**Zusammenfassung**

Diese Arbeit untersucht ein bestehendes 2.4 GHz Antennensystem, welches in der „Connect 1“ Produktserie der Firma Flytec AG zu Anwendung kommt. In der „Connect 1“ Serie kommen drei Antennensystem die im selben frei zugänglichen ISM 2.4 GHz Frequenzbereich arbeiten auf engstem Raum zum Einsatz. Die Antennensysteme beeinflussen sich gegenseitig. Die Wahl der Antennen und deren Positionierung beeinflusst das Abstrahlverhalten enorm und ist für eine einwandfrei Funktion äusserst wichtig. In dieser Arbeit wird eine technisch realisierbares Design für die Bluetooth Low Energie Antenne gesucht. Die dafür notwendige Antennentheorie wird beschrieben. Im Hauptteil ist der Entwicklung einer Kompaktantenne, die in einem Handgerät zum Einsatz kommt, gewidmet. Der Entwicklungsprozess besteht einer Vorstudie, bei der drei Konzepte geprüft werden. Aus der Vorstudie wurde das Konzept xxxx ausgewählt.

Das xxxx wurde aufgrund der positiven Eigenschaften im Bereich des xx und yyy ausgewählt.

Im Antenenentwickungsprozess wurden die Antennenparameter genauer untersucht und es werden nach möglichen Einbau und Design Varianten in der „Connect 1“ Geräteserie gesucht. Um eine möglichst optimales Abstrahlverhalten zu finden. Der gesamte Entwicklungsprozess wird von Simulationen der verschieden Konzepte begleitet. Die Simulationen werden im Empire Xccel getätigt.

In Stichworten enthält diese Arbeit:

Antennentheorie und Abstrahlverhalten von Kompaktantennen

Entwurf einer kompakten Antenne im ISM 2.4 GHz Frequenzbereich

Simulation von kompakten Antennen

Produktion von Funktionsmustern für Antennen im 2.4 GHz Frequenzbereich

Messung des Abstrahlverhaltens und Aufnahme der Antennenparameter

Vergleich zwischen Theorie und Praxis der Antennenparameter

Bewertung des Funktionsmusters

Fazit für den Einsatz der Antenne in der Flytec „Connect 1“ Serie

**Einleitung**

Durch die schwierige Orientierung in der Luft greifen Gleitschirmpiloten auf technische Hilfsmittel zurück. Zum Beispiel wird mit einem Variometer der Luftdruck gemessen. Dies hilft dem Piloten festzustellen, ob er sich im Steigflug oder im Sinkflug befindet und auf welcher Höhe er fliegt. Um den Piloten unabhängig vom direkten Sichtkontakt mit dem Hilfsgerät zu machen, wird der Sinkflug mit einem Signalton signalisiert. Der Steigflug wird nicht akustisch signalisiert. Weiter nutzen viele Piloten auch ein GPS Gerät zur Positionsbestimmung.

Die Firma Flytec stellt seit über 30 Jahren unter anderem verschiedene Fluginstrumente für die Tuchfliegerei her.

In dieser Arbeit wird für die Fluginstrumentenserie „Connect 1“ eine Kompaktantennen entwickelt für das „Bluetooth Low Energie Network“ erarbeitet. Diese Bluetooth Verbindung wird Teil des „near pilot network“ sein. Das Bluetooth System wird im freien ISM 2.4 GHz Frequenzband arbeiten.

Zu erst wird die Ausgangslage aufgenommen. Sie beschreibt das bisherige Antennensystem. Weiter behandelt diese Arbeitet einen Teil der Theorie die für die Entwicklung von Kompaktantennen nötig ist. Diese ist wichtig um ein gutes Verständnis der anschliessenden Simulationen und Antennenmessungen zu erhalten. Die simulierten Antennen werden nach der Produktion ausgemessen. Die erhalten Resultate werden laufenden mit den erwarteten Antennenparameter aus der Theorie und den Simulation verglichen. Als Abschluss wird das weitere Vorgehen vorgeschlagen und ein Fazit der gesamten Arbeit gezogen.

**Aufbau der Arbeit**

Diese Bachelor Arbeit beschreibt den Design Prozess eines 2.4 GHz Kompakt Antennen Systems. Es beinhaltet die Studien von Kompakt Antennen sowie deren Abstrahlverhalten. Ein Vorprojekt, welches verschiedene mögliche Antennenkonzepte prüft. Aus diesem Vorprojekt wird das vielversprechendste Konzept ausgewählt und für den Einsatz in die Geräte Serie „Connect 1“ der Firma Flytec optimiert. Dieser Prozess ist von Simulationen und vom erstellen und Ausmessen von Funktionsmustern begleitet. Die Erkenntnisse aus den Messungen und den Vergleichen aus Theorie und Praxis werden im einem Fazit zusammengefasst und es soll das weitere Vorgehen für die Firma Flytec dokumentiert werden. Für diese Bachelorarbeit stehen 15 Wochen zur Verfügung. Diese Zeit wird in die folgenden vier Phasen eingeteilt:

Recherche- und Theoriephase

Designphase

Prototyping

Dokumentation des Engeneeringmodels

Die Arbeite ist in die folgenden Kapitel gegliedert.

Einleitung

Ausgangslage

Allgemeine Antennentheorie

Kompaktantennen

Entwurf eines Antennensystems

Simulation der Antenne

Funktionsmuster Herstellung

Abstrahlcharakteristik

Bewertung des Funktionsmuster

Fazit

**Ausgangslage**

Die Firma Flytec vernetzt Sensoren und Fluginstrumente drahtlos mit einem „near pilot network“. Ihre Fluginstrumente stellen für die Piloten von Tuchfliegeren ein grosse Hilfe dar. Die Navigation in der Luft stellte auch für erfahrene Piloten eine grosse Herausforderung dar. Für ein Fluginstrument der „Connect 1“ Serie soll eine integrierte Kompaktantenne für das ISM Band 2.4 GHz entworfen werden. Die Antenne wird von dem Bluetooth Low Energie Chip CC2541 der Firma Texas Instruments getrieben. In dem Gerät befinden sich mehrere Antennen die im selben Frequenzbereich arbeiten, die gegenseitige Koppelung ist gross und auch von der Wahl der Antennen sowie der Positionierung abhängig. Es soll eine möglichst optimale symmetrisch gespiesesnes Antennenkonzept erarbeitet werden.

**Fragestellung**

Durch das Einarbeiten in die Eigenschaften elektrisch kleiner Antennen soll das Wissen für das Design eines Funktionsmuster im 2.4 ISM Band arbeitenden Antennensystems erlangt werden. Das Design soll mit dem Empire XCcel Softwaretool simuliert. Iterativ soll eine symmetrisch gespiesene Kompaktantenne gefunden werden. Die Antenne soll an den komplexen Ausgangswiderstand des Bluetooth CC2541 Chip angepasst werden. Das simulierte Antennensystem soll gefertigt und ausgemessen werden. Die vorliegenden Antennenparameter sollen mit den simulierten Werten verglichen und bewertet werden. Ein Fazit soll den zukünftigen Einsatz in der „Connect 1“ darlegen.

**Technische Spezifikationen und Anforderungsliste**

Das Design des Antennensystem wird für einen Anwendungsfall im Freiraum dimensioniert. Die Distanz zwischen Sender und Empfänger soll 10 Meter betragen. Das Übertragungsmedium ist Luft kann aber idealisiert als Vakuum angenommen werden. Das System soll isotrop abstrahlen und der Gewinn der Empfangsantenne kann als 1 angenommen werden. Die Antenne soll symmetrisch gespiesen werden und im 2.4 GHz ISM Band arbeiten. Als Quelle dient ein Bluetooth Low Energie Texas Instruments CC2541 Chip mit 0dBm als Sendeleistung. Als Designkriterien wird eine S11 Dämpfung von 10 dB und eine Reserve von 6 dB dienen.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Nr. | Beschreibung der Anforderung | Wertebereich/Technologie | Anforderung |
| 001 | ISM Frequenzbereich | 2.4 GHz bis 2.5 GHz | f |
| 002 | Speisung der Antenne | symmetrisch | f |
| 003 | Reflexionskoeffizient der Antenne S11 | 10 dB | f |
| 003 | Funkdistanz, Arbeitsradius | 10m | f |
| 004 | Linkbudget Reserve | 6dB | f |
| 005 | Verbindung zwischen Quelle und Antenne | symmetrisch | w |
|  |  |  |  |

**Ziele der Arbeit**

Es soll ein Funktionsmuster für eine integrierte symmetrisch gespiesene Antenne für das ISM 2.4-2.5GHz Band hergestellt werden.

Auf der Basis der Theorie der elektrisch kleinen Antennen wird ein Entwurf für ein Antennensystem im 2.4 GHz Band designed. Der Entwurf wird simuliert und dokumentiert.

Ein Anpassnetzwerk muss für die komplexe Ausgangsimpedanz (70 +j30 Ohm bei 2.440 GHz) des Transsivers soll dimensioniert, simuliert, hergestellt und ausgemessen werden.

Der simulierte Entwurf des gesamten Antennensystems wird produziert und dient als Funktionsmuster. Das Abstrahlverhalten des Funktionmusters muss gemessen und dokumentiert werden.

Abweichungen zwischen der Simulation und den Messresultaten sollen dokumentiert und bewertet werden.

**Meilensteine**

Es werden die folgenden vier Meilensteine definiert. Die Meilensteine

beinhalten eine Sammlung von Aufgaben und haben einen

Fertigstellungstermin, sie markieren das Ende einer Projektphase. Sie

werden für das Projektcontrolling verwendet. Beim erreichen eines Meilensteins werden die Arbeiten bewertet und Beschlüsse über den weiteren Projektverlauf gefällt.

MS 1 Theorie und Recherchenphase abgeschlossen und zu 80% dokumentiert, ein Anforderungsdokument wurde erstellt

MS2 Zwischenpräsentation, vorstellen der ersten drei Antennenkonzepte

MS3 Design und Prototyping, Antennensystem simulieren, produzieren, messen und bewerten

MS4 Engeenieringmodel ist gefertigt und dokumentiert

Grundlagen der Empfangs und Sendetechnik

Die Antennenzuleitung und Antenne

Die Antennenzuleitung wird oft auch Speisung bezeichnet. Der Einspeisepunkt wird Fusspunkt der Antenne genannt. Der Fusspunkt der Antenne wird über die Zuleitung mit der Hochfrequenzquelle verbunden. Die Aufgabe einer Antenne ist es, den geführten Wellentyp einer Zuleitung umzuwandeln in einen Wellentyp, der im freien Raum, also ohne Leitungsstruktur, ausbreitungsfähig ist. Häufig vorkommende Wellentypen in der Antennenspeiseleitung sind die Zweidrahtwellen, die Koaxialwelle und die H10-Welle des Rechteckhohlleiters. In der Antenne findet eine Transformation der Feldstruktur und auch des Feldwellenwiederstand statt. Damit können wir zwei Hauptfunktionen festhalten:

Transformation des elektromagnetischen Wellentyps von der Speiseleitung in einen Freiraum-Wellentyp

Transformation des Wellenwiderstandes auf der Speiseleitung in den Wellenwiderastand ZF0 des freien Raumes

Antennentheorie

Was ist eine Antenne?

Bevor in die Antennentheorie und das Abstrahlverhalten von Antennen vertieft eingegangen wird, soll zuerst geklärt werden, was eine Antenne ist.

Wie eine elektromagnetische Welle abgestrahlt wird uns was die charakteristischen Eigenschaften von Antennen sind.

Was ist eine Antenne:

Eine Antenne ist ein Bauteil, welches in der Lage ist, elektromagnetische Felder abzustrahlen und gleichermassen zu empfangen. Elektromagnetische Felder entstehen immer wenn Ladungen beschleunigt und abgebremst werden.

• alle Leitungen die einen Wechselstrom führen strahlen

Da alle oszillierenden Ströme in einem Leiter strahlen, soll die Definition einer Antenne etwas eigeschränkt werden. Eine Antenne ist ein Bauteil, welches in der Lage ist, elektromagnetische Felder in der gewünschten Frequenz effizient und gerichtet und möglichst frei von Reflexion abzustrahlen.

Antennen ermöglichen das kontrollierte abstrahlen von elektrischer Energie in den Freienraum und wider zurück in die Leitung.

Quelle speisst die Antenne

Die elektrische Energie die auf eine Antenne trifft, stammt von einer Hochfrequenz Quelle. Diese hat einen symmetrisches oder asymmetrisches zwei Tor als Ausgang. Die Ausgangsimpedanz dieser Quellen kann komplex oder reell sein. Um möglichst wenig Energie zu verlieren muss der Übergang von der Quelle auf die Leitung angepasst sein, das heisst, der Übergang sollte keine Impedanz Sprünge aufweisen. Um dies zu erreichen werden Anpassnetzwerke zwischen Quelle und Leitung oder am Ende der Leitung beim Übergang zur Antenne eingesetzt. Die Leitergebunde Welle transportiert Energie von der Quelle zur Last. Oft verbindet ein Koaxialkabel, eine Zweidrahtleitung, ein Hohlleiter oder Leiterbahnen auf einem Print die Quelle mit der Last. Wenn die Last eine Antenne ist, so entspricht diese im besten Fall einem unendlichen wiederstand.

Die Leitungstheorie beschreibt wie sich eine Welle in einem Leiter fortpflanzt. Wenn eine Leitung als ideal und somit verlustlos betrachtet wird, so entsteht eine vorwärtslaufende Spannungswelle Uv und je nach Anpassung eine rückwärtslaufende Spannungswelle Ur, die sich an jeder Stelle in z Richtung der Leitung addieren lassen. Die positive z Koordinate beschreibt die Leitung von der Quelle zur Last. Der Strom im Leiter kenn genau wie die Spannung eine Vor- und Zurücklaufende Welle ausweissen. Der Strom kann an jedem Punkt auf der Leitung durch die Summation der Uv und Ur Welle geteilt durch den Leitungswiderstand des betrachteten Leitungsabschnitt gebildet werden. Wenn man sich die Leitung als eine unendliche Summe an unendlich dünnen Leiter Stücken vorstellt, so kann jeder einzelne Sektor einzel betrachtet und somit genau berechnet werden.

Stellt man sich eine Hochfrequente Quelle mit einer Zweidrahtleitung vor, die am Ende über keinen Abschlusswiderstand verfügt, so ist das eine offene Leitung. Werden die Enden der Leitung mit einer Länge von je /4 im 90 Grad Winkel von der Leitung abgewinkelt, so entsteht eine /2 Antenne. Denn die beiden /4 Elemente ergeben zusammen die halbe Wellenlänge. Diese Anordnung führt zu einem /2 Dipol mit symmetrischer Speisung.

Antennen Design Faktoren

Wenn eine Antenne die abgeschaltete Energie nicht in alle Richtungen gleichermassen abstrahlt, sondern gewisse Richtungen mit mehr und andere mit weniger Leistung versorgt, so spricht man von Strahlungsfeldern. Die in verschiedene Richtungen abgestrahlte Energie wird (antenna pattern) genannt.

Die total abgestrahlte Leitung verglichen mit der zugeführten Leitung ist ergibt die Abstrahleffizienz. Sie wird oft mit dem isotropen Kugelstrahler verglichen. Die Abstrahlcharakteristik ist ein oft genannter Design Faktor.

Neben der Abstrahlcharakteristik ist auch die Antennen Impedanz von Bedeutung. Das ist die Impedanz bestehend aus Rant und Xant der X Anteil kann induktiv oder kapazitiv sein, je nach Antenne. Die Anpassung am Fusspunkt der Antenne passt die komplexe Antennen Impedanz an der Impedanz der Transmission Line an. Allgemein besimmen die geometrischen Faktoren der Antenne die Abstrahlung, ist eine Funktion der Frequenz und der geometrischen Abmessungen der Antenne.

Die Grundlage jeglicher Abstrahlung von elektromagnetischen Feldern ist der Wechselstrom. Aus der Wechselstromlehre ist bekannt, dass ein sich änderndes elektrisches Feld in einem Leiter einen sich ändernden Strom hervorruft und dieser Strom ein Magnetfeld mit sich bringt. Weiter bewirkt jedes sich ändernde Magnet Feld eine Änderung des Elektrischen Feldes. Daraus wird klar, dass ein Elektrischesfeld ein Magnetfeld hervorruft und umgekehrt. Ohne das eine kann das andere nicht existieren. Das gilt in einer Leitung aber auch im freien Raum.

Die Maxwell Gleichungen zeigen diesen Zusammenhang mathematisch auf.

▽xH = dD/t

▽xE = dB/t

Die Geschwindigkeit mit der sich eine Elektromagnetische Welle im freien Raum oder in einer Leitung ausbreitet ist von den Materialeigenschaften des Mediums abhängig.

Im Vakuum gilt:

offene Leitung als Strahler

1 vp = √με

Um zu erkennen, dass eine Antenne in ihrer simplen Form als strahlendes Element wirkt, muss zuerst die Leitungstheorie verstanden sein. Wir gehen von einer Spannugnsquelle VG mit einer Quelleimpedanz ZG aus. Diese Quelle wird eine Leitung mit einem Abschlusswiderastand ZL verbunden. Die Quelle regt eine Spannungswelle in der Leitung an. Die Spannungswelle ist in eine vor und in eine rücklaufende Welle geteilt. Über das Ohmsche Gesetzt ist der Strom in der Leitung an jeder Stelle in Z Richtung definiert. Genauso wie die Spannungswelle einen Vor und einen Rückanteil besitzt, besitzt auch die Stromwelle eine vor- und rücklaufende Welle.

und

V(z)=V0∗e−β∗z +V0∗eβ∗z I(z) = V 0 ∗ e−β∗z − V 0 ∗ eβ∗z

Z0

Die Wechselspannungsquelle treibt die Transmision Line mit der Impedanz Z0.

Eine hypothetische verlustlose Antenne, die gleichmässig in alle Raumrichtungen abstrahlt beziehungsweise aus allen Richtungen empfängt, wird isotroper Strahler oder Kugelstrahler genannt. Als Sendeantenne erzeugt sie eine Kugelwelle mit sphärischen Phasenfronten. Im Abstand r gilt winkelunabhängig folgende Leistungsdicht:

S= PS 4π/r2

wobei PS die gesamt abgestrahlte Wirkleistung bezeichnet. Aus der Formel für die Leitungsdichte geht hervor, dass die Leistungsdichte mit dem Abstand im Quadrat abnimmt.

Antennen als Wellenwandler

Antennen erzeugen und empfangen elektromagnetische Wellen, die sich im freien ausbreiten. Im Sendefall wandelt die Antenne, die ihr zugeführte Leitung möglichst effizient in elektromagnetische Wechselfelder um. Im Empfangsfall nimmt die Antenne aus einem elektromagnetischen Wellenfeld Leistung auf und stellt sie über ihren Fusspunkt an einer Transmissionen Line zur Verfügung.

Eine leitergeführte Welle wird an ein Eingangstor (Tor 1) geführt. Das Tor 1 stellt den Fusspunkt und somit der Anschlusspunkt einer Antenne dar. Die leitergeführte Welle wird am Tor 1 idealerweise reflexionsfrei aufgenommen. Von der am Fusspunkt eintreffenden Welle wird die Antenne angeregt und erzeugt ein Wechselfeld. Dabei agiert die Antenne als Wandler der leitergeführten Welle in eine Freiraumwelle. Die Freiraumwelle führt Leistung von der Antenne fort. Der Reaktive Teil pendelt zwischen dem Nahfeld und der Antenne hin und her. Mit wachsendem Abstand erscheinen die Freiraumwellen als Ebenen. Dabei spricht man vom Fernfeld sobald der Phasenfehler keiner als ein 1/8 ist. Als Näherung ist das Fernfeld erreicht wenn der betrachtungspunkt mehr als 2 Wellenlängen von der Antenne entfernt ist.

Antennen besitzen eine Dualität, das bedeutet ein Element welches gute abstrahlende Eigenschaften aufweisst, besitzt ebenso gute Eigenschaften als Empfänger für elektromagnetische Wellen.

Nahfeld und Fernfeld

Bei der Beschreibung der elektromagnetischen Wellenfelder um eine Antenne, ist die Distanz zur Antenne von grosser Bedeutung. Es macht einen grossen Unterschied ob man die Feldverteilung im unmittelbaren Umfeld der Antenne (dem Nahfeld) oder den Beobachtungspunkt in einer grossen Entfernung (dem Fernfeld) ansetzt. Im Fernfeld steht das Elektrische E Feld und das Magnetische H Feld senkrecht im 90 Grad Winkel aufeinander. Die Wellenfront der beiden Felder bewegt sich in Ausbreitungsrichtung wie eine senkrechte Ebene vorwärts. Das E und H Feld sind in Phase. Es wird als Leistung radial weg von der Antenne transportiert.

Die Feldverteilung des elektromagnetischen Wechselfeld kennt drei markante Zonen:

• Reaktives Nahfeld

• Strahlendes Nahfeld

• Fernfeld

Der Übergang vom Nahfeld zum Fernfeld einer Antenne ist fliessend, es können keine klaren Abgrenzungen gezogen werden. Das Nahfeld zeichnet sich anders als das Fernfeld durch seine stark reaktiven Feldanteile aus. Im reaktiven Nahfeld pendelt die elektrische und magnetische Energie zwischen der Antenne und dem Freiraum hin und her. Man spricht davon, dass die reaktive Feldenergie rund um die Antenne gespeichert wird.

Im Fernfeld dominiert radial orientierte Leistungstransport. Eine elektromagnetische Welle die sich einmal von der Antenne abgelöst hat, breitet sich solange fort, bis ihre gesamte Energie absorbiert ist.

Historisch gesehen haben sich bei der analytischen Betrachtung von Strahlungsproblemen unterschiedliche Näherungen (Fresnel Näherung und die Fruenhofer Näherung) bewährt. Hieraus haben sich Formel für den Abstand den man zur Antenne einnehmen muss, wenn man mit den für das Fernfeld definierten Antennenkenngrössen arbeiten will.

Die beiden Näherungenen beschreiben den maximalen Phasenfehler. Der Phasenfehler entsteht durch die sphärische Welle auf eine Linienantenne trifft. Die Näherung besagt, dass von im Fernfeld von einener ebenen Wellenfront ausgegangen wird, dies ist erreicht wenn der Phasenfehler kleiner als 1/8 ist. Daraus ergibt sich den Ferfeldabstand. Der Fernfeldabstand hängt von der verwendeten Wellenlängen λ und den geometrischen Abmessungen der Antenne ab. Die Näherung für das Fernfeld für elektrisch kurze Antenne treten ab mindestens einem Abstand von r0 ein.

r0 = 2 ∗ λ

Bei Antennen deren grösste Antennenabmessungen grösser als die Wellenlänge λ sind, treten die Fernfeldbedingungen erst bei grösseren Abständen ein.

r0 = 2D2/λ

Mit:

d0: Minimale Distanz für die Annahme des Fernfeld Kriterium

D: Grösstes des Antennenmass in Meter

λ: Wellenlänge

Das Fernfeld

r → ∞ einer Antenne hat folgende Eigenschaften:

• Die Beiträge der Feldgrössen E und H sind reziprok zum Abstand r

• Die Amplituden der Feldgrössen E und H sind in Phase und 90° versetzt zueinander

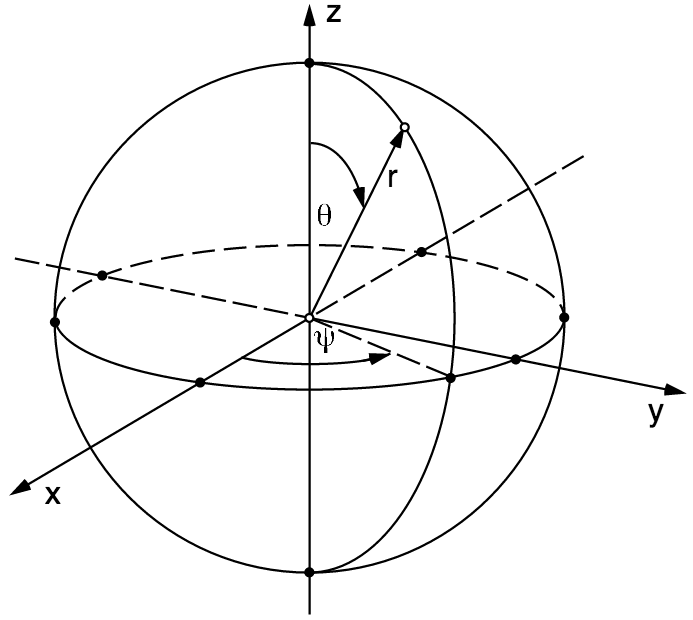
• Der Feldwellenwiderstand ZF0 verknüpft die Feldgrössen: E = ZF0 ∗ H

Kenngrössen von Antennen

Die wichtigsten elektromagnetischen Eigenschaften von Antennen für den Einsatz in Funksystemen lassen sich durch eine Reihe von Kenngrössen beschreiben. Um diese Kenngrössen und ihre Berechnung besser zu veranschaulichen werden sie anhand des Hertzschen Dipol angewendet. Der Hertzsche Dipol ist im Kapitel xxx beschrieben.

Richtdiagramm

Im Fernfeld nimmt die Krümmung der sphärischen Phasenfront einer Kugel immer mehr ab. Für r gegen unendlich kann die Kugelwelle lokal durch eine homogene ebene Wellenfron angenähert werden. Die transversalen Feldkomponenten werden phasengleich, folglich wird nur in radialer Richtung Wirkleistung transportiert. Der Richtwirkung im Raum kommt eine grosse Bedeutung zu. Von ihr hängt es ab, welcher Anteil der gesamten ausgestrahlten Leitung effektiv für den eigentlichen Verwendungszweck genutzt wird. Je nach Verwendungszweck des Antennensystems ist eine bestimmte Feldverteilung über den Raum verlangt. Die Verteilung der Strahlung in verschieden Raumrichtungen liefert die Verteilung der Feldstärke in Abhängigkeit des Raumwinkels einer Antenne. Der Raumwinkel wird in Kugelkoordinaten mit den Angaben über theta und phi angegeben. Der Winkel theta gibt die Abweichung von der Z Achse an, während der Winkel phi einen Winkel in der xy Ebene angibt. Phi kennt daher Werte von 0 bis 2Pi. Während theta meist in Werte zwischen 0 und +- Pi angegeben wird. Die Länge r gibt die Distanz zum Koordinatenursprung an. Eine Aussage über die Richtcharakteristik wird oft im Fernfeld gemacht.



Die Richtcharakteristik eines hypothetischen Kugelstrahlers ist 1, das heisst die abgestrahlte Leitung ist unabhängig von theta oder phi. Dieses Verhalten wird als kugelförmige oder isotrope Abstrahlung genannt.  
Die Richtcharakteristik des Elektrischen Feld eines in z Koordinate ausgerichteten Hertzschen Dipols ist sin(θ). In polarkoordinaten ergibt das einen doppelten Kreis. Die maximale Richtwirkung des E Feld lieg in der xz Ebene bei einem theta Winkel von 90 Grad. Das ist naheliegend, denn bei 90 Grad ist der sinus 1.

Anstelle von aufwendigen dreidimensionalen Richtdiagrammen kommen zweidimensionale Schnitte durch den Antennenmittelpunkt als Phasenzentrum zum Einsatz. Oft wird das

vertikale Richtdiagramm mit theat von 0 bis pi und phi= 0 Grad, das entspricht einem Schnitt in der xz Ebene und das horizontale Richtdiagramm mit theat = pi/2 und phi von +- pi angegeben, das entspricht einem Schnitt durch die xy Ebene. Lässt man den doppel Kreis, der das E Feld des Hertzschen Dipol um phi rotieren, so tritt das 3D

E Fled als Torus hervor.

Ein Mass für den Grad der Energiebündelung bei Richtantennen ist die Breite der Strahlungskeule. Sie wird ausgedrückt durch die vertikalen und horizontalen delta θ und delta φ Winkeln der Hauptkeulen. Das ist der Winkelbereich, innerhalb dessen die Strahlungsdichte um nicht mehr als die Hälfte der maximalen Strahlungsdichte absinkt. Das bedeutet, die Strahlungsdichte sink um 3dB ab. Die Feldstärke fällt in diesem Bereich höchstens um 70.7 Prozent ihres Maximalwertes der Hauptstrahlungsrichtung ab.

Richtfaktor und Gewinn

Der Antennengewinn wird hier anhand einer Sendeantenne behandelt, die Funktionsweise kann für Empfangsantennen übernommen werden. Praktisch ausgeführte Antennen

strahlen ihre Energie in bestimmte Raumrichtungen bevorzugt ab. Sie besitzen

eine Richtwirkung. Diese Eigenschaft wird durch den Richtfaktor (directivity) und den Antennengewinn beschrieben. Zu seiner Definition benötigt man

neben der eigentlichen Antenne eine Bezugsantenne. Die Bezugsantenne dient als Vergleichsgrösse. Verglichen wird in der Regel mit einem fiktiven Kugelstrahler, auch isotroper Strahler genannt, der in alle Raumrichtungen gleichmässig abstrahlt, jedoch praktisch nicht verwirklicht werden kann. Die abgestrahlte Leistung

PS verteilt sich im Abstand r auf einer Kugelfläche 4r2. Die Leistungsdichte

Si des isotropen Kugelstrahlers beträgt in diesem Abstand daher Si= PS/4r2

Der Index i weist auf den isotropen Strahler als Bezugsantenne hin.

Anstelle des Kugelstrahlers wird jetzt die zu untersuchende Antenne an denselben Ort gebracht und mit derselben Leistung PS gespeist.

Der Richtfaktor Di ist definiert als das Verhältnis der maximalen Leistungsdichte Srmax

der Antenne zur Leistungsdichte der Bezugsantenne, in diesem Fall des

Kugelstrahlers.

Im Fernfeld gilt:

Di=Srmax/Si=4pir2\*Srmax/Ps

Der Richtfaktor wird oft logarithmisch angegeben:

Di=10logDi die Einheit entspricht somit dBi.

Der Richtfaktor einer Antenne ist vollständig durch deren Strahlungsfeld, das heisst

durch ihre Richtcharakteristik beschrieben. Der Richtfaktor ist ein Mass für die Eigenschaft der Antenne, Energie vorzugsweise in eine Richtung abzustrahlen, beziehungsweise nur aus einer Richtung zu empfangen.

Der Gewinn G einer Antenne ist aus dem Verhältnis der dem Kugelstrahler zugeführten Leistung PKS zur Leistung PS, die der Antenne zugeführt wird, bestimmbar, wenn beide Leistungen so eingestellt wurden, dass in gleicher Entfernung im Fernfeld Srmax=Si wird. Der Zusammenhang zwischen G und D ist durch den Antennenwirkungsgrad n mit 0<n<1 gegeben:

G=n\*D

Bei verlustlosen Antennen sind Gewinn und Richtfaktor identisch, da n gleich 1 entspricht. Der messtechnisch ermittelte Antennengewinn G wird in der Praxis häufiger als der Richtfaktor D verwendet. Dies liegt in der Tatsache, dass der rechnerisch ermittelte Richtfaktor für verlustlose Antennen definiert ist, was bei verlustbehafteten Antennen zu Fehlbeurteilung der Antenne führen kann.

Der Gewinn G einer Antenne nichts mit Verstärkung zu tun hat. Es handelt sich um ein Verhältnismass, das die Leistungsdichte der Antenne in einer bestimmten Richtung mit der Leistungsdichte eines isotropen Strahlers vergleicht, der mit derselben Leistung gespeist wird. Die Leistung, welche von der Antenne in einer Richtung durch Bündelung vermehrt abgestrahlt wird, wird der Abstrahlung in andere Richtungen entzogen.

Wegen der Dualität hängt der Gewinn einer Antenne nicht davon ab, ob sie als Sende- oder als Empfangsantenne betrieben wird.

elementarer Antennen Dipole

Es gibt zwei elementare Dipole. Der eine stellt eine E Feld Antenne dar, der andere eine H Feld Antenne. Die beiden elementaren Dipole lassen sich nicht praktisch Fertigen, sie dienen nur für theoretische Überlegungen.

Hertzscher Dipol

Ein elektrisch kurzer Linearstrahler kann als konzentriertes Bauelement betrachte werden. Auf seiner gesamten Länge kann die komplexe Amplitude I eine räumlich konstante Stromverteilung, die zeitlich sinusförmig schwingt, annehmen.

Ist ein Hertzscher Dipol unendlich dünn und in einem xyz Koordinatensystem in die z Richtung ausgerichtet so gilt:

Es bildet sich ein E Feld von dem positiven Ladungspunkt zum negativen Ladungspunkt. Die Potentiale der Ladungspunkte oszillieren. Die Ausrichtung der E Feldlinien wechselt bei jeder Schwingung ihre Richtung. Im Nahfeld dominiert das E Feld. Mit Wachsendem Abstand sind das E Feld und das H Feld senkrecht aufeinander und können als ebene Welle betrachtet werden. Die allgemeine Formel für die Feldverteilung laut:

Formel:

Mit wachsendem Abstand können einige Terme vernachlässigt werden. Alle Terme in denen den Abstand R in höherer Potenz vorkommt werden vereinfacht zu Null. Für das Fernfeld ergeben sich die folgenden Beschreibungen:

Formel:

Fitzgeraldscher Dipol

Eine unendlich dünne Leiterschleife die auf der ganzen Länge die selbe Stromverteilung besitz wird Fitzgeraldscher Dipol genannt. Dieser Dipol ist das Gegenstück zum Hertzschen Dipol und stellt somit den zweiten der beiden elementaren Dipole dar. Die Leiterschleife ist oft in der xy Ebene angeordnet. Wenn der Hertzschen Dipol eine E Feld Antenne genannt wird so ist der Fitzgeraldsche Dipol eine H Feld Antenne. Das Nahfeld des Fitzgeraldschen Dipols wird wie folgt beschrieben:

Formel:

Die Terme mit R in der zweiten oder dritten Potenz fallen weg. Da im Fernfeld der Radius R so gross ist, dass diese Terme vernachlässig werden.

Das Fernfeld kann wie folgt beschrieben werden:

Formel:

Die beiden elementaren Dipole können nicht technisch realisiert werden, aber sie sind sehr wichtig für das Verhalten von realen Antennen. Denn wenn reale Antennen vereinfacht werden oder wenn sehr kleine Teilstücke von realen Antennen betrachtet werden, so verhalten sie sich oft wie die elementaren Dipole.

Antennenbauformen

symmetrisch gespiesene Antennen

Es gibt zwei Grundantennenformen, den Hertzschen Dipol und den Fitzgeradscher Dipol. Beide sind symmetrisch gespiesene Antennen. Im Nahfeld des Hertzschen Dipols überwiegt das E Feld also der kapazitive Anteil, während im Nahfeld des Fitzgeraldschen Dipols das H Feld also der induktive Anteil überwiegt. Im Fernfeld sind bei beiden Antennen das H und E Feld gleich stark und nehmen mit zunehmendem Abstand 1/r ab.

Die Ausrichtung des E und H Feld sind bei den beiden Antennen verschieden.

Das E Feld eines Hertzschen Dipols ist im Fernfeld gleich polarisiert wie der Dipol.

Genau umgekehrt ist das Feld des Fitzgeraldschen Dipols. Das H Feld ist in der selben Ebene wie der Dipol.

Praktisch realisierbar ist keine der beiden Antennengrundformen. Sie beruhen auf annahmen die nicht umsetzbar sind. Beide gehen davon aus, dass die Antennenleiter unendlich dünn sind oder dass an jeder Stelle des Leiters die selbe Stromdichte herrscht. Das sind Eigenschaften die wir in Realität nicht vorfinden.

Wenn einige Näherungen und Vereinfachung zugelassen werden, so erhält man die grundlegenden Eigenschaften der elementaren Dipole.

Die Dipol Antenne

Die λ/2 Dipol Antenne ist eine der am Meisten eingesetzten Antennen. In diesem Abschnitt wird die Dipolantenne mit einer sehr dünnen Radius deren Länge einer halben Wellenlänge entspricht betrachtet.

Bei einem Dipol mit der Länge L = λ/2 bildet sich einen Strombauch über dem Einspeisepunkt aus und der Strom zu den Enden geht gegen null. Die Spannungsverteilung ist umgekehrt, an den Enden eine hohe Spannung und am Einspeisepunkte geht die Spannung gegen Null.

Ein Dipol mit der Länge L = λ bilden zwei Strombauche über die ganze Länge des Dipols aus. Beim Einspeise Punkt und den beiden Enden geht der Strom gegen null. Inder Mitte der Beiden Antennenteile kommt es zu einem Strom Maximum.

Wichtig bei der Stromverteilung ist, dass der Strom in der Zeit sinusförmig mit der Frequenz f oszilliert. Für die Spannung kann davon ausgegangen werden, dass wo der Strom ein Maximum aufzeigt die Spannung ein Minimum besitzt und umgekehrt.

Die Eingangsimpedanz eines Dipols ist Abhängigkeit von seiner Länge. Man beachte, dass die Eingangsimpedanz oft komplex als Z = R + jX beschrieben ist, wobei R den Ohmschenwiderstand und X die Reaktanz angibt. Die Reaktanz X ist steht für die im Nahfeld gespeicherte Feldenergie.

Man beachte, dass für sehr kleine Dipolantennen, die Eingangsimpedanz kapazitiv ist, das heisst, die Impedanz durch eine negative Reaktanz-Wert (und eine relativ kleine reale Impedanz oder Widerstand) dominiert. Wird der Dipol länger, so erhöht sich der Eingangswiderstand, zusammen mit der Reaktanz. Bei etwas weniger als L = λ hat die Antenne Nulldurchgang des Imaginärteils.

Wenn die Länge der Dipol-Antenne nahe der Wellenlänge ist, wird die Eingangsimpedanz unendlich. Als einfachere Erklärung, kann der Stromverteilung einer L = λ langen Antenne betrachtet werden.

Bei der Einspeisestelle geht der Strom gegen Null. Unter Berücksichtigung, dass der Strom nach dem Ohmschen Gesetz I = U/R ist, so ist naheliegen, dass der Widerstand R gegen unendlich gehen muss.

Das Strahlungsmuster einer Dipol-Antennen. Strahlungsdiagramme für die Dipol-Antennen

Die Felder einer Dipolantenne der Länge L/2 sind gegeben durch:

jηI0e−jkr cos(kLcos(θ))−cos(kL)) Eθ= 2 2

2πr

Die normierten Strahlungsmuster für Dipolantennen verschiedener Längen sind in Abbildung 3 dargestellt. Abbildung 3. normalisierte Strahlungsmuster für die Dipol-Antennen der angegebenen Länge.

Die Full-Wellenlängen-Dipol-Antenne ist richtungs als die kürzere Viertelwellenlängen-Dipol-Antenne. Dies

ist ein typisches Ergebnis der Antennentheorie: es dauert eine grössere Antenne allgemein Richt erhöhen. , Die Ergebnisse sind jedoch nicht immer offensichtlich. Das 1,5-Wellenlängen-Dipol-Muster ist ebenfalls in Figur 3. Anmerkung aufgetragen dass dieses Muster ein Maximum bei etwa +45 und -45 Grad.

Die Dipolantenne ist symmetrisch, wenn azimutal angesehen (um die lange Achse des Dipols); als Ergebnis das Strahlungsmuster nicht eine Funktion des Azimutwinkels. Damit ist die Dipolantenne ein Beispiel einer Rundstrahlantenne. Ferner hat das E-Feld nur eine Vektorkomponente und damit die Felder linear polarisiert. Wenn sie in der XY-Ebene betrachtet wird (für einen Dipol entlang der z-Achse orientiert ist), wird die E-Feld in der -y-Richtung, und folglich wird die Dipolantenne ist vertikal polarisiert.

Das 3D-Motiv für das 1-Wellenlängen-Dipol-Antenne ist in 4 gezeigt Dieses Muster ist ähnlich dem Muster für die Viertel- und Halbwellen-Dipolantenne.

Abbildung 4. Normalized 3d Strahlungsmuster für die 1-Wellenlängen-Dipol-Antenne.

Die 3D-Strahlungsmuster für die 1.5-Wellenlängen-Dipol-Antenne unterscheidet sich signifikant und wird in 5 gezeigt.

Abbildung 5. Normalized 3d Strahlungsmuster für die 1,5-Wellenlängen-Dipol-Antenne. Das (peak) Richt- charakteristik der Dipolantenne variiert, wie in Figur 6 gezeigt.

Abbildung 6. Dipole Antenna Richtwirkung als eine Funktion der Dipollänge.

Abbildung 6 zeigt, dass bis zu etwa L = 1,25 Die Richt steigt mit der Länge. , Für grössere Längen die Richtwirkung hat jedoch einen Aufwärtstrend ist aber nicht mehr monoton.

Im nächsten Abschnitt werden wir am häufigsten Dipol-Antenne, die Halbwellen-Dipol-Antenne suchen.

• Fusspunkt Impedanz

• Feldausbreitung im Nahfeld

• Feldausbreitung im Fernfeld

• Im Nahfeld relevant

• Richtcharakteristik

Loop Antenne

Die Loop Antenne ist eine symmetrisch gespiesene Antenne. Eine Loop Antenne ist einem Fitzgeralschen Dipol nach empfunden. Die Loop Antenne wird durch eine dünne Leiterschleife mit einem Radius r = bla dargestellt. bla

Im Nahfeld der Loop Antenne dominiert der xx Anteil. Das E Felde ist in der Ebene der Leiterschleife. Das H Feld erscheint 90◦Winkel zum E Feld.

Abstrahlcharakteristik

Monopol über leitendem Ground

In der Praxis werden Monopolantennen über Masseflächen mit endlicher Leitfähigkeit und endlicher Grösse verwendet. Dies beeinflusst die Eigenschaften der Monopolantennen, insbesondere das Strahlungsmuster.

Die Impedanz der Monopolantenne wird minimal über einem endlichen grossen Massebene verändert. Voraussetzung hierfür ist, dass die Massebene im Durchmesser über einige Wellenlängen der Abstrahlfrequenz besitzt. Jedoch ist die Strahlungscharakteristik der Monopolantenne stark durch eine endliche Grösse Massebene beeinflusst. Das resultierende Strahlungsdiagramm strahlt in einer schrägen Richtung, weg von der horizontalen Ebene.

Ein Beispiel für das Strahlungsmuster für eine λ Monopolantenne mit einem Durchmesser der Massenfläche von 3- 4

Wellenlängen. Die λ Monopolantenn ist in der positiven z Richtung ausgerichtet.

Das resultierende Strahlungsmuster für diese Monopolantenne ist omnidirektionalen. Jedoch hat die Richtung der maximalen Strahlung von der xy-Ebene in einem Winkel von dieser Ebene angehoben verändert. Im Allgemeinen gilt je grösser Grundplatte ist, desto niedriger ist diese Richtung der maximalen Strahlung. Das bedeutet wenn die Grundebene sich gegen unendlich nähert, so liegt die maximale Strahlung in der xy-Ebene.

Der Antennengewinn ist um 3 dB besser als eine Dipol Antenne. Da die Monopolantenne ihr Feld nur über dem perfekt leitendem Untergrund aufbaut.

Sende Quelle

Als Quelle oder englisch Source bezeichnet man einen Ursprungspunk. In der Übertagungstechnik ist die Quelle der Ursprungspunkt des Signals. Sie liefert die Signalleistung und speisst das Antennensystem.

Bluetooth Chip CC2541

Der Bluetooth Low Energy Chip von Texas Instruments speist das Antennensystem mit einem Signal bei fo = 2.45 GHz. Der Ausgang des Chip ist symmetrisch und besitzt eine Impedanz von 70 +j30 Ohm. Das bedeutet der Ausgang ist ohmisch induktiv.

Absorption und Schirmung von elektromagnetischen Wellen

Metallische Leiter absorbieren elektromagnetische Wellen. Im allgemeinen werden elektrmagnetische Wechselfelder von jeder Art von elektrischen Leitern absorbiert. Im Gehäuse des neuen Fluginstrumentes sind viele verschiedene metallische Leiter vorhanden. Die Hauptplatine, das Touch Display und der Akku, absorbieren einen grossen Teil des Elektrischen Felds. Die Hauptplatine ist eine für die Antennen eine grosse Massefläche. Auch das Display muss als eine grosse Absorptionsfläche betrachtet werden. Ebenfalls absorbierend wirkt das ABS Kunststoff Gehäuse auf die abzustrahlende Energie. Da sich alle diese Teile, ob elektrische leitenden oder nicht, im Nahfeld befinden, müssen diese in der Auslegung der Antenne berücksichtig werden. Dipol- oder Monopolantennen sind typische Quellen für E-Felder. Die E-Felder führen in elektrischen Leitern zu einem Potentialdifferenz, diese führt zu einer Ladungsaustausch, es kommt zu einem Stromfluss und somit zu einer starken Absorption von Energie. In nicht leitenenden Materialien führen die Wechselfelder zu dielektrischen Umladungsverlusten. Bei der Antennenentwicklung muss ein besonderes Augenmerk auf die, sich im Nahfeld befindenden Bauteile gelegt werden.

Absorption von statischen bzw. quasistatischen Magnetfeldern

können mit hochpermeablen Werkstoffen wie Mu-Metall abgeschirmt werden.

Mu-Metall, eine weichmagnetische Eisen-Nickel-Legierung.

Materialien mit hoher Permeabilität haben einen niedrigen magnetischen

Widerstand (R\_m=l\_m/(\_0\*\_r\*A)), daher konzentriert sich fast

der gesamte magnetische Fluss im Mu-Metall. Diese Materialien kommen aber selten in Kompaktgeräten vor, die Absorption von Magnetfelder muss aber trotzdem ein Augenmerk bei der Entwicklung geschenkt werden.