theater

Abhängig von der Maske bzw. der Perücke der Schauspieler sind verschiedene Positionen zum Anbringen des Mikrofons möglich:

- Mittig auf der Stirn, kurz unterhalb des Haaransatzes.
- Seitlich der Augenbraue.
- Auf der Backe.

Die Mikrofonkapsel mit einem speziellen Maskenkleber (Mastix) direkt auf der Haut fixiert. Das Kabel wird unter der Perücke geführt und mit Haarklammern und -nadeln festgesteckt.

Je nach Position ergibt sich auch eine andere Klangfärbung der abgenommenen Sprache. Dies ist bei der Abmischung über ein Tonpult durch eine Anpassung der Klangregelung im jeweiligen Mikrofonkanal zu berücksichtigen.

Die folgenden Abbildungen zeigen den Frequenzgang eines MKE 2 mit Aufsteckkappe MZC2-1 (kurze Ausführung), getragen an verschiedenen Positionen.

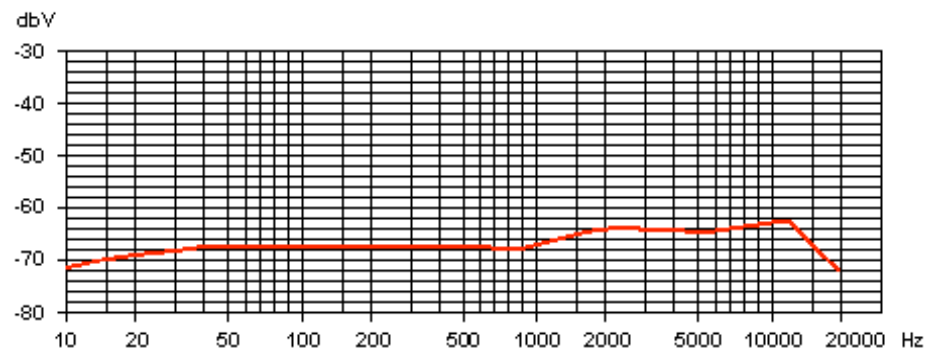


Abbildung 13: MKE 2 mittig auf der Stirn (MKE 2 Gold, 1999)

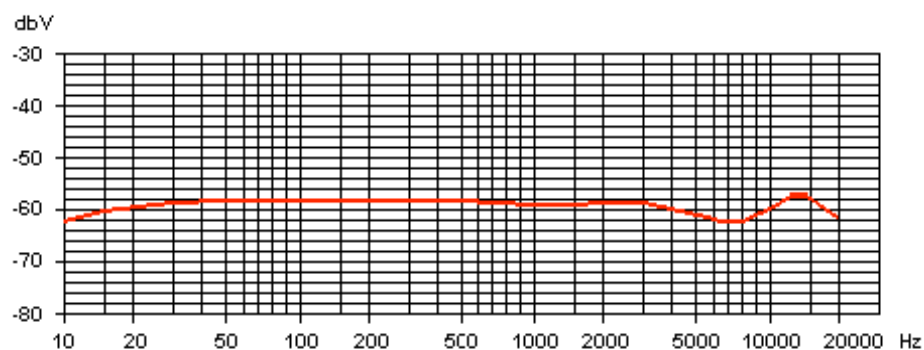


Abbildung 14: MKE 2 auf der Backe (MKE 2 Gold, 1999)

Der Mikroport-Sender steckt in einer speziellen Tasche, die an einem Gummiband-Gürtel angebracht ist. Getragen wird dieser Gürtel unter dem Kostüm um die Hüfte oder am Oberarm. Die Mikroport-Taschen können auch direkt im Kostüm eingenäht sein.

Ein mechanische Schwachstelle der Miniaturmikrofone sind die Steckverbindungen an den Sendern. Wenn sich die Darsteller stark bewegen, ist das Mikrofon und der Sender einer großen Belastung ausgesetzt. Oftmals gehen dabei die Steckverbindungen zu Bruch.

Um dies zu vermeiden, kann eine doppelte für eine Zugentlastung des Mikrofonkabels angebracht werden. Zum einen ist direkt am Stecker das Kabel mit einer einfachen

Schleife nach unten geführt und mit Schrumpfschlauch fixiert. Außerdem wird das Kabel nochmals mit Textilklebeband auf der Rückseite des Senders angeklebt. Durch diese Maßnahmen wird ein direkter Kabelzug am Stecker vermieden.

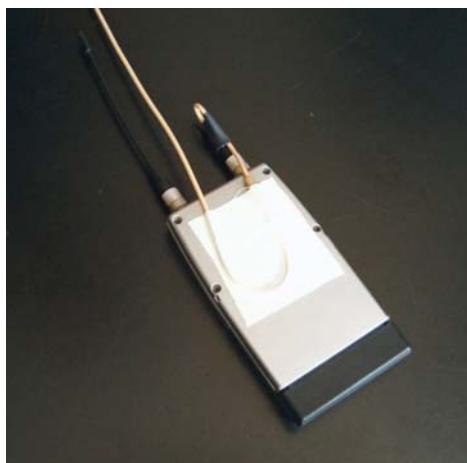


Abbildung 15: Zugentlastung für Mikrofonskabel

Die Stromversorgung der Sender erfolgt durch wiederaufladbare Nickel-Metallhydrid-Akkus (NiMH). Die durchschnittliche Einsatzzeit des gezeigten Taschensenders Sennheiser SK 50 beträgt mit diesen Akkus ca. sieben Stunden.

1.6 Senderprinzip

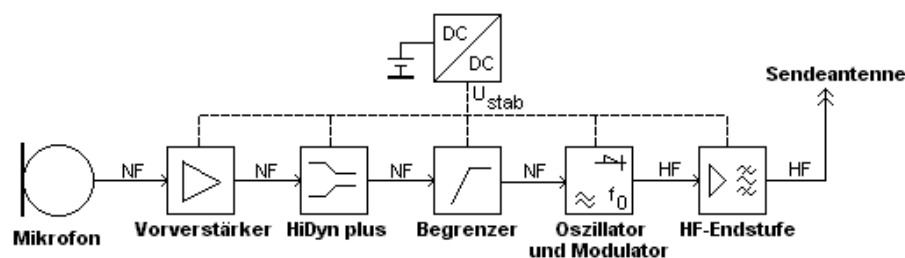


Abbildung 16: Prinzipaufbau eines Senders (Sennheiser Revue, 2002)

Erläuterung zur Abbildung: Das Mikrofonsignal wird im *Vorverstärker* auf Line-Pegel gebracht, *HiDyn plus* komprimiert die Dynamik um Rauschen und Störungen auf der HF-Funkstrecke zu minimieren. Der *Begrenzer* setzt eine feste Obergrenze für die Dynamik des NF-Signals, damit der Hub des HF-Signals einen Bereich von ± 56 kHz nicht überschreitet. Durch den *Oszillator* wird eine hochfrequente Schwingung erzeugt. Das NF-Signal dient als Steuerspannung für die Frequenzänderung des Schwingkreises (*Modulation*). Durch Frequenzvervielfachung wird die eigentliche Sendefrequenz erreicht. Die *HF-Endstufe* verstärkt das HF-Signal. Der *DC/DC-Wandler* sorgt für eine konstante HF-Ausgangsleistung über die gesamte Betriebsdauer. Über die *Sendeantenne* wird das HF-Signal abgestrahlt.

1.6.1 HiDyn plus

Funkstrecken haben gegenüber Kabelverbindungen ein deutliches Eigenrauschen. Um dennoch eine gute Klangqualität zu erreichen, kann ein Komandersystem eingesetzt werden. Das NF-Signal wird vor der Übertragung komprimiert und vom Empfänger wieder expandiert. Sennheiser nennt dieses Verfahren bei ihren Mikroports „HiDyn plus“.

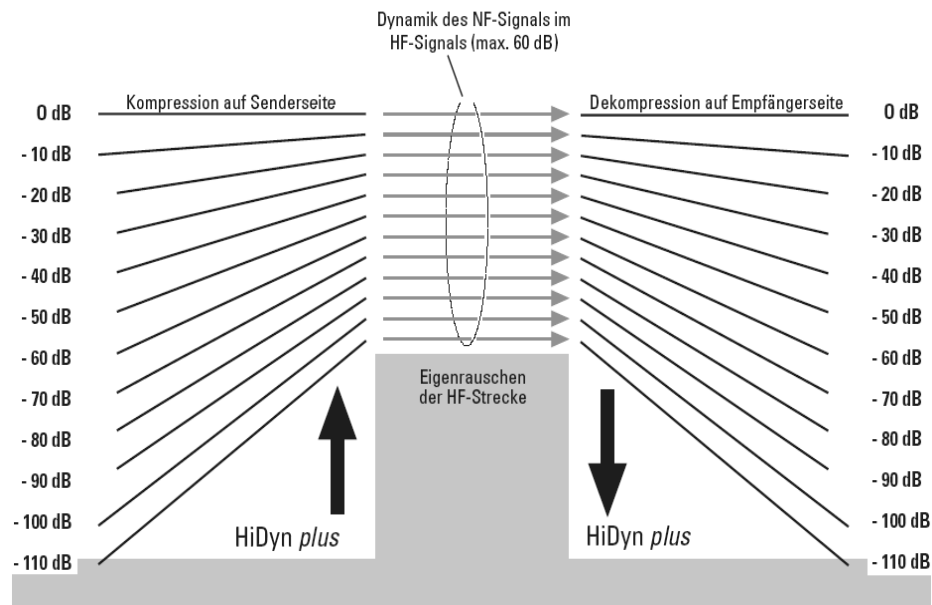


Abbildung 17: Arbeitsweise von HiDyn plus (Sennheiser Revue, 2002)

Albrecht schreibt über HiDyn plus: „Zur Steigerung der Signalqualität wird bei den Sennheiser Mikroports das Komandersystem HiDyn plus eingesetzt. „Die Rauschunterdrückung des HiDyn plus-Verfahrens ist verblüffend gut. Wird ohne Komandersystem unter sonst optimalen Bedingungen ein Geräuschspannungsabstand von ca. 60 dB erreicht, so kommt man mit HiDyn plus auf einen Wert von nahezu 110 dB.“ (Albrecht et al., 1995, Seite 179).

Andere Anbieter von Mikroportanlagen nutzen eigene Systeme zur Rauschunterdrückung. Zu beachten ist dabei, dass die einzelnen Firmenstandards u.U. nicht kompatibel zueinander sind.

Sennheiser bietet für In-Ear-Monitoring ebenfalls Drahtlostechnik an. Diese Monitor-Systeme arbeiten mit der Rauschunterdrückung „HiDyn stage“. HiDyn plus und HiDyn stage sind nicht kompatibel!

1.7 Empfangsantennen

1.7.1 Dipol

Die einfachste Bauweise für eine Empfangsantenne ist der sog. Dipol. Dies kann eine ausziehbar Stabantenne sein oder auch nur ein gerader Draht.

Der Dipol empfängt das vom Sender abgestrahlte elektromagnetische Feld nur optimal, wenn er parallel zur Sendeantenne ausgerichtet ist. D.h. wenn die Sendeantenne senkrecht getragen wird, dann muss auch der Dipol senkrecht angebracht sein.

In geschlossenen Räumen gibt es durch Reflexionen auch Änderungen in der Polarisation des elektromagnetischen Feldes. Es kommen in der Praxis also auch waagrechte Komponenten vor. Ein waagrecht ausgerichteter Dipol empfängt allerdings ca. 3 bis 6 dB weniger als ein senkrecht ausgerichteter.

Ein Dipol muss in der Länge abgestimmt sein. Optimal ist die halbe Wellenlänge der Empfangsfrequenz. Man spricht dann auch von einem $\lambda/2$ -Dipol. Für das 8 m-Band muss ein Dipol 4 m lang sein, für den UHF-Bereich (0,7 m-Band) ist die Empfangsantenne nur ca. 30 cm lang.

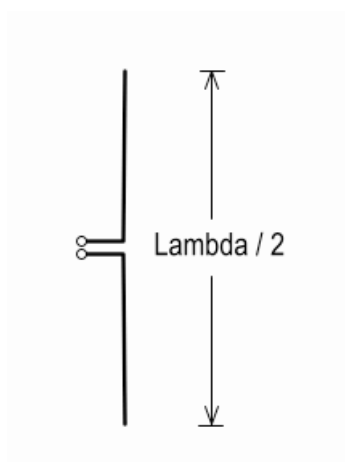


Abbildung 18: Dipol (Albrecht et al., 1995)

1.7.2 $\lambda/4$ -Halbdipol

Wenn ein „Gegengewicht“ vorhanden ist, kann die Hälfte des Dipols eingespart werden. Ein Gegengewicht kann dabei der Erdboden, eine Stahlplatte oder ein Metallstativ sein.

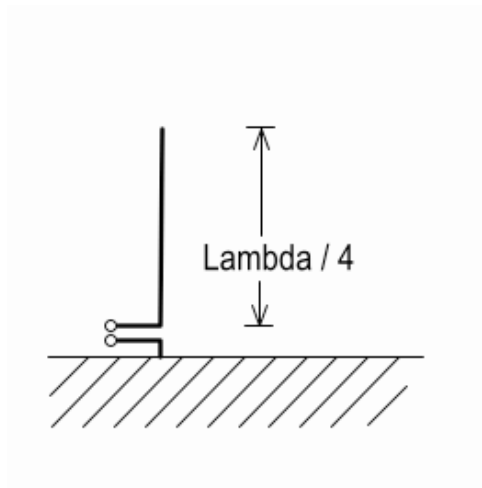


Abbildung 19: Halbdipol (Albrecht et al., 1995)

1.7.3 Ground-Plane Antenne

Gegengewichte sind hier Metallstäbe. Ground-Plane-Antennen empfangen unsymmetrisch. Bei senkrechter Aufstellung befindet sich der beste Empfangsbereich oberhalb der Metallstäbe.



Abbildung 20: Ground-Plane Antenne

1.7.4 Antennenkabel

Bei dem Anschluss von der Antenne an den Empfänger wird mit Leistungsanpassung gearbeitet. Die Impedanz der Antenne und des Antenneneingangs müssen dabei übereinstimmen. Üblich sind dabei 50 Ohm Wellenwiderstand.

Es gibt Antennenkabel mit verschiedenen Dämpfungen (RG 58, RG 213 und RG 217).

Tabelle 2: Dämpfung von Antennenkabeln (SSB-Electronic, 2003)

Frequenz	RG 58	RG 213
100 MHz	16,1 dB	6,9 dB
144 MHz	17,8 dB	8,5 dB
432 MHz	33,2 dB	15,8 dB
1000 MHz	54,6 dB	22,5 dB
Dämpfung bei 100m Länge und 20° C		

Ein RG 217-Kabel hat eine noch geringere Dämpfung und ist daher bei sehr langen Kabelwegen vorzuziehen.

Ein häufig verwendetes Antennenkabel für UHF und VHF ist das H2000 von der Firma Belden. Als Steckverbinder sind sog. N-Stecker montiert.



Abbildung 21: Antennenkabel H2000 (Kabel-Kusch, 2003)

Falls die Dämpfung der Leitung zu hoch sein sollte, können auch Booster eingesetzt werden. Der Booster sollte dabei direkt hinter der Empfangsantenne angebracht sein, und nicht etwa am Empfänger, da sonst das Leitungsrauschen mit verstärkt wird.

In Abbildung 20 ist ein Booster an einer Ground-Plane-Antenne zu sehen.

1.7.5 Antennensplitter

Bei Mehrkanalanlagen werden meist auf einen bestimmten Frequenzbereich abgestimmte Empfangsantennen eingesetzt (z.B. eine Antenne pro TV-Kanal). Das HF-Signal wird dann über einen Antennensplitter (Antennenweiche) an die einzelnen Empfänger verteilt.

Es gibt Antennensplitter in passiver und aktiver Ausführung, wobei passive Signalverteilung nur für kleinere Anlagen (3 – 4 Kanäle) und kurze Antennenleitungen (< 10 m) in Frage kommt. Bei Diversity-Anlagen (siehe nachfolgend) sind zweizügige Splitter notwendig.

Zu Beachten ist die Dämpfung des HF-Signals bei der Verteilung. Bei einem Splitter mit einem Eingang und drei Ausgängen wird das Signal bereits um ca. 6 dB abgeschwächt.

1.8 Empfänger

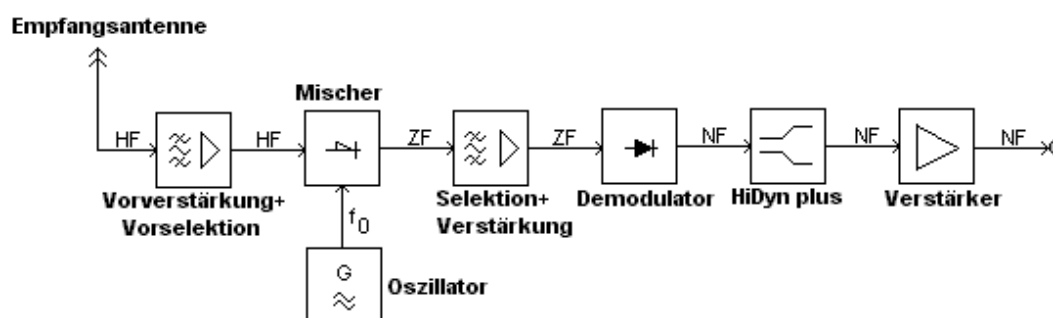


Abbildung 22: Prinzipaufbau eines Empfängers (Sennheiser Revue, 2002)

Erläuterung zur Abbildung: In der *HF-Vorstufe* wird das Frequenzgemisch durch ein Bandpassfilter selektiert und der Bereich der Empfangsfrequenz vorverstärkt. Unterschiedliche HF-Pegel werden angeglichen. Im *Mischer* wird die Empfangsfrequenz auf eine Zwischenfrequenz (ZF) von 10,7 MHz umgesetzt. Der *Demodulator* gewinnt aus dem ZF-Signal ein niederfrequentes Signal. In der *HiDyn-plus-Baugruppe* wird die ursprüngliche Dynamik des NF-Signals wiederhergestellt. Der *NF-Verstärker* bringt das Signal auf Line-Pegel.

1.9 Diversity-Verfahren

Eine Empfangsantenne, die im Raum installiert ist, empfängt nicht nur das direkt vom Sender ausgestrahlte HF-Signal, sondern auch durch Wände reflektierte Signale (Mehrwegempfang). Wenn ein direktes und ein reflektiertes HF-Signal mit gleichem Pegel aber entgegengesetzter Phase an der Empfangsantenne eintreffen, so löschen

sich diese Signale aus. Es entsteht ein sog. „Funkloch“, es kommt zu Dropouts im Empfänger.

Eine zweite Antenne an einem anderen Ort im Raum liegt dabei eventuell außerhalb dieses Funkloches. Genau das führt zum Prinzip des Diversity-Verfahrens.

„Eine [...] Steigerung der Übertragungssicherheit und Tonqualität bietet das sog. Diversity-Verfahren auch unter sehr schwierigen Bedingungen. Bei diesem Verfahren erfolgt ein Vergleich der Hochfrequenzpegel zweier Empfängerzweige, wobei nur das Signal des Empfängers mit den momentan besseren Empfangsverhältnissen zum Ausgang durchgeschaltet wird.“ (Albrecht et al., 1995, Seite 182).

Jeder Empfänger erhält dabei HF-Signale von zwei Antennen. Zum Demodulator im Empfänger wird immer nur das ZF-Signal mit dem höheren Pegel durchgeschaltet. Dadurch sollen Dropouts möglichst vermieden werden. Das folgende Blockschaltbild zeigt den Aufbau eines Diversity-Empfängers. Es gibt hier zwei komplette Empfangszüge, wie bereits in Abbildung 22 dargestellt. Ein Komperator schaltet den Audioweg des Empfängers mit dem höheren ZF-Pegel weiter.

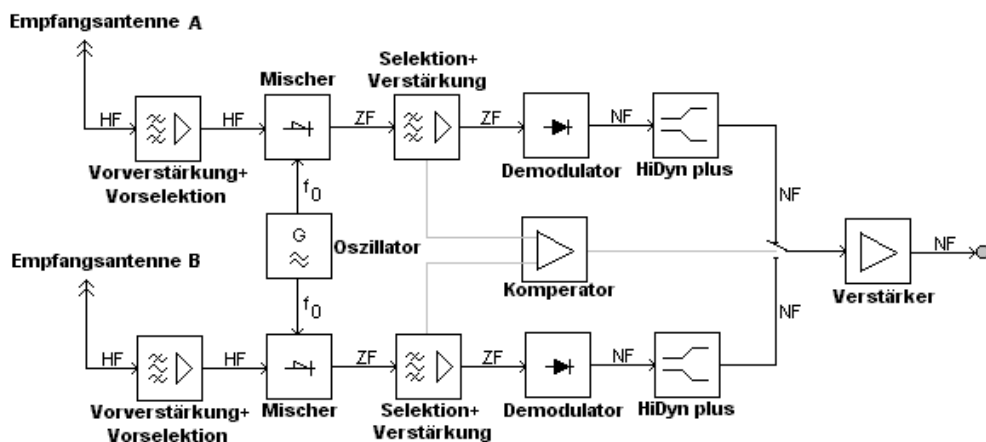


Abbildung 23: Prinzipaufbau Diversity-Empfänger (Sennheiser Revue, 2002)

1.10 Anwendungsbeispiel: Empfängeranlage im Theater



Abbildung 24: Rack mit Empfänger

In zwei 19“-Racks befinden sich insgesamt 44 Empfänger:

- Sennheiser EM 1046 für 24 Kanäle
- Sennheiser EM 3532 U für 20 Kanäle

Auf dem Remote-Computer, ein PC mit Betriebssystem Windows XP, ist die Software SMCD installiert. Der Bildschirm zeigt dabei Statusanzeigen der Mikroports: HF- und Audiopegel, Batterieanzeige und Empfangsfrequenz. „Eine besondere Hilfe stellt auch der RF-Strength Recorder dar. Hiermit lassen sich Aufzeichnungen der HF-Feldstärke eines Empfängers von über einer Minute vornehmen.“ (Albrecht et al., 1995, Seite 190).



Abbildung 25: Kontrollmonitor

In den bereits gezeigten Abbildungen 11, 12, 15 und 20 sind die zur Anlage gehörenden Mikrofone, Sender und Empfangsantennen zu sehen:

- Handsender Sennheiser SKM 5000
- Taschensender SK 50
- Antennen Sennheiser G7A 1036-9
- Antennenbooster Sennheiser AB 1036 TV

2 Infrarotsendeanlage

Die IR-Übertragung ist eine weitere Alternative zur kabelgebundenen Anlagentechnik. Signalträger ist dabei moduliertes, für den Menschen unsichtbares Infrarotlicht.

IR-Anlagen werden überwiegend eingesetzt bei Dolmetscher-Anlagen, Hörbehinderten-Anlagen in Theatern und für Informationssysteme in Museen und bei Messen.

2.1 Signalweg

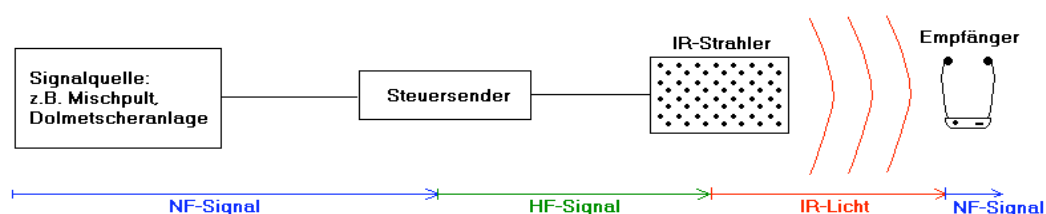


Abbildung 26: Signalweg IR-Technik (vgl. Sennheiser Revue, 1999)

Erläuterung zur Abbildung: Von der Quelle gelangt über ein Audiokabel das NF-Signal mit Line- oder Mikrofon-Pegel zum Steuersender. Dieser moduliert eine HF-Trägerfrequenz mit der Information des NF-Signals. Über eine koaxiale Kabelverbindung wird dieses HF-Signal dem IR-Strahler zugeführt. Spezielle Dioden im Strahler emittieren Infrarotlicht, das dann vom Empfänger aufgefangen wird. Im Empfänger wird das Lichtsignal zurückgewandelt in ein Audiosignal.

2.2 Anwendungsbeispiel: Hörbehinderten-Anlage im Theater

„In einem Theater- oder Konzertsaal ist der Gebrauch eines Hörgeräts wenig befriedigend, weil es dem Benutzer kein Richtungshören ermöglicht. Er kann die Störgeräusche (Publikumsgeräusch, Nachhall) nicht getrennt vom Nutzschall (Stimmen der Schauspieler, Musik) wahrnehmen. Daher sind Störgeräusche für Schwerhörige weitaus unangenehmer als für Normalhörende. In diesem Punkt lässt sich eine wesentliche Verbesserung erzielen, wenn man den Schwerhörigen ein Schallsignal anbietet, das möglichst frei von Störschall ist.“ (Boye und Herrmann, 1989, Seite 231).

Um dieser Forderung gerecht zu werden, wird das Tonsignal der Vorstellung über Infrarotsender im Saal übertragen.

Die Infrarot-Übertragung bietet gegenüber der drahtlosen Übertragung im UHF-Frequenzbereich den Vorteil, dass die Reichweite auf den Zuschauersaal beschränkt bleibt.

Da unsichtbares Infrarotlicht verwendet wird, gibt es keine optischen oder elektrischen Störungen. Deshalb können Infrarotsender ohne Probleme zusätzlich zu den drahtlosen UHF-Anlagen betrieben werden (vgl. Dickreiter, 1997, Band 1, Seite 225).

2.3 Probleme bei IR-Übertragung

- Starke Kunstlichtlampen mit mehr als 2000 Lux bzw. Leuchtstofflampen mit mehr als 10 000 Lux und direkte Sonneneinstrahlung beeinflussen die Infrarot-Übertragung.
- Bei abgeschaltetem Strahler kann u.U. ein stark einfallender Langwellensender in den Empfängern gehört werden.
- Nur bei Sichtverbindung zwischen Strahler und Empfänger bestehen optimale Übertragungsbedingungen. Mauern, Holz, dichte Vorhänge usw. verhindern eine Ausbreitung des Infrarotlichts. Glas lässt Infrarotlicht dagegen passieren, spiegelnde Flächen reflektieren es vollständig.

2.4 Modulation

Ein Signal, das über eine Infrarot-Sendediode ausgestrahlt werden soll, muss über die Intensität moduliert sein. Es wäre möglich, ein Audiosignal mit der Bandbreite von 20 Hz bis 20 kHz direkt zu modulieren, d.h. das Licht im Takt der anliegenden Frequenz auf und abschwellen zu lassen. Allerdings senden Leuchtstofflampen ein starkes, oberwellenreiches 100 Hz-Signal aus, das die Übertragung stören würde. Um von den niedrigen Frequenzen wegzukommen, ist eine Trägerung des NF-Signals erforderlich. (vgl. Albrecht et. al., Seite 210).

Bei der IR-Übertragung wird eine kombinierte Amplituden- / Frequenzmodulation verwendet. „Dabei wird der Diodenstrom durch einen Hochfrequenzhilfsträger intensitätsmoduliert. Die Hilfsfrequenz wird dann ihrerseits mit dem NF-Signal frequenzmoduliert.“ (Albrecht et. al., Seite 210).

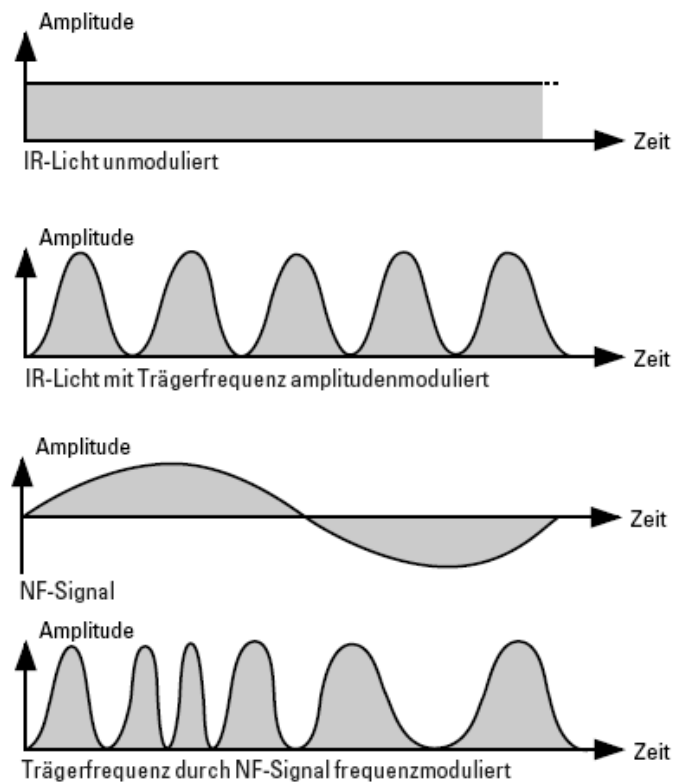


Abbildung 27: IR-Modulation (Sennheiser Revue, 1999)

Unterscheidung Breitband- und Schmalbandtechnik:

Breitband: Hub = ± 50 kHz; Genormte Trägerfrequenzen: 95 kHz / 250 kHz und 2,3 / 2,8 MHz für Zweikanal- bzw. Stereoübertragung; Bandbreite NF-Signal: 20 Hz bis 20 kHz.

Schmalband: Hub = ± 7 kHz; Mehrkanalige Anlagen mit bis zu 32 Kanälen auf genormten Trägerfrequenzen; Bandbreite NF-Signal: 50 Hz bis 8 kHz.

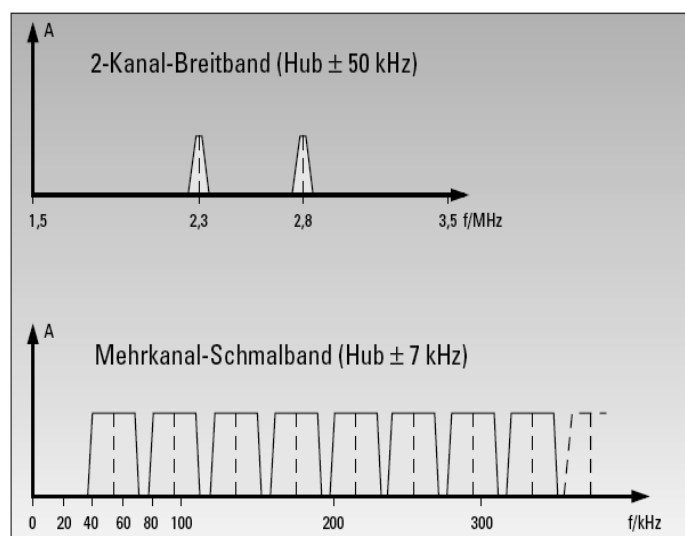


Abbildung 28: Bandbreite bei IR-Übertragung (Sennheiser Revue, 1999)

2.5 Anlagenteile bei IR-Technik

- **Steuersender:** Verstärkt das anliegende NF-Signal und moduliert es auf die Trägerfrequenz.
- **Infrarot-Strahler:** Im Strahler emittieren Sendedioden Infrarotlicht mit einer Wellenlänge „von ca. 880 nm bzw. 950 nm, je nach verwendetem Diodentyp“ (Albrecht et al., 1995, Seite 208). Im Raum sind mehrere Strahler notwendig und es wird diffus ausgeleuchtet. Damit kann in jedem Punkt ein guter Empfang gewährleistet werden. Sollte das Rauschen im Empfänger zu groß sein, muss die Aufstellung der Strahler optimiert bzw. die Anzahl der Strahler erhöht werden.
- **Infrarot-Empfänger:** Die Empfänger haben eine lichtempfindliche Diode, die über eine Sammellinse mit optischem Filter nur das Infrarotlicht aufnimmt. Nach der Demodulation liegt das ursprüngliche NF-Audiosignal vor. Es gibt Empfangsgeräte mit integrierten Ohrhörern oder mit einer Anschlussbuchse für Hörgeräte.

2.5.1 Steuersender

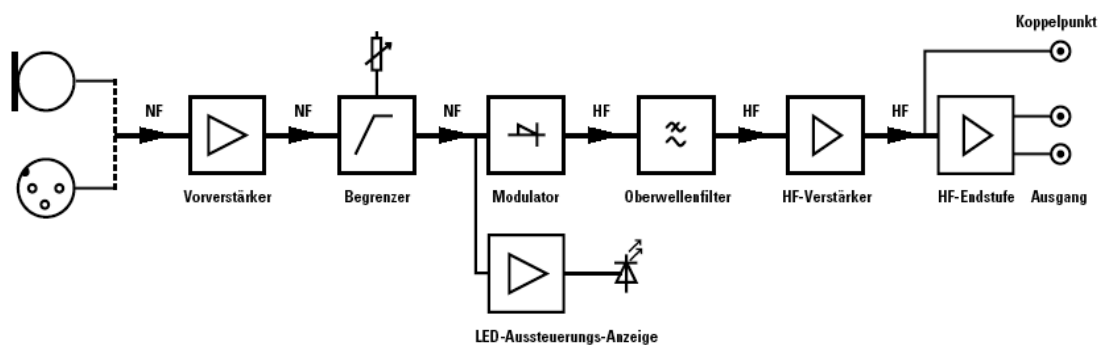


Abbildung 29: Prinzipaufbau IR-Steuersender (Sennheiser Revue, 1999)

Erläuterung zur Abbildung: Nach einer Vorverstärkung und Begrenzung des NF-Signals erfolgt die FM. Ein Oberwellenfilter verhindert das Auftreten von zu starken Oberwellen, die bei der FM entstehen. Das verstärkte HF-Signal liegt dann an der Ausgangsbuchse an.



Abbildung 30: Zwei Steuersender Sennheiser SI 1013

Steuersender Sennheiser SI 1013:

- Einkanaliger Steuersender
- Breitbandtechnik
- Kanalschalter für Kanal 1 (95 kHz) und Kanal 2 (250 kHz)
- Audio-Eingang: XLR-Buchse
- Strahleranschluss: BNC (50 Ohm, RG 58)

2.5.2 Strahler

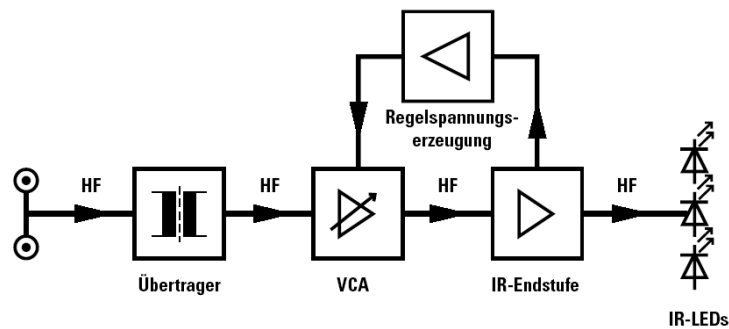


Abbildung 31: Prinzipaufbau IR-Strahler (Sennheiser Revue, 1999)

Erläuterung zur Abbildung: Der Übertrager sorgt für eine galvanische Trennung, um Brummschleifen zu verhindern. Ein VCA steuert die Eingangsspannung der IR-Endstufe, die wiederum die Intensität der Sendedioden regelt.

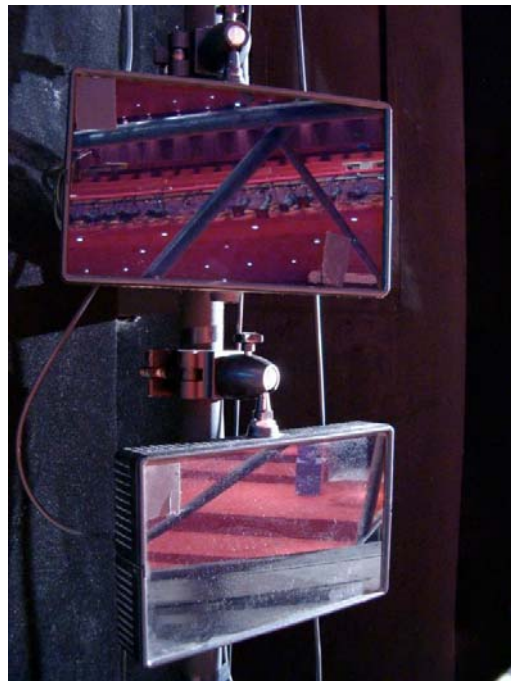


Abbildung 32: Strahler Sennheiser SZI 1219

Strahler Sennheiser SZI 1219:

- Leistungsstrahler mit einer Ausleuchtungsfläche von ca. 600 m²
- HF-Ausgang zum Anschluss von weiteren Strahlern
- Montage durch 3/8"-Stativgewinde
- Betriebssicher durch Aufteilung der Sendedioden in 12 Gruppen mit Ausfallanzeige

2.5.3 Empfänger

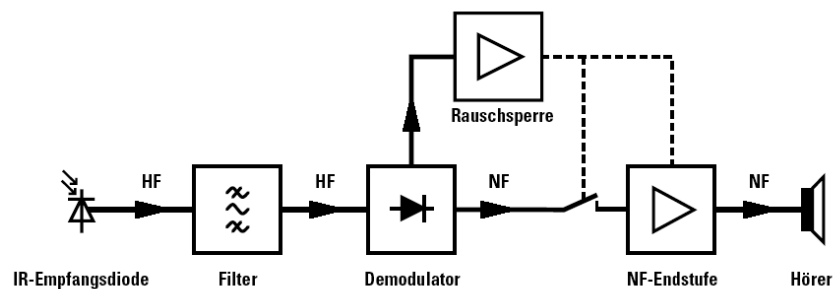


Abbildung 33: Prinzipaufbau IR-Empfänger (Sennheiser Revue, 1999)

Erläuterung zur Abbildung: Nach einer Bandpassfilterung des HF-Signals erfolgt die Demodulation. Die Rauschsperrschaltung verhindert das Aufrauschen des Empfängers bei unzureichender Empfangssignalstärke. Die NF-Endstufe verstärkt das Signal für einen Kopfhörer.



Abbildung 34: Empfänger Sennheiser HDI 91

Empfänger Sennheiser HDI 91:

- Kinnbügelempfänger
- Breitbandtechnik

- Rauschsperr
- extrem leicht (ca. 40 g incl. Akku)



Abbildung 35: Empfänger Sennheiser HDI 407

Empfänger Sennheiser HDI 407:

- Empfänger mit Anschlussbuchse für Kopfhörer / Hörgerät
- Breitbandtechnik
- Rauschsperr
- extrem leicht (ca. 40 g incl. Akku)

Glossar

Dropouts: Kurze, ungewollte Unterbrechungen des Audiosignals.

HF: Hochfrequenz; Frequenzen von 30 MHz bis 960 MHz.

HiDyn-plus: Ein von der Firma Sennheiser entwickeltes Rauschunterdrückungssystem für die drahtlose Tonübertragung.

Infrarotlicht: Für den Menschen nicht sichtbares Licht (Wärmestrahlung) im Bereich oberhalb ca. 780 nm.

Intermodulationsprodukt: Bei der drahtlosen Tonübertragung auftretende Störfrequenzen, die sich aus der Überlagerung der Nutzfrequenzen ergeben.

Komprimierung: Einengen der Dynamik des Tonsignals.

Line-Pegel: Pegel mit max. 1,55 V_{pp} (=0 dB_u).

Mastix: Spezieller Kleber zum Anbringen von Maskenteile direkt auf der Haut.

Mikrofon-Pegel: Pegel mit ca. 300 mV (= ca. -35 dB_u).

Mikroport-Anlage: Anlage zur drahtlosen Tonübertragung (Kombination von Sender und Empfänger im UHF- oder VHF-Bereich).

NF: Niederfrequenz; 20 Hz - 20 kHz.

UHF: Ultra High Frequency; Frequenzbereich von 300 - 3000 MHz.

VHF: Very High Frequency; Frequenzbereich von 87,5 - 1000 MHz.

Literaturverzeichnis

Albrecht, Frank-Werner, Mayer-Fasold, C., Veit, Ivar und Korthals, Thomas

(1995): Beschallungstechnik.

Renningen-Malmsheim: expert-Verlag.

Boye, Günther und Herrmann, Urbi F. (1989): Handbuch der Elektroakustik.

Heidelberg: Hüthig.

Dickreiter, Michael (1997): Handbuch der Tonstudioteknik, Band 1 und Band 2.

München: Saur Verlag.

DPA 4060 (2003): Bedienungsanleitung.

Allerød, Dänemark: DPA Microphones A/S.

Kabel-Kusch (2003): H2000 Flex von Belden

<http://www.kabel-kusch.de/h2000.htm>

(Datum des Zugriffs: 04. Oktober 2003).

MKE 2 Gold (1999): Bedienungsanleitung.

Wedemark: Sennheiser electronic.

Sennheiser Revue (1999): mit Planungsteil IR-Technik für die Praxis.

Teil 4, Ausgabe 11/99.

Wedemark: Sennheiser electronic.

Sennheiser Revue (2002): mit Planungsteil HF-Technik für die Praxis,

Teil 3, Ausgabe 05/02.

Wedemark: Sennheiser electronic.

SSB-Electronic (2003): Vermeiden Sie Verluste...

<http://www.ssb.de/products/koax/>

(Datum des Zugriffs: 04. Oktober 2003).

RegTP (2003): Webseite der Regulierungsbehörde für Telekommunikation und Post.

<http://www.regtp.de/>

(Datum des Zugriffs: 15. August 2003).

Sonstige Internet-Quellen:**Funkfrequenzen an der HdM:**

https://www.hdm-stuttgart.de/intranet/technikboard/funk_frequenzen
(Datum des Zugriffs: 04. Oktober 2003).

„Intermodulation Interference Calculator“ von Polar Electronics:

<http://www.polarelec.com.au>
(Datum des Zugriffs: 04. Oktober 2003).

„Frequency Selection Guide“ von Comtek:

<http://www.comtek.com>
(Datum des Zugriffs: 04. Oktober 2003).