

Untersuchung der Einsatzmöglichkeiten und der Zulassungsbestimmungen vorhandener Funkübertragungsstrecken im 430 MHz-Band

Masterarbeit

durchgeführt von

Anja Genser

9131450, F066411

am Institut für Nachrichtentechnik und Wellenausbreitung
der Technischen Universität Graz

Vorstand: o. Univ.-Prof. Dipl.-Ing. DDr. Willibald Riedler

Begutachter: o. Univ.-Prof. Dipl.-Ing. DDr. Willibald Riedler

Betreuer: Dipl.-Ing. Dr. Erich Leitgeb

Graz, am 24. 10. 2012

Anrechnung der Diplomarbeit aus 1999 als Masterarbeit 2012

Diese Arbeit wurde im Diplomstudium Telematik (F874) von Anja Moritz als Diplomarbeit durchgeführt, abgeschlossen und von Prof. Riedler begutachtet und benotet (1999). Anja Moritz (mittlerweile Anja Genser) musste aus beruflichen Gründen vom alten Studienplan (Diplomstudium Telematik) in das Bakk./Masterprogramm (F066411) wechseln.

2012 schließt Anja Genser das Studium Telematik Bakk./Masterprogramm (F066411) erfolgreich ab und diese Arbeit wird nun als Masterarbeit angerechnet.

Das Gutachten zur Masterarbeit wurde vom damaligen Betreuer der Diplomarbeit Dipl.-Ing. Dr. Erich Leitgeb ausgestellt. Auch die mittlerweile fällige Plagiatsprüfung wurde vom Institut für Hochfrequenztechnik durchgeführt.

Betreuer: Ao.Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. Erich Leitgeb

Graz, am 24. 10. 2012

Deutsche Fassung:
Beschluss der Curricula-Kommission für Bachelor-, Master- und Diplomstudien vom 10.11.2008
Genehmigung des Senates am 1.12.2008

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt, und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommene Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, am 24.10.2012

Christoph Jense
(Unterschrift)

Englische Fassung:

STATUTORY DECLARATION

I declare that I have authored this thesis independently, that I have not used other than the declared sources / resources, and that I have explicitly marked all material which has been quoted either literally or by content from the used sources.

24.10.2012
date

Christoph Jense
(signature)

Zusammenfassung

Funkübertragungstrecken im Frequenzbereich 433 MHz mit einer Sendeleistung von 10 mW werden unter dem Begriff Low Power Device (LPD), Funkübertragungssysteme niedriger Sendeleistung, zusammengefasst. In dieser Masterarbeit wurde bei verschiedensten LPD-Funkübertragungssystemen die Sendeleistung, die Modulationsart, die Modulationsbandbreite, die Empfindlichkeit des Empfängers und seine Eingangsbandbreite betrachtet, und aufgrund der gemessenen Werte ein System ausgewählt; die Wahl fiel auf das TMX-433-MHz-Transmitter-Modul und dem SILRX-433-MHz-Empfänger-Modul der britischen Firma Radiometrix.

Ebenso wurden die zur Bewilligung notwendigen gesetzlichen Vorgaben recherchiert: Um LPD-Funkanlagen in Österreich betreiben zu können, muss eine Typenzulassung auf Grundlage der „Fernmeldetechnischen Vorschrift für Funkanlagen geringer Leistung (LPD), die in harmonisierten Frequenzbereichen betrieben werden“ (FTV 505), vorliegen, oder in einem anderen Staat zugelassen sein, dessen Fernmeldebehörde ein Mitglied der Europäischen Konferenz der Post und Fernmeldeverwaltungen (CEPT) ist. Die Kennzeichnung erfolgt mit „CEPT LPD y“, wobei „y“ für das internationale Kfz-Kennzeichen des jeweiligen Staates steht. Ebenfalls muss der Sender und Empfänger den in den European Standard Telecommunications Series, der EN 300 220-1 und der EN 300 220-2 festgelegten Normen genügen.

Abstract

The wireless applications within the frequency range of 433 MHz with radiated power of 10 mW are defined as Low Power Devices (LPD). In this paper the radiated power, the type of modulation, the bandwidth of modulation, the sensitivity of the receiver and the bandwidth of the receiver have been observed for various Low Power Devices. Based on the results of the measurements a system was chosen: the transmitter module “TXM-433 MHz” and the receiver module “SILRX-433 MHz”, developed by the british company Radiometrix.

Research was also completed regarding the necessary legal procedures for approval. In order to operate Low Power Devices in Austria, the Low Power Devices must be approved according to the FTV 505. Alternatively the Low Power Devices are consequently labeled with “CEPT y”, where “y” stands for the international country-abbreviation. Finally the transmitter as well as the receiver must satisfy the requirements of the European Standard Telecommunications Series: EN 300 220-1 and EN 300 220-2.

Danksagung

Die Diplomarbeit wurde bei der steirischen Firma Thermocraft durchgeführt. Mein Dank für die ausgezeichnete Unterstützung und Betreuung während meiner Diplomarbeit gilt dabei Dipl.-Ing. Johann Stark. Im Zuge dessen danke ich ebenso Dipl.-Ing. Dr. Erich Leitgeb vom Institut für Nachrichtentechnik und Wellenausbreitung für die hervorragende Diplomarbeitbetreuung, sowie Dipl.-Ing. Nicolas Valavanoglou für die Laborbetreuung bei den praktischen Messungen. Weiters bedanke ich mich recht herzlich beim Institutsvorstand o. Univ.-Prof. Dipl.-Ing. DDr. Willibald Riedler für die Begutachtung der Diplomarbeit.

Ebenso ein großes Danke an das Gendarmeriekommando Graz-Straßgang für ihre Unterstützung bei der Abmessung der Reichweitenprüfstrecke.

Abschließend Dank und Liebe an meine Eltern, die mich immer unterstützt haben und mir zur Seite gestanden sind.

Inhaltsverzeichnis

<u>1. Einleitung.....</u>	<u>7</u>
1.1. Aufgabenstellung.....	7
1.2. Verwendung	7
<u>2. Gesetzliche Vorgaben</u>	<u>9</u>
2.1. Erlaubte Frequenzbereiche und Frequenzen in Europa	9
2.2. Kanalaufteilung.....	11
2.2.1. Kurzübersicht 26,5 MHz bis 2 GHz	11
2.2.2. Frequenzbereiche für den Funkverkehr	13
2.2.3. Kanalraster.....	13
2.3. Vorschriften und Rechtslage.....	14
2.3.1. Allgemein	14
2.3.2. Das Fernmeldegesetz von 1993	14
2.4. Internationale Bestimmungen für Funkanlagen geringer Leistung (LPD)	21
2.4.1. Überblick	21
2.4.2. Auszug der Richtwerte aus der European Standard Telecommunications Series	22
<u>3. Mögliche bestehende Schaltungsrealisierungen.....</u>	<u>29</u>
3.1. Allgemeines	29
3.2. Schaltungstechnische Realisierungsmöglichkeiten	30
3.2.1. Sender	30
3.2.2. Empfänger	38
3.2.3. Design gängiger Produkte	39
3.3. Betrachtung von Modulationsarten.....	40
3.3.1. Allgemein	40
3.3.2. Modulation eines sinusförmigen Trägers durch ein analoges Modulationssignal	42
3.3.3. Vor- und Nachteile	50
3.3.4. Modulation eines sinusförmigen Trägers durch ein digitales Modulationssignal	50
<u>4. Vorstellung der angekauften Systeme.....</u>	<u>54</u>
4.1. Pocket Com 70.....	54
4.1.1. Allgemeines.....	54
4.1.2. Stromversorgung	54

4.1.3. Herstellerangaben	54
4.1.4. Technische Daten	55
4.1.5. Kanal- und Frequenzzuordnung	56
4.2. AS 14 Funk-Türglocke	57
4.2.1. Allgemeine Beschreibung des Systems	57
4.2.2. Technische Daten	57
4.3. HX und RX 1000	57
4.3.1. Hybrid-Transmitter HX 1000	57
4.3.2. ASH-Receiver RX 1000	59
4.4. UHF-Sender- und Empfängerbaustein AM	60
4.4.1. UHF-Sendermodul	61
4.4.2. UHF-Empfängermodul	62
4.5. SIL FM-Transmitter- und Receivermodul	62
4.5.1. SIL FM-Sendermodul	63
4.5.2. SIL FM-Superüberlagerungs-Empfangsmodul	63
4.6. 3-Kanal-Funkfernsteuerung	65
4.6.1. Anwendung	65
4.6.2. 3-Kanal-UHF-Handsender	65
4.6.3. 3-Kanal-UHF-Empfänger-Schaltstufe	67
4.7. Funkwirksystem IND8000	67
4.7.1. Handfunk-Sender IND8000	69
4.7.2. Stationärer Empfänger IND8000	70
4.8. UHF TMX-Sendemodul und SIL-Empfängermodul	71
4.8.1. Anwendungsmöglichkeiten	71
4.8.2. UHF-Radio-Telemetry-Transmitter-Modul	71
4.8.3. UHF-Radio-Telemetry-SILReceiver-Modul	74
5. Bestmögliche Lösung	78
5.1. Allgemein	78
5.2. Das TXM-433-MHz-Transmitter-Modul (F-Version)	78
5.2.1. Kurzbeschreibung	78
5.2.2. Blockdiagramm	79
5.2.3. Abmessungen	79
5.2.4. Anschlussbelegung	80
5.2.5. Leistungsdaten	80
5.2.6. Stromversorgungsanforderungen	82
5.2.7. Modulationsanforderungen	82

5.2.8. Antennenanforderungen	83
5.2.9. Preis	84
5.3. UHF Rundfunk Fernmessung SIL-Empfänger-Modul	85
5.3.1. Kurzbeschreibung	85
5.3.2. Blockdiagramm	85
5.3.3. Testschaltung	86
5.3.4. Beschreibung der Anschlussbelegung	86
5.3.5. Mechanische Abmessungen des Empfängermoduls	87
5.3.6. Leistungsdaten	87
5.3.7. Zeitliche Wellenformen	88
5.3.8. Antennenkonfigurationen	88
5.3.9. Benutzung des detektierten Ausgangssignals	89
5.3.10. Interner Datenzerhacker	89
5.3.11. Systemcodierung	89
5.3.12. AF-Ausgang	90
5.3.13. Versorgungsanforderungen	90
5.3.14. Stromsparender Vier-Kanal-Empfänger	90
5.3.15. Preis	90
<u>6. Schlussbemerkung</u>	<u>91</u>
Anhang A	
Reichweitentests	92
Anhang B	
Messungen an Sendern	94
Anhang C	
Messungen an Empfängern	97
Literaturverzeichnis	101

1. Einleitung

1.1. Aufgabenstellung

Diese Arbeit beschäftigt sich im Folgenden mit Funkübertragungsstrecken im Frequenzbereich um 433 MHz mit 10 mW Ausgangsleistung, sogenannter Low-Power-Device-Systeme (LPD). Abzuklären galt es:

- die rechtlichen Bestimmungen in Österreich
- die zulässigen Frequenzbereiche in Europa
- die allgemeinen Kanaleinteilungen (Kanalaraster)
- die Vielfältigkeit der in diesem Frequenzbereich arbeitenden Systeme

Im Weiteren wurden bereits bestehende Low-Power-Device-Systeme (LPD) angekauft. Dabei wurde folgendes betrachtet:

- die Reichweite
- die Störanfälligkeit der einzelnen Systeme

Weiters wurde dann aus diesen Funkübertragungssystemen die erste Auswahl getroffen. Jene ausgewählten Systeme (Sender- und Empfängermodule) wurden im Labor messtechnisch untersucht, und folgende Größen wurden gemessen bzw. betrachtet:

Auf den Sender bezogen:

- die an der Antenne abgegebene Leistung (Sendeleistung) P_S
- die Modulationsart
- die Modulationsbandbreite
- das erste Seitenband

Auf den Empfänger bezogen:

- die Empfindlichkeit des Empfängers
- die Eingangsbandbreite

Nach anschließendem Vergleich der Messergebnisse der jeweiligen Funkübertragungssysteme wurde die bestmögliche Lösung bestimmt, diese begründet und eine Preisbetrachtung vorgenommen.

1.2. Verwendung

Im Frequenzbereich von 430 MHz bis 440 MHz, dem sogenannten 70 cm-Band, auch bezeichnet als Amateurfunk, sind Funkanlagen geringer Leistung (LPD) angesiedelt. Für jedermann verwendbar, sowohl im privaten als auch im industriellen Bereich, decken gerade solche Funkübertragungssysteme einen breiten Anwendungsbereich ab. Diese beiden Gesichtspunkte sind daher auch ausschlaggebend für die „dichte Besiedelung“ dieses Frequenzbereiches, was zur Folge hat, dass gegenseitige Störungen der einzelnen Anwendungen nicht ausgeschlossen werden können. So arbeiten gerade in diesem Frequenzbereich beispielsweise folgende Systeme und Funkanwendungen:

- **Garagentoröffner**
- Babyphon
- Zentralverriegelung bei Autos
- Alarmanlagen bei Autos
- Diebstahlschutz in privaten und industriellen Bereichen
- mobile Fernbedienungen
- fernschaltbare Steckdosen
- Funktürglocke
- Kranfernsteuerung
- Drahtlose Stromversorgung
- Basisstation für Barcodescanner
- Datenfunk-Modem
- Raumthermostate
- Personennotrufanlage

Zweck dieser Masterarbeit soll es nun sein, durch Betrachtung rechtlicher Angelegenheiten in Bezug auf Bewilligung und Frequenzzulassungen sowie aufgrund von Durchführung von Messungen und deren Auswertung, ein geeignetes Funkübertragungssystem zu finden, das sich als Basis eines Garagentoröffners eignet, eingebaut in die Sonnenblende eines Fahrzeuges. Besonderes Augenmerk wird beim Endergebnis des Funkübertragungssystems auch auf die Codierung gelegt. Hierbei handelt es sich nicht um eine Fixcodierung, sondern um ein hochentwickeltes, hochsicheres Rolling-Code-Verfahren, was aber letztlich nicht Teil dieser Masterarbeit ist.

2. Gesetzliche Vorgaben

2.1. Erlaubte Frequenzbereiche und Frequenzen in Europa

Land	Frequenzbereiche	I	II	III
Luxemburg	13,553 – 13,567 MHz; 26,957 – 27,283 MHz; 40,66 – 40,70 MHz; 433,05 – 434,79 MHz	27 MHz	40 MHz	433 MHz
England	27,0 MHz; 26,995 MHz; 27,045 MHz; 27,095 MHz; 27,145 MHz; 27,195 MHz; 40,0 MHz; 40,66 MHz; 40,70 MHz	27 MHz	40 MHz	Nur für Automobilanwendungen zugelassen
Finnland	433,05 MHz; 434,79 MHz; 468,20 MHz; 27 MHz; 40 MHz; 433 MHz	27 MHz	40 MHz	433 MHz
Dänemark	27 MHz; 40 MHz; 433 MHz	27 MHz	40 MHz	433 MHz
Belgien	26,995 MHz; 27,045 MHz; 27,095 MHz; 27,145 MHz; 27,195 MHz; 40,665 MHz; 40,675 MHz; 40,685 MHz; 40,695 MHz; 433,05 MHz; 434,790 MHz	27 MHz	40 MHz	433 MHz
Schweden	27 MHz; 40 MHz; 433 MHz	27 MHz	40 MHz	433 MHz
Deutschland	26,957 – 27,283 MHz; 40,66 – 40,7 MHz; 433,05 – 434,79 MHz; 2400 – 2483,5 MHz; 5725 – 5875 MHz; 24,0 – 24,25 MHz	27 MHz	40 MHz	433 MHz
Italien	27,5 – 27,6 MHz; 29,8 – 29,9 MHz; 30,8500 – 30,9625 MHz	27 MHz	---	---
Schweiz	26,957 – 27,283 MHz; 40 MHz; 433 MHz	27 MHz	40 MHz	433 MHz

Land	Frequenzbereiche	I	II	III
Österreich	26,957 – 27,283 MHz; 40,0 MHz; 433 MHz	27 MHz	40 MHz	433 MHz
Portugal	26,995 MHz; 27,045 MHz; 27,095 MHz; 27,145 MHz; 27,195 MHz; 40,665 MHz; 40,695 MHz; ISM: 29,980 MHz; 29,990 MHz; 30,000 MHz; 30,010 MHz; 150,9375 MHz; 150,9500 MHz; Nicht ISM: 155,5375 MHz; 155,5500 MHz; 458,1125 MHz; 458,1250 MHz; 458,1375 MHz; 458,1500 MHz	27 MHz	40 MHz	---
Niederlande	9 – 160 kHz; 26,990 – 27,470 kHz; 30,020 – 30,3000 MHz; 40,660 – 40,700 MHz; 153,750 – 154,000 MHz; 433,052 – 434,797 MHz; 450,920 – 451,100 MHz; 2,4 – 2,5 GHz; 9,3 – 9,5 GHz; 10,5125 – 10,5375 GHz; 24,05 – 24,25 GHz	27 MHz	40 MHz	433 MHz
Spanien	29,710 – 29,990 MHz; 30,035 – 30,295 MHz; 40,665 – 40,695 MHz (jeweils in 10-ner Schritten)	27 MHz	40 MHz	---
Irland	433,05 – 434,79 MHz	---	---	433 MHz
Rumänien	6,765 – 6,795 MHz; 13,553 – 13,567 MHz; 26,957 – 27,283 MHz; 40,660 – 40,700 MHz; 433,050 – 434,790 MHz	27 MHz	40 MHz	---
Lettland	433,05 – 434,79 MHz	---	---	---
Estland	433,050 – 434,790 MHz	---	---	433 MHz
Türkei	40,500 – 40,975 MHz; 30 – 87,5 MHz; 87,5 – 216 MHz; 230 – 1000 MHz; 433,050 – 434,790 MHz	---	40 MHz	433 MHz
Norwegen	26,995 MHz; 27,045 MHz; 27,095 MHz; 27,145 MHz; 27,195 MHz; 27,255 MHz; 40,665 MHz; 40,675 MHz; 40,685 MHz; 40,695 MHz; 433,92 MHz	27 MHz	40 MHz	433 MHz

Land	Frequenzbereiche	I	II	III
Frankreich	26,995 MHz; 27,045 MHz; 27,095 MHz; 27,120 MHz; 27,145 MHz; 27,195 MHz; 30,875 MHz; 30,900 MHz; 30,950 MHz; 40,680 MHz; 71,325 MHz; 71,375 MHz; 71,775 MHz; 152,575 MHz; 152,5875 MHz; 152,650 MHz; 407,700 MHz; 407,900 MHz; 407,925 MHz; 433,920 MHz; 26,957 – 27,283 MHz; 40,660 – 40,700 MHz; 433,050 – 434,790 MHz	27 MHz	40 MHz	433 MHz
Zypern	40,500 – 40,975 MHz; 30 – 87,5 MHz; 87,5 – 216 MHz; 230 – 1000 MHz; 433,050 – 434,790 MHz	---	40 MHz	433 MHz

Aus dieser Liste ist eindeutig ersichtlich, dass die Frequenz 433 MHz nur in Italien, Portugal und Spanien für Funkanwendungen nicht zulässig ist. In England gilt die Regelung, dass die Frequenz 433 MHz nur für Automobilanwendungen zugelassen ist, was auf diese MA zutrifft.

2.2. Kanalaufteilung

2.2.1. Kurzübersicht 26,5 MHz bis 2 GHz

Die nachfolgende Tabelle gibt einen groben Überblick über den VHF/UHF-Bereich.

Frequenzbereich	Funkanwendung
26,565 – 27,405 MHz	CB-Funk
28,0 – 29,7 MHz	Amateurfunk
32 – 40 MHz	Mobilfunk 8 m-Band
46,6 – 47,0 / 49,6 – 50,0 MHz	Schurlose Telefone
47 – 68 MHz	Fernsehbereich
50 – 54 MHz	Amateurfunk 6 m-Band
68 – 87,5 MHz	Mobilfunk 4 m-Band
87,5 – 108 MHz	UKW-Hör-Rundfunk

Frequenzbereich	Funkanwendung
108 – 118 MHz	Flugnavigationfunk
118 – 137 MHz	Ziviler Flugfunk
136/137 MHz	Satellitenfunk
137 – 144 MHz	Militär Flugfunk
144 – 146 MHz	Amateurfunk 2 m-Band
146 – 174 MHz	Mobilfunk 2 m-Band
149/150 MHz	Satellitenfunk
174 – 230 MHz	Fernsehbereich
230 – 400 MHz	Flugfunk
410 – 430 MHz	Mobilfunk (Bündel- und Datenfunk)
430 – 440 MHz	Amateurfunk 70 cm-Band Funkanlagen geringer Leistung (LPD)
440 – 470 MHz	Mobilfunk 70 cm-Band
470 – 790 MHz	Fernsehbereich
885 – 887 MHz	Schnurlose Telefone
890 – 960 MHz	Mobiltelefon D-Netz
914 – 915 MHz	Schnurlose Telefone
930 – 932 MHz	Schnurlose Telefone
959 – 960 MHz	Schnurlose Telefone
1240 – 1300 MHz	Amateurfunk 23 cm-Band
1530 – 1545 MHz	INMARSAT Satellitenfunk
1670 – 1675 MHz	Flugtelefonnetz TFTS
1690 – 1700 MHz	Meteosat-Satelliten
1710 – 1880 MHz	Mobiltelefon E-Netz
1800 – 1805 MHz	Flugtelefonnetz TFTS
1900 MHz	Schnurlose Telefone (DECT)

2.2.2. Frequenzbereiche für den Funkverkehr

Frequenzbereich	Benennung des Frequenzbereiches
3 – 30 kHz	Myriameterwellen (Längstwellen); VLF = Very Low Frequency
30 – 300 kHz	Kilometerwellen (Langwellen); LF = Low Frequency
300 – 3000 kHz	Hektometerwellen (Mittelwelle und Grenzwelle); MF = Medium Frequency
3 – 30 MHz	Dekameterwellen (Kurzwellen); HF = High Frequency
30 – 300 MHz	Meterwellen (Ultrakurzwellen); VHF = Very High Frequency
300 – 3000 MHz	Dezimeterwellen UHF = Ultra High Frequency
3 – 30 GHz	Zentimeterwellen SHF = Super High Frequency
30 – 300 GHz	Millimeterwellen EHF = Extremely High Frequency
300 – 3000 GHz	Dezimeterwellen

Laut Umrechnung von der Frequenz in die Wellenlänge

$$\text{Wellenlänge (in m)} = \frac{300\,000}{\text{Frequenz (in kHz)}}$$

ergibt sich für eine Frequenz von 433 MHz eine Wellenlänge von 70 cm.

2.2.3. Kanalraster

Für die Nutzung der verschiedenen Frequenzbereiche ist in der Regel, abhängig von der Betriebsart und damit von der erforderlichen Bandbreite, ein Kanalraster vorgegeben. In diesem Kanalraster befinden sich die Sendefrequenzen in einem bestimmten Abstand voneinander. In den Sprechfunkbändern für FM-schmal beispielsweise beträgt dieser Abstand 20 oder 25 kHz, was so viel bedeutet wie: Alle 20 oder 25 kHz könnte ein Sender arbeiten,

ohne dass es beim Empfang zu Störungen durch einen Nachbarkanal kommt, weil die Aussendungen nur eine Bandbreite von etwa 12 bis 15 kHz haben. Auf höheren Frequenzen wird mit einem Kanalaraster von 12,5 kHz gearbeitet; hier ist dann die Bandbreite der Übertragungsverfahren geringer.

Auch für Funkanlagen geringer Leistung, die im Frequenzbereich 433 MHz arbeiten, existiert eine solche Kanalarasterung. Beginnend bei 433,075 MHz ist in jeweils 12,5 kHz-Schritten aufwärts bis 434,775 MHz ein Raster vorgeschlagen. Für diesen Raster gibt es jedoch derzeit noch keine offiziellen Normen.

2.3. Vorschriften und Rechtslage

2.3.1. Allgemein

Auf dem Gebiet des Funks nimmt die Telekom Control eine wichtige Stellung ein. Das Fernmeldegesetz von 1998 ist die Grundlage für die rechtlichen Bestimmungen von Funkanlagen. Es beinhaltet alle Anforderungen Funkanlagen zu errichten, diese zu betreiben sowie die Erteilung fernmelderechtlicher Genehmigungen und letztlich auch das Festlegen der Genehmigungsbedingungen. Diese Rechte umfassen im weiteren auch die Verpflichtung, das Funkfrequenzspektrum zu verwalten und unter Berücksichtigung von fernmelderechtlichen, frequenzökonomischen, wirtschaftlichen und technischen Gesichtspunkten gerecht an diejenigen zu verteilen, die außer der Telekom Control selbst Bedarfsträger sind.

Die Einräumung so weitgehender Ausschließlichkeitsrechte erfolgte deswegen, weil aufgrund der vielfältigen Störungsmöglichkeiten von Funkstellen untereinander eine Regelung nach einheitlichen Gesichtspunkten für erforderlich gehalten wurde – ein Gesichtspunkt, der durch das rasche Anwachsen der Funkanlagen noch an Bedeutung gewonnen hat.

Ein weitgehend störungsfreier Betrieb von Funkanlagen bedingt sorgfältig geplante Frequenzvergabe, Regelungen auf internationaler Ebene, Festlegung der technischen Anforderungen, die an die Funkanlagen zu stellen sind, und Überwachung auf Einhaltung der Genehmigungsbedingungen.

2.3.2. Das Fernmeldegesetz von 1993

2.3.2.1. Überblick

Das Fernmeldegesetz ist eine der zentralen Forderungen auf dem Gebiet des Wettbewerbs auf dem Markt für Telekommunikationsdienste und beinhaltet die Trennung der hoheitlichen von den betrieblichen Funktionen der Fernmeldeorganisationen. In diese Abschnitt werden für die Masterarbeit relevante Auszüge und Zusammenfassungen aus dem Fernmeldegesetz kompakt dargelegt [12 + 15].

Artikel 7 der Richtlinie 90/388/EWG sieht vor, dass in den Mitgliedsstaaten die Erteilung von Betriebsgenehmigungen, die Überwachung von Zulassungen und verbindlichen Spezifikationen, die Zuteilung von Frequenzen und die Überwachung von Nutzungsbedingungen von einer von den Fernmeldeorganisationen unabhängigen Einrichtung durchgeführt wird. Diese Forderung wird durch die Einrichtung der obersten Fernmeldebehörde, der Fernmeldebüros und des Zulassungsbüros vollinhaltlich entsprochen. Dabei umfasst der örtliche Wirkungsbereich der obersten Fernmeldebehörde und des Zulassungsbüros das gesamte Bundesgebiet.

Die Fernmeldebüros sind aufgeteilt und eingerichtet:

1. in Graz für die Länder Steiermark und Kärnten,
2. in Innsbruck für die Länder Tirol und Vorarlberg,
3. in Linz für die Länder Oberösterreich und Salzburg sowie
4. in Wien für die Länder Wien, Niederösterreich und Burgenland.

Laut Bundesgesetz ist für vorgesehene Amtshandlungen, sofern nicht anders bestimmt, das örtlich in Betracht kommende Fernmeldebüro zuständig. Betrifft eine Maßnahme den Wirkungsbereich zweier oder mehrerer Fernmeldebüros, wird einvernehmlich vorgegangen. Das Zulassungsbüro ist zuständig für die Entscheidung über Anträge auf Typenzulassung von Funkanlagen (§ 14 des Fernmeldegesetzes 1993) und Zulassung von Endgeräten (§ 15 des Fernmeldegesetzes 1993) sowie für den Widerruf von erteilten Zulassungen.

2.3.2.2. Zweck und Anwendungsbereich des Fernmeldegesetzes

Laut Artikel 1, Abschnitt 1, § 1 des Fernmeldegesetzes 1993, soll dieses Bundesgesetz gewährleisten, dass die Fernmeldebedürfnisse von Bevölkerung und Wirtschaft im Bundesgebiet zuverlässig, preiswert und nach gleichen Grundsätzen befriedigt werden. In diesem Rahmen werden auch die Grundlagen für die Erfüllung des Versorgungsauftrages auf dem Gebiete des Fernmeldedienstes sowie die grundsätzlichen Rahmenbedingungen für den Wettbewerb auf dem Gebiet des Fernmeldewesens erläutert. Dabei wird der Begriff „Funkanlage“ (§ 2) wie folgt definiert:

Funkanlagen sind alle Fernmeldeanlagen, die elektromagnetische Wellen verwenden, die sich ohne künstliche Führung im freien Raum ausbreiten; In diesem Sinne umfasst der Begriff „Funkanlage“, im Unterschied zur bisherigen Regelung, nicht mehr jene leitungsgebundenen Fernmeldeanlagen, die Frequenzen über 10 kHz verwenden.

2.3.2.3. Technische Anforderungen

Im Allgemeinen müssen Fernmeldeanlagen in ihrem Aufbau und ihrer Funktionsweise den anerkannten Regeln der Technik entsprechen und den internationalen Vorschriften genügen. Dabei müssen bei der Errichtung und dem Betrieb von Fernmeldeanlagen sowohl der Schutz des Lebens und der Gesundheit von Menschen, als auch der ungestörte Betrieb anderer Fernmeldeanlagen gewährleistet sein. Bei der Gestaltung von Fernmeldeanlagen ist unter Beachtung der wirtschaftlichen Zumutbarkeit ebenfalls auf die Erfordernisse des Umweltschutzes, insbesondere auch im Hinblick auf eine fachgerechte Entsorgung, einzugehen. Durch Verordnung kann der Bundesminister für öffentliche Wirtschaft und Verkehr, dem jeweiligen Stand der Technik entsprechend, die näheren Bestimmungen und

technischen Voraussetzungen für Fernmeldeanlagen festsetzen, insbesondere für die Typenzulassung von Funkanlagen. Anstelle der Verordnungsbestimmungen können auch einschlägige ÖNORMEN oder ÖVE-Bestimmungen für verbindlich erklärt werden. Zudem können auch Verordnungen geltend werden, die den Hinweis auf Unterlagen mit technischen Inhalten, insbesondere mit Mess- und Prüfmethoden enthalten, welche beim Bundesministerium für öffentliche Wirtschaft und Verkehr und bei allen Fernmeldebehörden während der Amtsstunden zur Einsicht aufliegen.

2.3.2.4. Bewilligungspflicht

Die gesetzlichen Grundlagen beinhaltet Abschnitt 2 § 5. Grundsätzlich ist die Errichtung und der Betrieb einer Fernmeldeanlage nur mit einer Bewilligung zulässig. Die Bewilligung wird erteilt, wenn kein Grund für eine Ablehnung gemäß § 11 (2.3.2.10. Ablehnung von Anträgen auf Bewilligung) vorliegt.

2.3.2.5. Bewilligungsfreie Funkanlagen

Die Bewilligungspflicht für Funkanlagen gründet sich auf die bereits erwähnte Möglichkeit, ihren Standort unabhängig von der Verfügbarkeit über Übertragungswege zu verändern, sowie auf die Ausbreitungseigenschaften elektromagnetischer Wellen. Die hier normierte Bewilligungsfreiheit bezieht sich nur auf Funkanlagen des öffentlichen Fernmeldenetzes oder solche, die zum Betrieb des öffentlichen Fernmeldenetzes bestimmt sind. Durch die Einschränkung auf das öffentliche Netz ist die Ausnahmeregelung auch vertretbar, weil dadurch keine Wettbewerbsverzerrung gegenüber anderen Netzen oder Wettbewerbsdiensten erfolgt. Derartige Anlagen waren auch bisher bewilligungsfrei. Um Probleme bei der Frequenznutzung gering zu halten, sind die jeweils erforderlichen Frequenzen auch für diese Anlagen vom Bundesminister für Wirtschaft und Verkehr festzusetzen.

2.3.2.6. Einfuhr, Betrieb und Besitz von Funkanlagen

Die Einfuhr, der Vertrieb und der Besitz von Funksendeanlagen sind nur mit einer Bewilligung zulässig, wobei die Verwahrung selbst auch als Besitz gilt. Die Bewilligung wird erteilt, wenn die technischen Anforderungen gemäß § 3 erfüllt werden, insbesondere wenn Störungen anderer Fernmeldeanlagen nicht zu erwarten sind und sonst kein Grund für eine Ablehnung gemäß § 11 vorliegt. Für Funksendeanlagen, die als Endgeräte zugelassen und entsprechend gekennzeichnet sind, bedarf es keiner derartigen Bewilligung. Im Allgemeinen sind die Einfuhr, der Vertrieb und der Besitz von Funkempfangsanlagen grundsätzlich bewilligungsfrei, jedoch durch Verordnung kann der Bundesminister für öffentliche Wirtschaft und Verkehr die Einfuhr, den Vertrieb und den Besitz von Funkempfangsanlagen für bewilligungspflichtig erklären, wenn die Verwendung dieser Anlagen eine Gefährdung der öffentlichen Sicherheit bewirken kann oder sonst der Erfüllung behördlicher Aufgaben entgegensteht. Die Bewilligungspflicht selbst für die Herstellung von Geräten ist entfallen, da ihr Inhalt durch die Einfuhr-, Vertriebs- oder Besitzbewilligung bzw. durch die Benützungsbewilligung abgedeckt wird.

2.3.2.7. Bewilligungsverfahren

Anträge sind schriftlich einzubringen und haben folgende Angaben zu enthalten:

1. Name und Anschrift des Antragstellers,
2. Zweck der beantragten Bewilligung oder der in Aussicht genommenen Nachrichtenverbindung und
3. Funktionsweise der Funkanlage.

Dem Antrag sind Unterlagen anzuschließen, die bestätigen, dass die technischen Vorschriften eingehalten werden. Soweit dies mit dem Interesse an einem ordnungsgemäßen und störungsfreien Funkverkehr vereinbar ist, kann der Bundesminister für öffentliche Wirtschaft und Verkehr den Bau und den Betrieb sowie die Einfuhr, den Vertrieb und den Besitz von Funksendeanlagen auch allgemein für bestimmte Gerätearten oder Gerätetypen mit Verordnung generell für bewilligt erklären. Die Zuteilung von Frequenzen für den Betrieb von Funkanlagen, die öffentlichen Zwecken dienen, hat bevorzugt zu erfolgen, soweit dies zur Besorgung der Aufgaben des Antragstellers notwendig ist. Durch die Zuteilung der Frequenzen wird keine Gewähr für die Qualität der Funkverbindung übernommen. Darüber hinaus kann die Bewilligung Bedingungen und Auflagen enthalten; oder aber kann sie auch befristet erteilt werden. Mit Auflagen können Verpflichtungen auferlegt werden, deren Einhaltung nach den Umständen des Falles für den Schutz des Lebens oder der Gesundheit von Menschen, zur Vermeidung von Sachschäden, zur Sicherung des ungestörten Betriebes anderer Funkanlagen oder auch sonstigen technischen oder betrieblichen Belangen geboten erscheint.

2.3.2.8. Ausnahmbewilligung

Die in Abschnitt 2 § 9 erklärte Ausnahmbewilligung besagt, dass für die Erprobung neuer Techniken der Bundesminister für öffentliche Wirtschaft und Verkehr eine befristete Ausnahmbewilligung erteilen kann, selbst wenn die Anlage den geltenden technischen Normen nicht oder nicht ganz entspricht.

2.3.2.9. Gebühren

Für Konzessionen, Bewilligungen und Zulassungen nach diesem Bundesgesetz sind Gebühren nach den Bestimmungen des Fernmeldegebührengesetzes zu entrichten. Hat jemand durch das widerrechtliche Errichten oder Betreiben einer Fernmeldeanlage Gebühren entzogen, so hat das Fernmeldebüro, ungeachtet der wegen der widerrechtlichen Handlung verhängten Strafe, dem Schuldigen die entzogene Gebühr innerhalb der Verjährungsfrist nach den im Zeitpunkt der Feststellung der widerrechtlichen Handlung geltenden Sätze vorzuschreiben. Rückständige Gebühren können durch Rückstandsausweise eingetrieben werden.

2.3.2.10. Ablehnung von Anträgen auf Bewilligung

Der Antrag auf Bewilligung zur Errichtung und zum Betrieb einer Fernmeldeanlage wird abgelehnt, wenn:

1. die Fernmeldeanlage den technischen Anforderungen nach § 3 nicht entspricht, d.h. wenn die Anlage nicht die genormten technischen Standards erfüllt, insbesondere wenn Störungen anderer Fernmeldeanlagen zu erwarten sind;
2. die beantragten Frequenzen im vorgesehenen Einsatzgebiet nicht zur Verfügung stehen oder wegen betrieblicher Belange, wie Nutzung des Frequenzspektrums, nicht zugeteilt werden können;
3. die erforderlichen Frequenzen im Interesse des wirtschaftlichen Ausbaues und störungsfreien Betriebes zu öffentlichen Zwecken dienender Fernmeldeanlagen nicht zugeteilt werden können.

Der Antrag auf Bewilligung zur Einfuhr oder zum Vertrieb einer Funksendeanlage wird abgelehnt, wenn die Funksendeanlage nicht den technischen Anforderungen nach § 3 entspricht, und insbesondere wenn für den Fall ihrer Inbetriebnahme Störungen anderer Fernmeldeanlagen zu erwarten sind.

2.3.2.11. Nachträgliche Änderung der Bewilligung

Das Fernmeldebüro kann erteilte Bewilligungen im öffentlichen Interesse ändern, wenn dies aus wichtigen Gründen

1. zur Sicherung des öffentlichen Fernmeldeverkehrs,
2. aus technischen oder betrieblichen Belangen oder
3. aus internationalen Gegebenheiten, insbesondere aus der Fortentwicklung des internationalen Fernmeldevertragsrechtes

notwendig wird (Abschnitt 2 § 12).

2.3.2.12. Erlöschen der Bewilligung

Die Bewilligung erlischt

1. durch Ablauf der Zeit, für die sie erteilt wurde,
2. durch Verzicht seitens des Bewilligungsinhabers,
3. durch Widerruf seitens des zuständigen Fernmeldebüros sowie
4. durch Tod oder Erlöschen der Rechtspersönlichkeit des Bewilligungsinhabers.

Die Bewilligung zur Errichtung und zum Betrieb einer Fernmeldeanlage erlischt ferner nach zwölf Monaten vom Tage der Bewilligungserteilung an gerechnet, wenn die Anlage zu diesem Zeitpunkt in wesentlichen Teilen noch nicht betriebsbereit ist. Bei Anlagen, die

umfangreichere Herstellungsarbeiten erfordern, kann die Frist auf bis zu drei Jahre erstreckt werden.

2.3.2.13. Typenzulassung von Funkanlagen

Das Zulassungsbüro stellt fest, ob eine Funkanlage den technischen Anforderungen gemäß § 3 entspricht und erteilt bei dessen Erfüllung die Zulassung der Funkanlage. Ein Antrag auf Typenzulassung ist nur zulässig, wenn die Funkanlage mit einem Typenschild mit dem Namen des Herstellers oder des ausgewiesenen Bevollmächtigten versehen ist und die von ihm gewählte Gerätebezeichnung (Typenbezeichnung) trägt. Das zusätzliche Erfordernis, auch den Namen des Herstellers anzuführen, soll Unsicherheiten bei Geräten verschiedener Hersteller mit gleichen Typenbezeichnungen beseitigen.

Die Verpflichtung, den Antrag nur durch eine Person zu stellen, die im Bundesgebiet ihren ordentlichen Wohnsitz hat, dient verwaltungsökonomischen Zwecken. Ein ausländischer Antragsteller darf den Antrag nur durch eine Person stellen, die im Bundesgebiet ihren ordentlichen Wohnsitz hat. Dem Antrag ist ein Gutachten einer anerkannten inländischen oder akkreditierten ausländischen Prüfstelle zum Nachweis der Einhaltung der technischen Anforderungen gemäß § 3 anzuschließen. Darüber hinaus kann das Zulassungsbüro noch die Vorlage weiterer Unterlagen, wie Beschreibungen und Schaltpläne und die Vorlage eines Baumusters verlangen. Die Zulassung ist zu widerrufen, wenn die zur Type gehörende Funkanlage den technischen Erfordernissen nicht mehr entspricht. Für die technische Beurteilung können auch die Prüfungsergebnisse anderer zugelassener in- oder ausländischer Prüfstellen herangezogen werden. Eine Funkanlage gehört dann zu der zugelassenen Type, wenn sie nach den bei der Überprüfung vorgelegenen Beschreibungen und Schaltplänen gebaut ist, und wenn ihre Bezeichnung auf dem Typenschild mit der Bezeichnung der überprüften Type übereinstimmt.

Weiters ist es möglich, Typen von Funkanlagen zuzulassen, d. h. festzustellen, dass sie den einschlägigen technischen Normen entsprechen. Anders als bisher soll einen solchen Antrag aber nur der Hersteller des Gerätes bzw. sein Bevollmächtigter im Inland stellen können. Damit soll eine Mehrfachzulassung ein und derselben Anlage aufgrund von Anträgen verschiedener Antragsteller (Vertreiber) vermieden werden. Die Zulassung einer einzelnen Funkanlage erfolgt im Rahmen des Bewilligungsverfahrens gemäß § 5 (2.3.2.4. Bewilligungspflicht).

2.3.2.14. Zulassung

Neben den technischen Anforderungen gemäß § 3 muss das Funkgerät auch Störungen anderer Einrichtungen ausschließen, was auch umgekehrt gilt. Erst dann wird eine Zulassung bewilligt. Eine Zulassung ist dann nicht erforderlich, wenn nach den verbindlichen internationalen Vorschriften auf Grund eines dort beschriebenen Konformitätsbewertungsverfahrens

1. eine international anzuerkennende Zulassung (Konformitätsbescheinigung) einer ausländischen Stelle vorliegt.
2. eine Konformitätserklärung des Herstellers vorliegt.
3. das Gerät vorschriftsmäßig gekennzeichnet ist, denn solche Geräte gelten als zugelassen.

2.3.2.15. Verwendung der Funkanlagen

Laut Abschnitt 2 § 16 dürfen Funksendeanlagen nur unter Verwendung der mit der Bewilligung zugeteilten Frequenzen und Rufzeichen betrieben werden.

2.3.2.16. Umfang des Aufsichtsrechts

Wenn es die Prüfung von Funkanlagen erfordert, sind diese auf Verlangen des Fernmeldebüros vom Bewilligungsinhaber auf seine Kosten an dem dafür bestimmten Ort und zu dem dafür bestimmten Zeitpunkt zur Prüfung bereitzustellen. Funkanlagen können auf Kosten des Bewilligungsinhabers auch an Ort und Stelle geprüft werden, wenn dies wegen der Größe oder technischen Gestaltung der Anlage oder des finanziellen Aufwandes zweckmäßig ist. Ganz allgemein werden Prüfungen in erster Linie nach Erteilung einer Bewilligung und Errichtung der Anlage durchgeführt, um die Erfüllung bzw. Einhaltung der Auflagen zu überprüfen. Auch stichprobenweise Regelkontrollen können hier in Betracht kommen.

2.3.2.17. Verwaltungsstrafbestimmungen

Eine Verwaltungsübertretung wird von demjenigen begangen, der

1. entgegen § 16 Absatz 4 Funksendeanlagen mit nicht bewilligten Frequenzen oder Rufzeichen betreibt. Dies wird mit einer Geldstrafe bis zu 30.000 Schilling (2180,23 Euro) bestraft.
2. entgegen § 7 Funkanlagen einführt, vertreibt oder besitzt. Dies wird mit einer Geldstrafe bis zu 50.000 Schilling (3633,72 Euro) bestraft.
3. einer auf Grund der § 25 erlassenen Anordnung zuwider handelt. Dies wird mit einer Geldstrafe bis zu 100.000 Schilling (7267,44 Euro) bestraft.

2.4. Internationale Bestimmungen für Funkanlagen geringer Leistung (LPD)

Dieser Abschnitt beinhaltet einige Auszüge und kompakte Zusammenfassungen aus den internationalen Bestimmungen, die das Bundesministerium auf seiner Homepage gesammelt zur Verfügung stellt [13].

2.4.1. Überblick

Um LPD-Funkanlagen in Österreich betreiben zu können, muss eine Typenzulassung auf Grundlage der „Fernmeldetechnischen Vorschrift für Funkanlagen geringer Leistung (LPD), die in harmonisierten Frequenzbereichen betrieben werden“ (FVT 505) vorliegen, oder in einem anderen Staat zugelassen sein, dessen Fernmeldebehörde ein Mitglied der Europäischen Konferenz der Post und Fernmeldeverwaltungen (CEPT) ist, und

1. deren Sender nur mit einer integrierten Antenne ausgerüstet ist,
2. deren maximale Aussendung den Wert der folgenden Tabelle nicht überschreitet,
3. die für keine andere als die in folgender Tabelle festgelegten Frequenzbereiche ausgerüstet sind und
4. an denen die Kennzeichnung „CEPT LPD y“ angebracht ist, wobei an der Stelle des „y“ das internationale Kfz-Kennzeichen jenes Staates steht, in dem die Funkanlage zugelassen wurde.

Harmonisierte Frequenzbereiche	Feldstärke/Strahlungsleistung
6,765 – 6,795 MHz	65 dB μ /m (30 m)
13,553 – 13,567 MHz	65 dB μ /m (30 m)
26,957 – 27,283 MHz	10 mW e.i.r.p.
40,660 – 40,700 MHz	10 mW e.i.r.p.
433,05 – 434,79 MHz	10 mW e.i.r.p.
2400 – 2483,5 MHz	10 mW e.i.r.p.
5725 – 5875 MHz	25 mW e.i.r.p.
24,00 – 24,25 GHz	100 mW e.i.r.p.

Die angegebenen Feldstärkelimits sind Maximumwerte innerhalb des erlaubten Frequenzbandes. Bei den Grenzwerten für die Strahlungsleistung handelt es sich um absolute Werte innerhalb des erlaubten Frequenzbandes.

Anmerkung:

Grundsätzlich ist aber zu bemerken, dass es sich bei diesem gegenwärtigen Informationsstand um den derzeitigen Ist-Zustand handelt. Auf internationaler Ebene werden Änderungen betreffend LPD-Funkanlagen vorbereitet. Diese Änderungen betreffen auch die nationale Gesetzgebung und werden auch dort Konsequenzen nach sich ziehen.

Die allgemeinen technischen Charakteristiken und Richtlinien (die Normen der Europäischen Normungsorganisation für Telekommunikation „ETSI“ European Telecommunications Standards Institute), die zur Bewilligung von Funkanlagen im Frequenzbereich von 25 MHz bis 1000 MHz erfüllt sein müssen, sowie die jeweiligen Test- und Messmethoden und die hierfür benötigte Messausstattung sind in der European Standard Telecommunications Series, der WN 300 220-1 und der EN 300 220-2 festgelegt.

2.4.2. Auszug der Richtwerte aus der European Standard Telecommunications Series

In diesem Abschnitt findet man die für die Masterarbeit relevanten Auszüge aus dem European Standard Telecommunications Series [14].

2.4.2.1. Geforderte Richtwerte der Messausrüstung

Nicht nur das zu überprüfende Funkübertragungssystem hat bestimmte Richtlinien zu erfüllen und spezielle Grenzwerte einzuhalten, sondern auch die verwendete Messausstattung selbst hat Normen zu erfüllen, sodass das zu prüfende System den offiziellen Anforderungen auch wirklich genügt. So sollte der Messempfänger, meist ein Spectrum Analyser, zur speziellen Frequenz die entsprechende definierte Bandbreite aufweisen, um für die Messung als geeignet zu erscheinen, sodass die Messung auch als gültig einzustufen ist.

Zu messende Frequenz	Bandbreite des Messempfängers
$f < 150 \text{ kHz}$	200 Hz
$150 \text{ kHz} \leq f < 30 \text{ MHz}$	9 kHz
$30 \text{ MHz} \leq f < 1000 \text{ MHz}$	120 kHz
$1000 \text{ MHz} \leq f$	1 MHz

Auch die Messungenauigkeit des Messsystems muss bestimmte Normen einhalten, um gültige Messergebnisse zu liefern. Die in untenstehender Tabelle angegebenen Wertebereiche sind gültig für einen Vertrauensbereich von 95 Prozent gemäß den Methoden von ETR 028.

RF-Frequenz	$\pm 1 \times 10^{-7}$
RF-Leistung, leitungsgebunden	$\pm 0,75$ dB
Maximale Frequenzabweichung	
<ul style="list-style-type: none"> • Innerhalb 300 Hz und 6 kHz Tonfrequenz • Innerhalb 6 kHz und 25 kHz Tonfrequenz 	± 5 % ± 3 dB
Leistung des Nachbarkanals	± 3 dB
Leitungsgebundene Emission des Senders, gültig bis 12,75 GHz	± 4 dB
Leitungsgebundene Emission des Empfängers	± 3 dB
Abgestrahlte Emission des Senders, gültig bis 4 GHz	± 6 dB
Abgestrahlte Emission des Empfängers, gültig bis 4 GHz	± 6 dB

2.4.2.2. Einzuhaltende Grenzwerte der Senderparameter

In diesem Abschnitt finden sich Definitionen und Auszüge aus der Fachliteratur „Grundlagen der Funktechnik [8].

2.4.2.2.1. Frequenzfehler

Der Frequenzfehler des Senders ist definiert als die Differenz zwischen der gemessenen unmodulierten Trägerfrequenz und der nominalen Frequenz, festgesetzt durch den Anwender. Die Überprüfung auf Frequenzfehler ist also nur sinnvoll, wenn das Funkübertragungssystem fähig ist einen unmodulierten Träger zu erzeugen. Dabei sollten die spezifizierten Werte nicht überschritten werden.

Frequenzteilung in kHz	Frequenzfehlergrenzen in kHz				
	< 47 MHz	47 bis 137 MHz	> 137 bis 300 MHz	> 300 bis 500 MHz	> 500 bis 1000 MHz
10/12,5	$\pm 0,60$	± 1	± 1 (b) $\pm 1,50$ (m) ± 2 (p)	± 1 (b) $\pm 1,50$ (m) ± 2 (p)	Keine Werteangaben
20/25	$\pm 0,60$	$\pm 1,35$	± 2	± 2 (mb) $\pm 2,50$ (p)	$\pm 2,50$ (mb) ± 3 (p)

b ... Fixe Station (base) m ... mobile Station p ... tragbare Station (portable)

2.4.2.2.2. Trägerleistung

Die Trägerleistung ist jene Durchschnittsleistung, die von einer künstlichen Antenne während eines RF-Zyklus in einer Modulationspause ausgesendet wird. Sollte eine Messung der Leistung während der fehlenden Modulation nicht möglich sein, muss dies unbedingt im Testbericht festgehalten werden. Sowohl unter normalen, als auch unter extremen Testbedingungen, darf die Trägerleistung die maximalen Werte nicht überschreiten. Speziell für LPD-Funkanlagen beträgt der Maximalwert der Trägerleistung 10 mW.

2.4.2.2.3. Abgestrahlte Leistung

Die effektive Leistung ist jene Leistung, die während einer Modulationspause in die Hauptstrahlrichtung abgestrahlt wird. Ebenso wie bei der Trägerleistung muss im Testbericht festgehalten werden, wenn es nicht möglich ist, während einer fehlenden Modulation zu messen. Der Maximalwert darf 10 mW nicht überschreiten, wobei hier die Messung nur unter normalen Testbedingungen durchzuführen ist.

2.4.2.2.4. Abweichungen der Frequenz

Die Frequenzabweichung ist die größte Differenz zwischen der Durchlauffrequenz des phasen- oder frequenzmodulierten RF-Signals und der Trägerfrequenz während fehlender Modulation. Dabei wird die Unterscheidung zwischen analogen Signalen über der Audio-Bandbreite getroffen.

Limits für die maximale Frequenzabweichung bei analogen Signalen der Audio-Bandbreite:

Kanalteilung	Maximale erlaubte Frequenzabweichung
10 kHz	± 2 kHz
12,5 kHz	$\pm 2,5$ kHz
20 kHz	± 4 kHz
25 kHz	± 5 kHz

Grenzwerte für die maximale Frequenzabweichung bei analogen Signalen über der Audio-Bandbreite:

Frequenzabweichungen bei Modulationsfrequenzen von 3 kHz dürfen 2,55 kHz nicht überschreiten. Bei 6 kHz sollte die Abweichung nicht mehr als 30,0 Prozent der maximal zugelassenen Frequenzabweichung von 5 kHz betragen.

Die Frequenzabweichungen bei Modulationsfrequenzen zwischen 6 kHz und einer Frequenz gleich die für das Funksystem geplante Kanalteilung, dürfen die Werte, die gegeben sind durch eine lineare Repräsentation der Frequenzabweichung in dB relativ zur Modulationsfrequenz beginnend bei 6 kHz mit einer Steigung von -14 dB pro Oktave, nicht übersteigen. (vgl. Abb. 2.1.)

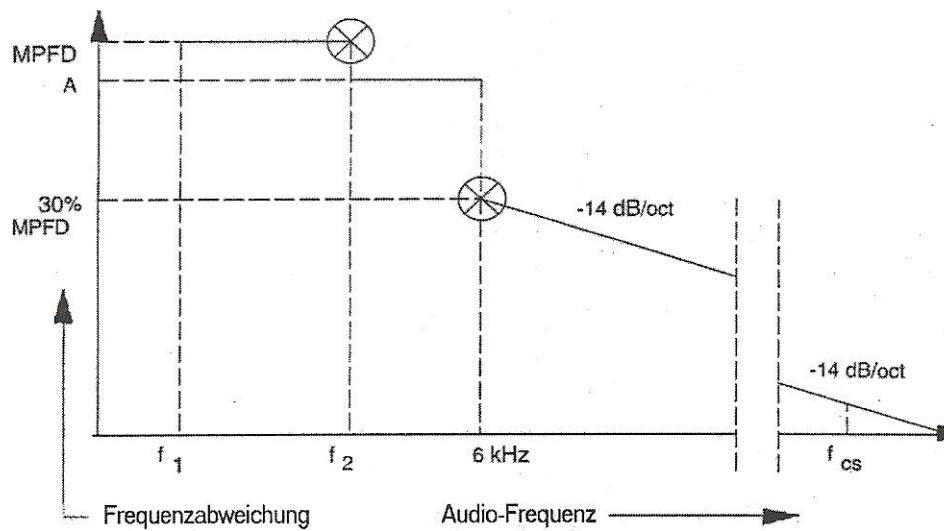


Abb. 2.1: Erlaubte maximale Frequenzabweichung bei analogen Signalen über die Audio-Bandbreite [8]

2.4.2.2.5. Modulationstiefe

Unter der Modulationstiefe versteht man das Verhältnis der Differenz zwischen dem Maximum und dem Minimum der Amplitude der Welle zur Summe aller Amplituden.

Für Analogsignale innerhalb der Audio-Bandbreite muss die maximale Modulationstiefe 100 % betragen.

Für Analogsignale, die oberhalb der Audio-Bandbreite angesiedelt sind, sollen folgende Spezifikationen eingehalten werden:

Die Modulationstiefe einer Modulationsfrequenz zwischen der Audio-Bandbreite und 6 kHz darf nicht die Modulationstiefe bei der Audio-Bandbreite überschreiten. Bei 6 kHz soll die Modulationstiefe nicht mehr als 30,0 % betragen. Die Modulationstiefe zwischen 6 kHz und der Kanalseparationsfrequenz soll jene Werte nicht überschreiten, die durch die lineare Repräsentation der Modulationstiefe in dB relativ zur Modulationsfrequenz gegeben ist, beginnend bei 6 kHz mit einer Steigung von -14 dB pro Oktave. (vgl. Abb. 2.1)

2.4.2.2.6. Kanalleistung des benachbarten Kanals

Diese Leistung wird repräsentiert durch die Summe der Teilleistungen, die bei der Modulation entstehen und dem Rauschen des Senders. Die einzuhaltenden Werte:

	Kanalseparation < 20 kHz	Kanalseparation > 20 kHz
Normale Testbedingungen	10 μ W	200 nW
Extreme Testbedingungen	32 μ W	640 nW

2.4.2.2.7. Bereich der Modulationsbandbreite für Breitbandausstattung (> 25 kHz)

Der Bereich der Modulationsbandbreite inkludiert alle Seitenbänder über dem verwendeten unberechtigten Wert und dem Frequenzfehler unter extremen Testbedingungen. Der erlaubte Bereich sollte innerhalb der Grenzen des zugewiesenen Frequenzbandes liegen. Der maximale Frequenzfehler sollte die 10 Prozent des zugewiesenen Bandes oder des Breitbandkanales nicht übersteigen. Handelt es sich jedoch um unterteilte Kanäle mit einer Bandbreite größer als 25 kHz, muss das 250 mW-Limit auf die Eckfrequenzen des Kanals bezogen werden.

2.4.2.2.3. Frequenzstabilität bei Unterspannung

Mit der Frequenzstabilität wird jene Fähigkeit des Systems bezeichnet, den Kanal zu halten bzw. das festgesetzte Frequenzband nicht zu verlassen, wenn die Batteriespannung unter die untere festgesetzte Spannungsgrenze fällt. Dabei wird vorausgesetzt, dass einerseits das System unter diesen Bedingungen die Arbeitsfrequenz beibehält solange die Leistung größer ist als die unerlaubten Emissionsgrenzen, und andererseits das System auch nicht zu arbeiten aufhört solange die Herstellerangaben nicht unterschritten wurden.

2.4.2.3. Einzuhaltende Grenzwerte der Senderparameter

2.4.2.3.1. Nichtbewilligte Abstrahlungen

Abstrahlungen des Senders solcher Art sind per Definition irgendwelche Frequenzkomponenten, die von der Ausstattung und dessen Antenne abgestrahlt werden. Dabei sollten folgende Richtwerte nicht überschritten werden:

- 2 nW unter einer Frequenz von 1000 MHz
- 20 nW über einer Frequenz von 1000 MHz

2.4.2.3.2. Maximal benötigte Empfindlichkeit

Unter der maximalen Empfindlichkeit versteht man den minimalen Pegel des Signals (e_{mf} = electromotive force) als Sendereingang, der vom Träger der nominalen Frequenz des Senders bereitgestellt wird, und zwar moduliert mit der Testsignalmodulation. Dadurch wird erhalten:

- Das SND/ND-Verhältnis von 20 dB oder
- ein demoduliertes Datensignal mit einem Bitfehlerverhältnis von 10^{-2} oder
- eine Signalerkennung nach der Demodulation von 80 Prozent

Die maximal benötigte Empfindlichkeit sollte einen e_{mf} von + 6 dB μ nicht überschreiten.

2.4.2.3.3. Durchschnittlich benötigte Empfindlichkeit (Feldstärke)

Eine Untersuchung des Systems auf die durchschnittlich benötigte Empfindlichkeit ist nur gegeben, wenn das System mit einer integrierten Antenne ausgestattet ist.

Der Durchschnittswert E_{mean} wird errechnet aus acht Messungen der Feldstärke, wobei der Empfänger in 45-Grad-Schritten ausgerichtet wird.

$$E_{mean} = 20 \log \sqrt{\frac{8}{\sum_{i=1}^8 \frac{1}{x_i^2}}}$$

Die x_i stehen für die acht Feldstärkewerte in $\mu\text{V/m}$.

Die abgestrahlten Durchschnittswerte dürfen folgende angegebenen Empfindlichkeitsgrenzen nicht überschreiten:

Frequenzbereich in MHz	Empfindlichkeit in $\text{dB}\mu\text{V}$
Integrierte Antenne	
30 bis 400	27,0
> 400 bis 750	28,5
> 750 bis 1000	30,0
Integrierte oder fixe Antenne mit einer externen Länge ≤ 20 cm	
30 bis 130	18,0
> 130 bis 300	19,5
> 300 bis 440	21,5
> 440 bis 600	23,5
> 600 bis 800	25,5
> 800 bis 1000	28,0
Integrierte oder fixe Antenne mit einer externen Länge ≥ 20 cm	
30 bis 130	18,0 – k
> 130 bis 300	19,5 – k
> 300 bis 375	21,5 – k
> 375 bis 440	21,5
> 440 bis 600	23,5
> 600 bis 800	25,5
> 800 bis 1000	28,0

Wobei $k = 20 \log \left(\frac{(l+20)}{40} \right)$ beträgt und l die Länge der externen Antenne darstellt.

2.4.2.3.4. Co-Kanalablehnung

Die Co-Kanalablehnung ist eine Messung der Senderfähigkeit das gewollte modulierte Signal mit möglichst wenig Verminderung zu empfangen bei gleichzeitigem Vorhandensein eines ungewollten modulierten Signals auf der nominellen Sendefrequenz. Die Wertangaben erfolgen in dB. Folgende Richtlinien müssen eingehalten werden:

- 8 bis 0 dB für eine Kanalaufteilung von 20 oder 25 kHz
- 12 bis 0 dB für eine Kanalaufteilung von $\leq 12,5$ kHz

2.4.2.3.5. Auswahl des Nachbarkanals

Unter der Nachbarkanalauswahl versteht man die Messung der Senderfähigkeit gewollte modulierte Signale mit möglichst wenig Verminderung zu empfangen bei gleichzeitigem Vorhandensein eines modulierten Signals, das sich von der Frequenz des gewünschten Signals unterscheidet. Dabei darf die Nachbarkanalauswahl die Werte des unerwünschten Signales nicht übersteigen:

Testbedingungen	Kanalaufteilung $\leq 12,5$ kHz	Kanalaufteilung von 20 kHz oder 25 kHz
normal	60,0 dB	70,0 dB

3. Mögliche bestehende Schaltungsrealisierungen

3.1. Allgemeines

Schon seit einigen Jahrzehnten ist der Frequenzbereich von 433,05 MHz bis 434,79 MHz zur Nutzung für sogenannte industrielle, wissenschaftliche und medizinische Anwendungen, kurz ISM genannt, bestimmt. Dieser Bereich liegt, aus welchen Gründen auch immer, mitten im 70-cm-Amateurfunkband.

Mit einer Verfügung aus dem Jahr 1995 wurde in diesem ISM-Bereich (ISM – industrielle, wissenschaftliche und medizinische Anwendungen) auch die Anwendung sogenannter Funkanlagen mit geringer Leistung für nichtöffentliche Funkanwendungen (Low Power Devices, LPD) zugelassen. Darunter fallen alle möglichen Anlagen zur Alarmierung, Identifizierung, Fernsteuerung, Übertragung von Audio- und Videosignalen und auch Sprachkommunikation.

Beispiele:

- Kfz-Diebstahlsicherungs- und Zentralverriegelungsanlagen
- Garagentoröffner
- Einbruchsicherungs- und Alarmanlagen im industriellen und privaten Bereich
- Drahtlose Verbindungseinrichtungen für Audio- und Videoanlagen und Sprachkommunikationsanlagen (z. B. Handfunkgeräte, Babyphon, ...)

Diese Funkanlagen zeichnen sich durch eine sehr geringe Sendeleistung (low power) aus, die maximal zehn Milliwatt (0,01 Watt) betragen darf.

Nachdem ausdrücklich auch Sprachkommunikation (Sprechfunk) in diesem Bereich mit speziell dafür zugelassenen Sprechfunkgeräten für jedermann anmelde- und gebührenfrei zugelassen ist, kamen rasch eine Reihe sogenannter LPD-Handys auf den Markt. Obwohl die Sendeleistung genauso hoch (bzw. gering) wie die von Schnurlos-Telefonen ist, kann man mit LPD-Funkgeräten dank besserer Technik, optimaler Antenne und höherer Empfindlichkeit deutlich größere Reichweiten erzielen, die im Bereich von zwei bis drei Kilometern liegen können, je nach Standort und Art der Umgebung.

Wie dem auch sei, ideal sind diese Sprechfunkgeräte sicherlich für den privaten Einsatz. Zweifellos handelt es sich hier neben dem ursprünglichen CB-Funk (Citizen band, Jedermannfunk, privater Nahbereichsfunk im 27 MHz Bereich) und dem ebenfalls neuen FreeNet-Kurzstreckenfunk (neuer Mobilfunk mit Handsprechfunkgeräten über sehr kurze Entfernungen) um eine weitere Variante des sogenannten Jedermannfunks. Jeder darf sich ein solches Sprechfunkgerät kaufen und beliebig damit funken. Allerdings muss man den

Nachteil in Kauf nehmen, dass Störungen durch andere Anwender auftreten können, da man keinen Anspruch auf alleinige Nutzung eines Kanals hat. In diesem Sinne sollte man sich dann auch überlegen was man sagt, da auch jeder mithören darf.

3.2. Schaltungstechnische Realisierungsmöglichkeiten

In diesem Abschnitt und den folgenden werden Sender und Empfänger im Allgemeinen behandelt. Dazu wurden Beschreibungen und Auszüge aus Fachliteratur [8] verwendet.

3.2.1. Sender

3.2.1.1. Allgemeines

3.2.1.1.1. Definition und Aufgabe des Senders

Sender (Funksender) sind technische Einrichtungen, die eine zur drahtlosen Übertragung von Nachrichten geeignete elektromagnetische Schwingung erzeugen. Durch Modulation wird dann die in Form von elektrischen Signalen im Basisband vorliegende Nachricht aufgeprägt und anschließend ihre Leistung so weit verstärkt, dass die hohe Ausbreitungsdämpfung überwunden wird. Die Abstrahlung der HF-Leistung ist Aufgabe der angeschlossenen Antenne.

3.2.1.1.2. Prinzipschaltung des Senders

Um diese sehr unterschiedlichen Aufgaben erfüllen zu können, umfasst ein Sender im Allgemeinen die folgenden technischen Einrichtungen:

- eine Eingangsstufe, die den Steuergenerator (Oszillator), die Frequenzumsetzestufen und bei Vorstufenmodulation auch die Modulationsstufen enthält, sowie
- einen Sendeverstärker, der neben der Leistungsstufe die zur Entkopplung des Steuergenerators erforderliche Trennstufen, die Treiberstufe zum Bereitstellen der Steuerleistung für die Endstufe, die Einrichtungen zum Auskoppeln der Leistung und zur Anpassung der Antenne und bei Endstufenmodulation den Modulationsverstärker (Modulator) enthält. Je nachdem, ob die Modulation bei kleinem Leistungspegel in der Eingangsstufe oder bei hohem Leistungspegel in der Endstufe vorgenommen wird, spricht man von Vorstufen- oder Endstufenmodulation (vgl. Abb. 3.1).

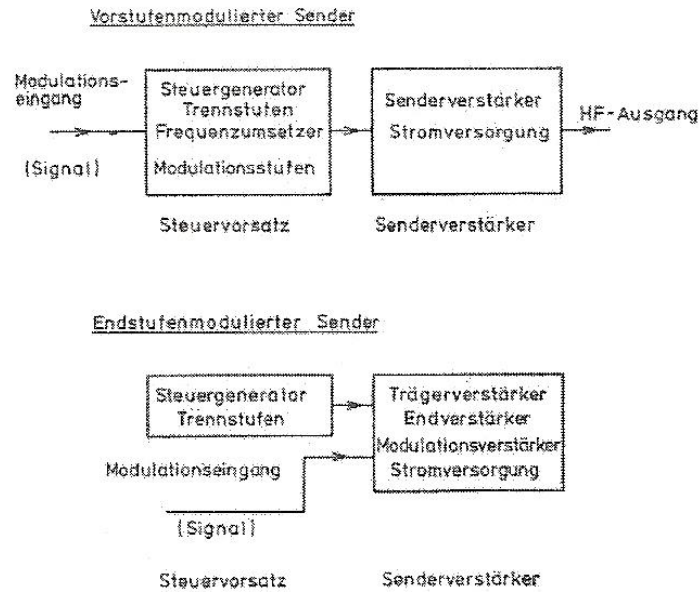


Abb. 3.1: Grundsätzlicher Aufbau von Sendern [8]

3.2.1.1.3. Kenngrößen der Aussendung eines Senders

Die Toleranzen der wichtigsten Kenngrößen einer Aussendung (Frequenz, Bandbreite, Randaussendung, Nebenaussendung, Leistung) sind international festgelegt. Sie beeinflussen die Dimensionierung eines Senders ganz wesentlich. Die wichtigsten Kenngrößen sollen im Folgenden betrachtet werden.

3.2.1.1.3.1. Frequenztoleranz

Damit die für die Funkübertragung zur Verfügung stehenden Frequenzbereiche ökonomisch genutzt werden, wird jeder Aussendung international eine Sollfrequenz f_0 zugeteilt und eine Frequenztoleranz Δf zugestanden, die der Sender zu keiner Zeit überschreiten darf. Die Sollfrequenz muss mit der festgelegten Toleranz eingehalten werden, damit die Nachbarkanäle nicht durch Verschiebung des belegten Bandes unzulässig gestört werden. Man unterscheidet zwischen Langzeittoleranzen und Kurzzeittoleranzen.

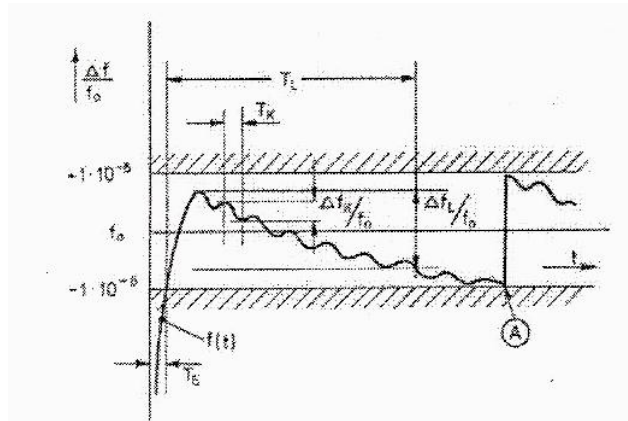


Abb. 3.2: Zeitlicher Verlauf der Frequenz eines Oszillators [8]

T_E ... Einlaufzeit beim Einschalten

$\frac{\Delta f_K}{f_0}$... relative Kurzzeitschwankung

$\frac{\Delta f_L}{f_0}$... relative Langzeitschwankung

T_K ... Bezugszeit für die Kurzzeittoleranz

T_L ... Bezugszeit für die Langzeittoleranz

A ... Zeitpunkt, zu dem der Oszillator nachgezogen werden muss

Abb. 3.2 zeigt als Beispiel die relative zeitliche Frequenzschwankung eines Oszillators. Die zulässige Langzeittoleranz ist mit $1 \cdot 10^{-6}$ angenommen. Nach dem Einschalten des Senders erreicht die Frequenz erst nach der Einlaufzeit T_E den Toleranzbereich. Danach beobachtet man im Allgemeinen eine monotone langzeitige Frequenzdrift, die im Wesentlichen durch Alterung der frequenzbestimmenden Bauteile hervorgerufen wird. Der langzeitigen Drift sind kurzzeitige Frequenzschwankungen überlagert, die durch Schwankungen der Temperatur und der Speisespannungen und durch Erschütterungen hervorgerufen werden. Im Zeitpunkt A wird die Toleranzgrenze erreicht und der Oszillator muss nachgestimmt werden.

3.2.1.1.3.2. Bandbreite

Abhängig von der Sendart muss jeder Aussendung eine gewisse erforderliche Bandbreite B_N zugestanden werden, die die Übertragung der Nachricht mit der gewünschten Qualität ermöglicht. Außerhalb des Frequenzbandes B_N auftretende Komponenten der Aussendung, die durch die Modulation entstehen, werden Randaussendung genannt. Sie müssen entsprechend den international festgelegten Grenzkurven unterdrückt werden. Die zugewiesene Bandbreite B_Z ist um die Frequenztoleranz größer als die erforderliche Bandbreite B_N .

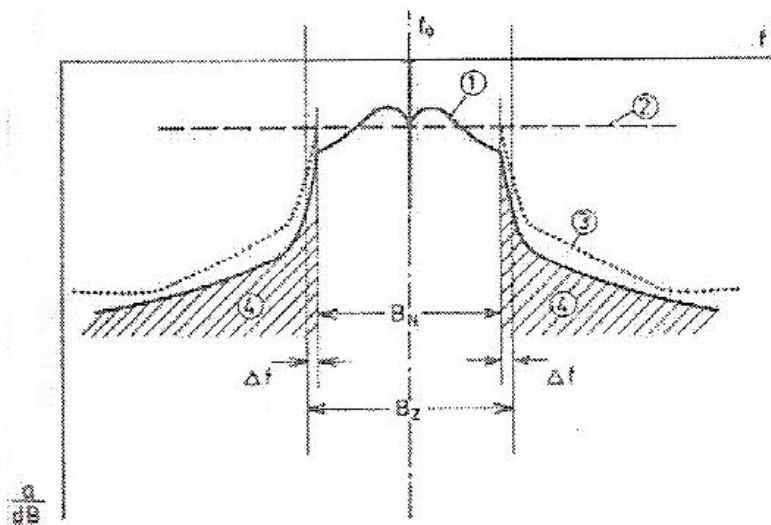


Abb. 3.3: Bandbreite und Randaussendung eines Funksenders [8]

Die Abb. 3.3 gibt eine Darstellung der Zusammenhänge und zeigt eine Grenzkurve für die Randaussendung eines amplitudenmodulierten Funksenders. Das von einer Aussendung tatsächlich benutzte Frequenzband wird belegte Bandbreite B_0 genannt. Die belegte Bandbreite ist das Frequenzband, innerhalb dessen $(100 - \beta)$ Prozent der gesamten abgestrahlten mittleren Leistung enthalten sind, wobei β die Bandbreitespreizung genannt wird. Dabei ist die belegte Bandbreite so zu bestimmen, dass jeweils $\frac{\beta}{2}$ Prozent der gesamten mittleren Leistung unterhalb und oberhalb der Grenze des belegten Bandes ausgestrahlt werden. Nach den neuen CCIR-Empfehlungen wird jedoch eine Aussendung bezüglich ihres Bandbreitebedarfs besser durch die zulässige Randaussendung charakterisiert, die durch eine Grenzkurve die zulässige Form des Spektrums festlegt.

3.2.1.1.3.3. Nebenaussendungen

Nebenaussendungen sind unerwünschte Aussendungen auf Frequenzen, die außerhalb des erforderlichen Bandes liegen und deren Pegel herabgesetzt werden kann, ohne die Übertragung der Nachricht zu beeinflussen. Sie umfassen Harmonische der Sendefrequenz, die in der Endstufe entstehen, sowie mischfrequente Aussendungen und parasitäre Aussendungen. Zu mischfrequenten Aussendungen zählen sendereigene oder senderfremde Kombinationsschwingungen. Diese entstehen bei der Aufbereitung der Frequenz oder durch Einstrahlung fremder Sender. Parasitäre Aussendungen stehen in keinem definierten Verhältnis zur Sendefrequenz, weil sie durch ungewollte Selbsterregung des Senders entstehen. Sie sind durch einwandfreie Neutralisation der Verstärkerstufen gänzlich zu vermeiden. Die übrigen Nebenaussendungen müssen entsprechend den internationalen Festlegungen, je nach Frequenzbereich und Sendeleistung, auf der Antennenspeiseleitung gegenüber der Grundwellenleistung (Nutzleistung) mit einem Mindestwert gedämpft sein. Dabei darf ihre Leistung einen bestimmten Absolutwert nicht übersteigen. Mäßigere Dämpfungen werden Sendern mit hoher Leistung und großem Abstimmbereich sowie mobilen Sendern zugestanden. Abb. 3.4 enthält dazu eine graphische Darstellung der international vereinbarten Mindestdämpfung der Seitenbänder in Abhängigkeit von der Senderleistung.

3.2.1.1.3.3. Leistung eines Senders

Die Leistung eines Senders kann verschieden angegeben werden, nämlich als:

- Spitzenleistung PX
- Mittlere Leistung PY
- Trägerleistung PZ

Die Spitzenleistung PX ist definiert als Mittelwert der Leistung einer Periode der Trägerschwingung mit der Dauer T_C , während der die Hüllkurve der modulierten Schwingung ein Maximum hat. Die Überschlagsfestigkeit eines Senders und die Linearität seiner Aussteuerungskennlinie müssen entsprechend der Spitzenleistung ausgelegt sein.

Die mittlere Leistung PY ist der Mittelwert der Leistung der Trägerschwingung während einer Zeit T_m , die lange ist gegenüber der längsten Periode der Modulationsschwingung. Im Allgemeinen wird über eine Zeit von 0,1 s gemittelt. Die mittlere Sendeleistung ist maßgebend für die thermische Belastung der Bauteile des Senders.

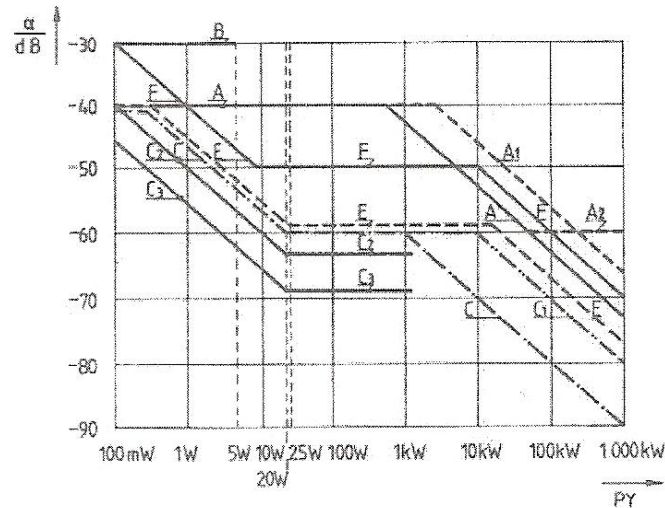


Abb. 3.4: Grenzwerte für Nebenaussendungen von Sendern [8]

PY ... ist die mittlere Leistung der Grundwellenaussendung, die an die Speiseleitung abgegeben wird.

α ... ist die mittlere Leistung der Nebenaussendung (die der Antenne zugeführt wird) in dB bezogen auf die Leistung der Grundwellenaussendung.

Gültigkeitsbereich der Kurven:

A	$9 \text{ kHz} < f \leq 30 \text{ MHz}$	Mindestwert 40 dB; absoluter Grenzwert 50 mW
A ₁	$9 \text{ kHz} < f \leq 30 \text{ MHz}$	Ausnahme für bewegliche Sender, absoluter Grenzwert 200 mW
A ₂	$9 \text{ kHz} < f \leq 30 \text{ MHz}$	Ausnahme für Sender mit $PY > 50 \text{ kW}$ und Abstimmbereich eine Oktave und mehr; Mindestdämpfung 60 dB
B	$9 \text{ kHz} < f \leq 30 \text{ MHz}$	Für Handfunkgeräte Mindestwert 30 dB
C	$30 \text{ MHz} < f \leq 235 \text{ MHz}$	Für $PY > 25 \text{ W}$, Mindestwert 60 dB; absoluter Grenzwert 1 mW Für $PY \leq 25 \text{ W}$, Mindestwert 40 dB; absoluter Grenzwert 25 μW
C ₁	$30 \text{ MHz} < f \leq 235 \text{ MHz}$	Ausnahme für Gebiete, in denen keine Störungen zu befürchten sind; absoluter Grenzwert 10 mW
C ₂	$30 \text{ MHz} < f \leq 235 \text{ MHz}$	FM Sprechfunk im beweglicher Seefunk; absoluter Grenzwert 10 μW , wenn die Nebenaussendung innerhalb der Seefunkfrequenzbereiche; außerhalb des Seefunkfrequenzbereiches beträgt der absolute Grenzwert 2,5 μW ; für $PY > 20 \text{ W}$ Mindestwerte 63 dB bzw. 69 dB

E	$235 \text{ MHz} < f \leq 960 \text{ MHz}$	Für $P_Y > 25 \text{ W}$, Mindestwert 60 dB; absoluter Grenzwert 20 mW Für $P_Y \leq 25 \text{ W}$, Mindestwert 40 dB; absoluter Grenzwert 25 μW
F	$960 \text{ MHz} < f \leq 17,7 \text{ GHz}$	Für $P_Y > 10 \text{ W}$, Mindestwert 50 dB; absoluter Grenzwert 100 mW Für $P_Y \leq 10 \text{ W}$; absoluter Grenzwert 100 μW

Die Trägerleistung P_Z ist der Wert der mittleren Leistung, der bei fehlender Modulation vorhanden ist.

Abb. 3.5 veranschaulicht die Zusammenhänge für einen sinusförmig amplitudenmodulierten Träger. In Abhängigkeit von der Zeit t sind einige Perioden der Trägerschwingung während des Maximums der Hüllkurve dargestellt. Der Widerstand, an dem die Spannung $U(t)$ auftritt, soll den Wert 1Ω haben. Die Augenblicksleistung \hat{P} entspricht dann $U^2(t)$. Mit den angenommenen Werten für die Spitzenspannung wird die Trägerleistung gleich $0,5 \text{ W}$, die maximale Augenblicksleistung \hat{P}_X gleich 4 W und die Spitzenleistung P_X gleich 2 W . \hat{P}_X ist demnach achtmal und P_X viermal so groß wie die Trägerleistung.

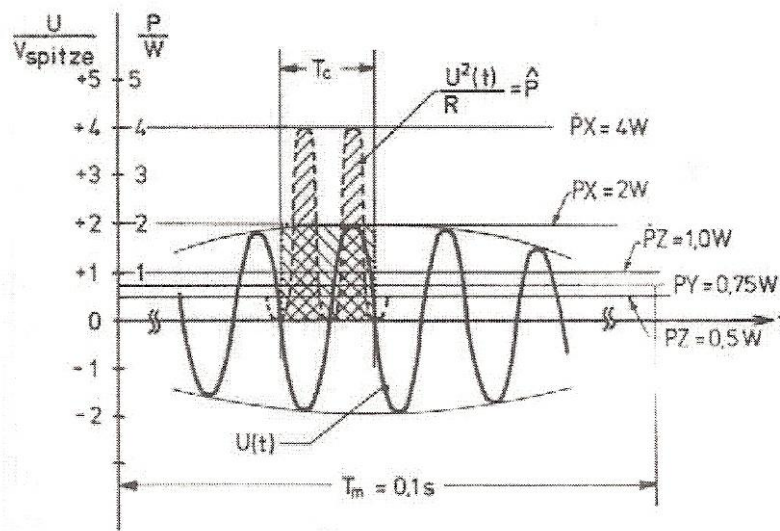


Abb. 3.5: Leistung einer modulierten HF-Schwingung zur Veranschaulichung ($m = 100\%$) [8]

U ... Spitzenwert der Spannung

T ... Zeit

R ... Lastwiderstand (hier 1Ω)

\hat{P}_X ... Augenblickswert der Spitzenleistung

\hat{P}_Y ... Augenblickswert der Trägerleistung (ohne Modulation)

P_X ... Spitzenleistung (Mittelwert über T_c)

P_Z ... Trägerleistung (Mittelwert über T_c oder T_m , ohne Modulation)

PY ... mittlere Leistung (gemittelt über T_m bei voller Modulation)

T_c ... Dauer einer Periode der Trägerschwingung

T_m ... Zeit, über die bei der Bestimmung von PY gemittelt wird

3.2.1.2. Frequenzerzeugung und Stabilisierung

3.2.1.2.1. Allgemeines

Der Oszillator des Senders erzeugt die Sendefrequenz. Er muss so dimensioniert und konstruiert sein, dass die geforderte Frequenztoleranz bei allen vereinbarten Betriebsbedingungen und Umwelteinflüssen nicht überschritten wird.

3.2.1.2.2. Freischwingende Oszillatoren

Durchstimmbare Oszillatoren mit nicht allzu hohen Anforderungen an die Frequenzkonstanz werden als freischwingende Oszillatoren mit einem Schwingkreis als frequenzbestimmendem Glied gebaut. Die erreichbare Frequenzstabilität hängt von den Eigenschaften der Schwingkreiselemente, wie elektrische Güte, Temperaturabhängigkeit, Alterung und mechanische Stabilität, und auch von den Eigenschaften des angekoppelten Erregungsvierpols wie dynamische Eingangskapazität, Phasendrehung und Dämpfung, ab.

Somit kann durch Einsatz von Bauelementen wie Spulen und Kondensatoren mit hoher elektrischer Güte, kleinem Temperaturkoeffizienten (TK), großer mechanischer Stabilität und geringer Alterung die Resonanzfrequenz über längere Zeit mit einer Toleranz von etwa $1 \cdot 10^{-4}$ gehalten werden. Dementsprechend müssen auch die frequenzbestimmenden Bauteile möglichst weitab von wärmeerzeugenden Teilen aufgebaut werden, um diese Frequenzstabilität tatsächlich erreichen zu können. Die Verwendung von Transistoren ermöglicht wegen der geringen Verlustwärme eines Transistorverstärkers den Bau temperaturstabiler Oszillatoren.

Grundsätzlich gibt es verschiedenste Oszillatorschaltungen, die sich lediglich in der Art ihrer Rückkopplung unterscheiden. Diese kann sowohl durch induktive als auch durch kapazitive Teilung der Schwingkreisspannung erzeugt werden. Quarzschaltungen sind oft auch ohne zusätzlichen Schwingkreis (aperiodisch) aufgebaut. Für besonders hohe Frequenzstabilität werden mehrstufige Rückkopplungsschaltungen verwendet.

3.2.1.2.3. Quarzgesteuerte Oszillatoren

Eine sehr hohe Frequenzstabilität erreicht man mit quarzgesteuerten Oszillatoren. Dabei arbeitet der Quarzkristall, elektrisch angeregt, als dämpfungsarmes mechanisches Schwingungssystem (Piezoeffekt). Er wirkt wie ein Schwingkreis mit sehr hoher Güte ($10^4 \dots 10^6$). Die Dämpfung hängt im Wesentlichen von der Halterung und der Umgebung ab.

Schwingquarze haben die Form von

- Scheiben
- Platten
- Stäbchen

deren Abmessungen die Frequenz und die Schwingform selbst bestimmen. Vom Schnittwinkel abhängig, unter dem die Scheibe zu den optischen Achsen des Quarzkristalles herausgeschnitten wird, kann die Temperaturabhängigkeit der Resonanzfrequenz beeinflusst werden. Bei einigen Quarzschnitten kann der Temperaturkoeffizient so beeinflusst werden, dass er bei einer bestimmten Temperatur zu Null wird und gleichzeitig eine gute Langzeitstabilität besitzt.

Zur Erzeugung sehr hoher Frequenzen können Quarze in besonderen Schaltungen auch in der Nähe einer ungeradzahligen Harmonischen ihrer Grundfrequenz angeregt werden. Derartige sogenannte Obertonschwingungen lassen sich auf der dritten Harmonischen mit fast allen Quarzen erzeugen.

Der entscheidende Nachteil des Quarzoszillators ist die nicht kontinuierliche Frequenzwahl, weshalb einfache Quarzoszillatoren nur bei Sendern mit einer oder einigen wenigen festen Frequenzen benutzt werden können. Vor allem im Kurzwellenbereich werden jedoch quarzstabile Frequenzen mit kontinuierlicher Einstellung benötigt. Eine Annäherung an dieses Ziel bringt die Oszillatorschaltung nach dem Überlagerungsprinzip (vgl. Abb. 3.6), bei der einer festen quarzgesteuerten Frequenz eine niedrigere, aus einem frequenzveränderlichen Oszillator stammende Frequenz überlagert wird. Da die niedrige Frequenz mit wesentlich höherer Konstanz hergestellt werden kann, weil die Schwingkreis Kapazität höher ist, gewinnt man höhere Frequenzstabilität. Die bei der Frequenzumsetzung entstehenden unerwünschten Frequenzkomponenten müssen durch abstimmbare Filter beseitigt werden, weil sie Nebenausstrahlungen (vgl. Tab. 3.1) erzeugen.

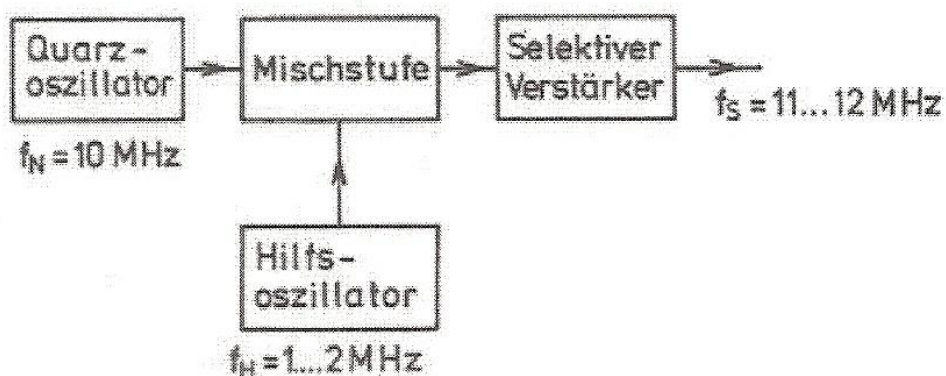


Abb. 3.6: Blockschaltbild eines Oszillators nach dem Überlagerungsverfahren [8]

3.2.1.3. Senderverstärker

3.2.1.3.1. Allgemeines

Der Senderverstärker (HF-Leistungsverstärker) verstärkt die im Steuervorsatz erzeugte Sendeschwingung auf die gewünschte Sendeleistung.

3.2.1.3. Nebenaussendungen

Als die stärkste Unerwünschtheit am Senderausgang gelten die im Senderverstärker entstehenden Harmonischen, die bei hohem Wirkungsgrad unvermeidbar sind. Dabei ist zu beachten, dass laut Gesetz die Harmonischen bestimmte Werte nicht überschreiten dürfen, also somit gedämpft werden müssen.

Güte Q	2. Harmonische	3. Harmonische	4. Harmonische
5	- 26,7 dB	- 42,3 dB	- 63,3 dB
10	- 32,8 dB	- 48,4 dB	- 69,3 dB
15	- 36,2 dB	- 51,9 dB	- 72,8 dB
20	- 38,8 dB	- 54,4 dB	- 75,5 dB

Tab. 3.1: Wirksame Gesamtdämpfung der Harmonischen [8]

3.2.2. Empfänger

3.2.1.3. Allgemeines

Ein Funkempfänger hat die Aufgabe, ein von einem Funksender abgestrahltes hochfrequentes Signal (Trägersignal), dem eine Nachricht (Zeichen, Töne oder Bilder) aufgeprägt ist (Modulation), zu empfangen und so zu verarbeiten, dass die Nachricht schließlich wieder verfügbar ist (Demodulation).

Grundsätzlich wird also auf der Sendeseite das modulierte Hochfrequenzsignal über die Sendeantenne in den freien Raum abgestrahlt und auf der Empfangsseite von der Empfangsantenne aus dem freien Raum aufgenommen.

3.2.1.3. Empfängerkonzepte

Man unterscheidet verschiedene Konzepte der Empfänger, wie Geradeausempfänger oder Überlagerungsempfänger. Letztere werden auch als Superheterodyn-Empfänger bezeichnet.

Die Bezeichnung Geradeausempfänger rührt daher, dass bei ihm das entsprechend der Abstimmung aufgenommene modulierte Funksignal bis zum Demodulator auf derselben Frequenz (geradeaus) verstärkt wird. Beim Überlagerungsempfänger wird dagegen das empfangene Signal in einer Mischstufe mit dem von einem empfangereigenen Schwingungserzeuger (Oszillator) gelieferten Hochfrequenzsignal gemischt und eines der

entstehenden Mischprodukte, das natürlich weiterhin die modulierte Nachricht enthält, als sogenanntes Zwischenfrequenzsignal weiter verarbeitet.

Natürlich haben beide Empfänger ihre Vorteile, aber auch Nachteile. Beim Geradeusempfänger entfallen vor allem sogenannte Nebenempfangsstellen, die beim Überlagerungsempfänger durch die Frequenzumsetzung gegeben sind und Unterdrückungsmaßnahmen erforderlich machen, damit dadurch der Empfang bestimmter Sender nicht beeinträchtigt wird. Auch das Fehlen eines Oszillators, der ohne entsprechende Maßnahmen unzulässige hohe Störgrößen nach außen abgibt bzw. als weitere Baugruppe durch Störgrößen von außen Ursache von Empfangsstörungen sein kann, ist beim Geradeusempfänger als Vorteil anzusehen. Nachteilig ist beim Geradeusempfänger, dass die Trennschärfe auch bei zahlreichen Abstimmkreisen schlechter als beim Überlagerungsempfänger ist und zudem von der Empfangsfrequenz abhängt. Der erforderliche Gleichlauf der Abstimmung ist gerade bei einer für ausreichende Trennschärfe erforderlichen hohen Stufenzahl schwer einzustellen bzw. ausreichend lang zu halten. Dies wirkt sich wiederum bezüglich Trennschärfe und auch Einstellgenauigkeit nachteilig aus. Schließlich neigen Geradeausverstärker besonders bei hohen Frequenzen zum Schwingen – ein Zustand, durch den nicht nur der Empfang beeinträchtigt wird, sondern unter Umständen auch kräftiges Störpotenzial nach außen abgegeben wird.

Die insgesamt beim Geradeusempfänger offensichtlich doch überwiegenden Nachteile führen eindeutig zu dem heute meist verwendeten Konzept des Überlagerungsempfängers.

3.2.3. Design der gängigen Produkte

3.3.4.1. Senderdesign

Vorwiegend aus Kostengründen sind einstufige Lösungen vorzuziehen. Die gängige Variante besteht aus einem Oszillator (ist auch zugleich Endstufe) mit quarzstabilisierten Resonatoren, sogenannten SAW Resonatoren (surface-acoustic-wave), für die Frequenzstabilität, einem internen Schwingkreis und einen über einen kleinen Kondensator angekoppelten Antennenschwingkreis hoher Güte, wobei die Induktivität des Schwingkreises als Leiterbahn ausgeführt ist.

Ein Nachteil dieser Sender ist die Frequenztoleranz von ca. ± 75 kHz. Da aber keine Kanalteilung besteht ist das kein Problem. Nur der Empfänger benötigt eine entsprechende ZF-Bandbreite.

3.2.3.2. Empfängerdesign

Zur Anwendung kommen Superhet-Empfänger oder Pendelempfänger. Der Superhet-Empfänger besteht im Wesentlichen aus einer selektiven Vorstufe (mit SAW Filter), der Mischstufe, einem Oszillator mit SAW Resonator, einem ZF-Filter, dem ZF-Verstärker, dem Demodulator und der Datenaufbereitung.

Der Pendelempfänger arbeitet nach dem Pendelprinzip und ist ein Geradeusempfänger. Die wesentlichen Teile sind eine selektive Vorstufe, die Pendelstufe und Datenaufbereitung mittels Komparator. Diese Lösung ist sehr kostengünstig, hat aber erhebliche Nachteile. Ein Nachteil ist die große Bandbreite von ca. 5 MHz und das Abstrahlen der Pendelfrequenz von

ca. 200 kHz. Diese beeinträchtigt den Empfang von anderen Empfängern, wenn sie sich in einem Abstand von weniger als 5 Metern zum Pendelempfänger befinden.

3.3. Betrachtung von Modulationsarten

Nachdem auch die Modulationsarten der angekauften Sender- und Empfangsmodule betrachtet werden, wird Basiswissen in den folgenden Abschnitten die Grundlagen liefern – extrahiert aus Fachliteratur [6].

3.3.1. Allgemein

Zur Nachrichtenübertragung bedarf es eines Übertragungssystems, um die Signale von ihrem Entstehungsort, einer Nachrichtenquelle, zu ihrem Empfangsort, einer Nachrichtensenke, zu leiten (vgl. Abb. 3.7).

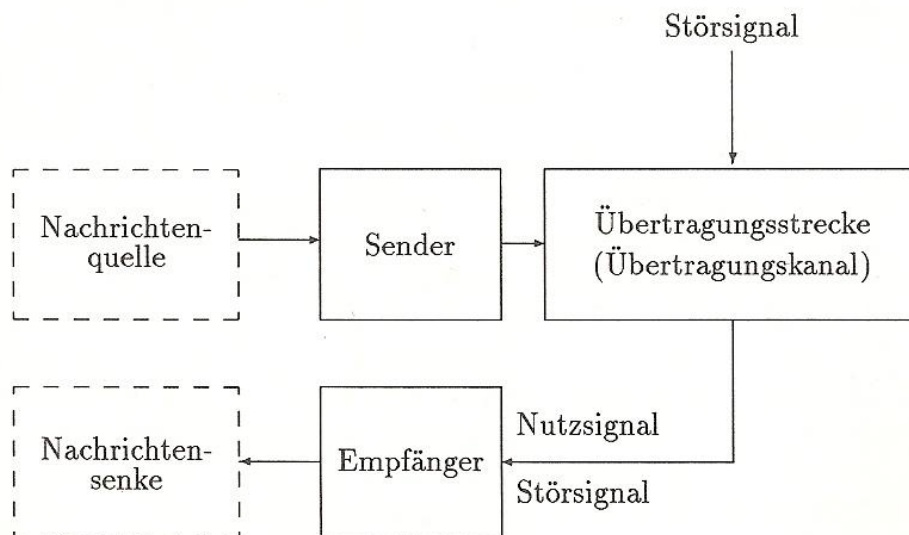


Abb. 3.7: Konzept eines Übertragungssystems [6]

Das von einer Nachrichtenquelle gelieferte Nutzsignal wird in einem Sender in eine für die Übertragung über den Kanal geeignete Form umgewandelt. Dabei müssen die Eigenschaften des zur Verfügung stehenden Kanals sowie seine Empfindlichkeit gegenüber Störeinflüssen berücksichtigt werden. Die Umwandlung im Sender kann sowohl durch entsprechende Leitungscodierung oder auch durch Modulation erfolgen, falls das Signal nicht in seiner ursprünglichen Form übertragen werden kann.

Bei der Modulation wird einem sich gleichförmig periodisch wiederholenden Trägersignal das zu übertragende Nutzsignal als Modulationssignal aufgeprägt, wodurch ein moduliertes Signal entsteht (vgl. Abb. 3.8).

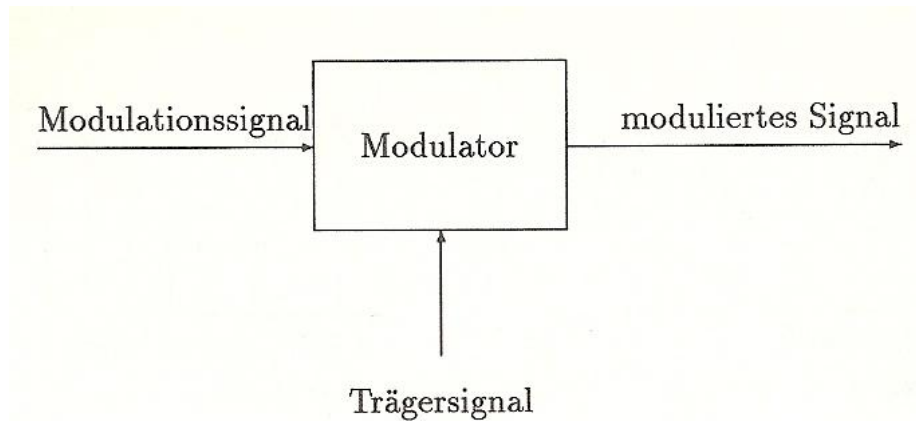


Abb. 3.8: Schematische Darstellung des Begriffes Modulation [6]

Das Modulationssignal wird häufig auch als Basisbandsignal bezeichnet, da sein Spektrum im Allgemeinen niederfrequenterer Komponenten enthält als das Spektrum des modulierten Signals. Prinzipiell kann das Trägersignal eine beliebige Form aufweisen. In der Praxis werden aber fast ausschließlich nur Sinusschwingungen und Pulse eingesetzt. Denn diese sind mathematisch leicht beschreibbar und technisch einfach realisierbar. Unter einem Puls versteht man dabei eine periodische Folge gleichartiger Impulse, deren Dauer meist kurz ist im Vergleich zu ihrem zeitlichen Abstand. Die Signalparameter, die in diesem Rahmen in Abhängigkeit vom Modulationssignal geändert werden können, sind aus Abb. 3.9 ersichtlich.

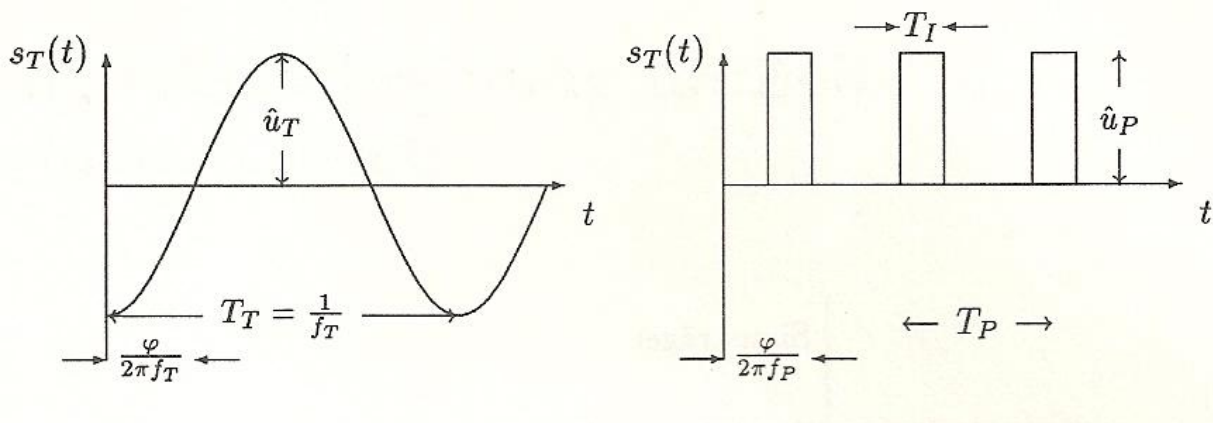


Abb. 3.9: Trägersignale und ihre Signalparameter [6]

Bei einem Sinusträger können Amplitude \hat{u}_T , Frequenz f_T und Phasenwinkel φ moduliert werden. Demzufolge unterscheidet man grundsätzlich drei verschiedene Grundmodulationen:

- Amplitudenmodulation (AM), wobei hier die Amplitude der stetigen Änderung unterliegt,
- Frequenzmodulation (FM), wobei die Frequenz als Veränderliche gilt,
- Phasenmodulation (PM), mit der Phase als veränderliche Größe
- Mischmodulationsarten, resultierend aus den Grundmodulationsarten

Die FM und die PM sind unter dem Begriff Winkelmodulation zusammen gefasst.

Bei einem Pulsträger handelt es sich um andere veränderbare Signalparameter, nämlich die Amplitude \hat{u}_P , die Periodendauer T_P , der Phasenwinkel φ und die Impulsdauer T_I .

Eine weitere Klassifizierung der Modulationsverfahren berücksichtigt, ob es sich bei dem Basisbandsignal um einen Analog- oder ein Digitalsignal handelt. Abb. 3.10 zeigt zusammengestellte Modulationsverfahren in Abhängigkeit von Modulations- und Trägersignal.

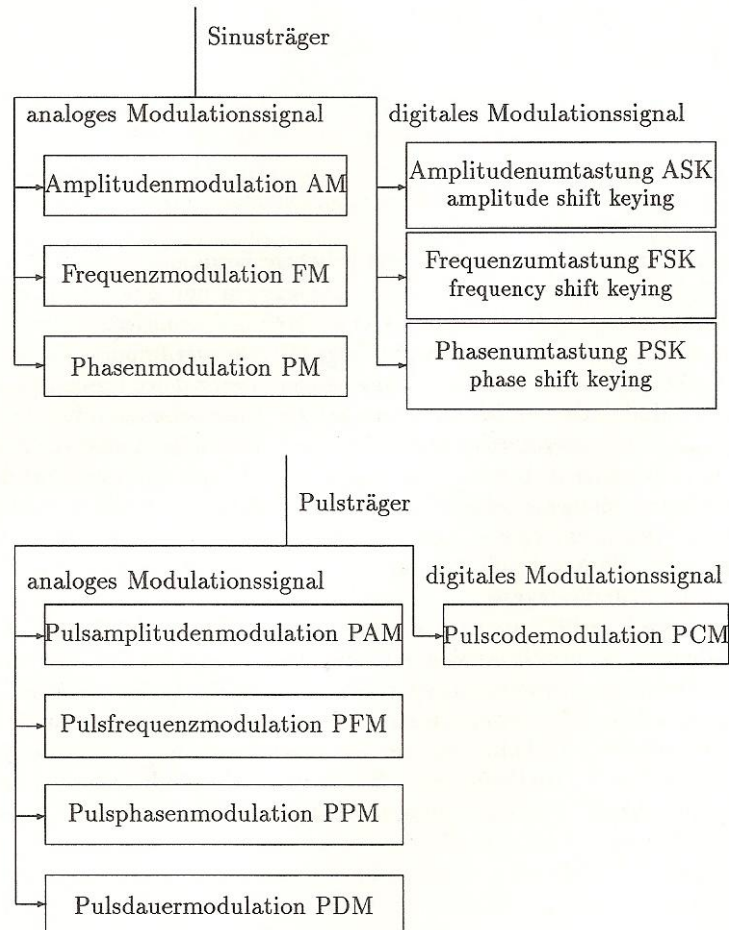


Abb. 3.10: Klassifizierung der Modulationsverfahren im Überblick [6]

3.3.2. Modulation eines sinusförmigen Trägers durch ein analoges Modulationssignal

3.3.2.1. Die Amplitudenmodulation

Bei der Amplitudenmodulation AM erfährt die Trägerschwingung eine Amplitudenänderung in Abhängigkeit von einem Modulationssignal. Gleichzeitig wird verhindert, dass für negative Werte des Modulationssignals das Trägersignal in seiner Phase umgepolt wird. Wäre dies

nämlich der Fall, so würde neben der erwünschten Amplitudenmodulation auch noch eine unerwünschte Phasenmodulation stattfinden.

Das Verhältnis

$$m = \frac{|\text{Min}(s_{\text{mod}}(t))|}{A_c}$$

Bezeichnet man als den sogenannten Modulationsgrad. Um keine Übermodulation und damit keine Phasenumpolung des Trägersignals zu erhalten, muss für den Modulationsgrad $m \leq 1$ gelten.

Das Spektrum eines amplitudenmodulierten Signals ergibt sich durch eine Frequenzverschiebung und einer Spiegelung am Ursprung eines Koordinatensystems (vgl. Abb. 3.11).

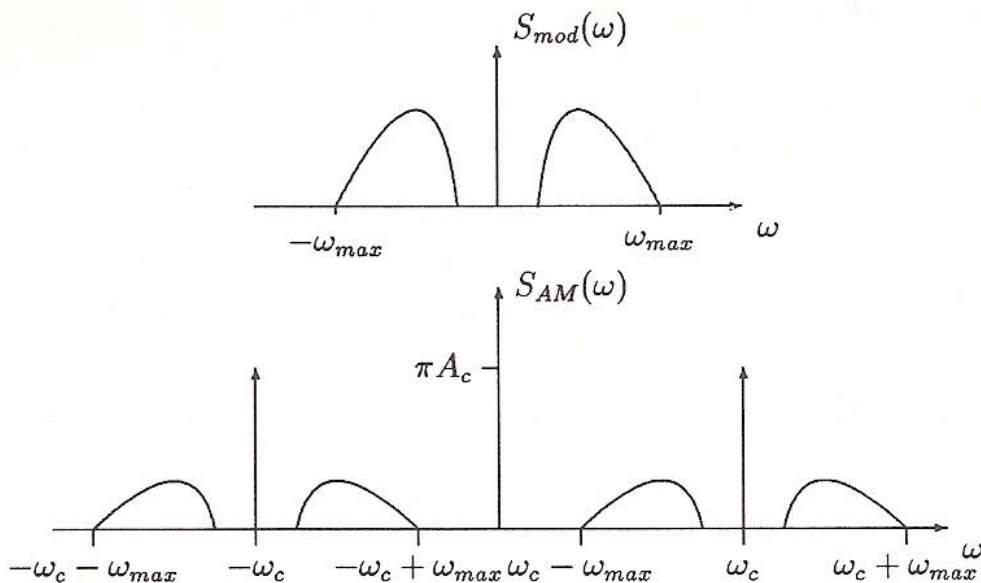


Abb. 3.11: Basisbandspektrum des Modulationssignals und Spektrum des AM-Signals [6]

Die Spektralanteile des Spektrums des amplitudenmodulierten Signals sind aufgeteilt in ein oberes und ein unteres Seitenband. Die Trägerfrequenz wird durch einen Diracimpuls repräsentiert. Da das Spektrum des modulierten Signals aus dem Spektrum des Modulationssignals durch eine Frequenzverschiebung hervor geht, bezeichnet man die Amplitudenmodulation als lineares Modulationsverfahren.

Die Leistung eines AM-Signals beträgt

$$P_{AM} = \frac{A_c^2}{2} + \frac{\overline{s_{\text{mod}}^2(t)}}{2},$$

wobei $\overline{s_{\text{mod}}^2(t)}$ den quadratischen Zeitmittelwert des Modulationssignals beschreibt.

Berechnet man das Verhältnis der Leistungen der Seitenbänder zur Gesamtleistung

$$\frac{P_{\text{Seiten}}}{P_{AM}} = \frac{\overline{s_{mod}^2(t)}}{A_c^2 + \overline{s_{mod}^2(t)}}$$

so erkennt man, dass bei einer Eintonaussteuerung $s_{mod}(t) = a \cdot \cos\omega_m t$ die Leistung des Modulationssignals $\overline{s_{mod}^2(t)} = \frac{a^2}{2}$ beträgt.

Steuert man den Amplitudenmodulator mit diesem Signal voll aus, ($m = a; A_c = 1$) so sieht man, dass sich in diesem Fall nur ein Drittel der Gesamtleistung in den informationstragenden Seitenbändern befindet. Der Maximalwert beträgt $\frac{1}{2}$, wenn das Modulationssignal einen zeitunabhängigen Verlauf besitzt.

In Bezug auf Leistungseffizienz ist die Amplitudenmodulation ein schlechtes Verfahren, da ein Großteil der Leistung zur Übertragung des Trägersignals aufgebracht werden muss.

3.3.2.2. Die Frequenzmodulation

Die Frequenzmodulation (FM) gehört zur Klasse der Winkelmodulationsverfahren, die sich mathematisch dadurch charakterisieren lassen, dass bei ihnen das Argument des sinusförmigen Trägersignals eine Funktion des Modulationssignals ist. Dabei ist die Frequenzabweichung von der Trägerfrequenz proportional zum Modulationssignal.

Die FM gilt als nichtlineares Modulationsverfahren. Das Spektrum eines frequenzmodulierten Signals enthält Spektralanteile bei Frequenzen, die im Spektrum des Modulationssignals nicht enthalten sind. Aus diesem Grund ist im allgemeinen Fall der Zusammenhang zwischen beiden Spektren mathematisch nicht einfach beschreibbar. Beschränkt man sich nun auf ein sinusförmiges Modulationssignal, so erhält man ein Spektrum, das durch Fouriertransformation berechnet werden kann. Da die Frequenzmodulation jedoch ein nichtlineares Modulationsverfahren ist, gilt das Superpositionsgesetz nicht. Deshalb ist es auch nicht möglich, aus dem FM-Spektrum, das bei einem sinusförmigen Modulationssignal entsteht, auf das FM-Spektrum bei einem beliebigen Modulationssignal zu schließen.

Ein sinusförmiges Modulationssignal besitzt als FM-Spektrum ein Linienspektrum, das eine Komponente bei der Trägerfrequenz aufweist und eine unendliche Anzahl von Seitenbändern, die im Abstand von ganzzahligen Vielfachen der Modulationsfrequenz um die Trägerfrequenz herum liegen. Die Amplituden dieser Seitenbänder sind mit den Werten der Bessel-Funktion $J_n(\eta)$ gewichtet (vgl. Tab. 3.2).

	η								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0,765	0,224	-0,260	-0,397	-0,178	0,151	0,300	0,172	-0,090
1	0,440	0,577	0,339	-0,066	-0,328	-0,277	-0,004	0,244	0,245
2	0,115	0,353	0,486	0,364	0,047	-0,243	-0,301	-0,113	0,144
3	0,012	0,129	0,309	0,430	0,365	0,115	-0,168	-0,291	-0,180
4	0,002	0,034	0,132	0,281	0,391	0,358	0,157	-0,105	-0,266
5		0,007	0,043	0,132	0,261	0,362	0,348	0,186	-0,055
n	6	0,001	0,011	0,049	0,131	0,246	0,339	0,338	0,204
	7		0,003	0,015	0,053	0,130	0,234	0,320	0,328
	8			0,004	0,018	0,057	0,128	0,224	0,305
	9				0,005	0,021	0,059	0,126	0,215
	10				0,001	0,007	0,024	0,060	0,125
	11					0,002	0,008	0,026	0,062
	12						0,002	0,009	0,027
	13							0,003	0,010

Tab. 3.2: Funktionswerte der Bessel-Funktion $J_n(\eta)$ [6]

In der Tabelle sind die Werte für positive n angegeben. Aus der Definition der Bessel-Funktion ergeben sich jedoch die Beziehungen:

$$J_{-n}(\eta) = J_n(\eta) \quad \text{für n gerade}$$

$$J_{-n}(\eta) = -J_n(\eta) \quad \text{für n ungerade}$$

Demzufolge ist das Betragsspektrum eines frequenzmodulierten Signals symmetrisch zur Trägerfrequenz. Betrachtet man sich die in Tab. 3.1. angegebenen Werte der Bessel-Funktion, so sieht man, dass für kleine Werte der Modulationsindex η $J_0(\eta)$ dominiert. So ist ein Großteil der Leistung des FM-Signals innerhalb einer geringen Bandbreite vorhanden. Deshalb spricht man in diesem Fall auch von einer Schmalband-Frequenzmodulation. Ebenso ist erkennbar, dass $J_n(\eta)$ Nulldurchgänge für verschiedene Werte des Modulationsindex η besitzt. Somit ist es beispielsweise möglich, dass im Spektrum des frequenzmodulierten Signals kein Anteil mehr bei der Trägerfrequenz selbst vorhanden ist.

Bei der Erzeugung des FM-Signals entsteht eine unendliche Anzahl von Seitenspektrallinien, sodass zur Übertragung eines frequenzmodulierten Signals die benötigte Bandbreite prinzipiell auch unendlich groß ist. Andererseits jedoch zeigt der Verlauf der Bessel-Funktionen in Tab. 3.1, dass für $n > \eta$ die Gewichtung der Spektrallinien schnell abnimmt.

Die Leistung eines winkelmodulierten Signals und damit auch die Leistung eines frequenzmodulierten Signals ist unabhängig vom Modulationssignal, vorausgesetzt die Trägerfrequenz wird entsprechend groß gewählt. Dabei erhält man ein Leistungsverhältnis:

$$P_R = J_0^2(\eta) + 2 \sum_{n=1}^k J_n^2(\eta)$$

Dieses gibt das Verhältnis der Leistung von Trägerschwingung und k Seitenspektrallinien zu jeder Seite der Trägerschwingung zur Gesamtleistung des FM-Signals an. Für verschiedene

Anwendungen lässt sich nun ein passendes Leistungsverhältnis festlegen. Anschließend kann man mit Hilfe der Bessel-Funktion die Größe k für das festgelegte Leistungsverhältnis bestimmen und erhält damit die resultierende Bandbreite:

$$B = 2kf_{mod}$$

Außerdem hat es sich gezeigt, dass die mit der Bandbegrenzung eines frequenzmodulierten Signals einhergehenden Störungen noch tolerierbar sind, wenn 98 Prozent der Gesamtleistung des FM-Signals übertragen werden. Wertet man die Tab. 3.1 aus, so zeigt sich, dass diese Bedingung erfüllt ist, wenn $k = 1 + \eta$. Damit lässt sich die dazu benötigte Bandbreite berechnen aus:

$$B = 2(1 + \eta)f_{mod}$$

Dieser Bandbreite setzt man eine Eintonmodulation voraus, da der Modulationsindex η nur für eine Aussteuerung des Frequenzmodulators mit einem sinusförmigen Signal definiert ist. Allgemein ist die notwendige Übertragungsbandbreite gegeben zu:

$$B_C = 2(1 + D) \cdot B_{mod}$$

Dies wird auch als Formel von Carson betitelt. D steht für die benötigte Übertragungsbandbreite, nachdem man das Verhältnis von Frequenzhub zur einseitigen Bandbreite B_{mod} des Modulationssignals definiert hat und ist gegeben zu:

$$D = \frac{\alpha_F}{2\pi \cdot B_{mod}} [\max|s_{mod}(t)|]$$

Dabei ist der Frequenzhub festgelegt als der Maximalbetrag der Frequenzdifferenz zwischen Momentanfrequenz und Trägerfrequenz.

Fallunterscheidungen:

- $D \ll 1$: Die benötigte Bandbreite ist näherungsweise $B_C = 2B_{mod}$. Das dazugehörige frequenzmodulierte Signal wird Schmalband-FM-Signal genannt.
- $D \gg 1$: So erhält man für die benötigte Bandbreite $B_C = 2DB_{mod}$, was dem Doppelten des Frequenzhubs entspricht. Das FM-Signal bezeichnet man in diesem Fall als Breitband-FM-Signal.

3.3.2.3. Vergleich AM und FM

Der Modulationsindex η beziehungsweise der FM-Index D spielen bei der Frequenzmodulation eine ähnliche Rolle wie der Modulationsgrad m bei der Amplitudenmodulation. Der Modulationsgrad m darf maximal den Wert 1 annehmen, um Verzerrungen bei der Demodulation des AM-Signals zu vermeiden. Solch eine Einschränkung besteht für den FM-Index D nicht. Da jedoch für $D \gg 1$ die benötigte Bandbreite durch den Frequenzhub bestimmt wird, ist in der Praxis dessen Wert durch die zur Verfügung stehende Übertragungsbandbreite begrenzt.

Bei der Amplitudenmodulation besitzt man die Möglichkeit, durch Vergrößern des Modulationsgrades m den Anteil der Basisbandleistung im Vergleich zur Gesamtleistung zu

erhöhen, wobei die Übertragungsbandbreite konstant bleibt. Möchte man bei der Frequenzmodulation den Leistungsanteil des empfangenen Signals in Bezug auf die Gesamtleistung steigern, so ist dies nur durch eine vergrößerte Übertragungsbandbreite möglich.

Betrachtet man bei einer Eintonmodulation bei einem vorgegebenen Frequenzhub die für verschiedene Modulationsfrequenzen benötigten Übertragungsbandbreiten, so erkennt man, dass die Abweichungen von der Nominalbandbreite

$$B = 2\eta \cdot f_{mod}$$

für kleine Werte von η und hohe Modulationsfrequenzen größer sind als für einen großen Modulationsindex und eine niedrige Modulationsfrequenz.

Mit wachsendem Modulationsindex und entsprechend kleiner werdender Modulationsfrequenz nähert sich die Übertragungsbandbreite immer mehr der Nominalbandbreite B an.

3.3.2.3.1. Vergleich AM mit Schmalband-FM

Wählt man bei einer Eintonmodulation den Modulationsindex η derart, dass $\eta \ll 1$ gilt, dann erhält man mit guter Näherung ein FM-Signal – und zwar ein Trägersignal, das von einem Paar Seitenspektrallinien (ähnlich dem eines bei der Eintonmodulation eines Amplitudenmodulators) begleitet wird.:

- $s_{FM}(t) = A_c \cdot \left(\cos \omega_c t - \frac{\eta}{2} \cos(\omega_c - \omega_{mod}) t + \frac{\eta}{2} \cos(\omega_c + \omega_{mod}) t \right)$
- $s_{AM}(t) = A_c \cos \omega_c t + \frac{m}{2} \cos(\omega_c - \omega_{mod}) t + \frac{m}{2} \cos(\omega_c + \omega_{mod}) t$

Die Ähnlichkeit beider mathematischen Ausdrücke (Gleichungen) fällt sofort auf. Der Unterschied zwischen beiden Ausdrücken liegt im Vorzeichen des Terms, der das untere Seitenband beschreibt. Die Auswirkung auf das Ausgangssignal beider Modulatoren ist aus dem Phasendiagramm (Abb. 3.12) ersichtlich.

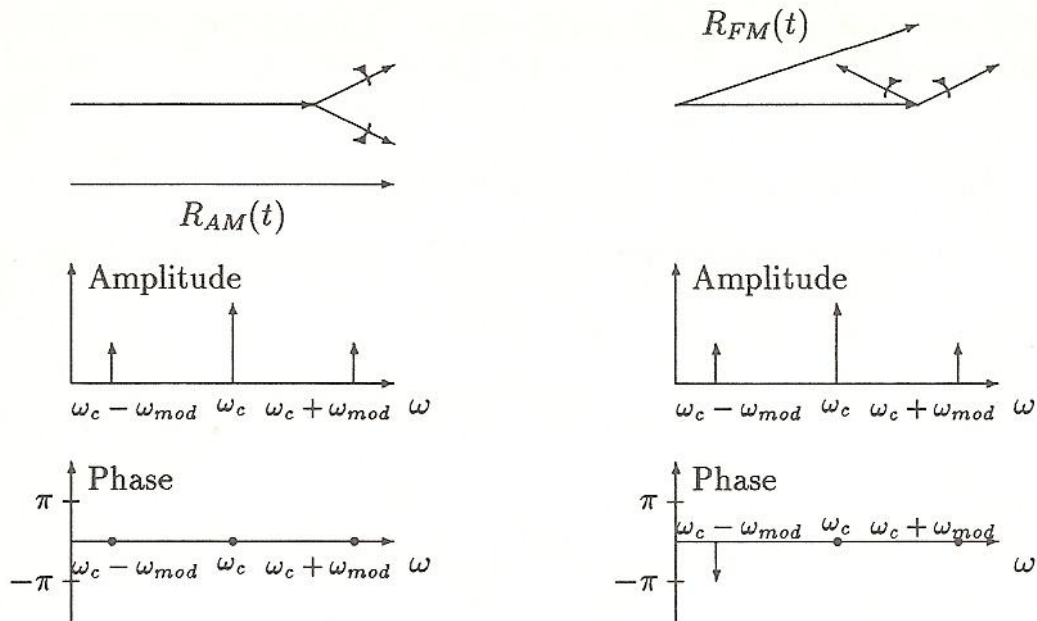


Abb. 3.12: Vergleich zwischen Schmalband-Frequenzmodulation und Amplitudenmodulation [6]

Die Trägerphase als Referenz ist in horizontaler Richtung aufgetragen. Bei der Amplitudenmodulation addieren sich die Zeiger der Seitenspektrallinien immer derart, dass ihre Resultierende in Phase zum Trägersignal dazu addiert wird. Hingegen steht die Resultierende, die sich aufgrund der Phasenzeiger bei der Frequenzmodulation ergibt, immer senkrecht auf dem Phasenzeiger des Trägersignals. Nach der Addition beider Zeiger ist deswegen die Resultierende $R_{FM}(t)$ im Vergleich zur Trägeramplitude etwas reduziert. Diese geringe Amplitudenmodulation rührt daher, dass die Seitenspektrallinien höherer Ordnung bei dieser Art der Betrachtung vernachlässigt wurden. Im Weiteren folgert man, dass alle ungeradzahigen Seitenbänder Resultierende liefern, die senkrecht zum Trägersignal stehen, wohingegen alle geradzahigen Seitenbänder bei der Addition Resultierende erzeugen, die sich in Phase mit dem Trägersignal befinden. Im Grenzfall, bei der Berücksichtigung aller Seitenbänder, ergibt sich eine Resultierende, deren Größe mit der Trägeramplitude übereinstimmt.

Schlussfolgerung:

Setzt man also bei der Schmalband-FM den Modulationsindex η auf einen Wert, der zahlenmäßig dem Modulationsgrad m bei der Amplitudenmodulation entspricht, so besitzen beide Verfahren (vgl. Abb. 3.12) das gleiche Amplitudenspektrum. Im Allgemeinen kann aber bei einer Frequenzmodulation mit einem beliebigen Eingangssignal keine Aussage über das Ausgangsspektrum gemacht werden.

Vergleicht man die beiden Spektren der Schmalband-FM und der AM, so lässt sich auch erkennen, dass die Leistungsspektraldichten beider Signale übereinstimmen. Dieses Ergebnis ist verständlich, wenn man sich die Resultate der Spektralberechnung bei einer Eintonmodulation ins Gedächtnis zurückruft (Abb. 3.12) und bedenkt, dass bei der Schmalband-FM die Superposition modulierter Signale im Ausgangssignal erlaubt ist.

3.3.2.4. Die Phasenmodulation

Die Phasenmodulation gehört ebenfalls zur Klasse der Winkelmodulationsverfahren. Bei der Frequenzmodulation ist aber die Frequenzabweichung von der Trägerfrequenz proportional zum Modulationssignal, während bei der Phasenmodulation die Abweichung von der Trägersignalphase proportional zum Modulationssignal ist. Die Phasenmodulation PM ist ebenfalls ein nichtlineares Modulationsverfahren. Wie bei der Frequenzmodulation existieren im Spektrum eines phasenmodulierten Signals Spektralanteile bei Frequenzen, die im Spektrum des Modulationssignals nicht enthalten sind. Wie bei der Frequenzmodulation gilt auch hier wegen des nichtlinearen Modulationsverfahrens das Superpositionsprinzip nicht, sodass es nicht erlaubt ist, aus dem PM-Spektrum bei sinusförmiger Modulation auf das Spektrum bei einem beliebigen Modulationssignal zu schließen.

Bei einer Eintonmodulation sind die Betragsspektren eines FM- und eines PM-Signals nicht voneinander zu unterscheiden. Damit ist das Leistungsverhältnis P_R sowie die zur Übertragung von 98 Prozent der Gesamtleistung benötigte notwendige einseitige Bandbreite gleich mathematisch definiert wie bei der Frequenzmodulation.

3.3.2.5. Zusammenhang zwischen FM und PM

Bei einem frequenzmoduliertem Signal ist die momentane Frequenzabweichung zur Trägerfrequenz proportional zum Modulationssignal. Da sich die Phase des Ausgangssignals durch die Integration über die Momentanfrequenz ergibt, muss man $s_{mod}(t)$ integrieren und kann mit dem Ausgangssignal des Integrierers einen Phasenmodulator ansteuern, um das Verhalten eines Frequenzmodulators zu erzielen. Umgekehrt macht ein vor einen Frequenzmodulator geschalteter Differenzierer die Gesamtanordnung zu einem Phasenmodulator (vgl. Abb. 3.13).

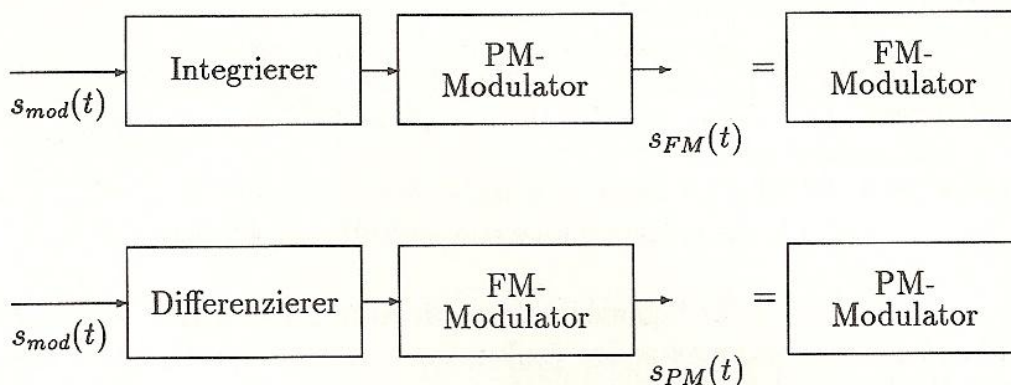


Abb. 3.13: Beziehung zwischen Frequenz- und Phasenmodulation [6]

Das unterschiedliche Verhalten von Frequenz- und Phasenmodulation bei einer Eintonmodulation ist mathematisch gegeben zu:

$$s_{mod}(t) = A \cdot \cos \omega_{mod}(t)$$

und ist in Bezug auf Frequenz- und Phasenhub aus Tab. 3.3 zu ersehen.

	Frequenzmodulation	Phasenmodulation
Eintonmodulation	$s_{mod}(t) = A \cdot \cos \omega_{mod}(t)$	
Phasenhub	$\Delta\varphi = \frac{\alpha_F A}{\omega_{mod}} \sim \frac{1}{\omega_{mod}}$	$\Delta\varphi = \alpha_P \cdot A = konst$
Kreisfrequenzhub	$\Delta\varphi = \alpha_F \cdot A = konst$	$\Delta\omega = \alpha_P \omega_{mod} A \sim \omega_{mod}$

Tab. 3.3: Vergleich zwischen Frequenzmodulation und Phasenmodulation [6]

Sind auf der Empfangsseite die Modulatorkonstanten α_F und α_P nicht bekannt, so ist eine Phasenmodulation nicht von einer Frequenzmodulation zu unterscheiden. Empfängt man verschiedene Modulationssignalfrequenzen zeitlich sequenziell mit gleicher Signalamplitude, so handelt es sich um eine Frequenzmodulation, wenn der Frequenzhub konstant bleibt und der Phasenhub umgekehrt proportional zur Modulationsfrequenz ist. Hingegen liegt eine Phasenmodulation vor, wenn der Phasenhub konstant bleibt und der Frequenzhub proportional zur Modulationsfrequenz ist.

3.3.3. Vor- und Nachteile

Die Winkelmodulation (FM und PM) hat gegenüber der AM besonders den Vorteil, dass ein größerer Rauschabstand und ein besserer Wirkungsgrad des Senders erzielt werden kann. Jedoch benötigen die Winkelmodulationsarten weit mehr Bandbreite als die Amplitudenmodulation, da die Winkelmodulationsarten ein unendliches Frequenzspektrum liefern und nicht ein begrenztes, wie es bei der Amplitudenmodulation der Fall ist. Bei der Frequenzmodulation ist man somit gezwungen, da keine unendliche Bandbreite übertragen werden kann, dass man das Spektrum begrenzt und somit genau genommen eine Einbuße in Kauf nehmen muss. So gibt es Grenzwerte (Minimumwert), welche Spektralanteile nicht mehr berücksichtigt werden müssen. Ein großer Vorteil der Frequenzmodulation gegenüber der Amplitudenmodulation besteht darin, dass die Sendeleistung besser ausgenutzt wird, da bei der FM die Amplitude konstant bleibt.

3.3.4. Modulation eines sinusförmigen Trägers durch ein digitales Modulationssignal

Vorher wurden Modulationsverfahren behandelt, die einen sinusförmigen Träger durch ein Analogsignal modulieren. Im Prinzip werden zur Modulation die bekannten Verfahren AM, FM und PM eingesetzt, wobei jedoch wegen der Binärcodierung, im Gegensatz zu einem analogen Modulationssignal, die Signalparameter Amplitude, Frequenz und Phase nur noch wertdiskret auftreten. Beeinflussen die Codeelemente die Trägeramplitude, so spricht man von einer Amplitudenumtastung (Amplitude Shift Keying (ASK)). Ändert sich die Trägerfrequenz in Abhängigkeit vom Digitalsignal, so handelt es sich um eine Frequenzumtastung (Frequency Shift Keying (FSK)). Bei der Phasenumtastung (Phase Shift Keying (PSK)) beeinflussen die Codeelemente die Trägerphase.

Diese Modulationsverfahren dienen dazu, das PCM-Signal an die Übertragungseigenschaften des Nachrichtenkanals anzupassen. Auf der Empfangsseite ist neben der

Bittackrückgewinnung auch eine Trägerrückgewinnung zur korrekten Decodierung notwendig.

PCM (Pulsmodulation):

Die Mehrzahl der Signale, die in der Nachrichtenübertragung von Bedeutung sind, liegen in analoger Form vor. Zur digitalen Signalverarbeitung ist es deshalb notwendig, das Analogsignal in ein wert- und zeitdiskretes Signal umzuwandeln. Diese Aufgabe erfüllt die Pulsmodulation (PCM), wozu zwei Verarbeitungsschritte durchzuführen sind. Das bandbegrenzte Analogsignal wird durch einen Abtaster, dessen Periodendauer T_s aufgrund der Abtastung im Zeitbereich durch die im Analogsignal maximal auftretende Frequenz bestimmt ist, in ein zeitdiskretes Signal umgewandelt. In einem weiteren Verarbeitungsschritt entsteht aus dem abgetasteten Signal ein Digitalsignal. Hierbei werden die wertkontinuierlichen Abtastwerte durch Werte aus einem endlichen Zeichenvorrat repräsentiert. Dieser Schritt wird Quantisierung oder Diskretisierung genannt. Anschließend werden die quantisierten Werte codiert, d. h. es wird eine eindeutige Zuordnung hergestellt zwischen den quantisierten Werten und einer Darstellung dieser Werte durch Elemente aus einem weiteren Zeichenvorrat. Dieser wird derart gewählt, dass eine günstige Weiterverarbeitung des Digitalsignals ermöglicht wird.

Da man die zur Verfügung stehenden Zeichen auch als Alphabet bezeichnet, erlaubt die Codierung eine Zuordnung zwischen den Zeichen verschiedener Alphabete. Unter der Stufenzahl eines Codes versteht man die Anzahl der zur Verfügung stehenden unterschiedlichen und einander ausschließenden Zeichen eines Alphabets. Häufig benutzt man zur Codierung einen Binärcode, dessen Alphabet nur aus zwei Zeichen besteht, die meist als „0“ und „1“ geschrieben werden. Mit Hilfe dieser beiden Codeelemente lassen sich Codewörter bilden, wobei bei einem n-stelligen Code genau n Codeelemente das Codewort erzeugen. Demzufolge lassen sich mit einem n-stelligen Binärcode 2^n unterschiedliche Codewörter erzeugen. Der Binärcode besitzt die für Übertragungszwecke wichtige Eigenschaft, dass im Empfänger nur zwei Codeelemente voneinander unterschieden werden müssen, wodurch die Störsicherheit der Übertragung erhöht wird. Als Pseudoeinheit wird die Bezeichnung „bit“ verwendet, die bei der Binärcodierung die notwendige Anzahl von Codeelementen definiert, um den quantisierten Werte zu beschreiben. Werden die Bits eines Codewortes zeitlich sequenziell übertragen (serielle Datenübertragung), so muss die Bitdauer so festgelegt werden, dass ein Codewort innerhalb einer Abtastperiode übertragen werden kann.

3.3.4.1. Die Amplitudenumtastung

Bei der Amplitudenumtastung überträgt man die beiden Codeelemente „0“ und „1“ mit Hilfe zweier Signalformen:

$$s_1(t) = 0 \quad \text{mit } 0 \leq t < T_b \text{ und}$$

$$s_2(t) = A \cdot \cos\omega_c t \quad \text{mit } 0 \leq t < T_b$$

Sodass das Modulationssignal sich ergibt zu:

$$s_{ASK}(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} a_n s(t - nT_b) \cos\omega_c t \quad \text{wobei} \quad a_n \in \{0,1\} \quad \text{ist und}$$

$$s(t) = \begin{cases} A & 0 \leq t < T_b \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$$

geschrieben werden kann.

Das Basisbandsignal

$$s_{PCM}(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} a_n s(t - nT_b)$$

Wird mit dem Trägersignal multipliziert, wodurch der Gleichanteil des Leistungsdichtespektrums zur Trägerfrequenz ω_c hin verschoben wird und dadurch das Spektrum des Modulatorausgangssignals bildet. Das Leistungssignalspektrum besitzt einen kontinuierlichen Anteil und einen diskreten Anteil, wobei das modulierte Signal diesen diskreten Spektralanteil bei der Trägerfrequenz ω_c besitzt.

Wichtig bei der ASK-Modulation ist, dass für die Bestimmung der Bitfehlerwahrscheinlichkeit nicht die Signalform, sondern die Signalenergie des Differenzsignals der beiden Signalformen maßgebend ist.

3.3.4.2. Die Frequenzumtastung

Bei der Frequenzumtastung (FSK) werden die beiden zu übertragenden Codeelemente „0“ und „1“ durch unterschiedliche Frequenzen repräsentiert. Man setzt dabei die beiden Signalformen:

$$s_1(t) = A \cdot \cos(\omega_0 t + \Omega t) \quad \text{mit } 0 \leq t < T_b \quad \text{und}$$

$$s_2(t) = A \cdot \cos(\omega_0 t - \Omega t) \quad \text{mit } 0 \leq t < T_b \quad \text{ein.}$$

Eine der beiden Signalformen wird während der Bitdauer T_b gesendet, so dass das Modulationssignal eine konstante Einhüllende besitzt und entweder die Frequenz $\omega_0 + \Omega$ oder die Frequenz $\omega_0 - \Omega$ hat, wobei Ω eine konstante Frequenzabweichung von der Mittenfrequenz ω_0 darstellt. Für die beiden dadurch definierten Trägerfrequenzen benutzt man die Abkürzungen ω_H und ω_L . Diese sind gegeben zu $\omega_H = \omega_0 + \Omega$ und $\omega_L = \omega_0 - \Omega$. Daraus erhält man das Modulatorausgangssignal:

$$s_{FSK}(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} a_n s(t - nT_b) \cos \omega_H t + \overline{a_n} s(t - nT_b) \cos \omega_L t \quad \text{mit } a_n \in \{0,1\}$$

Dabei stellt a_n den Faktor dar, der in Abhängigkeit des zu übertragenden Codeelementes den Wert „0“ oder „1“ annimmt und diesen für die Bitdauer T_b beibehält. $\overline{a_n}$ bezeichnet den zu a_n komplementären Wert. Dies bedeutet: Ändert sich a_n von „1“ auf „0“, so ändert sich $\overline{a_n}$ von „0“ auf „1“. Entsprechend gilt es auch für einen Wechsel in umgekehrter Richtung. Damit wird sichergestellt, dass zu jedem Zeitpunkt entweder a_n oder $\overline{a_n}$ den Wert „1“ besitzt. Demzufolge beträgt die Trägerfrequenz des generierten Signals entweder ω_H oder ω_L .

Eine Aussage über das Spektrum des frequenzumgetasteten Signals ergibt sich aus der Tatsache, weil die FSK als amplitudenumgetastetes Signal aufgefasst werden kann, das zwei

Trägerfrequenzen besitzt. Man erhält also einen kontinuierlichen Anteil des Leitungsdichtespektrums und diskrete Spektrallinien bei den beiden Trägerfrequenzen.

3.3.4.3. Die Phasenumtastung

Bei der Phasenumtastung (PSK) werden die beiden zu übertragenden Codeelemente „0“ und „1“ durch zwei sinusförmige Signalformen mit konstanter Amplitude und Frequenz repräsentiert, wobei jedoch die Phase der beiden Signalformen sich um 180 Grad voneinander unterscheidet. Somit stehen zur Digitalübertragung die beiden Signale

$$s_1(t) = A \cdot \cos \omega_c t \quad \text{mit } 0 \leq t < T_b \quad \text{und}$$

$$s_2(t) = A \cdot \cos(\omega_c t + \pi) = -A \cdot \cos \omega_c t \quad \text{mit } 0 \leq t < T_b$$

zur Verfügung.

Das Modulatorausgangssignal lässt sich durch

$$s_{PSK}(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} a_n s(t - nT_b) A \cdot \cos \omega_c t$$

beschreiben, wobei a_n ein Faktor ist, der in Abhängigkeit des zu übertragenden Codeelementes für die Bitdauer T_b den Wert 1 oder (-1) annimmt.

Das Spektrum besitzt die gleiche Form wie der kontinuierliche Anteil des ASK-Spektrums, beinhaltet jedoch keine diskreten Frequenzanteile. Deshalb muss auch eine nichtlineare Signalverarbeitung zur Erzeugung eines Referenzsignals stattfinden, wie es zur kohärenten Demodulation benötigt wird.

4. Vorstellung der angekauften Systeme

4.1. Pocket Com 70

4.1.1. Allgemeines

Beim „Pocket Com 70“ handelt es sich um ein komfortables Handfunkgerät für den LPD-Bereich (Funkanlagen geringer Leistung (Low Power Devices)) innerhalb des 70-cm-Bandes. Die Benutzung selbst kann anmelde- und gebührenfrei erfolgen. Dennoch entspricht das Gerät dem Europäischen Standard ETS 300 220.

Das „Pocket Com 70“ ist auf 69 Kanälen betriebsbereit. Durch diese große Kanalanzahl sollte ungestörter Funkbetrieb möglich sein. Es wird jedoch darauf hingewiesen, dass die Kanalbezeichnung dieses Gerätes nicht unbedingt mit der Zuordnung anderer Hersteller übereinstimmen muss. Die Bedienung und Handhabung ist sehr einfach.

4.1.2. Stromversorgung

Zum Betrieb des Gerätes werden zwei 1,5 Volt Batterien oder zwei 1,2 Volt Akkus der Größe MIGNON (AA) benötigt.

Der Stromverbrauch des Gerätes ist gering. Im Standby-Betrieb liegt die Stromaufnahme bei ca. 45 mA, im Stromsparmodes bei ca. 20 mA und beim senden bei ca. 95 mA. Dies ermöglicht eine Empfangsbereitschaft von mindestens 30 Stunden oder eine Dauersendung von ca. 14 Stunden (bei Verwendung von Alkali-Mangan-Batterien).

4.1.3. Herstellerangaben zur Reichweite

Die Reichweite eines LPD-Gerätes ist sehr stark von der Umgebung abhängig in der das Gerät betrieben werden soll. Bei völlig freier Sicht zwischen den Funkpartnern sind Entfernungen von ca. 2 km oder sogar etwas mehr realistisch. In bebautem Gebiet verringert sich die Reichweite entsprechend und kann innerhalb von Stahlbetonbauten oder in der Umgebung von Metallkonstruktionen unter Umständen nur noch ca. 50 m betragen. Die Kommunikation zwischen hintereinanderfahrenden Fahrzeugen kann bis ca. 1,5 km aufrecht erhalten werden. Auch getönte Scheiben verringern die Reichweite.

4.1.4. Technische Daten

Frequenzbereich	433,075 MHz – 434,775 MHz
Kanalraster	25 kHz (69 Kanäle)
Modulationsart	FM (F3E)
Frequenzhub	5 kHz max.
Sendeleistung	10 mW EIRP
Empfängerempfindlichkeit	0,5 μ V (12 dB)
Externer Lautsprecher	> 8 Ω ; 3,5 mm Klinkenstecker (Mono)
Externes Mikrofon	Dynamisches Mikrofon (600 Ω Impedanz) oder Elektr. Mikrofon; 2,5 mm Klinkenstecker (Mono)
Antenne	Viertelwellenstrahler, 0 dB Gewinn (auf Dipol bezogen)
Stromaufnahme	<u>Empfang:</u> ca. 45 mA ca. 20 mA (Power Save Mode) <u>Senden:</u> ca. 95 mA
Gewicht	ca. 120 g inklusive Batterien
Abmessungen	58 x 88 x 25 mm (B x H x T, ohne Antenne)
Länge der Antenne	70 mm

4.1.5. Kanal-Frequenzzuordnung

Kanal	Frequenz (MHz)	Kanal	Frequenz (MHz)	Kanal	Frequenz (MHz)	Kanal	Frequenz (MHz)
1	433,075	19	433,525	36	433,950	53	434,375
2	433,100	20	433,550	37	433,975	54	434,400
3	433,125	21	433,575	38	434,000	55	434,425
4	433,150	22	433,600	39	434,025	56	434,450
5	433,175	23	433,625	40	434,050	57	434,475
6	433,200	24	433,650	41	434,075	58	434,500
7	433,225	25	433,675	42	434,100	59	434,525
8	433,250	26	433,700	43	434,125	60	434,550
9	433,275	27	433,725	44	434,150	61	434,575
10	433,300	28	433,750	45	434,175	62	434,600
11	433,325	29	433,775	46	434,200	63	434,625
12	433,350	30	433,800	47	434,225	64	434,650
13	433,375	31	433,825	48	434,250	65	434,675
14	433,400	32	433,850	49	434,275	66	434,700
15	433,425	33	433,875	50	434,300	67	434,725
16	433,450	34	433,900	51	434,325	68	434,750
17	433,475	35	433,925	52	434,350	69	434,775
18	433,500						

4.2. AS 14 Funk-Türglocke

4.2.1. Allgemeine Beschreibung des Systems

Im Allgemeinen sind Sender und Empfänger netzunabhängig zu betreiben. Dies ermöglicht eine Vielzahl verschiedenster Einsatzmöglichkeiten.

Durch Drücken der Ruftaste wird für maximal zwei Sekunden das codierte Sendesignal zum Empfänger übertragen. Um die Anlage zu vergrößern, kann am Sender eine kurze Antenne von 4 cm ausgezogen werden. Im Nahbereich von ca. 30 m ist ein Ausziehen der Antenne meistens nicht erforderlich. Zusätzlich garantiert der Hersteller, dass der Sender spritzwassergeschützt und somit für die Außenmontage geeignet ist.

4.2.2. Technische Daten

	Sender	Empfänger
Batterietyp	wahlweise 3 x CR 2025/Lithium oder 6 x SR 41/Alkaline	3 x Mignon/Alkaline, LR6, AA, AM3
Signalton	–	Doppelter 2-Ton-Gong
Lautstärke	–	<u>Lautstärke High:</u> ca. 80 dBA/m <u>Lautstärke Low:</u> ca. 70 dBA/m
<u>Reichweite:</u> ca. 100 m mit herausgezogener Antenne ca. 50 m mit eingeschobener Antenne		

4.3. HX und RX 1000

4.3.1. Hybrid-Tansmitter HX 1000

Beim HX 1000 handelt es sich um ein auf 433,92 MHz arbeitendes, amplitudenmoduliertes Miniatursendemodul. Die Trägerfrequenz ist quarzstabilisiert (SAW), wobei jedoch die resultierenden Harmonischen als Output durch einen SAW-Filter unterdrückt werden. Der HX 1000 wurde entwickelt für nicht zu lizensierende Fernbedienungen, Fernsteuerungen und Funksicherheitssender, die den Anforderungen der ETSI 1-ETS 300 220 und der FTZ 17 TR 2100 genügen.

4.3.1.1. Absolute Maximalwerte

Ratifizierungsangaben	Werte	Einheit
Stromversorgung und/oder Modulationseingangsspannung	10	V
Temperaturen für den einwandfreien Betrieb	- 40 bis + 85	°C

4.3.1.2. Herstellerangaben – elektrische Eigenschaften

Parameter	Min.	Typischer Wert	Max.	Einheit	
Arbeitsfrequenz absolute Frequenz	433,72	–	434,12	MHz	
	–	–	± 200	kHz	
RF Ausgangsleistung in 50 Ω bei 25 °C Innerhalb der festgelegten Temperaturgrenze	– 3	0	–	dBm	
	– 5	0	–		
Harmonische Falsch-Emissionen	–	– 52	– 45	dBc	
Modulationsinput Input HIGH (Spannung)	2,5	–	U*	V	
	Input LOW (Spannung)	0,0	–		0,3
	Input HIGH (Strom)	–	–	100	μA
	Input LOW (Strom)	0,0	–	–	
Dynamischer Eingangswiderstand	18	–	–	kΩ	
Zeitparameter Modulationsbandbreite	–	1	–	kHz	
	–	–	100	μs	
	–	–	100		
Versorgung Spannung (U*)	2,7	3	3,3	V DC	
	–	7	10	mA	
	–	–	1,0	μs	
Zugelassener Temperaturbereich im Betrieb	– 40	–	+ 85	°C	

4.3.2. ASH-Receiver RX 1000

Das Hybrid-Empfängermodul arbeitet ebenfalls wie der HX 1000 auf 433,92 MHz und beinhaltet einen resonatorgekoppelten SAW-Filter, wodurch letztendlich eine ausgezeichnete Empfindlichkeit erzielt wird. Durchschnittsempfindlichkeiten besser als -100 dBm werden auch ohne RF-Oszillatorschaltungen erzielt. Dieser Sender wird versorgt von einer 3 V Lithiumbatterie und arbeitet bei 1,1 mA Stromversorgung. Der RX 1000 wurde entwickelt für nicht zu lizensierende Fernbedienungen, Fernsteuerungen und Funksicherheitssender, aber auch für Datenverbindungszentralen, die die Anforderungen der in der ETSI 1-ETS 300 200 festgehaltenen Bestimmungen erfüllen.

4.3.2.1. Absolute Maximalwerte

Ratifizierungsangaben	Werte	Einheit
RF-Spannung	+ 10	V
Spannungsversorgung	- 0,3 bis + 4,0	V DC
Temperaturbereich	- 45 bis + 100	°C

4.3.2.1. Herstellerangaben

Parameter		Min.	Typischer Wert	Max.	Einheit
Arbeitsfrequenz f_c		433,92 nominell			MHz
RF-Band	Empfindlichkeit	-	- 100	-	dBm
	Signalstärke	-	-	- 10	
	Kanalbreite	$f_c \pm 200$	-	-	kHz
	Rauschbandbreite	-	4,8	-	
	Eingangsimpedanz	50 nominal			Ω
Sampling	Abtastdauer	-	700	-	Ns
	Abtastrate	-	250	-	kHz
Basisband	Datenrate	-	-	2,4	Kb/s
	3 dB Bandbreite	2,4	-	-	kHz

Output	Output HIGH (Spannung)	$V_{cc} - 0,2$	–	V_{cc}	V
	Output LOW (Spannung)	0,0	–	0,2	
	Anstiegszeit	–	9	–	μs
	Fallzeit	–	9	–	
Versorgung	Betriebsspannung V_{cc}	2,7	3,0	3,5	VDC
	Strom bei 25°C und 3,0 V	–	1,1	1,25	mA
Zulässige Temperatur im Betriebsbereich		– 40	–	+ 85	°C

4.4. UHF-Sender- und Empfängerbaustein AM

Dieses Sendermodul ist geeignet zur sicheren Übertragung von seriellen Daten oder Messwerten, zum „Scharfschalten“ von Alarmanlagen oder zur Weiterleitung von Alarmmeldungen usw. auf eine Entfernung bis zu 40 Metern laut Hersteller.

Reichweitenvermindernd sind:

- magnetische Störfelder. Dies inkludiert andere Sender oder Hochspannungsleitungen
- Bebauung jeglicher Art
- störstrahlungsproduzierende Geräte. Dazu gehören PCs, elektrische Maschinen, Starkstromgeräte usw.

Die Module besitzen eine allgemeine Zulassung und können somit in Österreich und in Deutschland anmelde- und gebührenfrei betrieben werden. Voraussetzung ist jedoch natürlich, dass die Module in keinsten Weise verändert werden.

4.4.1. UHF-Sendemodul

4.4.1.1. Technische Daten

Sendefrequenz	433,92 MHz +/- 250 kHz
Ausgangsleistung	max. 1 mW bzw. 0 dBm
Antenne	Eingebaut
Modulationsart	100 % AM, Amplitudenumtastung ASK
Modulationssignal	digital mit 0/VDD Pegel
Modulationsfrequenz	10 Hz bis 10 kHz
Spannungsversorgung VDD	3 V (2,4 V ... 3,2 V)
Stromaufnahme	max. 10 mA bei 3,2 V
Arbeitstemperaturbereich	- 20 °C bis + 55 °C
Lagertemperaturbereich	- 40 °C bis + 85 °C

4.4.2. UHF-Empfängermodul

4.4.2.1. Technische Daten

Empfangsfrequenz	433,05 MHz bis 434,79 MHz * 433,92 MHz +/- 2 MHz (- 3dB) 433,92 MHz +/- 3 MHz (- 10dB)
Spannungsversorgung	2,4 V bis 5 V
Stromaufnahme	0,8 mA bis 1,4 mA
Ausgangssignal	logisch 0 kleiner 0,7 V logisch 1 größer 1,9 V
Empfindlichkeit	- 60dBm **
Reichweite	Max. 50 m ***
Arbeitstemperaturbereich	- 20 °C bis + 55 °C
Lagertemperatur	- 40 °C bis + 85 °C

Anmerkung:

* ... zugelassener Frequenzbereich für Funkanlagen geringer Leistung.

** ... Ein Sendesignal von - 60dBm über eine $\lambda/4$ -Antenne abgestrahlt, liefert am Empfänger über ~ 50 cm Entfernung lage- und richtungsabhängig ein sauberes Ausgangssignal.

*** ... Die Reichweite ist stark von der Lage, vom Gelände sowie von der Bebauung abhängig.

4.5. SIL-FM-Transmitter- und Receivermodul

Diese FM-Sende-/Empfängermodule dienen zur sicheren Übertragung von seriellen Daten oder Messwerten, zum Aufbau von Fernwirk-Funkanlagen, Diebstahlsicherungsanlagen, Alarmanlagen etc. auf eine Entfernung bis zu 200 Meter. Laut Hersteller wirken sich reichweitenvermindernd aus:

- magnetische Störfelder, wie andere Sender oder Hochspannungsleitungen
- Bebauung jeglicher Art
- störstrahlungsproduzierende Geräte, wie PCs, elektrische Maschinen, Starkstromgeräte usw.

Die Module besitzen eine allgemeine Zulassung und können anmelde- und gebührenfrei betrieben werden.

4.5.1. SIL-FM-Sendermodul

4.5.1.1. Technische Spezifikationen

Versorgungsspannung V_{cc}	5,0 V DC bis 12,0 V DC
Stromverbrauch	6 mA bei + 5 V DC 18,5 mA bei + 12 V DC
Betriebsfrequenz	433,92 MHz \pm 50 kHz
Ausgangsspitzenleistung (effektiv abgestrahlte Senderleistung)	- 10 dBm \pm 5 dBm bei 8 V DC
Modulationseingangsspannung	0 V bis $V_{cc} + 1$ V
Frequenzhub	15 kHz bis 30 kHz
Datenübertragungsgeschwindigkeit	20 bps bis 10 kbps

4.5.1.2. Maximale Nennwerte

Versorgungsspannung V_{cc}	- 0,7 V DC bis + 13 V DC
Modulationsspannung	- 0,7 V DC bis + 13 V DC
Betriebstemperatur	- 40 °C bis + 85 °C
Lagertemperatur	- 40 °C bis + 100 °C

4.5.2. SIL-FM-Superüberlagerungs-Empfangsmodul

4.5.2.1. Allgemeine Beschreibung

Das SIL-FM-Funkempfangsmodul (nur einseitig mit Anschlüssen versehen) ist ein leiterplattenmontiertes Modul, das analoge oder digitale Daten auf Entfernungen von bis zu 200 m im offenen Gelände empfangen kann und besonders für solche Anwendungszwecke geeignet ist, wo niedrige Leistung und kleines Format gefragt sind.

4.5.2.2. Technische Spezifikationen

Versorgungsspannung V_{cc}	3,0 V DC bis 9,0 V DC
Stromverbrauch	16 mA bis + 5 V DC
Betriebsfrequenz	433,92 MHz \pm 125 kHz
Empfindlichkeit	- 110 dBm \pm 3 dB
Trägererkennungsschwelle	- 107 dBm \pm 3 dB
Störstrahlung des Überlagerungsoszillators	- 57 dBm \pm 3 dB
Hochfrequenzimpedanz	50 Ω
ZF(Zwischenfrequenz-)Bandbreite	250 kHz
NF(Niederfrequenz-)Ausgangspegel	300 mVp-p bis 350 mVp-p
NF(Niederfrequenz-)Bandbreite	60 Hz bis 2 kHz – höhere Raten erhältlich
Spannung pro kHz Frequenzhub Datenausgangspegel bei $V_{cc} = 5 VDC$	
Logisch „High“	3,5 V bis 4,5 V
Logisch „Low“	0 V bis 0,6 V
Datenabklingzeit	12 ms \pm 4 ms
Logischer Trägererkennungsanschluss	> 3,5 V wenn Träger erkannt, < 0,8 V wenn kein Träger

4.5.2.2. Blockdiagramm des SIL-FM-Empfängers

Beschreibung (vgl. Abb. 4.1):

Der SIL-FM-Empfänger ist mit einem Zweifachgatter-Metalloxid-Silizium-Feldeffektgenerator (dual gate MOSFET) und einem Hochfrequenzverstärker mit Eingangs- und Ausgangsbandfilter mit Drossel-Kondensator ausgestattet. Der erste eingebaute Oszillator läuft bei 418 MHz und wird von einem quarzstabilisierten Resonator (SAW-Gerät) erzeugt, wobei ein Transistor als Colpitts-Oszillator benutzt wird. Ein zweiter Zweifachgatter-Metalloxid-Silizium-Feldeffekttransistor (dual gate MOSFET) wird vom TDA7010 IC verstärkt. Dieser integrierte Schaltkreis steuert die zweite Mischstufe, die eine zweite Zwischenfrequenz von 70 kHz erzeugt sowie die FM-Demodulations- und Analogsignalschwelle bzw. Trägererkennung. Das Basisbandsignal wird vor dem Einspeisen in einen anpassungsfähigen Schwellen-Digitaldatenteiler gefiltert verstärkt.

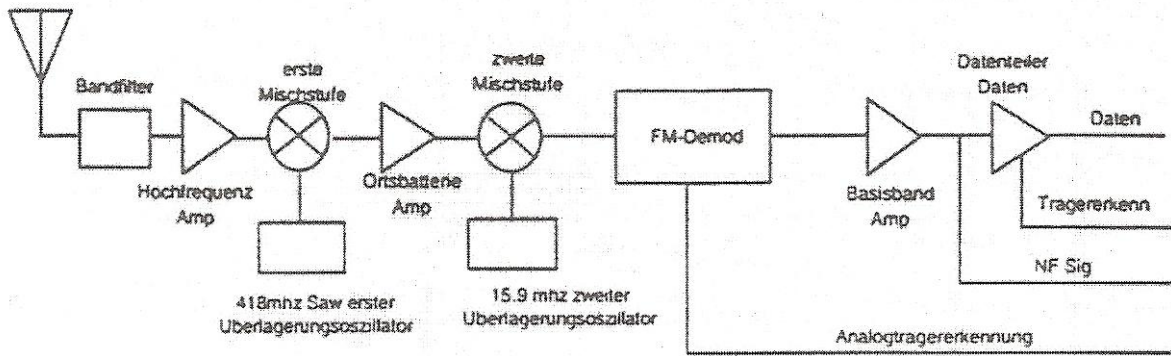


Abb. 4.1: SIL-FM-Empfänger Blockdiagramm [Hersteller]

4.6. 3-Kanal-Funkfernsteuerung

Sender und Empfänger sind mit je drei Kanälen ausgestattet. Mit einem Handsender lassen sich bis zu drei verschiedene Funktionen fernsteuern (3-Kanal). Somit ist es nicht nur möglich bis zu drei Funktionen mit einem dazugehörigen Empfänger auszuführen, sondern es sind auch Mehrfachbelegungen möglich, was bedeutet, dass man mit einem Tastendruck mehrere Einrichtungen gleichzeitig schalten oder steuern kann.

Beide Module sind je mit einem Codierer/Decodierer bestückt, der für ein hohes Maß an Übertragungssicherheit sorgt: Der Anwender hat somit die Möglichkeit, aus insgesamt 6561 (3^8) Codierungsmöglichkeiten seinen persönlichen fixen Geheimcode auszuwählen. Für die Einstellung des Codes stehen acht Tipp-Schalter zur Verfügung. Dabei ist lediglich darauf zu achten, dass die Schalterstellung bei Sender und Empfänger übereinstimmt. So ist das Empfängermodul fest auf den Sender abgestimmt. (Beide Module sind postzugelassen.)

4.6.1. Anwendung

Der Frequenzbereich 433,05 MHz bis 434,79 MHz mit einer Mischfrequenz von 433,92 MHz ist für die HF-Geräte für industrielle, wissenschaftliche, medizinische, häusliche oder ähnliche Zwecke, Funkanlagen für gewerbliche und industrielle Fernsteuerungs- und Fernmesszwecke und Funkanlagen zur Fernsteuerung von Modulen vorgesehen.

4.6.2. 3-Kanal-UHF-Handsender

Die Funkfernbedienung ist für extrem große Reichweiten von mehreren 100 Metern im freien Feld ausgelegt. Auch Wände, selbst Stahlbetonkonstruktionen, werden vom Handsender durchdrungen, garantiert der Hersteller. Die maximale Reichweite wird allerdings bei Sichtkontakt zum Empfänger erreicht. In bebautem Gelände ist mit verminderter Reichweite zu rechnen. Der Sender verfügt über eine in eine Rundung geschmiegte gewendelte Antenne, die dadurch zudem etwas richtungsunabhängiger wird.

4.6.2.1. Technische Angaben

Sendefrequenz	433,920 MHz \pm 150 kHz
Strahlungsleistung (EIRP)	ca. 1 mW = 0 dBm; die zulässige Toleranz beträgt \pm 3 dB
Modulation (Sendart)	100 % Amplitudenmodulation
Anzahl der Steuerfunktionen	3
Codierung	59049 Möglichkeiten; davon 6561 über Codierschalter frei einstellbar
Antenne	Innenliegende Wendelantenne
Reichweite	100 bis 1000 m
Spannungsversorgung	12 V DC (Alkaline Batterie)
Mittlere Stromaufnahme	typ. 14 mA (bei 12 V)
Arbeitstemperaturbereich (garantiert)	0 °C bis + 65 °C
Lagertemperaturbereich	- 40 °C bis + 85 °C

4.6.3. 3-Kanal-UHF-Empfänger-Schaltstufe

Die Aufgabe der 3-Kanal-UHF-Empfänger-Schaltstufe ist es, Signale aus dem 433-MHz-Band aufzunehmen und die darin enthaltenen Frequenzmodulationen zu demodulieren.

4.6.3.1. Technische Angaben

Nutzfrequenz	433,920 MHz \pm 150 kHz
Zwischenfrequenz	10,7 MHz
ZF(Zwischenfrequenz)-Bandbreite (3 dB)	ca. 300 kHz
NF(Niederfrequenz)-Bandbreite	ca. 2 kHz
Empfindlichkeit	typ. $< 1\mu\text{V}$ im 50- Ω -System
Demodulation	log. AM-Demodulator mit nachfolgendem NF-Filter und Komparatorschaltung
Dynamikbereich	typ. 100 dB bei 100%iger AM
Antenne	$\lambda/4$ -Drahtantenne (17,3 cm)
Spannungsversorgung	7 bis 14 V DC
Stromaufnahme	typ. 11 mA
Ausgang	regenerierter, digitaler Datenstrom
Arbeitstemperaturbereich	- 20 °C bis + 65 °C
Lagertemperaturbereich	- 40 °C bis + 85 °C

4.7. Funkwirksystem IND8000

Dieses Funksystem ist ein modular aufgebautes Geräteprogramm, welches über Funk Schaltvorgänge, Steuerbefehle und Datenübertragungen kabellos, einfach, sicher und kostengünstig durchführen kann. Spannungsquellen: 12 bis 24 V DC/AC oder 230 V AC.

Die Eingabe von Signalen in den Sendeteil erfolgt in Form von digitalen oder analogen Werten. Die Quellen der Signale können unterschiedlicher Herkunft sein, zum Beispiel einfache Tasten, Schalter oder Analogsignale aus Steuerungen oder Messfühler sowie RS232-Computerschnittstellen.

Um alle Formen der Eingabe abdecken zu können, gibt es neben dem Sendergrundgerät, das nur digitale Eingänge hat, auch Module für Digital- und Analogwerte sowie für Computerschnittstellen. Jedes Gerät hat acht sogenannte „Funktionsbits“. Insgesamt können 64 Bit übertragen werden. Das bedeutet, dass bis zu acht Eingabegeräte in einem System zusammengeschlossen werden können.

Für die Übertragungssicherheit wird ein in einem EEPROM gespeicherter 24-Bit-Code verwendet. Jedes Sendergerät wird werkseitig mit einer einmaligen Bitkombination ausgestattet. Empfangsseitig können bis zu 32 verschiedene Senderadressencodes einprogrammiert werden. Dies lässt ein gezieltes und einfaches Zuordnen der einzelnen Übertragungsstrecken zu.

Um sich den einzelnen Anwendungsfällen anpassen zu können, stehen die Frequenzen in den ISM Bändern 40 MHz (UKW-Band) und 433 ... 434 MHz (UHF-Band) zur Auswahl. Die Frequenzen unterliegen der allgemeinen Zulassungsverordnung der Fernmeldebehörde und sind gebührenfrei.

Alle Geräte sind mit der von der Fernmeldebehörde maximal zugelassenen Leistung ausgestattet. Bei der Frequenz von 40 MHz kann bereits mit kurzen Wendelantennen eine Reichweite von 100 bis 500 m erreicht werden. Sollten größere Strecken überbrückt werden, so stehen Dipol- oder Flächenantennen zur Verfügung. Im Frequenzbereich von 433 MHz wird mit der kurzen Stabantenne eine Reichweite von 2000 bis 3000 m erreicht.

Die frequenzmodulierte Übertragung und der schmalbandige Doppelsuperhet-Empfänger garantieren hohe Störsicherheit. 50 Ω BNC-Anschlüsse für Antennen erlauben eine einfache und fachgerechte Montage.

Die Hochfrequenzteile selbst sind in Form von Modulen aufgebaut. Im 40-MHz-Frequenzbereich stehen vier Übertragungskanäle zur Verfügung, welche wahlweise über Streckquarze belegt werden können. Bei 433 MHz kann über einen Synthesizer aus 32 Übertragungskanälen gewählt werden.

4.7.1. Handfunk-Sender IND8000

4.7.1.1. Technische Angaben

Frequenzen	433 ... 434 MHz, über Synthesizer 32 einstellbare Frequenzkanäle
Anzahl der Adressierungen	24 Bit (16.777.216 Möglichkeiten) „high security mode“ jedem Gerät wird eine eigene einmalige Nummer einprogrammiert
Adressierung	über EEPROM fix kodiert
Übertragungsrate	2000 Bit/Sek
Wiederholzeit	130 ms
Befehlstasten	zwei oder vier Tasten
Antenne	integriert
Modulation	FM FID
Sendeleistung	10 mW an 50 Ω
Reichweite	ca. 500 m
Stromaufnahme	ca. 50 mA
Spannungsversorgung	9 V über Blockbatterie
Temperaturbereich	- 10 °C bis + 55 °C

4.7.2. Stationäre Empfänger IND8000

4.7.2.1. Technische Angaben

Frequenzen	40,685 MHz serienmäßig, jedoch auch auf Wunsch 40,665 MHz, 40,675 MHz, 40,695 MHz 433 ... 434 MHz, über Synthesizer 32 einstellbare Frequenzkanäle
Empfängertyp	Doppelsuperhet Empfänger
ZF-Bandbreite	bei 40 MHz \pm 4,5 kHz bei – 6 dB bei 40 MHz \pm 4,5 kHz bei – 6 dB
Anzahl der Adressierungen	bis zu 32 verschiedene Adressen speicherbar
Adressierung	24 Bit Adressencode „high security code“ über „Learn- Taste“ Programm
Ansprechzeit	ca. 120 ms
Wiederholzeit	130 ms
Übertragungsrate	2000 Bit/s
Schaltleistung	max. 3 A/250 V AC bei Relaisausgängen
Antenne	50 Ω BNC Antennenanschluss
Temperaturbereich	– 10 °C bis + 55 °C
Modulation	FM FID
Eingangsempfindlichkeit	bei 40 MHz – 113 dBm an 50 Ω bei Funktionsauslösung bei 433 MHz – 115 dBm an 50 Ω bei Funktionsauslösung
Ruhestromaufnahme	35 mA bei 12 V Spannungsversorgung
Stromaufnahme	bei 40 MHz max. 135 mA bei 12 V Spannungsversorgung bei 433 MHz max. 65 mA bei 12 V Spannungsversorgung
Spannungsversorgung	10 bis 28 V DC/AC, 12/24 V DC oder 230 V AC

4.8. UHF-TMX-Sendemodul und SIL-Empfängermodul

Sowohl Sende- als auch Empfängermodul sind hinsichtlich ihrer Arbeitsfrequenz in zwei verschiedenen Ausführungsformen erhältlich: 418 MHz und 433,92 MHz. Beide Module sind genau so konzipiert und aufeinander abgestimmt, dass optimale Übertragung stattfindet. Die extrem kleinen Abmessungen der beiden Module machen eine platzsparende Variante einer Funkübertragungsstrecke problemlos möglich und erleichtern deren Planung.

4.8.1. Anwendungsmöglichkeiten

- Das medizinische Warnsignal / medizinische Krankenschwestern-Anruf-System
- Mobile Alarmanlage
- Rechnervernetzung
- Entfernte Industrie-Prozess-Überwachungsdaten
- Garagen-Tür-Öffner
- Feueralarm
- Bilder/antiker Schutzalarm
- Fernsteuerung
- Zugriffssicherung

4.8.2. UHF- Radio-Telemetry-Transmitter-Modul

Das TXM-418-A und TXM-433-A beinhaltet einen Kleinleistungs-FM-UHF-Rundfunk-Sender auf einem kleinen Modul. Zusammen mit dem passenden SILRX-418-A oder SILRX-433-A-Empfänger kann eine Funk-Datenstrecke auf freiem Gelände auf über 200 m Entfernung realisiert werden.

Typische Merkmale umfassen:

- PCB Einbau, spart Raum durch den SIL Stil
- SAW, kontrolliert die Bandbreite der FM-Übermittlung
- Lizenziert
- Hohe Datenraten von 5 kbps (A-Version) und 10 kbps (F-Version)
- Analog- und digitaler Dateneingang
- Breiter Versorgungsspannungsbereich 6,0 bis 9,0 V

4.8.2.1. Leistungsdaten TXM-418-A und TXM-433-A

4.8.2.1.1. Absolute Maximalbewertungen

Speisespannung V_{cc} (Pin 3)	- 0,7 bis + 12 V
Modulationseingang (Pin 5)	- 0,7 bis + 13 V
Betriebstemperatur	- 10 °C bis + 55 °C
Lagerungstemperatur	- 40 °C bis + 100 °C

4.8.2.1.2. Leistungsdaten

Umgebungstemperatur	20 °C
Speisespannung	+ 8,0 V, außer wenn anderer Prüfkreis verwendet wird

Parameter	Min	Typ	Max	Einheit
Betriebs-Versorgungs-Bereich (V_{cc})	6,0	-	9,0	V
Versorgungsstrom ($V_{cc} = 6,0$ V)	3,0	6,0	10,0	mA
($V_{cc} = 9,0$ V)	5,0	10,0	17,0	mA
Sendeleistung (EIRP) ($V_{cc} = 6,0$ V)	- 16	- 10	- 7	dBm
($V_{cc} = 9,0$ V)	- 13	- 8	- 5	dBm
Sendefrequenz (f_{RF})		418 433,92		MHz MHz
Frequenzanfangsgenauigkeit	- 80	-	+ 80	kHz
Absolute Frequenzgenauigkeit	- 95	-	+ 95	kHz
Nicht zulässige Abstrahlung bei			418	MHz
FM-Abweichung (+/-)	15	25	40	kHz
Analoge Modulationsbandbreite (- 3 dB)	DC	-	10	kHz
Digitale Modulationsimpulsbreite	100	-		µs

Anmerkungen:

- Module an 50 mm² Grundrissebene, gewendelte Antenne
- Versorgung 6 bis 9 V, Temperatur – 10 °C bis + 55 °C
- Kleiner als – 54 dBm in den Frequenzbändern 41 bis 68 MHz, 87,5 bis 118 MHz, 162 bis 230 MHz und 470 bis 862 MHz.
Kleiner als – 36 dBm überall sonst wo die Werte unter 1 GHz liegen.
Kleiner als – 30 dBm überall sonst wo die Werte über 1 GHz liegen.
- Standard Modulation: 2 kHz Rechteckschwingung 0 V_{cc}

4.8.2.2. Leistungsdaten TXM-418-F und TXM-433-F

4.8.2.2.1. Absolute Grenzwerte

Speisespannung V_{cc} (Pin 3)	– 0,7 bis + 6 V
Modulationseingang (Pin 5)	– 0,7 bis + 13 V
Betriebstemperatur	– 10 bis + 55 °C
Lagerungstemperatur	– 40 bis + 100 °C

4.8.2.2.2. Leistungsdaten

Umgebungstemperatur	20 °C
Speisespannung	+ 3,0 V, außer wenn anderer Prüfkreis verwendet wird

Parameter	Min	Typ	Max	Einheit
Betriebs-Versorgungs-Bereich (V_{cc})	2,7	3,2	4,0	V
Versorgungsströmung $V_{cc} = 2,7$ V	3,0	6,0	13,0	mA
$V_{cc} = 4,0$ V	5,0	10,0	17,0	
Versorgungseingang bezogen auf 50 Ω :				dBm
$V_{cc} = 2,0$ V	–	– 5	–	
$V_{cc} = 3,6$ V	–	0	–	
Sendefrequenz (f_{RF})	–	418,00 433,92	–	MHz

Frequenzanfangsgenauigkeit	- 85	-	+ 85	kHz
Absolute Frequenzgenauigkeit	- 95	-	+ 95	kHz
Nicht zulässige Abstrahlung bei	-	-	418	MHz
FM-Abweichung (+/-)	15	25	40	kHz
Analoge Modulationsbandbreite (- 3 dB)	DC	-	20	kHz
Digitale Modulationsimpulsbreite	50	-	-	µs

Anmerkungen:

- Versorgung 6 bis 9 V, Temperatur - 10 °C bis + 55 °C
- Kleiner als - 54 dBm in den Frequenzbändern 41 bis 68 MHz, 87,5 bis 118 MHz, 162 bis 230 MHz und 470 bis 862 MHz.
Kleiner als - 36 dBm überall sonst wo die Werte unter 1 GHz liegen.
Kleiner als - 30 dBm überall sonst wo die Werte über 1 GHz liegen.
- Standard Modulation: 2 kHz Rechteckschwingung 0 V_{cc}

4.8.3. UHF-Radio-Telemetry-SILReceiver-Modul

Das SILRX-418-A und das SILRX-433-A beinhalten einen vollständigen FM-Superhet-UHF-Rundfunkempfänger auf einem kleinen Modul. Zusammen mit dem passenden TXM-418-A- oder TXM-433-A-Sender sind im freien Gelände Entfernungen bis zu 200 Meter überbrückbar.

Typische Merkmale umfassen:

- PCB-Einbau, Raum-Einsparungs-SIL-Stil
- Das 418-MHz-SAW steuert den Breitband-FM-Empfang
- Selektiver doppelter Umwandlungs-Superhet
- Empfindlichkeit: typ. 0,5 µV (- 113 dBm) für 20 dB S/N (Signalrauschverhältnis)
- Hohe Datenraten: 5 kbps (A-Versionen) und 10 kbps (F-Versionen)
- Analoge und digitale Datenausgaben
- Trägerdetektierter Ausgang
- Schnelle Einschaltzeit, kleiner als 3 ms für Arbeitszyklus

- Breiter Versorgungsspannungsbereich: 4,0 bis 9,0 V
- Geringe Stromversorgung: 13 mA Gleichstrom
- SILRX Rundfunkempfänger und der passende DTI (RA) anerkannte Sender: da im PCB eingebundene Modul hat die Fähigkeit analoge und digitale Daten bis 200 m Entfernung zu übertragen.

4.8.3.1. Leistungsdaten SILRX-418-A und SILRX-433-A

4.8.3.1.1. Absolute Grenzwerte

Speisespannung V_{cc} (Pin 5)	0,3 B bis + 10 V
Arbeitstemperatur	- 10 °C bis + 55 °C
Lagerungstemperatur	- 40 °C bis + 100 °C
RF-Eingang (Pin 1)	0 dBm
jeder Eingangs-/Ausgangsanschluss	- 0,3 V bis V_{cc} , \pm 10 mA

4.8.3.1.2. Leistungsdaten

Umgebungstemperatur	20 °C
Versorgungsspannung	+ 5 V

Parameter	Min	Typ	Max	Einheit
Betriebsspannungsbereich (V_{cc})	4,0	5,0	9,0	V
Stromversorgung	11	14	17	mA
Empfangsfrequenz	-	418,00 433,92	-	MHz
Frequenzgenauigkeit	- 100	-	+ 100	kHz
Empfindlichkeit für 20 dB Signal-Rauschverhältnis	-	0,5	1	μ V
Trägererkennung, Threshold	-	0,5	2	μ V

RF-Eingangsfrequenz	–	50	–	Ω
IF-Bandbreite	–	250	–	kHz
AF-Output-Level	–	500	–	mV pp
AF-Bandbreite	DC	–	5	kHz
Frequenz/Spannungskonversion	–	10	–	mV/kHz

Parameter	Min	Typ	Max	Einheit
Datenausgang:				
logisch „0“	0	0,2	0,8	V
logisch „1“	4	4,5	5	V
Datenbitdauer	0,2	–	20	ms
Datenmarke: Raum	20 %	–	80 %	–
Setzzeit der Daten (minimale Einleitungsdauer)	–	–	15	ms
Setzzeit (enable)	–	–	2,5	ms
Signalerkennungszeit	–	–	0,5	ms

4.8.3.2. Leistungsdaten-SILRX-418-F und SILRX-433-F

4.8.3.2.1. Absolute Grenzwerte

Speisespannung V_{cc} (Pin 5)	0,3 B bis + 10 V
Arbeitstemperatur	– 10 °C bis + 55 °C
Lagerungstemperatur	– 40 °C bis + 100 °C
RF-Eingang (Pin 1)	0 dBm
jeder Eingangs-/Ausgangsanschluss	– 0,3 V bis V_{cc} , \pm 10 mA

4.8.3.2.2. Leistungsdaten

Umgebungstemperatur	20 °C
Versorgungsspannung	+ 5 V

Parameter	Min	Typ	Max	Einheit
Betriebsspannungsbereich (V_{cc})	4,0	5,0	9,0	V
Stromversorgung	11	14	17	mA
Empfangsfrequenz	–	418,00 433,92	–	MHz
Frequenzgenauigkeit	– 100	–	+ 100	kHz
Empfindlichkeit für 20 dB Signal-Rauschverhältnis	–	1	2	μ V
Trägererkennung, Threshold	–	2	4	μ V
RF-Eingangsfrequenz	–	50	–	Ω
IF-Bandbreite	–	250	–	kHz
AF-Output-Level	–	500	–	mV pp
AF-Bandbreite	DC	–	20	kHz
Frequenz/Spannungskonversion	–	10	–	mV/kHz
Datenausgang:	0	0,2	0,8	V
logisch „0“	4	4,5	5	V
logisch „1“				
Datenbitdauer	0,05	–	2	ms
Datenmarke: Raum	20 %	–	80 %	–
Setzzeit der Daten (minimale Einleitungsdauer)	–	–	5	ms
Setzzeit (enable)	–	–	1	ms
Signalerkennungszeit	–	–	0,3	ms

5. Bestmögliche Lösung

5.1. Allgemein

Mit ca. 120 m Reichweite erzielte die aufgebaute Funkübertragungsstrecke mit dem Transmitter-Modul und dem Receiver-Modul der britischen Firma Radiometrix eine der größten Reichweiten im freien Feld.

Ebenso bei den Messungen im Labor hoben sich das Transmitter-Modul TXM-F und das Receiver-Modul RX-F von Radiometrix hervor. So konnte im TXM-F eine Modulationsbandbreite von 24 kHz gemessen werden. Der Träger liegt bei exakt 433 MHz mit $-51,3$ dBm und ergibt rund 56 dB.

Das Receiver-Modul RX-F hat zwar laut Messergebnis eine relativ große Eingangsbandbreite von 592 kHz, jedoch eine sehr hohe Empfindlichkeit von $1 \mu\text{V}$, was dieses System hervorhebt. Somit stellt die Funkübertragungsstrecke der Firma Radiometrix mit dem Sender TXM-F und dem Empfänger RX-F die bestmögliche Lösung zur Realisierung des Einbau-Garagentoröffners für Automobilzwecke dar. (vgl. Anhang A, B, C)

5.2. Das TMX-433-MHz-Transmitter-Modul (F-Version)

5.2.1. Kurzbeschreibung

Das TMX-433-MHz-Transmitter-Modul wurde konstruiert, damit es mit dem SILRX-433-MHz-Empfänger-Modul verwendet werden kann. In Zusammenhang mit einer einfachen Antenne kann das Paar benutzt werden, um serielle Daten bis 200 m zu übertragen. Die Reichweite des Funkkanals ist sehr veränderlich und hängt von vielen Faktoren ab, hauptsächlich von der Art wie die Antenne ausgerichtet ist und von der Betriebsumgebung. Der 200-Meter-Bereich ist eine zuverlässige Betriebsentfernung im freien Feld unter Benützung einer $\lambda/4$ -Dipolantenne an beiden Enden (für 1,5 m über der Erde). Eine kleinere Antenne, sowie Interferenzen oder kleinere Hindernisse (z. B. Gebäude etc.) können den zuverlässigen Arbeitsbereich (nach unten zu 30 m in extremen Fällen) reduzieren. Wird die Antennenhöhe vergrößert und eine langsamere Datenrate akzeptiert, so vergrößert sich der Sendebereich im besten Fall auf 3 km.

5.2.2. Blockdiagramm

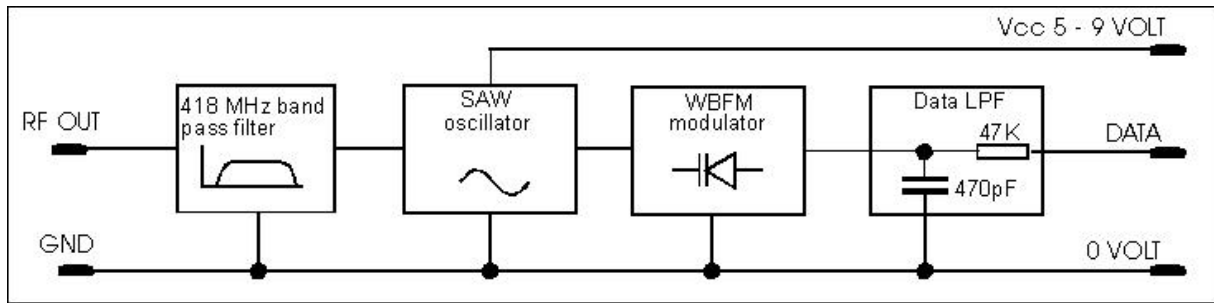


Abb. 5.1: Blockdiagramm des TMX-433-MHz-Transmitter-Moduls [10]

Das TMX-Transmitter-Modul führt bereits am Eingang mittels eines Bandpassfilters eine Bandbegrenzung durch. Durch den SAW-Oszillator wird eine frequenzstabilisierende Wirkung erzielt. Im nächsten Schritt erfolgt die Modulation. Das damit erhaltene Signal wird dann geglättet.

5.2.3. Abmessungen

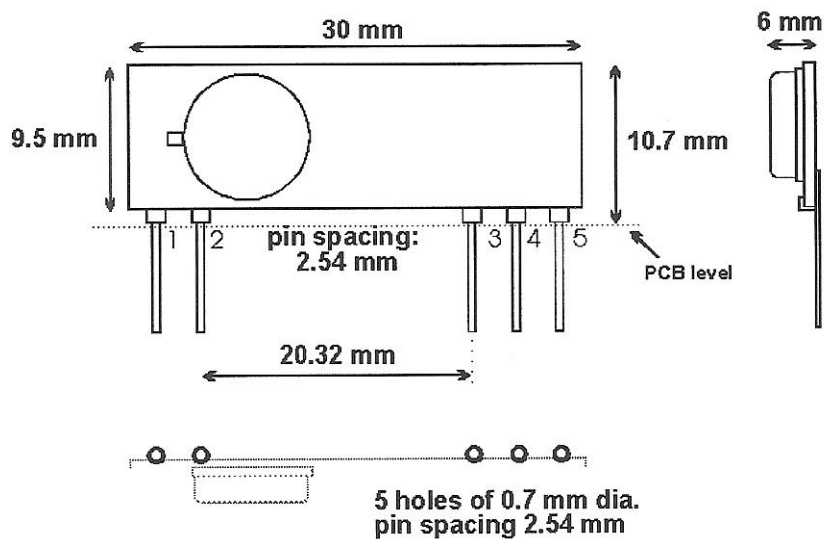


Abb. 5.2: Abmessungen des TMX-Moduls [10]

5.2.4. Anschlussbelegung

Pin 1: RF GND	Dieser Pin sollte gegen Erde verbunden werden. Er ist intern verbunden mit Pin 4.
Pin 2: RF OUT	Ist mit der Antenne verbunden. Der Ausgangswiderstand beträgt 50Ω .
Pin 3: V_{cc} positive Versorgungsspannung	Speisespannungen von + 6 V bis + 9 V können benutzt werden.
Pin 4: V_{ss} 0 V	Zusammenhang zwischen Modulation und Versorgung.
Pin 5: DATA IN	Wird von einem CMOS-Logik-Baustein angesteuert, der die gleiche Versorgung aufweist wie das Modul selbst.

5.2.5. Leistungsdaten

Vergleiche Kapitel 4 Abschnitt 4.8.2.2.

5.2.5.1. Prüfkreis für das TMX-Modul (F-Version)

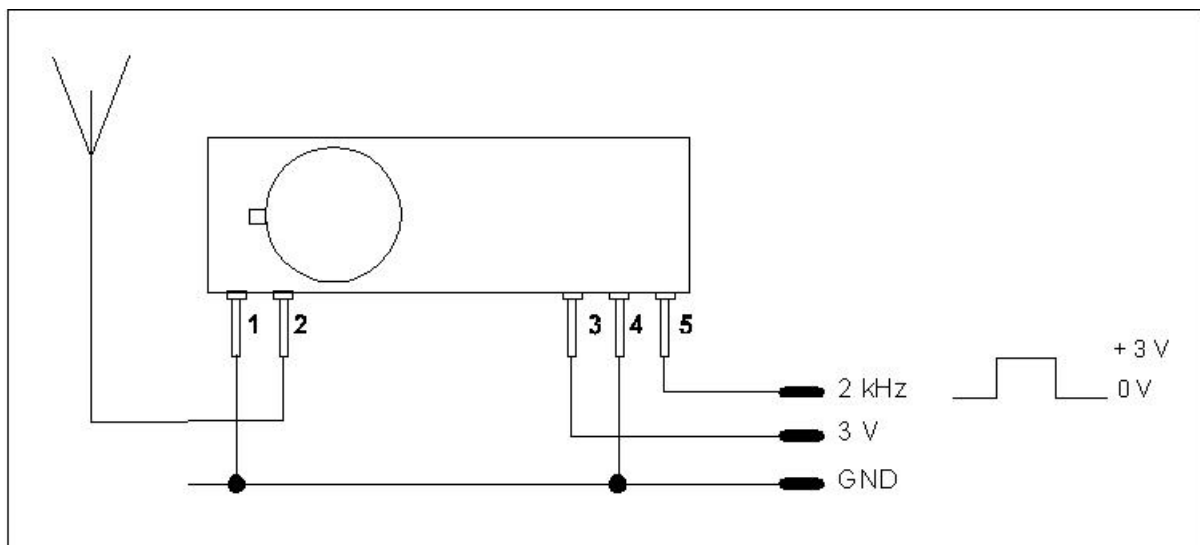


Abb. 5.3: Prüfkreis des TMX-433-MHz-Moduls [10]

5.2.5.2. Typische Leistungskurven

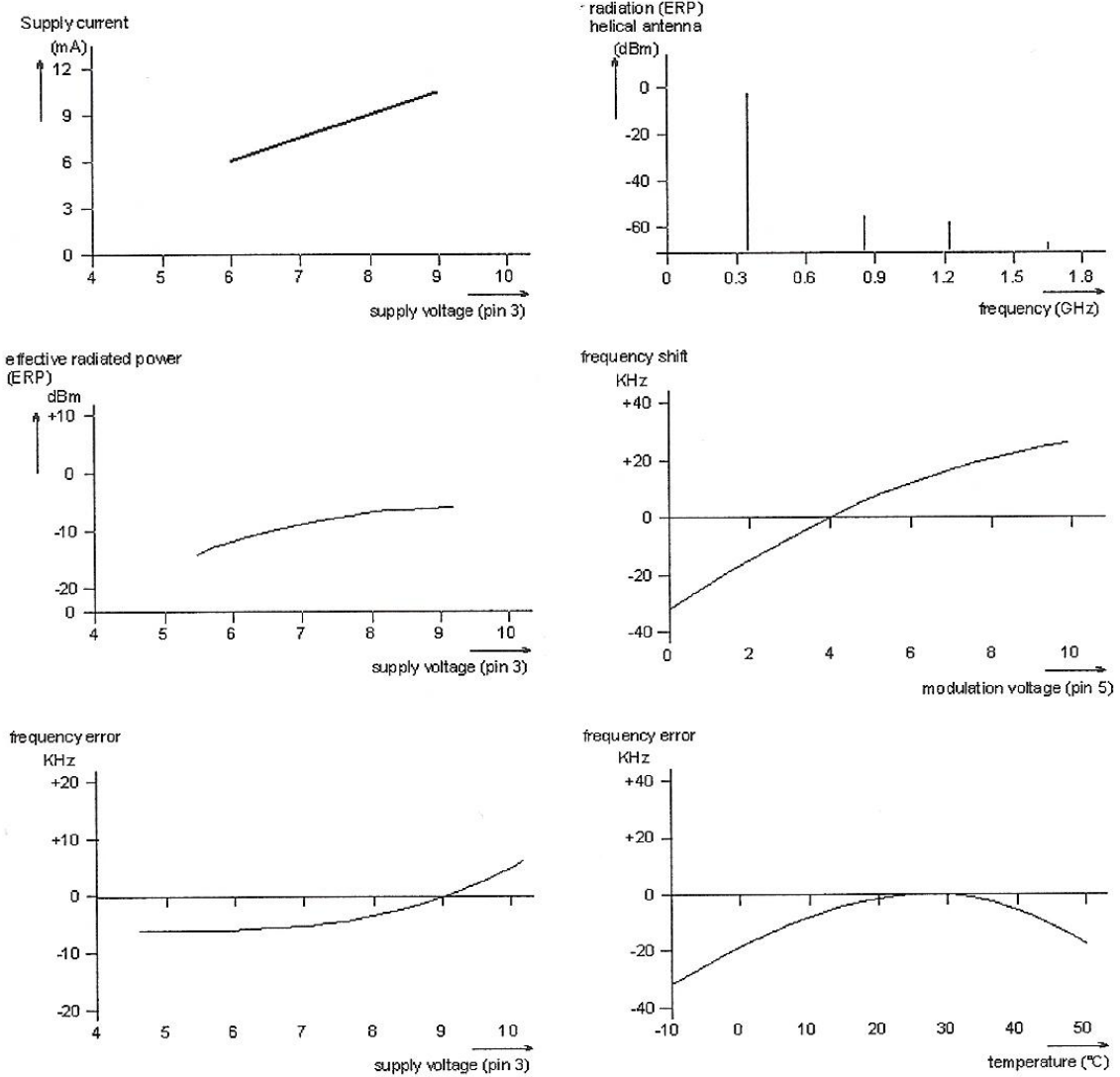


Abb. 5.4: Leistungskurven [10]

Anmerkung:

Der TMX-UHF-Sender benötigt:

- eine Daten-Modulations-Eingabe
- Versorgung
- GND
- eine Antenne

5.2.6. Stromversorgungsanforderungen

- Das Modul läuft im Bereich + 6 bis + 9 V (typisch 9 V PP3).
- Das Modul ist vor umgekehrter Polarität geschützt. Daher müssen bei mehr als 2 V Speisespannung umgekehrter Polarität externe Schutzmaßnahmen getroffen werden, um Schäden zu vermeiden.

5.2.7. Modulationsanforderungen

- Der TXM-UHF-Sender hat eine Gleichstromversorgung bis 10 kHz-Modulationsbandbreite und akzeptiert analoge (ASFK) oder digitale Daten. Ein Modulations-Tiefpassfilter (10 kHz, – 6 dB, erster Ordnung) wird intern verwendet.
- Obwohl die Modulationsbandbreite des Senders sich nach unten hin ausdehnt (bis zu DC) wie auch der AF-Ausgang des Empfängers, ist es nicht möglich, Daten mit einem Gleichstromanteil wegen Frequenzfehler und Drift zwischen Sender und Empfänger durchzulassen. Frequenzunterschiede zwischen dem Sender und Empfänger erzeugen einen Gleichstrom-Offset. Um Pulsfehler bei besonders langen oder kurzen Datenketten (Pulsen) möglichst auszuschließen, wird ein Datenzerhacker in der Empfängerbaugruppe verwendet.
- Der Dateneingang, Pin 5, wird normalerweise direkt durch CMOS-Logik-Stufen von einem Daten-Codierer-IC angesteuert. Das ist ein breiter Bereich von Codierer- und Decodierer-IC, die mit folgenden Modulen benutzt werden können:

MM57C200, MM57410	National Semiconductor (Halbleiter)
UM3750	UMC
HT12-Series	Holtek
MC14026	Motorola
AS2787	Austria Systeme International GmbH

- Der Codierer wird mit derselben Versorgungsspannung gespeist wie der Sender selbst. Analoger Betrieb z. B. FSK ist auch möglich; der Spitzenwert sollte zwischen 5 und 9 V liegen und sollte für Pin 5 nicht unter 0 V fallen. Es gibt Verzerrungen der zweiten harmonischen Oberwellen wegen des Varactormodulators (typ. < 15 %), die im Bedarfsfall durch Betrachtung des analogen Liniendiagramms reduziert werden können.

5.2.8. Antennenanforderung

Drei Arten verschiedener Antennen sind empfohlen und werden für das Modul genehmigt:

A) Helixantenne:

Die Helixantenne ist eine Drahtspirale, die direkt mit Pin 2 verbunden ist (offener Kreis am anderen Ende). Die Drahtlänge ist variabel, womit optimale Ergebnisse in der Abstrahlung erzielt werden können. Die Helixantenne funktioniert umso schlechter, je näher sie sich zu anderen leitfähigen Gegenständen befindet.

B) Schleife als Antenne:

Hier handelt es sich um eine Schleife. Diese wird einerseits gestimmt durch einen festen oder veränderlichen Kondensator bezogen auf Masse am oberen Ende, und andererseits versorgt über Pin 2 bei einem Punkt 20 % vom Erdungspunkt. Schleifen haben eine hohe Störsicherheit.

C) Stabantenne:

Dies ist ein Draht, eine Rute oder eine Kombination aus diesen, wobei dies direkt mit Pin 2 des Moduls verbunden ist. Die optimale totale Länge ist 17 cm (1/4-Wellenlänge bei 418 MHz). Der offene Kreis sollte keinesfalls mit Metallteilen in Berührung kommen, um Störungen zu vermeiden. Stabantennen sind sehr empfindlich.

5.2.8.1. Antennen-Auswahl-Tabelle

	A Wendelantenne	B Schleife	C Stabantenne
Leistung	**	*	***
Design (leicht)	**	*	***
Größe	***	**	*
Störsicherheit	***	***	*
Reichweite zu ähnlichen Antennen	80 m	50 m	120 m

*... schlecht

**... mittel

***... gut

Die Antennenwahl und deren Lage beeinflusst direkt den Systembereich. Im Weiteren wird empfohlen, das System von anderen Metallteilen frei zu halten, besonders das obere offene Ende, um einwandfreien Betrieb gewährleisten zu können. Die besten Lösungen werden erzielt, bei exakter Ausrichtung der Antennenspitze. Oft ist dies aus ergonomischen Gründen nicht möglich und es müssen Kompromisse gefunden werden. Eine Anordnung mit interner Antenne ist ebenfalls möglich.

5.2.8.2. Antennenkonfiguration



Abb. 5.5: Helixantenne [10]

Ein 0,5 mm starker Kupferdraht, eng gewickelt auf einen Träger mit 3,2 mm Durchmesser

418 MHz = 26 Windungen

433 MHz = 24 Windungen

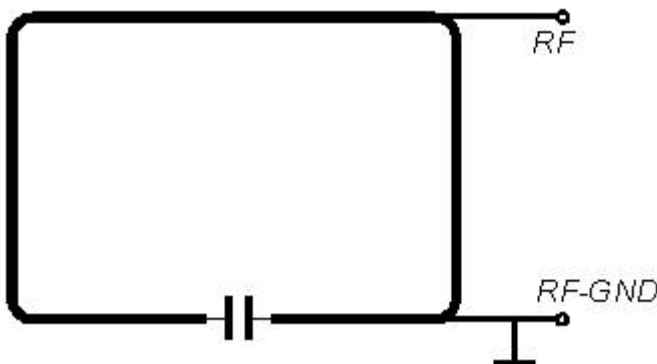


Abb. 5.6: Schleife [10]

Versorgungspunkt von 15 % bis 25 % des totalen Schleifendurchmessers = 1 mm

4 bis 10 cm² Innenfläche

Kapazität = 1,5 bis 5 pF, variabel oder fest

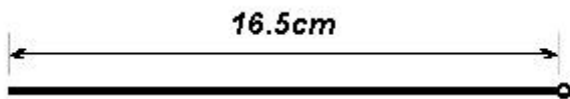


Abb. 5.7: Stab, Dipol [10]

418 MHz = 16,5 cm totale Länge vom Antennen-Pin

433 MHz = 15,5 cm totale Länge vom Antennen-Pin

5.2.9. Preis

TMX-433-F (TX):

Stückzahl	Pfund Sterling	Schilling	Euro
10 bis 29	13,29	283,74	20,62
30 bis 99	10,97	234,21	17,02
ab 100	8,83	188,52	13,70

5.3. UHF-Rundfunk Fernmessung SIL-Empfänger-Modul

5.3.1. Kurzbeschreibung

Das SILRX-433-F beinhaltet einen vollständigen FM-Superhet-UHF-Rundfunkempfänger auf einem kleinen Modul. Zusammen mit dem passenden TXM-433-F-Sender sind bis zu 200 Meter auf freiem Gelände überbrückbar.

Die SILRX-Empfängerbaugruppe ist besonders für batteriebetriebene tragbare Anwendungen geeignet, da kleine Leistungen oder kleine Abmessungen verlangt sind. Es bietet sich das RMX-433-F-Modul auch als Lösung für einen geringen Kostenaufwand in fixen Anwendungen, wenn hohe Datenraten und Signalstärken nicht von Nöten sind, an.

Der SILRX-Empfänger ist ein doppelter Umwandlungs-FM-Superhet mit einem Datenzerhacker, der durch den AF-Ausgang (vgl. Blockdiagramm 5.3.2.) gesteuert wird.

Das SILRX-418 ist für den Sender TXM-418 entworfen. Mit dem Zusatz von einfachen Antennen kann das Paar benutzt werden, um serielle Daten bis zu 200 m zu übertragen. Die Reichweite des Funkkanals ist sehr veränderlich und hängt von vielen Faktoren ab, hauptsächlich von der Art der Antenne, sowie von der Betriebsumgebung selbst. 200 m sind eine zuverlässige, garantierte Betriebsentfernung im freien Feld unter Benützung einer $\lambda/4$ -Stabantenne (1,5 m über der Erde angeordnet). Eine kleinere Antenne, eine kleinere Intervention oder kleinere Hindernisse (z. B. Gebäude etc.) reduzieren den zuverlässigen Arbeitsbereich (bis zu 30 m in extremen Fällen). Wird die Antennenhöhe vergrößert oder nimmt man geringere Datenraten in Kauf, so kann der Übertragungsbereich vergrößert werden (bis zu 3 km).

5.3.2. Blockdiagramm

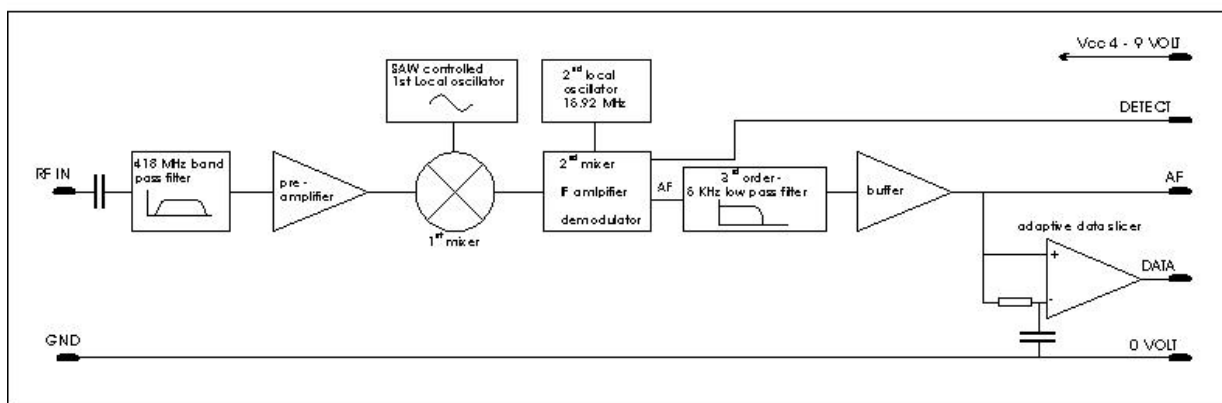


Abb. 5.8: Blockdiagramm des RX-433-MHz-Receiver-Moduls [10]

Das Eingangssignal wird bandbegrenzt und vorverstärkt und im Mischer aufbereitet. Anschließend erfolgen die Demodulation und die Datenaufbereitung.

5.3.2. Testschaltung

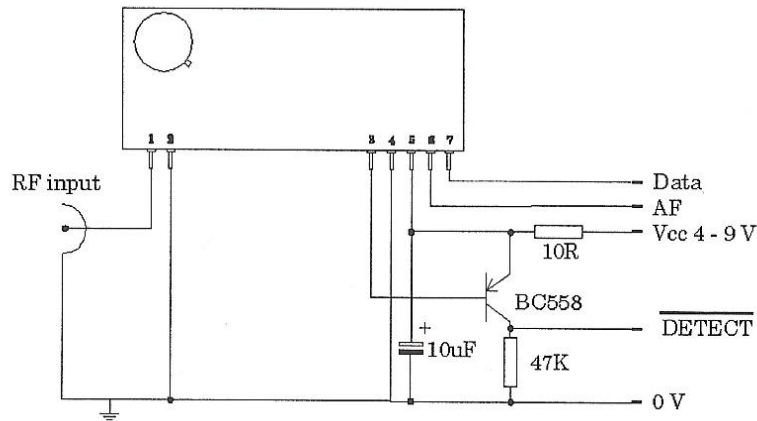


Abb. 5.9: Testschaltung für das RX-Receiver-Modul [10]

5.3.4. Beschreibung der Anschlussbelegung

Pin 1: RF IN	Die Empfängerantenne ist an diesem Eingang angeschlossen, ist auf eine nominelle HF-Impedanz von 50 Ω bezogen und ist kapazitiv vom internen Schaltkreis abgesondert.
Pin 2: RF GROUND	Dieser Anschluss liegt auf GND und ist mit jeder Komponente verbunden. Interne Verbindung mit Pin 4.
Pin 3: DETECT	Dieser Anschluss kann zur Trägererkennung benutzt werden, sodass die äußere Beschaltung Signale empfangen kann. Wenn das detektierte Signal nicht benutzt wird, so wird ein 10 kΩ (pull-up) Widerstand mit Pin 5 verbunden. (V_{cc})
Pin 4: 0 V	GNC Versorgungsanschluss
Pin 5: V_{cc}	Positive Versorgung von 4 bis 9 V, 13 mA. Die Versorgung muss störungsfrei (< 2 mV pp), stabil und frei von hochfrequentem digitalisiertem Rauschen sein. Ein Versorgungsfilter ist empfohlen, falls das Modul nicht durch eine geregelte Versorgung betrieben wird.
Pin 6: AF	Die ist der FM-Demodulator-Ausgang. Er hat eine Eingangsspannung von ungefähr 2 V und kann benutzt werden, um analoge Datensucher wie Modemchips oder DTMF-Decodierer zu betreiben. Impedanzen von 2 kΩ bis hinauf zu 100 pF können damit betrieben werden.
Pin 7: DATA	Dieser digitale Ausgang des internen Datenzerhackers ist eine quadratische Version des Signals von Pin 6 (AF). Das Signal wird benutzt, um äußere digitale Decodierer anzusprechen.

5.3.5. Mechanische Abmessungen des Empfängermoduls

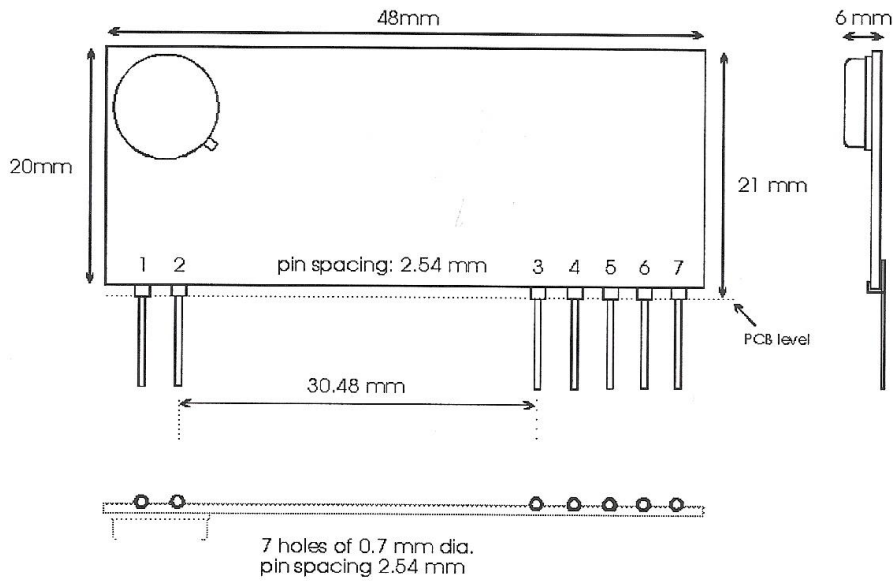


Abb. 5.10: Abmessungen des RX-Receiver-Moduls [10]

5.3.6. Leistungsdaten

Vergleiche Kapitel 4 Abschnitt 4.8.3.2.

5.3.6.1. Typische Leistungskurven

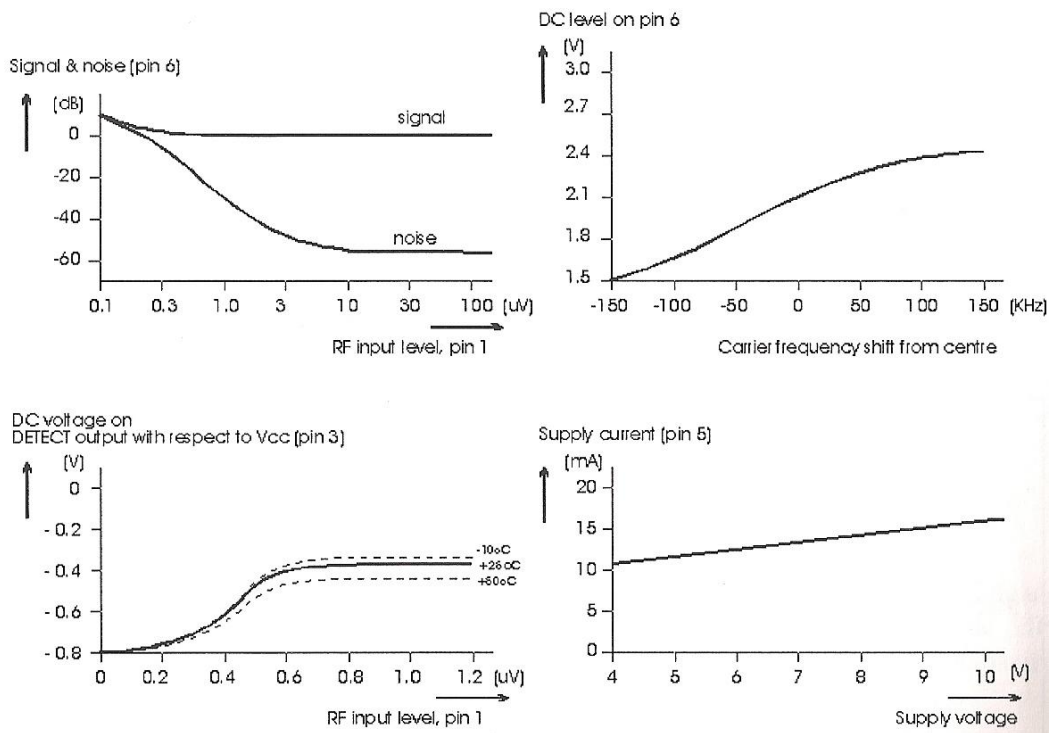


Abb. 5.11: Leistungskurven [10]

5.3.7. Zeitliche Wellenformen

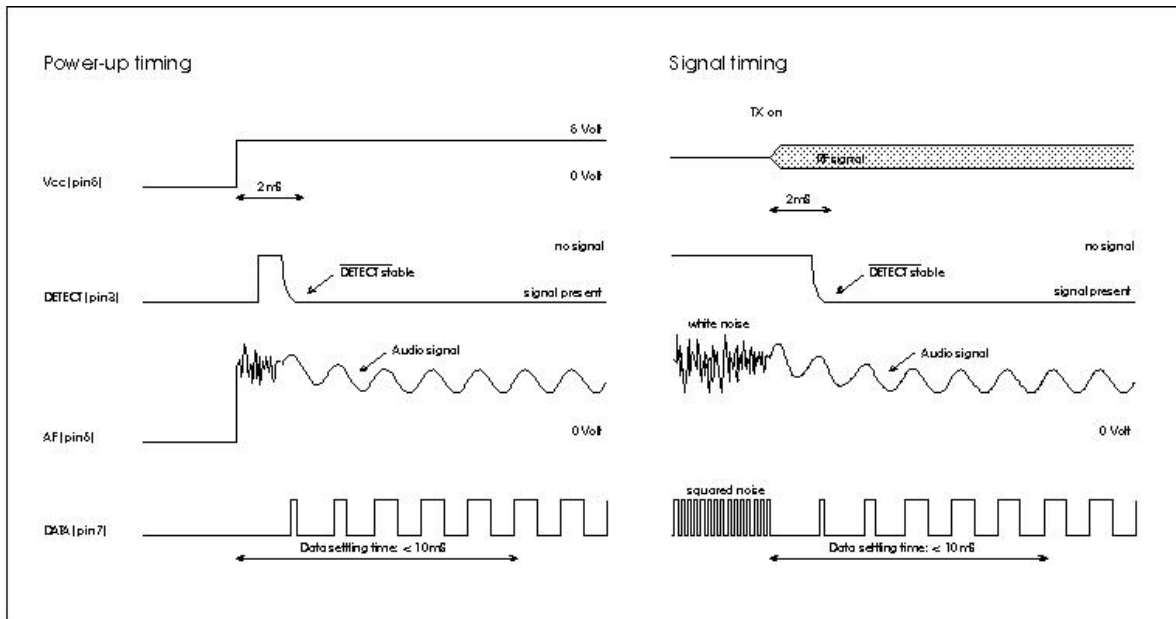


Abb. 5.12: Zeitliche Wellenformen [10]

5.3.8. Antennenkonfigurationen

Die Positionierung der Antenne ist von großer Bedeutung und ist ein Hauptfaktor zur Bestimmung der Systemgrenzen.

Die folgenden Anmerkungen sollten dabei helfen, die optimale Ausführung zu erhalten:

- Das System frei von Metallen halten, insbesondere das obere Ende.
- Die beste Lage ist, wenn die Antenne an der Spitze des Erzeugnisses herausragt. Dies ist aber oft aus praktischen und ergonomischen Gründen nicht wünschenswert, weswegen Kompromisse in Kauf genommen werden.
- Muss eine interne Antenne benutzt werden, so muss diese von Metallteilen ferngehalten werden (Transformatoren, Batterien, etc.).
- Abseits von Interferenzquellen verwenden. In deren Nähe arbeitet Hochgeschwindigkeitslogik besonders schlecht. Die schnelle Logik hat Harmonische (Oberwellen), die sich in das UHF-Band erstrecken. Ein-Chip-Mikroprozessoren und geerdete Logikschaltungen reduzieren dieses Problem bedeutend.

Analog zum Sender können auch hier die drei verschiedenen Antennen-Konfigurationen benutzt werden (vgl. Abschnitt 5.2.8.2.).

5.3.9. Benutzung des detektierten Ausgangssignals

Pin 3 des Moduls kann unterschiedlich verwendet werden:

- Über einen 47-k Ω -Widerstand kann Pin 5 angeschlossen werden, um eine Dämpfungsverminderung des AF- und des Datenausganges zu erzielen.
- Der Datenerkennungs-Ausgang des Pin 3 soll benutzt werden, um so energiesparend wie möglich zu arbeiten, sodass diese Vorrichtung auch bei tragbaren Ausstattungen benutzt werden kann. Beim Pulsen des Empfängers (On/Off) wird die durchschnittliche Stromversorgung oft reduziert und zwar um einen Faktor 20 oder mehr in Abhängigkeit von den Systemanforderungen. Die Detektion von Daten ist gültig nach 1,5 ms (2,5 ms Grenzfall) nach Einschalten der Versorgung, und wird verwendet, um während der Datendecodierung Strom zu sparen.

5.3.10. Interner Datenzerhacker

Ein CMOS-kompatibler Datenausgang ist verfügbar (Pin 7) und wird benutzt, um einen digitalen Decoder-IC oder einen Mikroprozessor anzusprechen, der die Datendecodierung ausführt. Der Datenzerhacker im Empfänger-Modul ist konstruiert, um Daten mit hohen Impulsbreiten zu akzeptieren (siehe Spezifikationstabelle der Grenzdaten). Der Datenzerhacker hat eine vorübergehende Antwortzeit von 10 ms, was auch gleichzeitig die Setzzeit des adaptiven Komparators ist, d. h. die ersten 10 ms des Signals können am Datenausgang verfälscht sein.

5.3.11. Systemcodierung

Die Sende- und Empfangs-Module haben keine interne digitale Codierung und Decodierung, was eine hohe Flexibilität beim Senden von Daten ermöglicht. Codierer- und Decoder-IC sind erforderlich, um dem System einen hohen Grad an Schutz zu garantieren. Es gibt eine Reihe von geeigneten Codierer-/Decoder-ICs, die mit diesen Modulen benutzt werden können:

MM57C200, MM57410	National Semiconductor (Halbleiter)
UM3750	UMC
HT12-Series	Holtek
MC14026	Motorola
AS2787	Austria Systeme International GmbH

5.3.12. AF-Ausgang

Der AF-Ausgang ist der Ausgang des FM-Demodulators nach der Pufferung und Filterung. Da dies vor dem Datenzerhacker im Modul gebraucht wird, kann Ausgang zum Betreiben des externen Datenzerhackers verwendet werden bzw. Demodulatoren für jene Fälle bei denen der interne Datenzerhacker nicht geeignet ist (beispielsweise bei einem analogen Subträger mit 2-Ton-AFSK oder DTMF-Ton). In diesen Fällen wird die AF-Ausgabe benutzt, um direkt den frequenzumgestauten Decodierer / DTMF-Decodierer zu betreiben.

5.3.13. Versorgungsanforderungen

Das Modul braucht eine stabile Versorgung. Das Rauschen für 5 bis 500 kHz und für 16 MHz \pm 1 MHz muss weniger als 2 mV betragen. Es wird empfohlen einen 10 μ F Kondensator geerdet auf Pin 5 (V_{cc}) zu schalten und einen Widerstand von 10 Ω , wenn die Genauigkeit der Versorgung nicht ausreichend ist.

5.3.14. Stromsparender Vier-Kanal-Empfänger

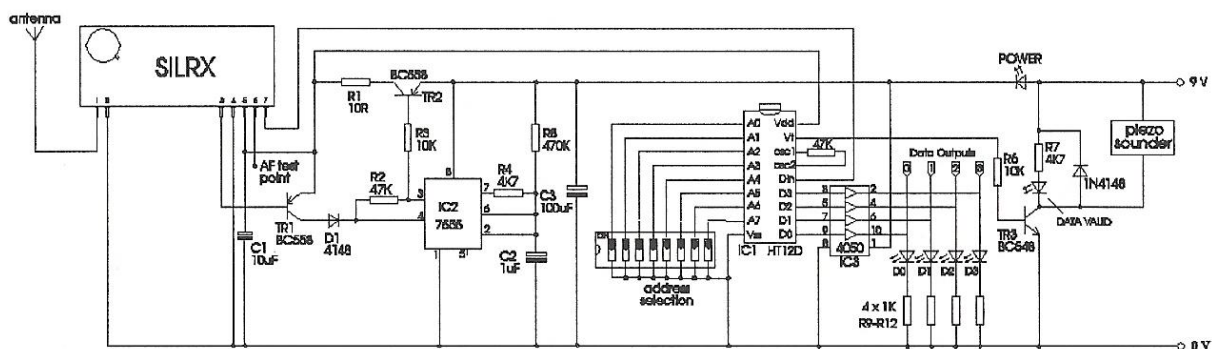


Abb. 5.13: Stromsparender Vier-Kanal-Empfänger [10]

5.3.15. Preis

SILRX-433-F (RX):

Stückzahl	Pfund Sterling	Schilling	Euro
10 bis 29	21,64	462,01	33,56
30 bis 99	18,99	405,44	29,47
ab 100	16,24	346,72	25,20

6. Schlussbemerkung

Im Frequenzbereich von 430 MHz bis 440 MHz, dem sogenannten 70-cm-Band, sind die Low Power Devices (LPD) angesiedelt. Für jedermann verwendbar, sowohl im privaten als auch im industriellen Bereich, decken gerade solche Funkübertragungssysteme einen breiten Anwendungsbereich ab. Dieser Gesichtspunkt und die Tatsache, dass sowohl Sprache als auch Information in diesem Frequenzbereich übertragen werden darf, ist der Grund, dass dieser Frequenzbereich sehr dicht besiedelt ist. Das hat zur Folge, dass gegenseitige Störungen der einzelnen Anwendungen nicht ausgeschlossen werden können.

Ein weitgehend störungsfreier Betrieb von Funkanlagen verlangt deshalb eine sorgfältig geplante Frequenzvergabe, Regelungen auf internationaler Ebene und die Festlegung der technischen Anforderungen, die an die Funkanlagen zu stellen sind. Um gegenseitige Störungen der Anwendungen ein wenig entgegenzuwirken, ist es in naher Zukunft sogar geplant, einen weiteren frei zugänglichen Frequenzbereich für jedermann zu schaffen: der 864-MHz-Bereich, der jedoch nicht für sprachübertragende Anwendungen erlaubt sein wird, um mehr Störungsfreiheit zu garantieren.

Anhang A

Reichweitentests einzelner Übertragungssysteme der engeren Auswahl

Letztendlich wurden nicht alle angekauften Funkübertragungssysteme gemessen. Bei einer Vorbewertung, wo einerseits die Reichweite und andererseits die Störanfälligkeit der Systeme subjektiv betrachtet wurde, wurden die besten Übertragungsstrecken selektiert und damit in die engere Auswahl aufgenommen.

Die Einteilung der Messstrecke von 200 Metern im freien Feld wurde mittels Radarpistole ausgemessen und in 50-Meter-Schritten unterteilt und abgesteckt. Im Anschluss wurden dann die verschiedenen ausgewählten Funkübertragungsstrecken dem Reichweitentest unterzogen. Die Überprüfung des Empfanges erfolgte anhand eines 1-kHz-Tons bzw. mittels einer LED. Folgende Funkübertragungssysteme wurden zur Reichweitenbeurteilung ausgewählt:

- Pocket Com 70 (Walkie-Talkie)
- TMX, RX (F-Version) (Radiometrix)
- HX/RX 1000 (RFM)
- SIL FM-Transmitter- und Receivermodul (Conrad)
- 3-Kanal-Funkfernsteuerung (SVS)
- AS 14 Funk-Türglocke

Erzielte Reichweiten im freien Feld

Funkübertragungsstrecke	Modulation	Reichweite	Betriebsspannung des Senders	Betriebsspannung des Empfängers	Beobachtungen
TMX und RX (F-Version)	FM	110 – 120 m	5 V	5 V	Nach 70 m gab es vereinzelt Aussetzer in der Übertragung. Der Empfang selbst wurde mittels eines 1-kHz-Tons überprüft.
SIL FM Sender- und Empfängermodul	FM	117 m	9 V	9 V	Keine Fixcodierung, sondern Rolling-Code. Der Empfang wurde mittels Leuchtdioden überprüft.
UHF-3-Kanal-Funkfernsteuerung	AM	74 m	12 V	5 V	$\lambda/4$ -Helixantenne
AS-14-Funk-Türglocke	FM	48,5 m	12 V	4,5 V	Wenig bis keine Störanfälligkeit; Fixcodierung;
HX/RX 1000	AM	35 – 45 m	5 V	3 V	Sehr störanfällig. Schon Erschütterungen verursachen Aussetzer in der Übertragung. Außerdem ist der Empfang sehr stark von der Antennenausrichtung abhängig.
Pocket Com 70	FM	>> 200 m	3 V	3 V	Zeichnet sich durch seine Schmalbandigkeit aus. Innerhalb des abgesteckten Bereichs gab es keine Qualitätsverschlechterung des Empfangs.

Anhang B

Messungen an den Sendern

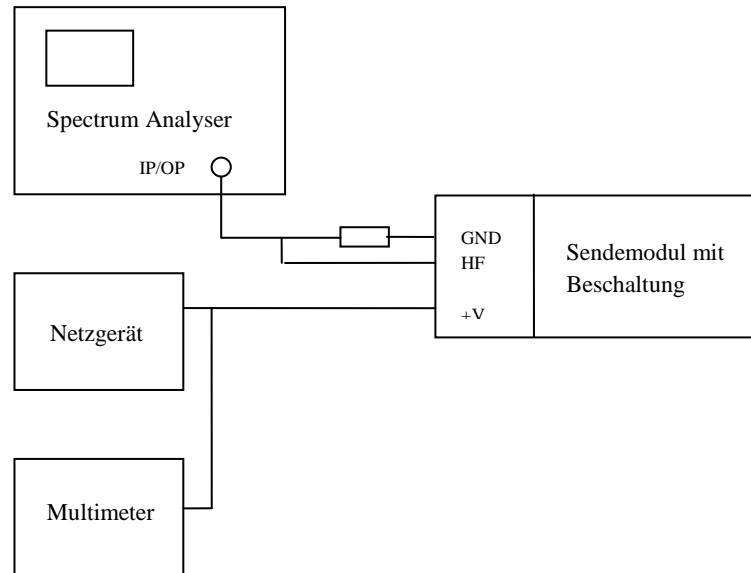
Gemessen wurden folgende Sender:

- Pocket Com 70 (Walkie-Talkie)
- TMX, RX (F-Version) (Radiometrix)
- SIL FM-Transmitter- und Receivermodul (Conrad)
- 3-Kanal-Funkfernsteuerung (SVS)
- AS 14 Funk-Türglocke
- Handfunk-Sender IND8000 (Webra)

Gemessen wurden folgende Größen:

- die an der Antenne abgegebene Leistung (Sendeleistung) P_S in mW bezogen auf jeweils 50Ω Abschlusswiderstand (Widerstand zwischen Masseanschluss des Funkübertragungssystems und Antennenanschluss des Spectrum Analysers).
- die Modulationsart
- die Modulationsbandbreite
- die erste Harmonische

Messaufbau



Messgeräteliste:

- Spectrum Analyser, Hewlett Packard 8593E (für 9 kHz bis 22 GHz)
- Netzgerät, Oltronix C40-0, 8D
- Multimeter M3800

Messergebnisse

Sender	P_S in W	Betriebsspannung in V	Modulation	Modulations- bandbreite in kHz
Pocket Com 70 (1)	$12,2 \times 10^{-3}$	3	FM	5
Pocket Com 70 (2)	$13,2 \times 10^{-3}$	3	FM	5
TMX, RX (F-Version)	$2,8 \times 10^{-3}$	5	FM	24
SIL FM-Transmitter- und Receivermodul	230×10^{-6}	12	FM	35
3-Kanal- Funkfernsteuerung	$13,5 \times 10^{-3}$	12	AM	40

IND8000	$4,7 \times 10^{-3}$	9	AM/FM	35
---------	----------------------	---	-------	----

Folgende Beobachtungen wurden gemacht:

- Das Übertragungssystem der AS 14 Funk-Türglocke wurde ebenfalls gemessen. Man erhielt mit dem Bezugswiderstand von 50Ω eine von der Antenne abgegebene Leistung von 20 mW. Dieser freischwingende, frequenzmodulierte Sender schaltet den Träger ab, wenn keine Modulationspakete vorhanden sind. Daher ist dieses System sehr energiesparend. Um diese Messung jedoch durchführen zu können, musste zusätzlich der Ausgang kapazitiv belastet werden. Dadurch stieg die Sendefrequenz des Ausgangskreises auf 605 MHz an. Somit ist die Messung nicht aussagekräftig und auswertbar. Dies lässt den Schluss zu, dass dieser Sender nicht quarzstabil ist.
- Die Messungen am Pocket Com 70 (Walkie-Talkie) wurden generell auf Kanal 35 ($f = 433,92$ MHz) durchgeführt. Pocket Com 70 ist extrem schmalbandig. Dies erklärt seine große Reichweite. Die erste und zweite Harmonische sind derart stark gedämpft, sodass sie nicht mehr messbar waren. Es handelt sich hier um ein sehr hochwertiges System.
- Beim TMX-F hat der Träger bei 433 MHz eine Amplitude von + 4,4 dBm. Die erste Harmonische liegt bei 869 MHz mit – 51,3 dBm. Daraus erhält man – 56 dB. Auch hier handelt es sich um einen sehr guten Sender.
- Beim SIL FM-Transmitter stellte sich im Labor nach mehreren Messdurchgängen heraus, dass der Sender nicht mehr einwandfrei arbeitet, wenn die Versorgungsspannung unter 8 V sinkt. Im Allgemeinen kann dieses Sendemodul mit 12 V betrieben werden. Beim Drücken der Taste wurden vom Analyser Modulationspakete registriert, deren Abstände zueinander gleich groß waren wie die Abstände zwischen den Paketen. Schlussfolgerung: Eine Übertragung erfolgt nur, wenn Träger und Modulationspaket vorhanden sind. Aus diesem Grund muss das Drücken der Taste zumindest von gleicher Dauer wie deren Paketperiodizität sein. Nachteilig. Der Träger befindet sich auf 434 MHz bei – 7,14 dBm und die erste Harmonische bei 869 MHz mit – 22,8 dBm. Somit ergibt sich eine Dämpfung, die kleiner als 60 dB ist.
- Der Sender der 3-Kanal-Funkfernsteuerung sendet ebenfalls Modulationspakete die AM-moduliert übertragen werden, wobei die Infopakete drei Mal so groß sind wie die zeitlichen Abstände dazwischen. Der Träger wiederum liegt bei 433 MHz mit zirka 32 dBm und die erste Harmonische liegt bei 869 MHz mit – 22,3 dBm.
- Der Handfunk-Sender IND8000 zeigt eine Besonderheit: Die Modulation ist nicht eindeutig zu erkennen, da es sich um eine Mischung aus AM und FM handelt. Der Träger liegt bei 433 MHz mit 5,8 dBm und die erste Harmonische bei 869 MHz mit – 20 dBm.

Anhang C

Messungen an den Empfängern

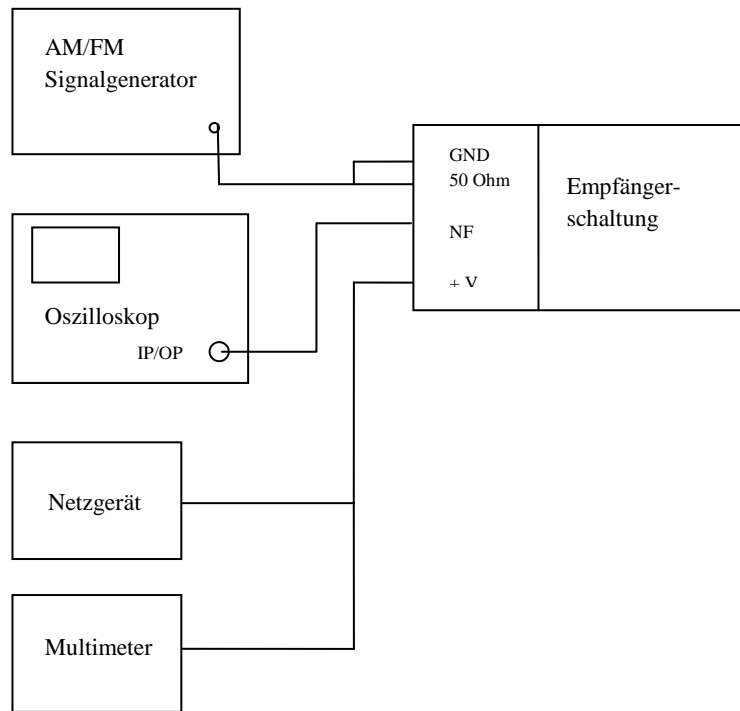
Gemessen wurden folgende Empfänger:

- Pocket Com 70 (Walkie-Talkie)
- TMX, RX (F-Version) (Radiometrix)
- SIL FM-Transmitter- und Receivermodul (Conrad)
- 3-Kanal-Funkfernsteuerung (SVS)
- AS 14 Funk-Türglocke
- Handfunk-Sender IND8000 (Webra)

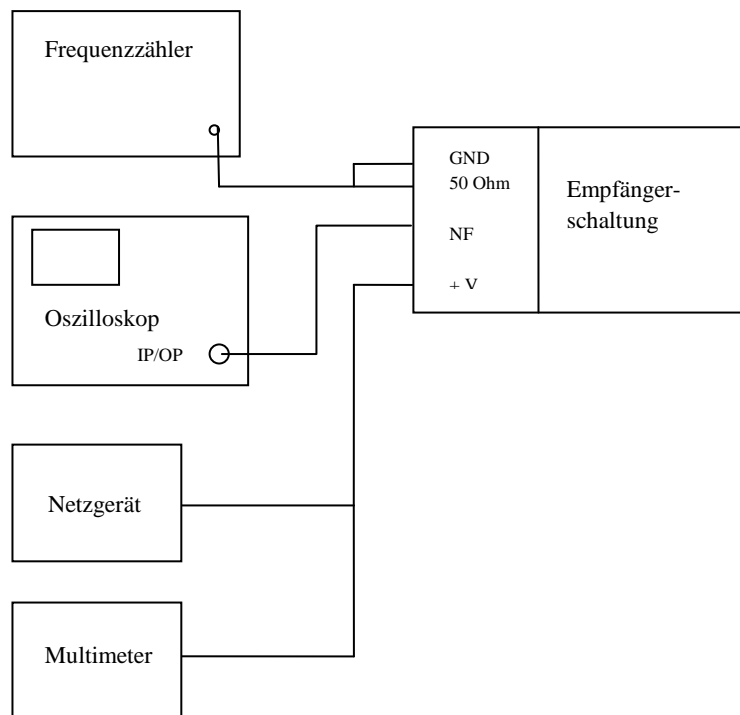
Gemessen wurden folgende Größen:

- die Empfindlichkeit des Empfängers in Volt bezogen auf das Signalrauschverhältnis
- die Eingangsbandbreite

Messaufbau 1



Messaufbau 2



Messgeräteleiste:

- AM/FM-Signalgenerator; SMAD BN 41314 von Rohde & Schwarz
- 13 GHz-Frequenzzähler, FC-785 von Kenwood
- 150 MHz readout Oszilloskop, CS-6040 von Kenwood
- Netzgerät, Oltronix C40-0, 8D
- Multimeter M3800

Messergebnisse

Empfänger	Mod.	U_{Betr}	Empfindlichkeit	f_{oben} in MHz	f_{mitte} in MHz	f_{unten} in MHz	Eingangsbandbreite $f_{\text{oben}} - f_{\text{unten}}$	Modulationsbandbreite
RX-F	FM	5 V	1 μV bei S/N[10 dB]	434,109	433,993	433,517	592	± 89 kHz
SIL FM-Receivermodul	FM	9 V	1,9 μV bei S/N[20 dB]	434,008	433,969	433,913	95	± 89 kHz
3-Kanal-Funkfernsteuerung	AM	9 V	2 μV	434,073	433,825	433,716	357	AM von 90 %
IND8000	FM	Netz	4 μV bei S/N[20 dB]	433,739	433,932	434,145	406	± 90 kHz
Pocket Com 70 (1)	FM	3 V	0,6 μV bei S/N[20 dB]	433,930	433,923	433,918	12	± 6 kHz
Pocket Com 70 (2)	FM	3 V	0,6 μV bei S/N[20 dB]	433,931	433,922	433,917	14	± 6 kHz

Anmerkung:

Mittels dieses AM/FM-Signalgenerators kann nur eine Modulationsbandbreite von maximal 80 bis 90 kHz eingestellt werden.

Folgende Beobachtungen wurden gemacht:

- Der Empfänger der AS 14 Funk-Türglocke konnte nicht gemessen werden, da kein Schaltplan zur Verfügung stand. Das Signalrauschverhältnis wirkt sich auf die Empfindlichkeit aus und liegt bei der Grenzemfindlichkeit des Empfängers

erfahrungsgemäß zwischen 10 und 20 dB (Diskrepanzen wegen Messungenauigkeit). Das Signalrauschverhältnis S/N konnte nicht direkt abgelesen werden.

- Der RX-F-Empfänger besitzt eine sehr große Empfindlichkeit. Im Vergleich dazu aber eine sehr große Eingangsbandbreite. Trotzdem ist aus dem Messergebnis zu ersehen, dass dieser Empfänger einer der besten aus der engeren Auswahl ist.
- Das SIL FM-Empfängermodul kann die Empfindlichkeit vom RX-F-Empfänger nicht übertreffen, ist jedoch schmalbandiger.
- Das Walkie-Talkie Pocket Com 70 ist der empfindlichste und zugleich schmalbandigste Empfänger. Daher ist die extrem große Reichweite im freien Feld erklärbar.

Literaturverzeichnis

- [1] Lüke
Signalübertragung
Springer Verlag, 6. Auflage
- [2] Zinke/Brunswig
Hochfrequenztechnik 1
Springer Verlag, 5. Auflage
- [3] Zinke/Brunswig
Hochfrequenztechnik 2
Springer Verlag, 4. Auflage
- [4] Mäusl R.
Modulationsverfahren in der Nachrichtentechnik
Hüthig Verlag, 2. Auflage
- [5] Stadler E.
Modulationsverfahren
Vogel Verlag
- [6] Johann J.
Modulationsverfahren
Springer Verlag
- [7] Limann/Pelka
Funktechnik ohne Ballast
Franzis Verlag, 16. Auflage
- [8] Schenck G.
Grundlagen der Funktechnik
Springer Verlag
- [9] Siebel W.
UKW-Sprechfunk (Scanner Handbuch)
Siebel Verlag
- [10] www.radiometrix.com
- [11] www.parlament.gv.at
- [12] <http://vlex.at/vid/bundesgesetz-fernmeldewesen-fernmeldegesetz-41378118>
- [13] www.bmvit.gv.at/telekommunikation/funk/frequenzverw/europa/index.html
- [14] www.etsi.org
- [15] www.rtr.at (Telekom Control)