

Entwicklung eines Gerätes zur Erfassung von Metainformationen über Signale innerhalb der Dezimeterwelle

Studienarbeit

für die Prüfung zum
Bachelor of Engineering

des Studiengangs Informationstechnik
an der Dualen Hochschule Baden-Württemberg Karlsruhe

von
Tobias Lamm und Sascha Hug

September 2018

Bearbeitungszeitraum
Kurs
Betreuer
Gutachter

5. und 6. Semester
TINF15B3
Stefan Lehmann

Sperrvermerk

Die vorliegende Studienarbeit mit dem Titel *Entwicklung eines Gerätes zur Erfassung von Metainformationen über Signale innerhalb der Dezimeterwelle* enthält unternehmensinterne bzw. vertrauliche Informationen der , ist deshalb mit einem Sperrvermerk versehen und wird ausschließlich zu Prüfungszwecken am Studiengang Informationstechnik der Dualen Hochschule Baden-Württemberg Karlsruhe vorgelegt. Sie ist ausschließlich zur Einsicht durch den zugeteilten Gutachter, die Leitung des Studiengangs und ggf. den Prüfungsausschuss des Studiengangs bestimmt. Es ist untersagt,

- den Inhalt dieser Arbeit (einschließlich Daten, Abbildungen, Tabellen, Zeichnungen usw.) als Ganzes oder auszugsweise weiterzugeben,
- Kopien oder Abschriften dieser Arbeit (einschließlich Daten, Abbildungen, Tabellen, Zeichnungen usw.) als Ganzes oder in Auszügen anzufertigen,
- diese Arbeit zu veröffentlichen bzw. digital, elektronisch oder virtuell zur Verfügung zu stellen.

Jede anderweitige Einsichtnahme und Veröffentlichung – auch von Teilen der Arbeit – bedarf der vorherigen Zustimmung durch den Verfasser und .

Erklärung

gemäß §5 (3) der „Studien- und Prüfungsordnung DHBW Technik“ vom 29. September 2015.

Ich erkläre hiermit ehrenwörtlich:

1. dass ich meine Studienarbeit mit dem Thema *Entwicklung eines Gerätes zur Erfassung von Metainformationen über Signale innerhalb der Dezimeterwelle* ohne fremde Hilfe angefertigt habe;
2. dass ich die Übernahme wörtlicher Zitate aus der Literatur sowie die Verwendung der Gedanken anderer Autoren an den entsprechenden Stellen innerhalb der Arbeit gekennzeichnet habe;
3. dass ich meine Studienarbeit bei keiner anderen Prüfung vorgelegt habe;
4. dass die eingereichte elektronische Fassung exakt mit der eingereichten schriftlichen Fassung übereinstimmt.

Ich bin mir bewusst, dass eine falsche Erklärung rechtliche Folgen haben wird.

Karlsruhe, September 2018

Tobias Lamm und Sascha Hug

Abstract

Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur sadipscing elitr, sed diam nonumy eirmod tempor invidunt ut labore et dolore magna aliquyam erat, sed diam voluptua. At vero eos et accusam et justo duo dolores et ea rebum. Stet clita kasd gubergren, no sea takimata sanctus est Lorem ipsum dolor sit amet. Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur sadipscing elitr, sed diam nonumy eirmod tempor invidunt ut labore et dolore magna aliquyam erat, sed diam voluptua. At vero eos et accusam et justo duo dolores et ea rebum. Stet clita kasd gubergren, no sea takimata sanctus est Lorem ipsum dolor sit amet. Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur sadipscing elitr, sed diam nonumy eirmod tempor invidunt ut labore et dolore magna aliquyam erat, sed diam voluptua. At vero eos et accusam et justo duo dolores et ea rebum. Stet clita kasd gubergren, no sea takimata sanctus est Lorem ipsum dolor sit amet.

Duis autem vel eum iriure dolor in hendrerit in vulputate velit esse molestie consequat, vel illum dolore eu feugiat nulla facilisis at vero eros et accumsan et iusto odio dignissim qui blandit praesent luptatum zzril delenit augue dui dolore te feugait nulla facilisi. Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur adipiscing elit, sed diam nonumy nibh euismod tincidunt ut laoreet dolore magna aliquam erat volutpat.

Ut wisi enim ad minim veniam, quis nostrud exerci tation ullamcorper suscipit lobortis nisl ut aliquip ex ea commodo consequat. Duis autem vel eum iriure dolor in hendrerit in vulputate velit esse

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	VI
Abbildungsverzeichnis	VII
Tabellenverzeichnis	VIII
Quellcodeverzeichnis	IX
1 Einleitung	1
1.1 Problemstellung	1
1.2 Zielsetzung	1
1.3 Abgrenzung	1
1.4 Vorgehensweise	1
2 Theoretische Grundlagen	2
2.1 Elektromagnetische Wellen	2
2.1.1 Eigenschaften einer elektromagnetischen Welle	3
2.1.2 Elektronisches Rauschen	3
2.2 Nachrichten- und Übertragungstechnik	4
2.3 Signale und Spektren	5
2.3.1 Kontinuierliche und diskrete Signale	5
2.3.2 Nyquist-Shannon-Abtasttheorem	6
2.3.3 Spektrum eines Signals	6
2.3.4 Fourier-Transformation	6
2.4 Frequenzbereiche	9
2.4.1 Rechtliche Grundlagen	9
2.5 Anwendungen im Bereich der Dezimeterwelle	10
2.5.1 Bluetooth	10
2.5.2 Wireless Local Area Network	11
2.6 Software Defined Radio Systeme	11
3 Planung und Konzeption	13
3.1 Auswahl der Hardware	13
3.1.1 SDR System	13
3.1.2 Antenne für das SDR System	13
3.2 Konzeption der Umgebung	13
4 Praxis Kapitel	14

5 Fazit	15
5.1 Zusammenfassung	15
5.2 Ausblick	15
Literatur	16
Anhang	18

Abkürzungsverzeichnis

ITU	International Telecommunications Union
UHF	Ultra-High-Frequency
FFT	Fast Fourier Transform
DFT	Discrete Fourier Transform
SDR	Software Defined Radio
CRC	Cyclic Redundancy Check

Abbildungsverzeichnis

2.1	Elektromagnetische Welle mit senkrecht aufeinander stehendem elektrischem und magnetischem Feld	2
2.2	Kommunikationsmodell nach Shannon	4
2.3	Sinus-Signal als kontinuierliches und als diskretes Signal	5
2.4	Aliasing Effekt. Abtastung zweier Sinussignale verschiedener Frequenzen .	6
2.5	Zeitsignal, gefensterter Zeitsignal und Spektrum eines diskreten Sinus-Signals	8
2.6	Spektrum elektromagnetischer Wellen und gebräuchliche Bandbezeichnungen	9
2.7	Eintrag: 2,4 GHz WLAN im Frequenzplan	10
2.8	Blockschaltbild eines SDR Systems	11
2.9	Nachrichtentechnisches Blockschaltbild eines digitalen Übertragungssystems	12

Tabellenverzeichnis

Quellcodeverzeichnis

1 Einleitung

1.1 Problemstellung

Warum ist das Thema relevant? In welchem Kontext?

1.2 Zielsetzung

Welche Fragen soll die Arbeit beantworten?

Welchem Zweck dient die Arbeit?

1.3 Abgrenzung

1.4 Vorgehensweise

Zu Beginn werden in Abschnitt 2 die theoretischen Grundlagen geschaffen, die für das Verständnis dieser Projektarbeit nötig sind. Dann wird in Kapitel 3 die praktische Ausarbeitung und Umsetzung thematisiert. Abschließend folgt eine Zusammenfassung mit Fazit und Ausblick.

Welche Vorgehensweise wird hierzu gewählt?

2 Theoretische Grundlagen

2.1 Elektromagnetische Wellen

Als elektromagnetische Welle werden räumlich ausbreitende Wellen bezeichnet, die aus elektrischen und magnetischen Feldern besteht. Die laufende Welle breitet sich entlang der Ausbreitungsgeschwindigkeit mit einer Geschwindigkeit von

$$c = 3 * 10^8 m/s$$

aus. Die elektrischen und magnetischen Feldvektoren der Welle stehen orthogonal zueinander, wie in der Abbildung 2.1 gut zu erkennen.

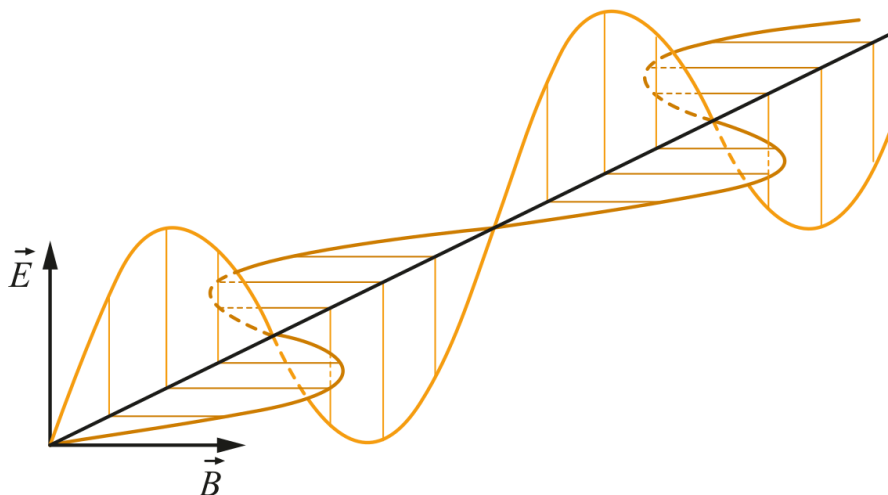


Abbildung 2.1: Elektromagnetische Welle mit senkrecht aufeinander stehendem elektrischem und magnetischem Feld. Quelle: [1, Harten, S. 130]

Das Spektrum einer solchen elektromagnetischen Welle reicht von langsamen Radiowellen, Infrarotwellen über den Bereich des sichtbaren Lichts bis hin zur Röntgenstrahlung und der extrem kurzwelligen Gammastrahlung. Die elektromagnetischen Wellen, die auf unsere Erde einwirken werden auch natürliche Strahlung genannt. Sie ermöglicht indirekt das Leben auf der Erde, durch die Energie Zufuhr der Sonne über die infraroten Wellen. Elektromagnetische Wellen benötigen kein Medium, um sich auszubreiten. Sie können sich daher auch über weiteste Entfernungen ausbreiten. Sie bewegen sich im Vakuum unabhängig von ihrer Frequenz mit Lichtgeschwindigkeit fort. Elektromagnetische Wellen

können sich aber auch in Materie ausbreiten wie etwa Gas oder Flüssigkeit, jedoch verringert sich dabei ihre Geschwindigkeit.

2.1.1 Eigenschaften einer elektromagnetischen Welle

2.1.2 Elektronisches Rauschen

Rauschen im Allgemeinen ist der Oberbegriff für Störspannungen, die ein Nutzsignal überlagern. Rauschen kann mehrere Ursachen haben, die alle durch physikalische Gesetzmäßigkeiten begründet werden können.

2.2 Nachrichten- und Übertragungstechnik

Die Nachrichten- und Übertragungstechnik beschäftigt sich mit dem Übertragen elektronischer Nachrichten. Als Nachricht wird in diesem Kontext ein vom Sender gezielt erzeugtes Signal verstanden, welches mit Informationen behaftet und für den Empfänger der Nachricht bestimmt ist [2, vgl. Werner, S. 3].

Das in Abb. 2.2 dargestellte Kommunikationsmodell nach Shannon beschreibt den grundlegenden Aufbau eines Nachrichtenaustausches zweier Systeme. Im Folgenden werden die zum weiteren Verständnis notwendigen Begriffe eingeführt:

Die Informationsquelle („Information Source“) übergibt die Nachricht dem Sender („Transmitter“), der diese mit einem Signal als physikalischem Träger der Nachricht über einen Kanal („Channel“) sendet.

Als Kanal bezeichnet man in der Nachrichtentechnik sämtliche technische Komponenten, welche eine Information vom Sender zum Empfänger transportiert. [3, vgl. Dankmeier, S. 13].

Die im Kanal auftretenden Störsignale, hier durch die Störsignalquelle („Noise Source“) dargestellt, überlagern sich mit dem ursprünglichen Signal.

Aus dem für den Empfänger („Receiver“) bestimmten Empfangssignal („Received Signal“) wird anschließend wieder eine Nachricht generiert, die im letzten Schritt der Informationssinke („Destination“) übergeben wird.

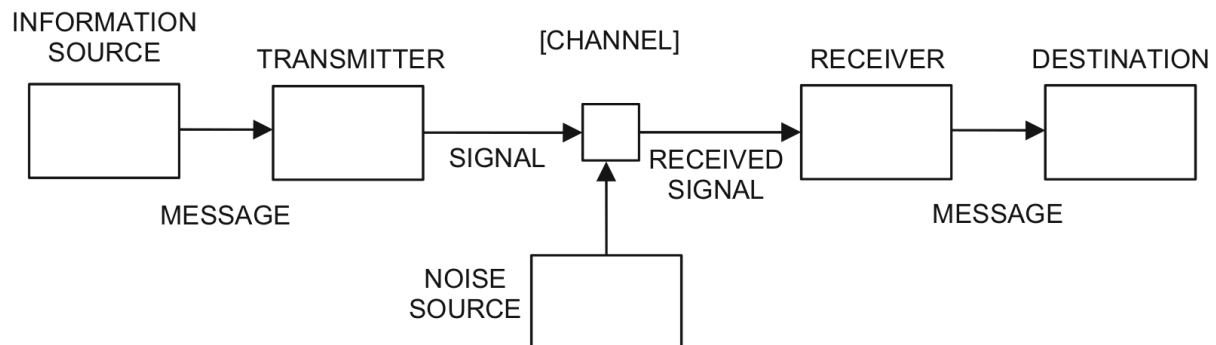


Abbildung 2.2: Kommunikationsmodell nach Shannon. Quelle: [4, Werner, S. 11f]

Die von der Informationsquelle zu übertragenden Daten werden, je nach Datenquelle, durch eine Quellcodierung komprimiert und beim Empfänger dann durch die entsprechende Umkehroperation die ursprünglichen Daten wiederhergestellt.

2.3 Signale und Spektren

Signale werden üblicherweise auf 2 Arten dargestellt:

1. Als *Signal* im Zeitbereich
2. Als *Spektrum* im Frequenzbereich

2.3.1 Kontinuierliche und diskrete Signale

Als Signal gilt eine Funktion mit mindestens einer unabhängigen Variablen, beispielsweise der Zeit t . Ist die Zeitvariable nur für diskrete Werte definiert, so spricht man von einem zeitdiskreten Signal. Man schreibt auch $x[n]$, wobei n die normierte Laufvariable genannt wird [4, vgl. Werner, S. 24].

In Abb. 2.3 wird das kontinuierliche Signal

$$x(t) = \sin \omega t = \sin 2\pi f t$$

mit $f = 50$ Hz dargestellt und mit dem diskreten Signal

$$x[n] = x(nT_a) = \sin 2\pi f T_a n$$

überlagert, welches mit einer Abtastrate von $f_a = 1$ kHz oder anders ausgedrückt: einem Abtastintervall von $T_a = 1/f_a = 1$ ms abgetastet wird [5, vgl. Heuberger, e. a., S. 11f].

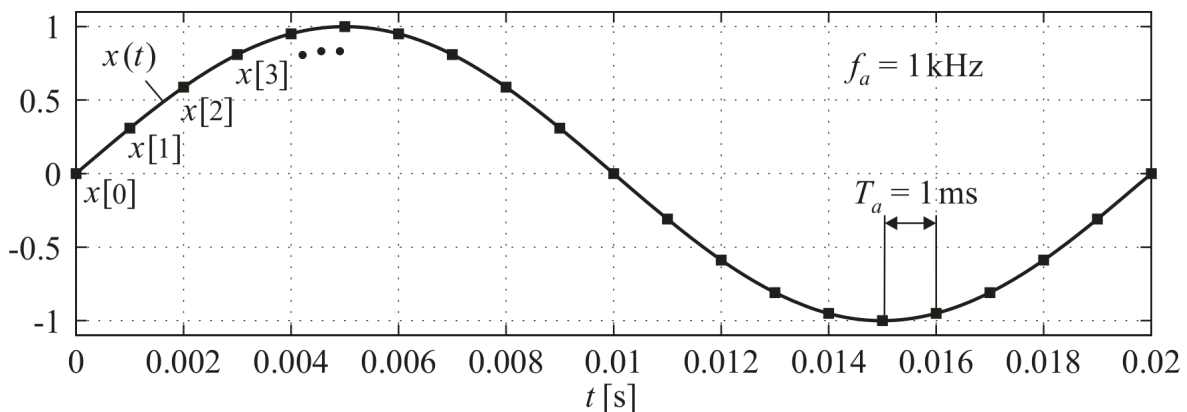


Abbildung 2.3: Sinus-Signal als kontinuierliches und als diskretes Signal.

Quelle: [5, Heuberger, e. a., S. 12]

2.3.2 Nyquist-Shannon-Abtasttheorem

Das Abtasttheorem nach Nyquist und Shannon besagt, dass ein Signal der Funktion $x(t)$ welches die Frequenz f besitzt, mindestens mit der Abtastrate f_a abgetastet werden muss, wobei gilt: $f_a \geq 2f$, damit aus dem abgetasteten Signal das Original durch eine Interpolation ausreichend genau beschrieben werden kann [2, vgl. Werner, S. 30]. Ist dies nicht der Fall, kann beim Abtasten zweier Signale unterschiedlicher Frequenzen dazu kommen, dass die resultierenden diskreten Signale identisch sind. Dieser Effekt wird als „Aliasing“ bezeichnet:

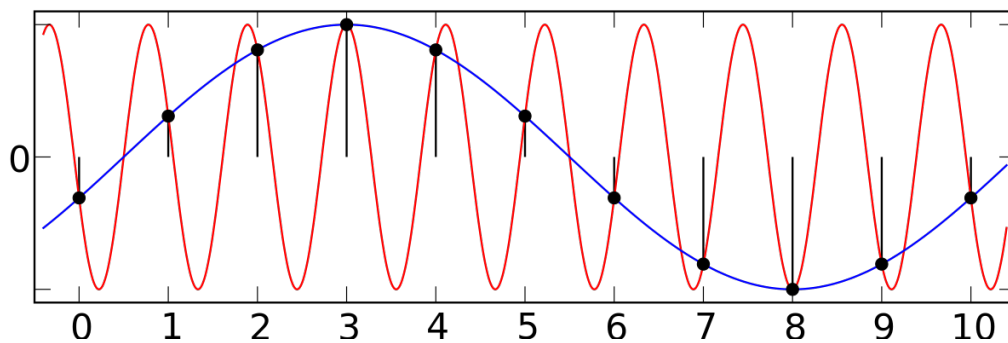


Abbildung 2.4: Aliasing Effekt. Abtastung zweier Sinussignale verschiedener Frequenzen.
Quelle: [6, Moxfyre]

In der Praxis wird daher meist eine Abtastrate verwendet, die ausreichend größer ist, als der doppelte Betrag der höchsten Frequenz im gegebenen Signal.

2.3.3 Spektrum eines Signals

Eine alternative Darstellung von Signalen kann im Frequenzbereich erfolgen. Dort wird ein Signal mit einzelnen Sinus-Schwingungen beschrieben, aus denen es sich zusammensetzen lässt [7, vgl. Karrenberg, S. 42].

2.3.4 Fourier-Transformation

Um ein Signal aus dem Zeitbereich in den Frequenzbereich zu überführen wird die sogenannte Fourier-Transformation verwendet.

Im wesentlichen wird ein Signal bzw. eine Funktion mittels Fourier-Transformation als Summe mehrerer Sinus-Schwingungen unterschiedlicher Frequenzen und Amplituden dargestellt.

Signale können also entweder aus Sinusschwingungen konstruiert, oder in solche zerlegt werden. Nach der Zerlegung ergeben sich einige Möglichkeiten mit den einzelnen Frequenzen zu arbeiten:

- Aus einem Signal können einzelne Frequenzen hervorgehoben werden
- Bei Audiosignalen beispielsweise können ungewollte Frequenzen ausgeblendet werden (etwa Hintergrundrauschen)

Um von dem resultierenden Spektrum wieder zu einer Darstellung im Zeitbereich zu gelangen, kann die Umkehroperation, die inverse Fourier-Transformation angewandt werden.

In der Praxis wird für die Überführung in den Frequenzbereich meist die Fast Fourier Transform (**FFT**) genutzt [5, vgl. Heuberger, e. a., S. 14]. Die **FFT** ist allerdings nur eine effizientere Berechnungsart der Discrete Fourier Transform (**DFT**), welche die Fouriertransformation auch mit diskreten Werten ermöglicht [8, vgl. Meyer, S. 175].

Um ein Signal mittels **FFT** in den Frequenzraum überführen zu können, muss es die Länge der Form $N = 2^L$ aufweisen. N muss also eine 2er-Potenz sein [5, vgl. Heuberger, e. a., S. 15]. Für das zu überführende Signal gilt also:

$$\underline{x} = \begin{bmatrix} \underline{x}[0] & \underline{x}[1] & \underline{x}[2] & \dots & \underline{x}[N-2] & \underline{x}[N-1] \end{bmatrix}$$

Fensterfunktionen

In der Praxis, so auch bei Software Defined Radio (**SDR**)-Systemen, handelt es sich in der Regel um Ausschnitte eines Signales. Bei der **FFT** wird mit periodischen Signalen gearbeitet, ein Signalausschnitt ist aber nur quasiperiodisch. Denn an den Rändern gibt es bei der periodischen Fortsetzung des Signals Sprungstellen [8, vgl. Meyer, S. 187].

Wird also ein Signal, dessen Länge kein vielfaches einer ganzen Periode ist, aufgezeichnet, entsteht durch die Unstetigkeiten am Rand eine spektrale Streuung durch die Umwandlung mit der **FFT**.

Der Signalausschnitt wird deshalb mit einer sogenannten Fensterfunktion gewichtet:

$$\underline{w} = \begin{bmatrix} w[0] & w[1] & w[2] & \dots & w[N-2] & w[N-1] \end{bmatrix}$$

Die gefensterte FFT Funktion:

$$\text{FFT}_w \underline{x}[n] = \sum_{n=0}^{N-1} w[n] \underline{x}[n] e^{-j2\pi nm/N} \text{ mit } m = 0, \dots, N-1$$

Das Spektrum dieser Funktion lässt sich als den gewichteten Betrag des resultierenden Ergebnisses ausdrücken [5, vgl. Heuberger, e. a., S. 14]:

$$s_x[m] = \frac{1}{c_w^2} \left| \underline{X}[m] \right|^2 \text{ mit } c_w = \sum_{n=0}^{N-1} w[n]$$

In Abbildung 2.5 wird das diskrete Zeitsignal $x[n]$ dem gefensterten Zeitsignal $w[n]x[n]$ und dem aus der FFT resultierenden Spektrum $S_x[m]$ gegenübergestellt:

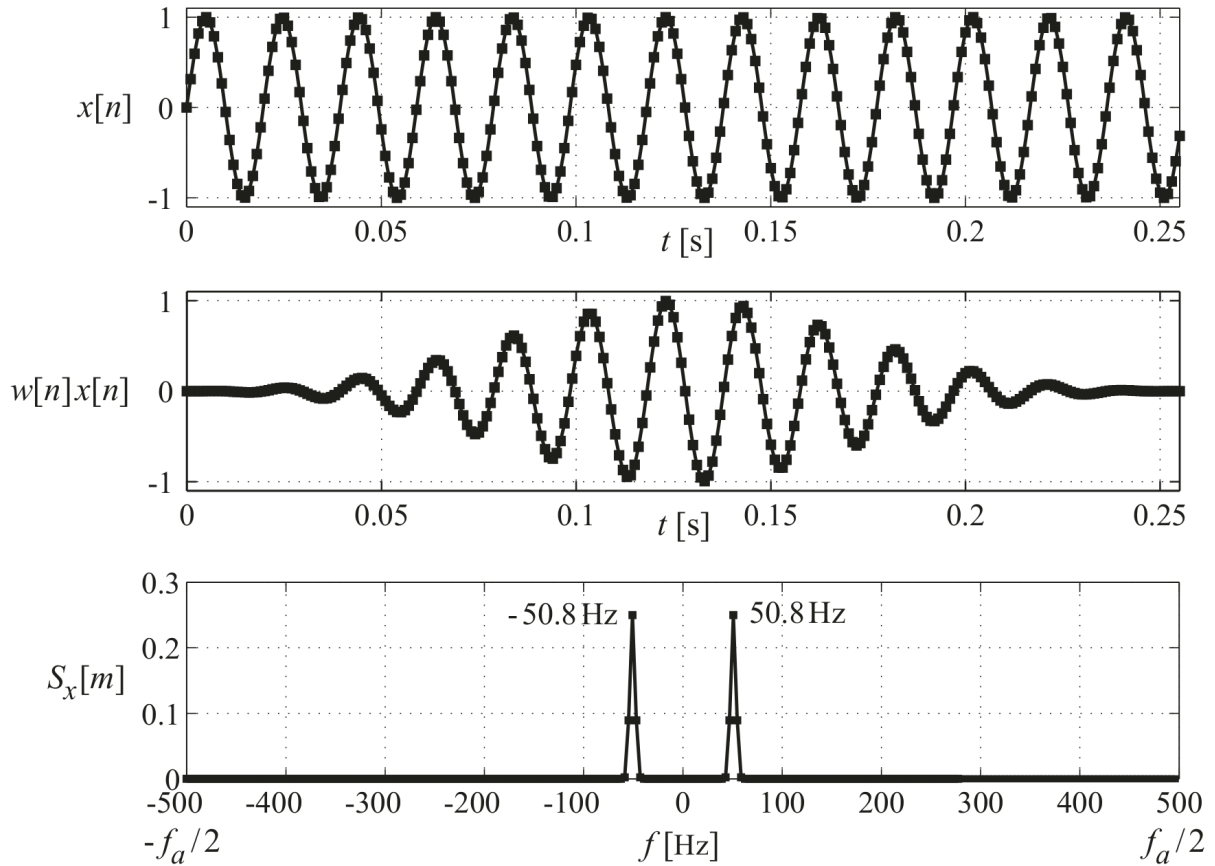


Abbildung 2.5: Zeitsignal, gefenstertes Zeitsignal und Spektrum eines diskreten Sinus-Signals.
Quelle: [5, Heuberger, e. a., S. 16]

2.4 Frequenzbereiche

Zur Orientierung im Spektrum elektromagnetischer Wellen haben sich international verschiedene Systeme zur Klassifikation sogenannter Frequenzbänder gebildet. Die International Telecommunications Union (ITU) empfiehlt eine Einteilung des Spektrums von 3 kHz bis 300 GHz in acht Frequenzbereiche, auch Frequenzdekaden genannt. [9, vgl. ITU-R v.431-8]

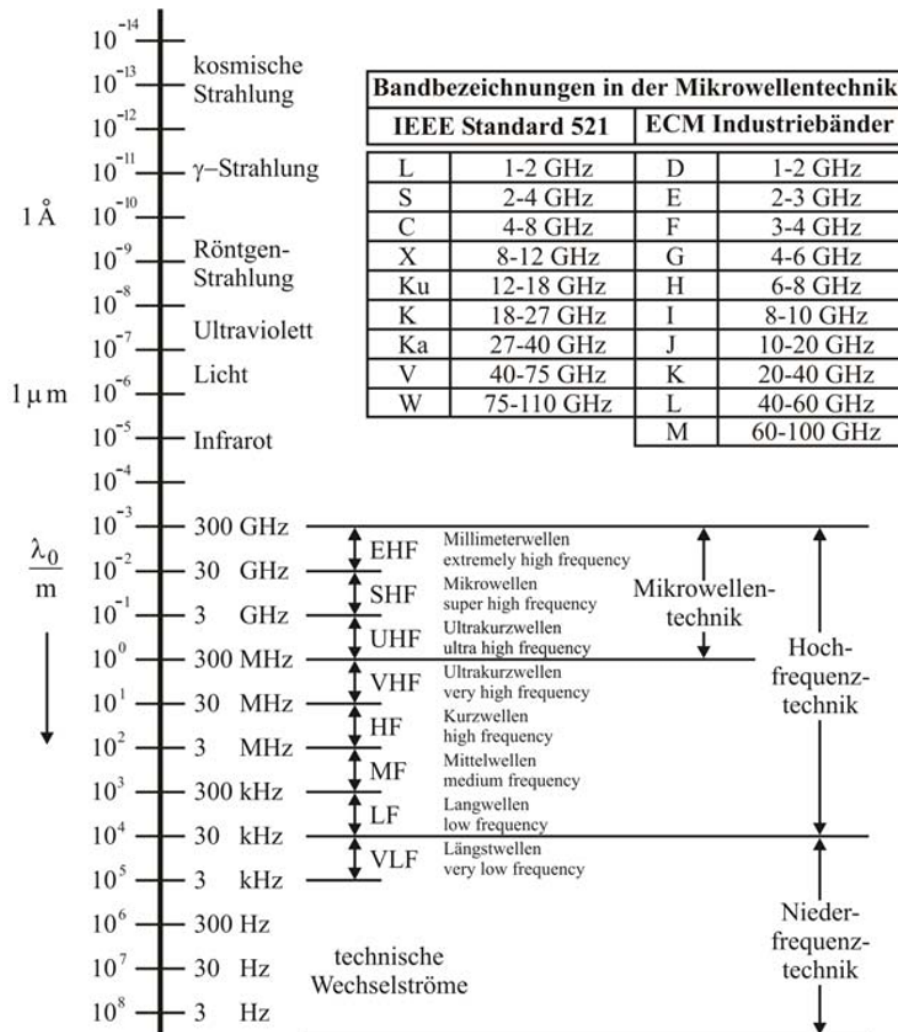


Abbildung 2.6: Spektrum elektromagnetischer Wellen und gebräuchliche Bandbezeichnungen.
Quelle: [10, Kark, S. 1]

2.4.1 Rechtliche Grundlagen

In Deutschland gilt rechtlich zudem die Aufteilung des Frequenzbereiches von 9 kHz bis 3000 GHz, welche von der Bundesnetzagentur im sogenannten Frequenzplan [11, Bundesnetzagentur, 2016] gemäß § 54 TKG festgehalten wird. Dort werden die Frequenzbereiche

nach Frequenznutzung (Amateurfunk, Seefunk, WLAN, etc.) eingeteilt und entsprechende Nutzungsbestimmungen spezifiziert:

Frequenzteilplan:	302	Eintrag:	302003	Stand:	APRIL 2016
Frequenzbereich:	2400 - 2450 MHz				
Nutzungsbestimmung(en):	D150 D282 10 26 31				
Funkdienst:					
Nutzung:	ziv, mil				
Frequenznutzung:	26: WLAN				
Frequenzteilbereich(e):	2400 - 2450 MHz				
Frequenznutzungsbedingungen:	Breitbandige Datenübertragung Maximal zulässige äquivalente Strahlungsleistung: 100 mW EIRP Der Grenzwert der Strahlungsleistung bezieht sich - unabhängig vom Modulationsverfahren - auf die Summenleistung mit Bezug auf das Frequenzband 2400 - 2483,5 MHz.				

Abbildung 2.7: Eintrag: 2,4 GHz WLAN im Frequenzplan. Quelle: [11, Bundesnetzagentur, 2016]

2.5 Anwendungen im Bereich der Dezimeterwelle

Das Frequenzband von 300 MHz bis 3 GHz, auch Ultra-High-Frequency (UHF)-Band genannt, ist ein Frequenzbereich in dem die Wellen eine Länge von zehn Dezimeter bis einem Dezimeter besitzen.

2.5.1 Bluetooth

Bluetooth ist eine Übertragungstechnik für kabellose Kommunikation über kurze Distanzen. Es wird im Frequenzbereich von 2,4 bis 2,4835 GHz betrieben [12, Bundesamt für Strahlenschutz, S. 1]. Insgesamt gibt es unter Bluetoothgeräten drei verschiedene Sendeleistungsklassen:

Klasse 1: bis 1,0 mW Reichweite: bis 10m

Klasse 2: bis 2,5 mW Reichweite: 10m und mehr

Klasse 3: bis 100 mW Reichweite: 100m und mehr

Die Aufteilung des Frequenzbereiches von 0 kHz bis 3000 GHz wird von der Bundesnetzagentur im sogenannten Frequenzplan [11, Bundesnetzagentur] gemäß § 54 TKG festgehalten.

2.5.2 Wireless Local Area Network

Unter dem Begriff Wireless Local Network (WLAN) versteht man ein kabelloses lokales Netzwerk, welches meist an Orten eingesetzt wird, bei der kabelgebundene Datenübertragung zu teuer, umständlich oder unkomfortabel wäre.

2.6 Software Defined Radio Systeme

SDR Systeme sind digitale Datenübertragungssysteme, bei denen der Großteil der Signal- und Datenverarbeitung mittels Softwarekomponenten erfolgt [5, Heuberger, e. a., S. 1]. Besonders hervorzuheben ist bei SDR Systemen, dass ihre Hardware größtenteils unabhängig nachrichtentechnischer Eigenschaften wie der Symbolrate und Modulationsart sind. SDR Systeme können verschiedene Standards verwenden um entsprechende Übertragungsarten zu implementieren, da die Funktionalität durch Software, also Hardware-unabhängig, realisiert wird [5, Heuberger, e. a., S. 36].

Abbildung 2.8 zeigt den Aufbau eines SDR Systems als Blockschaltbild, in dem sowohl Sender und Empfänger als SDR realisiert sind. Für jedes Element im Sender gibt es ein entsprechendes Element im Empfänger, welches die Senderoperationen rückgängig macht, um die ursprünglichen Daten rekonstruieren zu können.

Da sich diese Studienarbeit mit dem Empfangen und Auswerten von Signalen, aber nicht dem Senden befasst, wird im weiteren Verlauf des Dokumentes ausschließlich die Seite des Empfängersystems und der Übertragungsstrecke betrachtet.

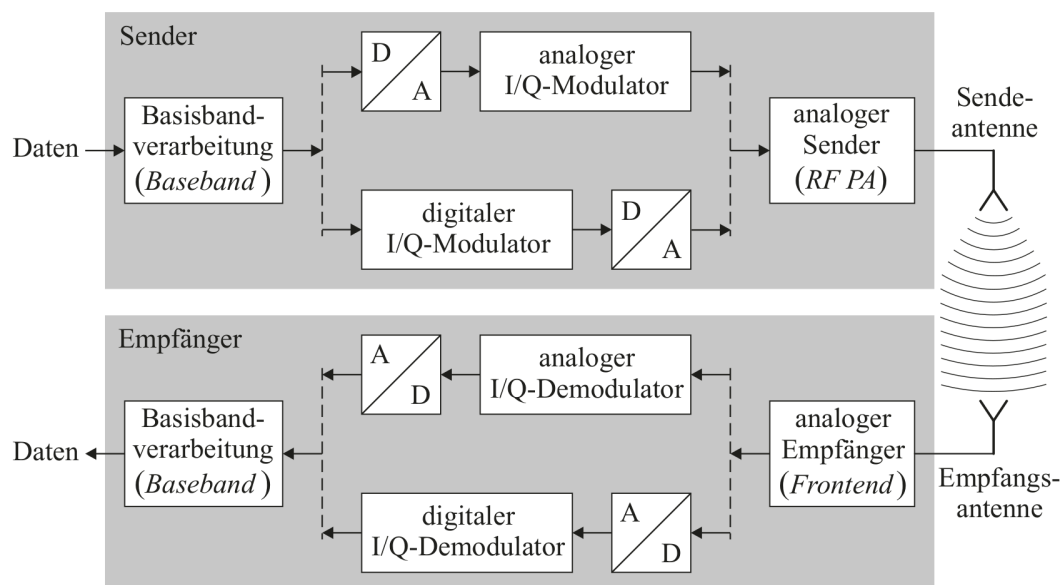


Abbildung 2.8: Blockschaltbild eines SDR Systems. Quelle: [5, Heuberger, e. a., S. 37]

Abbildung 2.9 zeigt den Aufbau eines klassischen digitalen Übertragungssystems. Die Funktionsweise lässt sich wie folgt zusammenfassen:

1. Um später die Integrität der digitalen Daten verifizieren zu können, werden sie mit einer Cyclic Redundancy Check (CRC)-Kodierung versehen.
2. Kanalcodierung
3. Scrambler
4. Symbol-Mapper
5. Das Signal wird einem Trägersignal aufmoduliert damit es übertragen werden kann.

Anschließend erfolgen auf der Empfängerseite die entsprechenden inversen Operationen zu den aufgeführten Schritten. In einem Software Defined Radio System werden *alle* diese Vorgänge durch Software in der Basisbandverarbeitung abgebildet [5, vgl. Heuberger, e. a., S. 38]

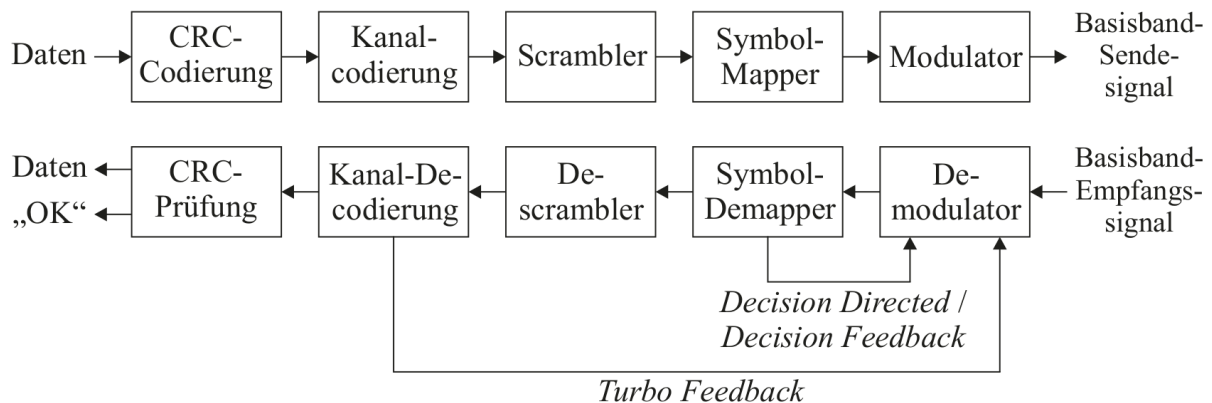


Abbildung 2.9: Nachrichtentechnisches Blockschaltbild eines digitalen Übertragungssystems.
Quelle: [5, Heuberger, e. a., S. 38]

3 Planung und Konzeption

3.1 Auswahl der Hardware

3.1.1 SDR System

3.1.2 Antenne für das SDR System

3.2 Konzeption der Umgebung

4 Praxis Kapitel

5 Fazit

Hilfreiche Fragestellungen

Was sind die wichtigsten Ergebnisse?

Was kann evtl. nicht beantwortet werden?

Welchen Zweck haben die Ergebnisse (sowohl für die Arbeit an sich als auch für die Praxis / Wissenschaft)?

Ergebnis der wissenschaftlichen Arbeit Nach dem Hauptteil schreiben! Rückschluss von den Ergebnissen auf die Einleitung (Rückblick zur Einleitung herstellen) Keine Wiederholung aller Inhalte! Nur wichtigste Aspekte aufgreifen Wertvoll, wenn Hauptteil um neue Gedankengänge / Aspekte erweitert wird Unerwartete Ergebnisse bedeuten nicht, dass die Thesis gescheitert ist; sie müssen kritisch diskutiert werden

5.1 Zusammenfassung

5.2 Ausblick

Literatur

- [1] Ulrich Harten. *Physik. Eine Einführung für Ingenieure und Naturwissenschaftler*. Berlin: Springer Vieweg, 2017. ISBN: 978-3-662-49753-1. DOI: [10.1007/978-3-662-49754-8](https://doi.org/10.1007/978-3-662-49754-8). URL: <https://doi.org/10.1007/978-3-662-49754-8>.
- [2] Martin Werner. *Nachrichten-Übertragungstechnik. Analoge und digitale Verfahren mit modernen Anwendungen*. Wiesbaden: Vieweg & Teubner, 2006. ISBN: 978-3-528-04126-7.
- [3] Wilfried Dankmeier. *Grundkurs Codierung. Verschlüsselung, Kompression und Fehlerbeseitigung*. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2017. ISBN: 978-3-8348-1674-0. DOI: [10.1007/978-3-8348-2154-6](https://doi.org/10.1007/978-3-8348-2154-6). URL: <https://doi.org/10.1007/978-3-8348-2154-6>.
- [4] Martin Werner. *Nachrichtentechnik. Eine Einführung für alle Studiengänge*. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2017. ISBN: 978-3-8348-2580-3. DOI: [10.1007/978-3-8348-2581-0](https://doi.org/10.1007/978-3-8348-2581-0). URL: <https://doi.org/10.1007/978-3-8348-2581-0>.
- [5] Albert Heuberger und Eberhard Gamm. *Software Defined Radio-Systeme für die Telemetrie*. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg, 2017. ISBN: 978-3-662-53233-1. DOI: [10.1007/978-3-662-53234-8](https://doi.org/10.1007/978-3-662-53234-8). URL: <https://doi.org/10.1007/978-3-662-53234-8>.
- [6] Wikimedia User: Moxfyre. *Two different sinusoids that fit the same set of samples*. 2009. URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/File:AliasingSines.svg>.
- [7] Ulrich Karrenberg. *Signale - Prozesse - Systeme. Eine multimediale und interaktive Einführung in die Signalverarbeitung*. Berlin: Springer Vieweg, 2017. ISBN: 978-3-662-52658-3. DOI: [10.1007/978-3-662-52659-0](https://doi.org/10.1007/978-3-662-52659-0). URL: <https://doi.org/10.1007/978-3-662-52659-0>.
- [8] Martin Meyer. *Signalverarbeitung. Analoge und digitale Signale, Systeme und Filter*. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2017. ISBN: 978-3-658-18320-2. DOI: [10.1007/978-3-658-18321-9](https://doi.org/10.1007/978-3-658-18321-9). URL: <https://doi.org/10.1007/978-3-658-18321-9>.
- [9] International Telecommunications Union - Radiocommunication Sector. *Recommendation ITU-R V.431-8. Nomenclature of the frequency and wavelength bands used in telecommunications*. 2015. URL: <https://www.itu.int/rec/R-REC-V.431-8-201508-I/en> (besucht am 10.02.2018).

- [10] Klaus W. Kark. *Antennen und Strahlungsfelder: Elektromagnetische Wellen auf Leitungen, im Freiraum und ihre Abstrahlung*. Wiesbaden: Vieweg, 2017. ISBN: 978-3-658-13964-3. DOI: [10.1007/978-3-658-13965-0](https://doi.org/10.1007/978-3-658-13965-0). URL: <https://doi.org/10.1007/978-3-658-13965-0>.
- [11] Bundesnetzagentur. *Frequenzplan*. 2016. URL: https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Frequenzen/Grundlagen/Frequenzplan/frequenzplan-node.html.
- [12] Bundesamt für Strahlungsschutz. *Sprach- und Datenübertragung per Funk: Bluetooth und WLAN*. 2012. URL: https://www.bfs.de/SharedDocs/Downloads/BfS/DE/broschueren/emf/info-bluthooth-und-wlan.pdf?__blob=publicationFile&v=4.

Anhang

(Beispielhafter Anhang)