

Bachelor Diplomarbeit FS12 “2.45 GHz Antenne”

HSLU-Abteilung Elektrotechnik-Patrick Boschung

1. Juni 2012

Patrick Boschung
Altsagenring 9
6048 Horw
patrick.boschung@stud.hslu.ch
patrickboschung@hotmail.com

Dozent: Prof. Dr. Marcel Joss
Experte: Hr. Werner Scheidegger
Industriepartner: Hr. Erich Lerch; Flytec AG; Ebenastrasse 18; 6048 Horw

Selbstständigkeitserklärung

„Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig angefertigt und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel verwendet habe. Sämtliche verwendeten Textausschnitte, Zitate oder Inhalte anderer Verfasser wurden ausdrücklich als solche gekennzeichnet.“

Horw, Datum, _____ Unterschrift _____

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	8
2	Aufgabenstellung und Ziel	9
2.1	Ziel der Firma Flytec AG	9
2.2	Aufgabenstellung	9
3	Ist Analyse	10
3.1	Der Transceiver und das Nordic Anpassnetzwerk	10
3.1.1	Das Transceiver Netzwerk	10
3.1.2	Die Impedanz mit Matlab berechnen	11
3.1.3	Die Balun Funktion mit Microwave-Office simulieren	11
3.1.4	Die Sendeleistung des Nordic Netzwerks messen	13
3.2	Die Stabantenne	14
3.2.1	Der Montageort der Antenne	14
3.3	Die Abstrahlcharakteristik	14
3.3.1	Der Messplatz	15
3.3.2	Das Messgerät	16
3.3.3	Berechnungsmodelle als Vergleich zur Messung	16
3.3.4	Messung der Abstrahlcharakteristik des Variometers	19
4	Systemschwachstellen	20
4.1	Das Nordic Netzwerk	20
4.2	Die Antenne im Variometer	20
4.3	Der Einfluss einer Batterie	20
4.4	Der Mensch aus Wasser	20
4.4.1	Berechnung Wasser	20
4.4.2	Bluetooth Test	21
4.4.3	Messung mit Kommilitone	21
5	Verbesserungsvorschläge	22
5.1	Nordic Anpassungsnetzwerk belassen	22
5.2	Neues Anpassungsnetzwerk	22
5.2.1	Die Fusspunktimpedanz einer Dipolantenne bestimmen	22
5.2.2	Anpassnetzwerk Vorschlag mit diskreten Bauelementen	23
5.2.3	Anpassnetzwerk Vorschlag mit Mikrostreifen	23
5.3	Antenne	26
5.3.1	Der Versatz der Antenne mit einem 75 Ω Koaxialkabel	26
5.3.2	Simulationen von Dipolantennen mit 4nec2	26
5.3.3	Antennenwahl	27
5.4	Auswertung des neuen Flylink Prints mit der Dipolantenne	27
5.4.1	Bestückung und Montage	28
5.4.2	Qualitative RX Messung	28
5.4.3	Die Sendeleistung des Mikrostreifen Netzwerks messen	29

5.4.4	Messung der Abstrahlcharakteristik des verbesserten Variometers	29
5.5	Netzwerkfähige Transceiver	30
6	Projekt Fazit	31
6.1	Aktueller Stand der Arbeit	31
6.2	Mögliche Erweiterungen	32
6.3	Leasson Learned	32
A	Anhang	34
A.1	Aufgabenstellung	34
A.2	Matlabberechnung Impedanz	37
A.3	Matlabberechnung Bodenreflexion	39
A.4	Anpassungsnetzwerk mit Mikrostreifen	42

Abbildungsverzeichnis

1	Motorisierter Gleitschirmpilot	9
2	Layout Vorgabe (L) und Umsetzung (R)	10
3	Nordic Netzwerkschema	11
4	Nordic Netzwerk Simulation	12
5	Netzwerk Elemente und Leitungen Simulation	13
6	Messaufbau Leistungsmessung Nordic Netzwerk	13
7	Leistungsmessung	14
8	Variometer Antenne	14
9	Messplatz	15
10	Bodenunebenheit	15
11	Bodenreflexionsmodell	17
12	Messaufbau LFS	17
13	Stabantennencharakter	18
14	LFS Messung	18
15	Messaufbau Stabantenne	19
16	Abstrahlcharakter Stabantenne	19
17	Einbau einer Stabantenne	22
18	Stabantennenmessung mit VNA	23
19	Schema und Layout des Mikrostreifen Anpassnetzwerkes	24
20	Smith Chart S11 und S22	25
21	Flylink mit Mikrostreifen Netzwerk und Antenne	25
22	Zwei Dipolantennen	27
23	Dipolantenne unsymmetrisch	27
24	Variometer mit Antenne (L), Flylink Print mit Antenne (R)	28
25	Messaufbau Leistungsmessung Mikrostreifen Netzwerk	29
26	Messaufbau Dipolantenne	29
27	Abstrahlcharakter Dipolantenne	30
28	Netzwerkmodell	30
29	Gegenüberstellung	31

Abkürzungs- und Fremdwörterverzeichnis

VNA	Vektor Netzwerk Analysator
SA	Spektrum Analysator
TX	Sendemodus
RX	Empfangsmodus
dB	Dezibel
dBm	Milli dB auf Leistung bezogen
dBi	dB isotrop auf Antennengewinn bezogen
S11	Reflexionsfaktor
S21	Übertragungsfaktor
HF	Hochfrequenzen
MWO	Microwave-Office von AWR
Prx	Empfangsleistung
Ptx	Sendeleistung
DC	Gleichstrom
Balun	Balanced-Unbalanced
L,M,R	Links, Mitte, Rechts
ISM	industrial, scientific and medical radio band, Lizenzfreies Band
Load	Elektrische Last
LFS	Loss Free Space, Freiraummodell
HSLU	Hochschule Luzern
SMD	Surface-mounted device
INKT	Modul Informations- und Kommunikationstechnik
EMF	Modul Mikrowellentechnik

Zusammenfassung

The main subject of the project "2.45 GHz Antenna" is to link some different wireless devices together. Around a paraglider pilot are some devices like an ear stick, a variometer and a motor data sensor. All of them should be able to communicate with each other. The wireless communication is already built in, but doesn't work well. This project is about analyzing the existing communication and try to improve the wireless communication.

There is a matching network and an antenna in the rear. The discrete matching network is refactored by a microstrip matching network. Also the stab antenna in the rear is replaced by a dipole antenna in the front of the device. Measurements of the new matching network with the dipole antenna, shows that the microstrip matching network with the new antenna gets 6 dB more signal at the receiver.

1 Einleitung

Dieses Forschungsprojekt, im Bereich Elektrotechnik, bearbeitet eine kabellose Datenübertragung im lizenzfreien ISM-Band zwischen 2.4 bis 2.5 GHz. Um einen Gleitschirmpiloten wird ein Netzwerk von kommunikationsfähigen, kabellosen Geräten aufgebaut. Da gelegentlich Verbindungsprobleme bestehen, wird das verwendete Kommunikationskonzept mit einem Transceiver der Firma Nordic und einer Stabantenne in einem Variometer grundlegend untersucht.

Ziel der Arbeit ist es, die aktuelle Situation darzulegen, mögliche Fehlerquellen zu nennen und konkrete Verbesserungsvorschläge zum Layout zu geben.

Die Arbeit beginnt mit der Erfassung der Aufgabenstellung, geht zur Ist-Analyse, gefolgt von der Problembenennung und endet mit Lösungsvorschlägen für das Anpassungsnetzwerk mit der Antenne.

Die Ist Analyse wird mit Simulationen, Berechnungen, verschiedenen Messungen mit dem SA Spektrum Analysator und einem Leistungsmessgerät durchgeführt.

Das Hauptaugenmerk wird auf das Anpassungsnetzwerk gelegt. Es wird vermutet, dass das Anpassungsnetzwerk starke Dämpfung verursacht. Als persönliches Ziel habe ich mir gesetzt, die Anpassung, falls nötig, mit kostengünstigen Mikrostreifen zu realisieren und die Abstrahlcharakteristik zu optimieren.

Als Quellen dienten hauptsächlich das Skript Information- und Kommunikationstechnik, die Foliensammlung Mikrowellentechnik, sowie die Datenblätter und das Internet.

2 Aufgabenstellung und Ziel

In diesem Kapitel wird die Aufgabenstellung der HSLU Hochschule Luzern und dem Industriepartner Flytec AG detailliert zusammengefasst.

2.1 Ziel der Firma Flytec AG

Ziel der Firma Flytec AG ist es, ein kabelloses Netzwerk um einen Gleitschirmpiloten aufzubauen. In Abbildung 1 ist ein solcher motorisierter Gleitschirmpilot schematisch gezeichnet. Die roten Punkte symbolisieren Orte am Piloten, wo sich Geräte befinden werden, die an das Funknetzwerk angeschlossen werden. Ein Ohr Stück für akustische Signalgebung des Variometers, ein Motorbeschleunigungshebel, ein Gerät für die Kommunikation mit dem Motor und das Anzeigegerät, der Variometer. Dies sind die Hauptkomponenten des Funknetzwerkes. Diese Geräte sollen untereinander möglichst fehlerfrei und kabellos kommunizieren können. Das gesamte Netzwerk hat einen Durchmesser von etwas mehr als einem Meter. Relevant dabei ist, dass sich im Nah Feld ein Mensch befindet.

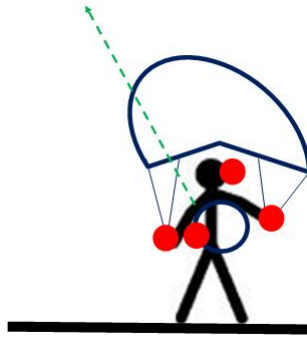


Abbildung 1: Motorisierter Gleitschirmpilot

2.2 Aufgabenstellung

Anhand eines netzwerkfähigen Variometers der Firma Flytec AG soll ein Messbericht zum bestehenden System erarbeitet werden. Die vorhandenen Schwachstellen sowie Verbesserungspotentiale sollen analysiert und dokumentiert werden. Es sollen Empfehlungen für den Entwurf des Anpassungsnetzwerkes sowie für das Layout gemacht werden. Einzelheiten sind der Aufgabenstellung im Anhang zu entnehmen.

3 Ist Analyse

Das Variometer, insbesondere der Flylink Print mit dem Transceiver nRF24AP1 der Firma Nordic, wird in diesem Kapitel analysiert. Die wesentlichen Komponenten sind der Transceiver, das Anpassnetzwerk und die Mikrostreifenantenne. Die Laborberichte behandeln folgendes zur Ist Analyse vertieft:

- Nr. 4 für Nordic Netzwerk Komponenten und Datenblatt Werte
- Nr. 5 für die Simulationen mit dem Nordic Netzwerk
- Nr. 6 für die Berechnung der Lastimpedanz und die Mailauswertung von Nordic
- Nr. 11 für die Leistungsmessung
- Nr. 12 für die Messungen der Abstrahlcharakteristik
- Nr. 13 für Modellberechnungen und Messung

3.1 Der Transceiver und das Nordic Anpassnetzwerk

Der verwendete Transceiver nRF24AP1 der Firma Nordic hat gemäss Datenblatt [8] eine Ptx Sendeleistung von 0 dBm, eine Empfangsempfindlichkeit von -80 dBm, eine Ausgangsimpedanz von 100-175i Ω und 125 verschiedene Kanäle im ISM Band zwischen 2.4 und 2.5 GHz.

3.1.1 Das Transceiver Netzwerk

Das Anpassungsnetzwerk zwischen der Antenne und dem Transceiver hat verschiedene Funktionen. Es beinhaltet die HF Hochfrequenz Verstärkerspeisung, die Symmetrisch-, Asymmetrisch- und die Impedanzanpassung.

Es gibt ein konkretes Beispiel für den Bau des Nordic Netzwerkes in den Datenblättern [10, 8]. Die Komponenten sind SMD Surface-mounted device der Baureihe 0603, das Substrat ist FR4 der Dicke 1.6 mm und die angeschlossene Antenne soll 50 Ω Fusspunktimpedanz haben. Das Layout ist in Abbildung 2 zu sehen. Links die Vorgabe des Herstellers und rechts die Umsetzung der Firma Flytec AG [5]. Die Vorgaben der Firma Nordic wurden somit berücksichtigt.

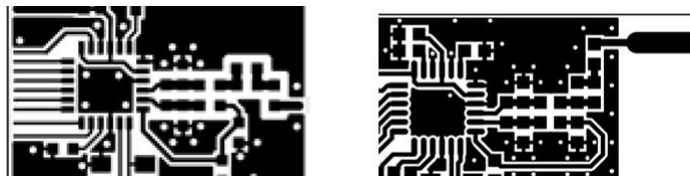


Abbildung 2: Layout Vorgabe (L) und Umsetzung (R). Quelle: Productspecification, 2006 und FlylinkPPC, 2009

Das Schema des Anpassungsnetzwerkes ist in Abbildung 3 des Schemas [4] zu sehen. Die Verstärkerspeisung ist in diesem Schema mit den Spulen L5 und L4 gelöst. Für DC Gleichstrom sind diese Spulen wie ein Kurzschluss. Die Symmetrisch-, Asymmetrischanpassung für die Stabantenne, wird hauptsächlich mit L5 realisiert und die weiteren Bauelemente werden für die Impedanzanpassung an die $50\ \Omega$ der Antenne benötigt.

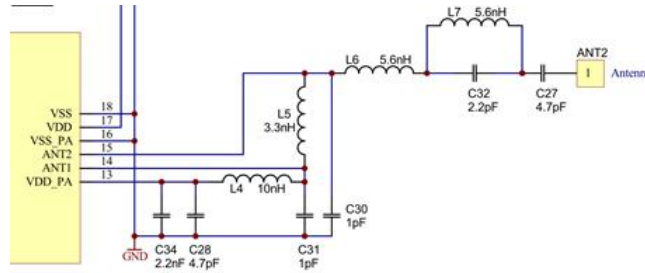


Abbildung 3: Nordic Netzwerkschema. Quelle: Flylink, 2009

3.1.2 Die Impedanz mit Matlab berechnen

Mit Matlab wird die sogenannte “Load”, die Lastimpedanz berechnet. Die Lastimpedanz am Transceiver ist im Datenblatt [8] für das vorgegebene Nordic Netzwerk mit $100 + 175i\ \Omega$ beschrieben. Diese Lastimpedanz wurde gemäß Anhang mit Matlab berechnet. Alle Komponenten der Abbildung 3, inkl. der $50\ \Omega$ Antenne wurden hierfür zusammengefasst. Bei der Mittenfrequenz von 2.45 GHz ergibt das Nordic Netzwerk eine komplexe Last von nur $13.5 + 72.3i\ \Omega$. Dies ist eine relativ starke Abweichung vom vorgegebenen Wert des Datenblattes. Das Layout muss somit einen starken Einfluss auf die Impedanz haben.

3.1.3 Die Balun Funktion mit Microwave-Office simulieren

Um das Nordic Netzwerk weiter zu analysieren, soll abgeklärt werden, ob die Balun Funktion richtig arbeitet. Dies wird mit MWO Microwave-Office simuliert. In der Abbildung 4 kann man sehen, dass sich die Eingangssignale von Ant 1 und Ant 2 am gemeinsamen Punkt eher subtrahieren als aufaddieren. Idealerweise würde das eine Signal Ant 1 oder Ant 2 um 180° verschoben, damit die Signale gleichphasig werden. Wären die Signale nach dem Balun gleichphasig, ergäbe sich ein gemeinsamer Peak der Signale.

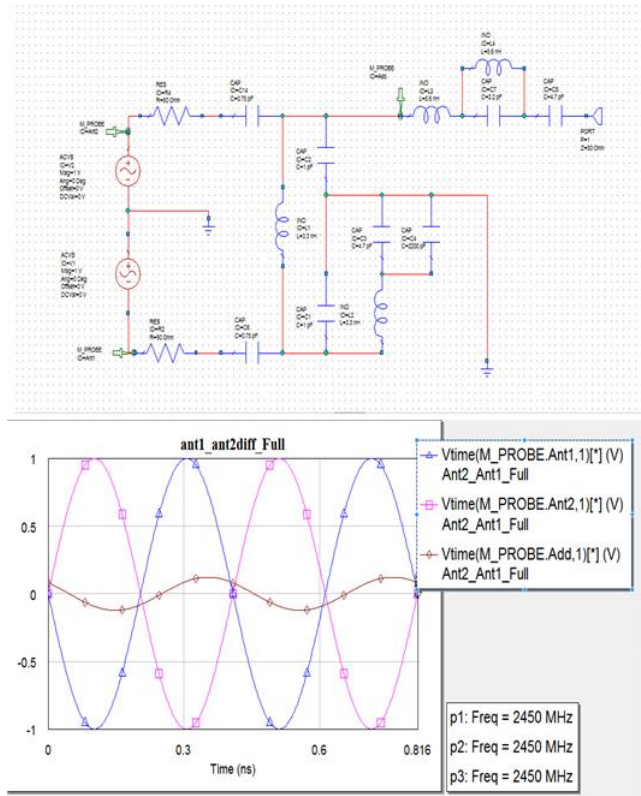


Abbildung 4: Nordic Netzwerk Simulation

Da nicht das erwartete Ergebnis simuliert wurde, wird nun das Layout zu den diskreten Elementen berücksichtigt. In Abbildung 5 ist das Schema und die Simulation mit dem Layout zu sehen. In dieser Simulation kann man erkennen, dass das Ausgangssignal in der Phase, nicht aber in der Amplitude verändert wurde. Auch bei dieser Simulation findet eine Auslöschung der Signale statt.

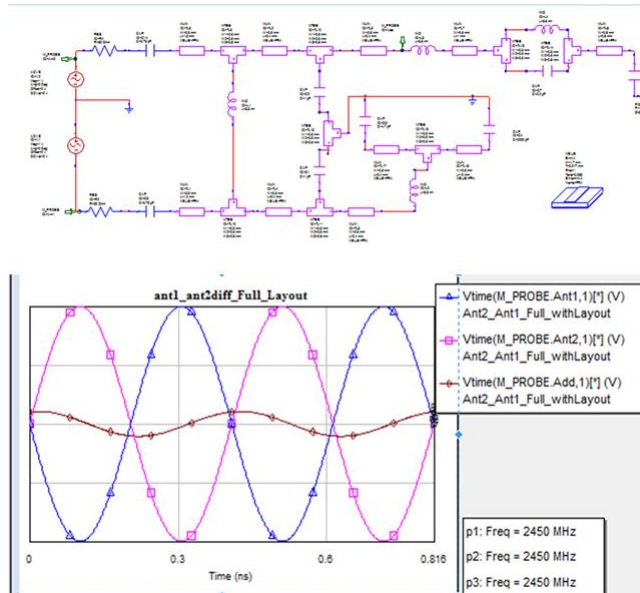


Abbildung 5: Netzwerk Elemente und Leitungen Simulation

3.1.4 Die Sendeleistung des Nordic Netzwerks messen

Um die Aussage von Nordic zu bestätigen, dass am Ausgang des Nordic Netzwerkes 0 dBm Sendeleistung vorhanden ist, wurde mit einem Agilent Leistungsmessgerät 53147A am Ausgang gemessen. Dieses Leistungsmessgerät hat eine Impedanz von $50\ \Omega$, das ist die gleiche Impedanz die die Stabantenne haben sollte. Für diese Messung wurde die Antenne abgetrennt und durch das Messkabel des Leistungsmessgeräts ersetzt. Eine erste Messung mit Wrapdrähten verfälschte die Leistungsmessung um ca. 10 dB. Wurde das HF Kabel RG223U direkt an den Antennenanschluss gelötet, konnten die 0 dBm mit einer gewissen Varianz über verschiedene Frequenzen gemessen werden. In Tabelle Abbildung 7 sind die Messresultate zu sehen für die Leistungsstufe 3, die höchste Leistungsstufe für Ptx des Variometers. In Abbildung 6 ist der Messaufbau zu sehen.

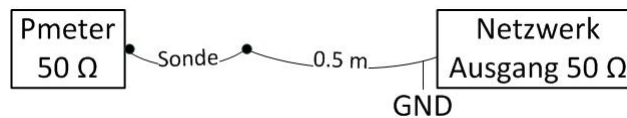


Abbildung 6: Messaufbau Leistungsmessung Nordic Netzwerk

Frequenz [GHz]	Agilent Leistungsmessgerät [dBm]
2.4	-0.18
2.45	-0.91
2.5	+1.6

Abbildung 7: Leistungsmessung

3.2 Die Stabantenne

Beim Variometer ist auf dem Flylink Print eine Mikrostreifen Stabantenne im hinteren Bereich platziert.

3.2.1 Der Montageort der Antenne

Die Antenne ist als Mikrostreifen am Ende des Nordic Netzwerkes angebracht. Somit befindet sich die Antenne auf der Rückseite des Variometers. Für die Abstrahlcharakteristik ist das nicht besonders gut, da die Vorzugsrichtung die Vorderseite sein sollte. In der Vorderseite des Gerätes sind alle anderen Netzwerkteilnehmer. Zwischen der Vorderseite und der Antenne liegen zwei Schaltungslayer und das Display. Gemäss Abbildung 8 (L) ist dies schematisch skizziert. Die beiden anderen Bilder zeigen die Positionierung im Gerät (M) und die Stabantenne auf dem Flylink Print (R).

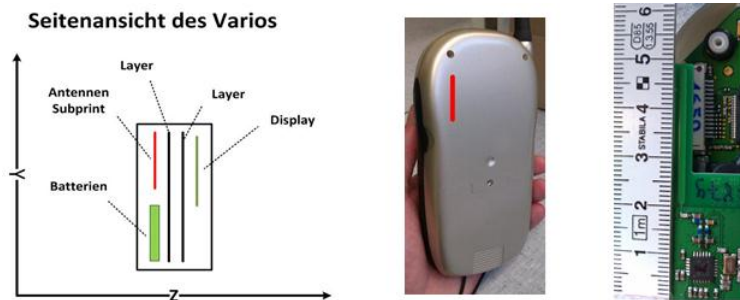


Abbildung 8: Variometer Antenne

3.3 Die Abstrahlcharakteristik

Es wurden einige Messungen gemacht, um die Abstrahlcharakteristik des Gerätes zu bestimmen. Erste Messungen fanden im Labor statt, weitere im Flur der HSLU, im Keller und schlussendlich im Freien. Grund für die Verschiebung des Messplatzes waren Reflexionen an Körpern und Wänden, sowie das allzeit präsente W-LAN, welches im selben Frequenzbereich liegt. Diese Einflüsse verfälschen die Messung so stark, dass Funklöcher mit -30 dB nicht erkannt wurden.

3.3.1 Der Messplatz

In der Laboranleitung für Antennenmessungen [1] sind verschiedene Rahmenbedingungen zur Messung von Antennen beschrieben.

Der Messplatz soll im Messraum gemäss der Abbildung 9 frei von Körpern sein. Der Labormessplatz sowie der Keller können diese Bedingung nur schlecht erfüllen. Dies ist jedoch im Freien gut möglich. Wenn R als Abstand 3 m beträgt, soll für die Messung ein Platz von 6 m mal 5 m objektfrei sein.

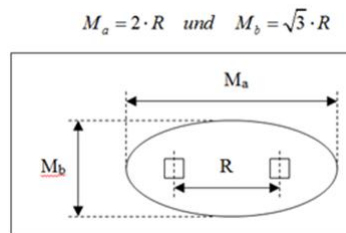


Abbildung 9: Messplatz. Quelle: Antennenversuch, 2009

Mit Berechnung des Bodenunebenheitsmodells gemäss Abbildung 10 müsste die Rauheit bei einem Abstand von 1 m etwa $b=1.7$ cm betragen, damit sie Einfluss hätte. Bei 2 m sind es sogar $b=2.3$ cm. Diese Bodenunebenheitskomponente kann somit vernachlässigt werden.

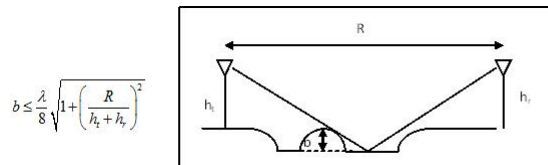


Abbildung 10: Bodenunebenheit. Quelle: Antennenversuch, 2009

Um das Fernfeldkriterium zu erfüllen, muss eine minimale Distanz von $R = 0.015$ m eingehalten werden. D als Aperturdurchmesser der Antenne und λ als Wellenlänge.

$$R = 2 * D^2 / \lambda = 2 * 0.031^2 / 0.1225$$

Zudem soll für kurze Antennen, damit keine induktive Kopplung entsteht, eine Distanz von $R = 1.2$ m minimal eingehalten werden.

$$R \geq 10 * \lambda = 10 * 0.1225$$

Die Antennen sollen sich bei Messungen höher als $h = 0.122$ m befinden.

$$h \geq 4 * D = 4 * 0.031$$

3.3.2 Das Messgerät

Der SA N1996A von Agilent wird verwendet, um die Prx Empfangsleistung zu messen. Mit dem Variometer wird auf einem Kanal zwischen 2.4 und 2.5 GHz gesendet. Dieses Signal wird mit einer $\lambda/4$ Stabantenne mit GND Fläche empfangen und mit dem SA ausgewertet. Da der Rauschpegel auch im Freien relativ hoch ist, wird mit dem Modus Trace Average gemessen. So konnte das relevante Empfangssignal besser vom Rauschen unterschieden werden.

3.3.3 Berechnungsmodelle als Vergleich zur Messung

Die Signalstärke nimmt pro Wegeinheit vom Sender weg ab. Dies lässt sich mit dem Freiraummodell berechnen. Wenn man auch die Signalreflexionen am Boden noch mitberücksichtigen will, gibt es das Bodenreflexionsmodell.

Freiraummodell: Das LFS Freiraummodell wurde gemäss dem INKT Skript [2] berechnet.

Dieses Modell ist für den Fall eines freien Raumes. Als Distanz wird d und als λ die Wellenlänge verwendet.

$$\lambda = \frac{c0}{f0}$$

$$Lfs = (4 * \pi * \frac{d}{\lambda})^2$$

Die Prx berechnet sich aus den Antennengewinnen G , der Ptx und dem LFS:

$$Prx = Ptx * \frac{Gt * Gr}{Lfs}$$

Bodenreflexionsmodell: Das LFS wird erweitert durch das Bodenreflexionsmodell aus dem INKT Skript [2]. Je nach Distanz und Montagehöhen der Antennen hat dies eine Reflexion der Welle am Boden zur Folge. Dieser vom Boden reflektierte Beitrag kann einen positiven oder negativen Einfluss auf die Prx haben. Für die Formel gilt R als Reflexionskoeffizient und $\Delta\varphi$ als Phasendifferenz der Wellen. In der Abbildung 11 kann man eine Skizze des Bodenreflexionsmodells sehen.

$$Pr = Pt * \frac{Gt * Gr}{Lfs} * |1 + R * \exp(j * \Delta\varphi)|$$

Die Berechnung von R und $\Delta\varphi$ sind im Matlab Skript im Anhang zu sehen.

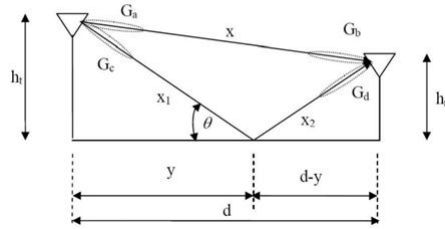


Abbildung 11: Bodenreflexionsmodell. Quelle: INKT S.90 , 2011

Modelle mit der Messung bestätigen: Um die berechneten Modelle zu bestätigen, wurde mit zwei Stabantennen eine Messung gemacht, beide mit einer GND Platte. Der Sender und der Empfänger sind auf gleicher Höhe und werden mit 1 m Koaxialkabel an den HF Frequenz Generator von APSIN und den SA als Empfänger angeschlossen. Abbildung 12 zeigt den prinzipiellen Messaufbau. Es wird 0 dBm P_{tx} beim Generator eingestellt, das ist dieselbe Leistung wie sie der Transceiver nRF24AP1 am Ende des Anpassungsnetzwerkes zur Verfügung stellt. Die verwendete Frequenz ist die Mittenfrequenz 2.45 GHz.

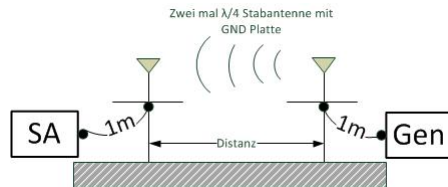


Abbildung 12: Messaufbau LFS

Die Koaxialkabel sowie der mit 4nec2 simulierte Stabantennencharakter, gemäss Abbildung 13 und Montagetoleranzen verfälschen das Resultat ein wenig. Für die Messung wurde 0.8 dB/m Verlust bei den Koaxialkabeln berücksichtigt. Für den Antennen Gewinn wurde 0 dBi gewählt, denn wenn die beiden Antennen auf exakt gleicher Höhe und im Winkel nicht verschoben wären, würde, gemäss Simulation, kein Signal empfangen werden.

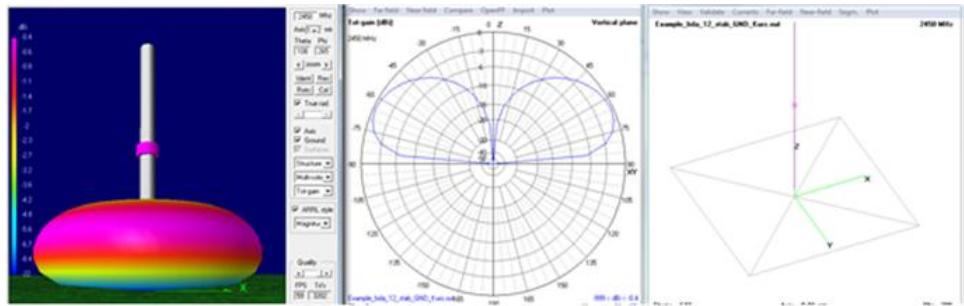


Abbildung 13: Stabantennencharakter

Die Abbildung 14 zeigt die Messwerte im Vergleich zu den beiden berechneten Modellen. Gewisse Peaks des Bodenreflexionsmodelles können in der Messung wiedererkannt werden. Die berechneten Modelle weichen nur 4 dB von der Messung ab.

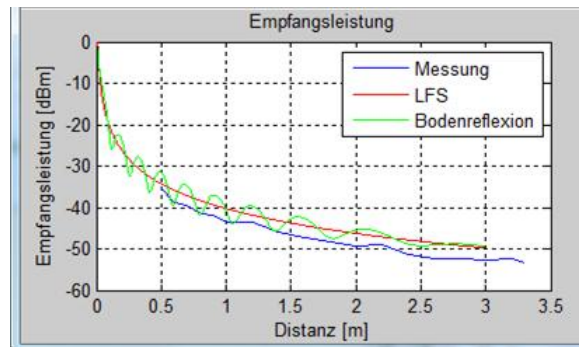


Abbildung 14: LFS Messung

3.3.4 Messung der Abstrahlcharakteristik des Variometers

Der Variometer wird im Freien bemessen. Bei 1 m (schwarz) und 2 m (rot) Abstand wird der Variometer um die eigene Achse gedreht. Die Höhe des Senders beträgt 88 cm und die des Empfängers 75 cm. Der Variometer sendet bei der Mittenfrequenz 2.45 GHz und der Leistungsstufe 3, dem Maximum. Abbildung 15 zeigt den Messaufbau der zwei vertikal polarisierten Stabantennen. Die Maximale Prx bei 1 m Distanz ist -42 dBm, bei 2 m ist sie -48 dBm. Die Abbildung 16 zeigt die Messung der Abstrahlcharakteristik. Diese ist auf der Rückseite des Gerätes besser als auf der Vorderseite.

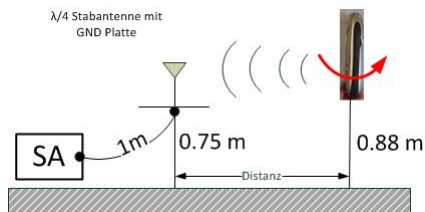


Abbildung 15: Messaufbau Stabantenne

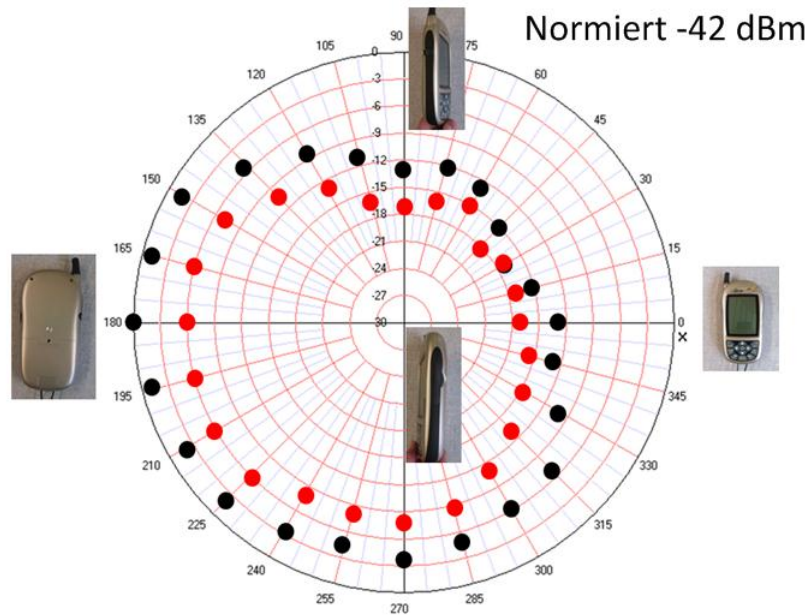


Abbildung 16: Abstrahlcharakter Stabantenne

4 Systemschwachstellen

In diesem Kapitel werden, resultierend aus der Ist Analyse die Systemschwachstellen zusammengefasst.

4.1 Das Nordic Netzwerk

Das vorgeschlagene Anpassungsnetzwerk funktioniert gemäss der Simulation nicht optimal. Die Simulation, um die Addition der beiden Ant Signale zu verifizieren, zeigte, dass sich die Ant Signale gegenseitig auslöschen.

Die Lastimpedanz von $100+175i \Omega$ konnte durch Berechnung nicht verifiziert werden.

Die im Datenblatt erwähnten 0 dBm am Ausgang des Nordic Netzwerkes sind messbar vorhanden.

4.2 Die Antenne im Variometer

Die Antennenplatzierung ist auf der Rückseite eher ungünstig. Die Abstrahlung in Richtung Vorderseite ist um einiges schlechter als die Abstrahlung zur Hinterseite. Da die Funkverbindung in Richtung der Vorderseite des Variometers benötigt wird, sollte der Variometer eine bessere Abstrahlcharakteristik in die Vorderseite haben.

4.3 Der Einfluss einer Batterie

Im Laborbericht 7 wurde mit einer Batterie eine Messung durchgeführt. Das Ergebnis zeigte, dass wenn sich eine 9 V Blockbatterie zwischen der Sende- und Empfangsantenne befindet, die Prx um etwa 10 dB abnimmt.

4.4 Der Mensch aus Wasser

Wasser, sowie Menschen mit 70 % Wasseranteil im Körper sind kein geeigneter Funkkanal für den 2.45 GHz Bereich. Die folgenden Erkenntnisse sind in Laborbericht 1 und 2 behandelt.

4.4.1 Berechnung Wasser

Gemäss Literatur [7] hat eine elektromagnetische Welle bei einer Frequenz von 2.45 GHz eine Eindringtiefe von nur gerade 10 cm. Bei der Internetrecherche konnte eine linearisierte Berechnung für eine frequenzabhängige Dämpfung beim Medium Wasser [13] gefunden werden. Eine Wasserkörperbreite von 30 cm führt bereits zu einer Dämpfung von über 100 dB. Bei einer Wassersäule, die mit 10 cm Durchmesser einem Arm gleicht, ergibt es eine Dämpfung von 40 dB.

4.4.2 Bluetooth Test

Bluetooth arbeitet im selben ISM Band und besitzt eine ähnliche Ausgangsleistung wie der Transceiver von Nordic. Bei einem Test mit zwei Bluetooth Telefonen wurde versucht, durch einen Menschen, eine Datei zu übertragen. Die Verbindung ist jeweils abgebrochen wenn zwischen der Sende- und Empfangsantenne ein Körper war. Die Bluetoothübertragung konnte somit nicht erfolgreich beendet werden.

4.4.3 Messung mit Kommilitone

Da ein Mensch nur zu 70% aus Wasser besteht und es bei realen Messungen Reflexionen gibt, konnten etwas verbesserte Werte gemessen werden als die Berechnungen im Voraus prognostiziert haben. Ist ein Kommilitone zwischen den beiden Antennen von Abbildung 12, schirmt er mit seinem Körper ca. 10 dB ab. Ist ein Kommilitone direkt vor der Sende- oder der Empfangsantenne, hat das eine Abschwächung von ca. 20 dB zur Folge.

5 Verbesserungsvorschläge

Mögliche Verbesserungen am bestehenden System sind ein anderes Anpassungsnetzwerk, eine andere Antenne an einem anderen Platzierungsort, sowie die Möglichkeit, Daten über verschiedene Netzwerkknoten zu versenden.

5.1 Nordic Anpassungsnetzwerk belassen

Bereits mit einer kleinen Modifikation kann die Abstrahlcharakteristik stark verbessert werden. Mit einem $50\ \Omega$ Koaxialkabel kann am Ausgang des Nordic Netzwerkes das Sendesignal abgreifen und an die Vorderseite eine beliebige, asymmetrische Antenne verbauen. In Abbildung 17 ist ein solcher mechanischer Umbau ersichtlich. Im Laborbericht 12 sind auch Messergebnisse zu dieser Thematik zu finden.

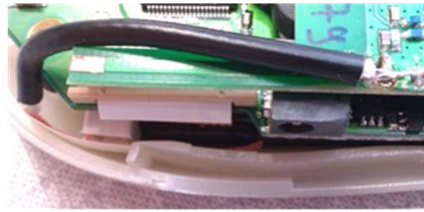


Abbildung 17: Einbau einer Stabantenne

5.2 Neues Anpassungsnetzwerk

Es wurden verschiedene Anpassungsnetzwerke in den Laborberichten 13, 14 und 15 berechnet. Das Mikrostreifen Netzwerk ist aus den vorangegangenen Simulationen entstanden und befindet sich im Laborbericht 15 und 16. Alle Netzwerke sind für Dipolantennen an einem nRF24AP1 Transceiver berechnet.

Ant 1 und Ant 2 haben jeweils komplexe Ausgangsimpedanzen von $50-87.5i\ \Omega$, gemeinsam ergibt das die Impedanz $100-175i\ \Omega$ aus dem Datenblatt. Diese Ausgangsimpedanz des Transceivers wird an die Hälfte einer Dipolantennenimpedanz gemäss Theorie [2, 3, 11] angepasst.

5.2.1 Die Fusspunktimpedanz einer Dipolantenne bestimmen

Eine Dipolantenne hat gemäss der Theorie die Impedanz $77\ \Omega$ und die Hälfte davon entspricht der Impedanz einer Stabantenne. Eine Stabantenne ist einfacher zu bemessen mit dem VNA Vektor Netzwerk Analysator. In einer abgeschirmten Weissblechbüchse wird S11 der Reflexionskoeffizient und die Impedanz einer $\lambda/4$ Stabantenne gemessen. Die bemessene Stabantenne ist sehr selektiv und hat einen Peak bei 2.46 GHz mit -30 dB. Die Impedanz beträgt bei 2.47 GHz die $41\ \Omega$ welche gut der Theorie entsprechen. Der Reflexionskoeffizient (L) und die Impedanz (R) der Stabantenne sind in der Abbildung 18 zu sehen. Die Messung ist im Laborbericht 15 dokumentiert.

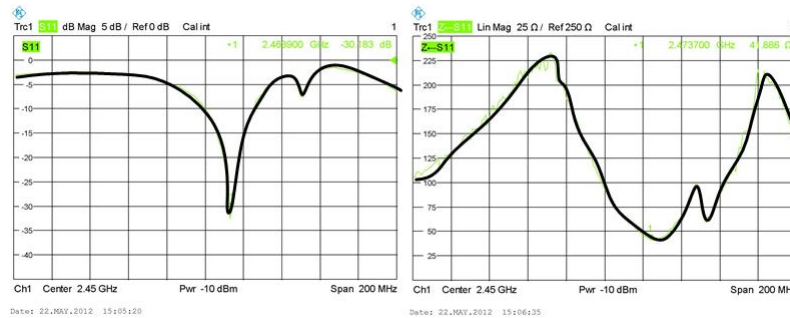


Abbildung 18: Stabantennenmessung mit VNA

5.2.2 Anpassnetzwerk Vorschlag mit diskreten Bauelementen

Bei diskreten Bauelementen gibt es starke Bauteiltoleranzen und zudem sind diese Komponenten relativ teuer in der Beschaffung. Im Laborbericht 14 wurde eine diskrete Lösung mit einem L-Netzwerk berechnet. Auf diese Lösung wird in diesem Dokument nicht näher eingegangen.

5.2.3 Anpassnetzwerk Vorschlag mit Mikrostreifen

Mikrostreifen haben den Vorteil, dass sie kosteneffizient sind und keine Bauteiltoleranzen aufweisen. Durch das Skript Mikrowellentechnik [3] und mit Hilfe von MWO konnten verschiedene Mikrostreifen Anpassnetzwerke simuliert werden.

Es gibt verschiedene Mikrostreifenanpassungen, speziell einfach sind Anpassungen mit kurzgeschlossenen- oder offenen Stichleitungen. Anpassnetzwerke mit kurzgeschlossenen Stichen waren kürzer als Anpassnetzwerke mit offenen Stichen. Kurzgeschlossene Stiche können jedoch nicht mit $\lambda/4$ HF Speisungsleitungen zusammen verwendet werden. Deswegen werden die offenen Stichleitungen für das Anpassnetzwerk gewählt.

Da Rogers (z.b. RO3010) als Substrat eine grössere Dielektrizitätszahl besitzt als FR4 und somit die Leitungen verkürzen würde, sollte das Rogers verwendet werden. Dieser Verhalt kann im Laborbericht 14 nachgelesen werden. Das FR4 ist günstiger als das Rogers. Da der Flylink Print in grosser Stückzahl gefertigt wird, bleibt das Substrat wie bis anhin das FR4.

Layouten mit Microwave-Office Als Eingangsport des Transceivers die 50-87.5i Ω und als Ausgangsport an die Antenne 38.5 Ω . Für die Simulation der Anpassung wurden sowohl die Anschlüsse als auch die $\lambda/4$ HF Speisungsleitung berücksichtigt.

Die doppelt geführte Anpassung von Ant 1 und Ant 2 wurde mechanisch möglichst auseinander gelegt, damit sie sich nicht gegenseitig elektromagnetisch beeinflussen.

Die Breite der Mikrostreifenanpassung wurde auf die Padbreite 0.4 mm des Transceivers ausgelegt.

In der Abbildung 19 kann man das Mikrostreifen Netzwerk mit den relevanten Leitungsstücken sehen. Das komplette Schema ist im Anhang abgelegt. Zur Verständlichkeit wurde der Transceiver Anschluss orange, der Koaxialkabelanschluss grün und der offene Stich blau markiert.

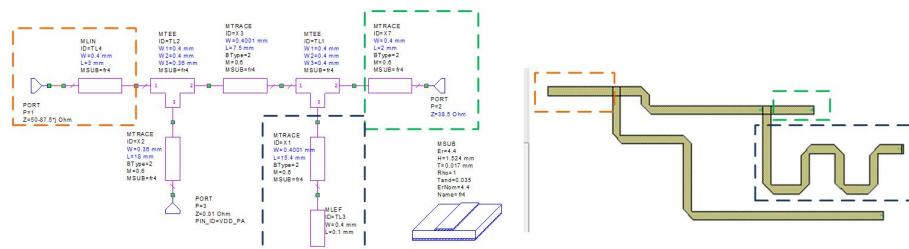


Abbildung 19: Schema und Layout des Mikrostreifen Anpassnetzwerkes

Simulation mit Microwave-Office: Für die Simulation der Reflexion wurden die Betriebsfrequenzen zwischen 2.4 und 2.5 GHz gewählt. Es wurden S11 und S22 simuliert, da das Anpassungsnetzwerk für den Transceiver und die Antenne bidirektional angepasst sein muss. Da die berechneten Reflexionen im Smith Chart gemäss Abbildung 20 im Zentrum liegen, heisst das, dass die Reflexionen in diesem Frequenzbereich minimal sind.

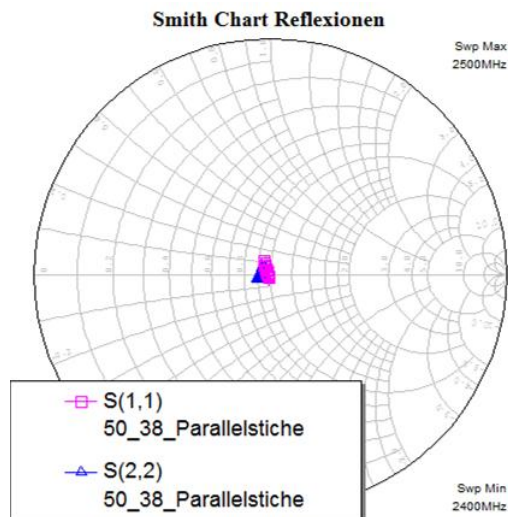


Abbildung 20: Smith Chart S11 und S22

Integration in den bestehenden Flylink Print Die Firma Flytec AG stellte die Produktionsdaten des Flylink Prints im Gerber Format zur Verfügung. Im Layoutprogramm Altium konnte mit Hilfe einer Cam Datei das Nordic Netzwerk ausgeschnitten werden. Die bearbeiteten Daten wurden mit dem DXF Format Drawing Interchange Format im MWO eingefügt und das neue Mikrostreifen Netzwerklayout darauf angepasst. In MWO konnten die Bohrdaten nicht richtig exportiert werden. Aus diesem Grund wurden die nötigen Bohrungen auf dem Flylink Print mit dem Produktionsprogramm CircuitCam neu gezeichnet. In Abbildung 21 ist der Ausschnitt des Mikrostreifen Netzwerkes zu sehen und wie eine Dipolantenne angeschlossen wird. Wichtig im Layout sind die sechs Via Löcher und die Kondensatoren, um die Speisung von Ant 1 und Ant 2 sicherzustellen. Mehr dazu im Laborbericht 16.

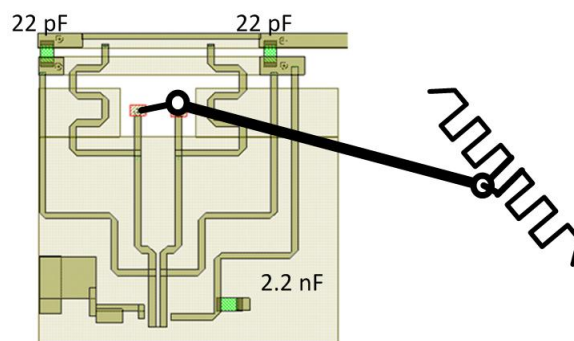


Abbildung 21: Flylink mit Mikrostreifen Netzwerk und Antenne

Bilanz Im Laborbericht 16 wird berechnet, wie gross die Ersparnis an finanziellen Mitteln pro Print ist, wenn anstatt das Nordic Anpassnetzwerk, das Mikrostreifen Anpassnetzwerk verwendet wird. Alle Bauteilkosten, die wegfallen, führen zu 4.65 sFr. Ersparnis. Alle neuen Komponenten wie das HF Kabel und zwei Kondensatoren, kosten 0.912 sFr. Somit ist die Mikrostreifenlösung um 3.738 sFr. günstiger pro Gerät. Werden vier Geräte an einem motorisierten Gleitschirmpilot eingesetzt, werden 15 sFr. gespart. Zudem nimmt der Bestückungsaufwand ab.

5.3 Antenne

Um das symmetrische Ausgangssignal von Ant 1 und Ant 2 des Transceivers zu verwenden, wird eine Dipolantenne verwendet.

5.3.1 Der Versatz der Antenne mit einem 75 Ω Koaxialkabel

Die Dipolantenne befindet sich nicht direkt auf dem Flylink Print. Die Antenne wird in die Vorderseite des Gehäuses des Variometers verbaut. Das Mikrostreifen Anpassnetzwerk passt die Ausgangsimpedanz des Transceivers, an die beiden Teilbereiche der Dipolantenne, an. Das bedeutet eine Anpassung von 50-87.5i Ω an 38.5 Ω . Die beiden Ausgänge der zwei Anpassungsnetzwerke kann man nun mit einem Koaxialkabel mit 75 Ω mit einer kleinen Reflexion von -0.013 zur Dipolantenne führen. Pro 0.1 m dämpft das RG 179 Koaxialkabel nur 0.144 dB.

$$r = \frac{Z_l - Z_0}{Z_l + Z_0} = \frac{75 - 77}{75 + 77} = -0.013$$

5.3.2 Simulationen von Dipolantennen mit 4nec2

Es wurden verschiedene Formen von Dipolantennen simuliert, um die Abstrahlcharakteristik zu sehen. Es stellte sich heraus, dass symmetrische Dipolantennen, alle dieselbe Richtwirkung haben. In Abbildung 22 sind zwei verschiedene Dipolantennen simuliert und man kann bei beiden denselben Charakter sehen. Auch die Antennengewinne sind in Vorzugsrichtung jeweils 2 dBi.

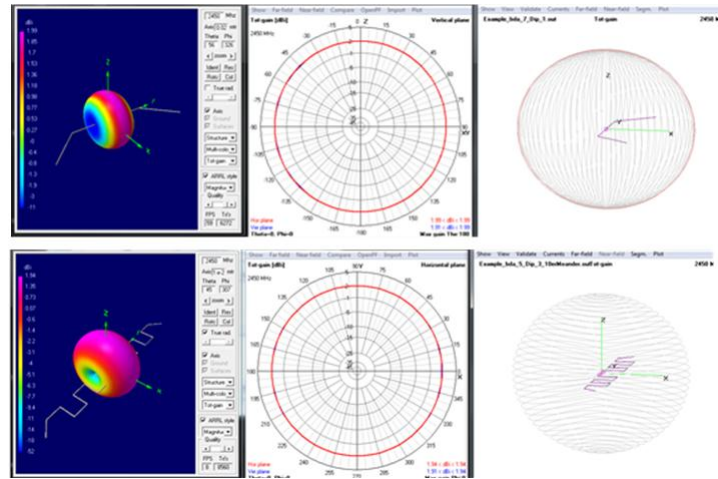


Abbildung 22: Zwei Dipolantennen

Hat die Dipolantenne jedoch unsymmetrische Seiten, verändert sich der Abstrahlcharakter. In Abbildung 23 ist eine Antenne gezeichnet, die auch in die Z Ebene geht und die beiden Antennenenden, in die gleiche Richtung gewinkelt sind. Im Richtdiagramm kann man jetzt auch eine gewisse Richtungsabhängigkeit sehen.

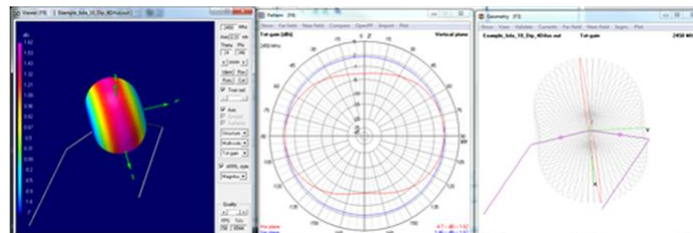


Abbildung 23: Dipolantenne unsymmetrisch

5.3.3 Antennenwahl

Die mäanderförmige Dipolantenne aus Abbildung 22 hat eine gute Abstrahlcharakteristik und in der mechanischen Länge wird sie durch die Mäander verkürzt. Aus diesen Gründen wird die mäanderförmige Dipolantenne gewählt.

5.4 Auswertung des neuen Flylink Prints mit der Dipolantenne

Die Umsetzung und die Verifizierung der Funktion, werden in diesem Unterkapitel bearbeitet. Die Umsetzung des neuen Mikrostreifen Netzwerks ist im Laborbericht 15 und 16 ausführlich weiter dokumentiert. Es handelt sich bei

diesen Messungen um den modifizierten Print welcher vom kurzgeschlossenen-, zum offenen Stich umgebaut wurde. Das obengenannte Mikrostreifen Anpassnetzwerk ist die neue Version und besitzt gemäss Simulation bessere Reflexionseigenschaften als der Modifizierte bemessene Print ¹.

5.4.1 Bestückung und Montage

Der neue Flylink Print mit dem Mikrostreifen Anpassnetzwerk konnte in der HS-LU gefertigt und bestückt werden. Die mäanderförmige Dipolantenne besteht aus Silberdraht. Sie wurde mit einer 95 mm langen 75 Ω Koaxialkabelzuleitung an den vorgesehenen Löt pads angelötet und auf der Vorderseite des Variometers verbaut. Heikel war die Montage des SMD Transceivers da er keine Anschlussbeine hat. Nach der Modifikation des Printes konnten erste Messresultate gemessen werden.

In Abbildung 24 kann man den verbauten Flylink Print und die Dipolantenne sehen. Die Dipolantenne aus Silberdraht, sowie beim Anschluss des Koaxialkabels wurde mit Klebeband vor Kurzschlüssen geschützt.



Abbildung 24: Variometer mit Antenne (L), Flylink Print mit Antenne (R)

5.4.2 Qualitative RX Messung

Die Impedanzanpassung am Anschluss der Antenne soll 77 Ω betragen. Diese kann mit dem VNA gemessen werden. Dazu muss der Variometer, bzw. der Transceiver in den RX Empfangsmodus geschaltet werden. Mit dem VNA kann man vom einen Ausgang des Netzwerks zu GND die Impedanz messen. Diese soll jeweils von Ant 1 und Ant 2 gegen GND 38.5 Ω bei 2.45 GHz betragen,

¹Es wurde ein Anpassnetzwerk realisiert mit kurzgeschlossenen Stichen welches nicht funktionieren konnte. Dieses Anpassnetzwerk konnte relativ einfach umgebaut werden zu einem Anpassnetzwerk mit offenen Stichen. Im Laborbericht 16 ist dieser Modifikationsschritt erläutert und die Simulation dazu vorhanden.

dann funktioniert die Anpassung. Leider konnte diese Messung nicht gemacht werden, da der Variometer aktuell nur für maximal 30 Sekunden in den RX Modus gebracht werden kann.

5.4.3 Die Sendeleistung des Mikrostreifen Netzwerks messen

Die Sendeleistung differentiell am Ausgang beträgt bei 2.45 GHz +0.376 dBm bei der höchsten Leistungsstufe. Dass das Leistungsmeter an $50\ \Omega$ und das Anpassungsnetzwerk an $77\ \Omega$ angepasst ist, wurde bei der Messung berücksichtigt. Die gemessene Leistung ist über den Frequenzbereich stabiler als bei dem Nordic Netzwerk. Der Messaufbau ist in Abbildung 25 zu sehen. Die Leistungsberechnung ist im Laborbericht 16 nachzulesen.

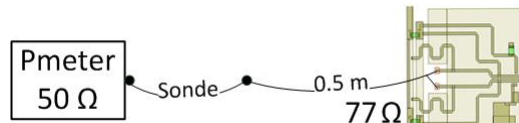


Abbildung 25: Messaufbau Leistungsmessung Mikrostreifen Netzwerk

5.4.4 Messung der Abstrahlcharakteristik des verbesserten Variometers

Der Variometer wird im Freien bemessen. Bei 1 m (schwarz) und 2 m (rot) Abstand wird der Variometer um die eigene Achse gedreht. Die Höhe des Senders beträgt 88 cm und die des Empfängers 75 cm. Der Variometer sendet bei der Mittenfrequenz 2.45 GHz und der Leistungsstufe 3, dem Maximum. Abbildung 26 zeigt den Messaufbau der vertikal polarisierten Stabantenne und der vertikal polarisierten Dipolantenne. Die Maximale Prx bei 1 m Abstand ist -36 dBm, bei 2 m -44 dBm. Die Abbildung 27 zeigt die bessere Abstrahlcharakteristik im oberen Bereich, wo die Dipolantenne verbaut ist.

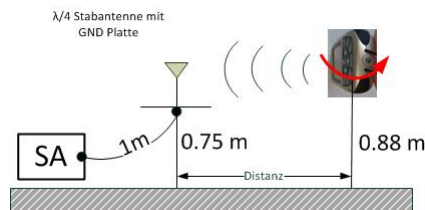


Abbildung 26: Messaufbau Dipolantenne

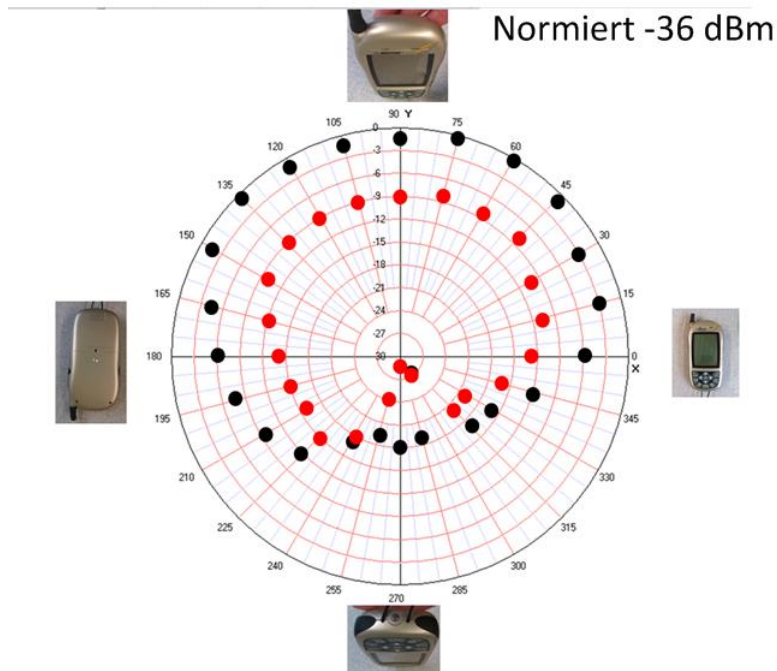


Abbildung 27: Abstrahlcharakter Dipolantenne

In der Achse gedreht ergibt sich wie erwartet die beste Charakteristik in die Vorderseite, 50° nach links oder rechtsgeneigt ergibt jeweils eine 3 dB Dämpfung.

5.5 Netzwerkfähige Transceiver

Falls die Dämpfung vom Menschen noch zu störend für eine sichere Funkverbindung ist, müsste über einen mittleren Transceiver kommuniziert werden. Solche Transceiver Stationen bestehen bereits im Netzwerk um den Gleitschirmpiloten. In Abbildung 28 ist schematisch gezeigt, wie das linke Gerät, mit dem rechten Gerät, über das mittlere Gerät kommuniziert. Mehr zu diesem Thema im Bereich W-LAN ist unter [12] zu lesen.

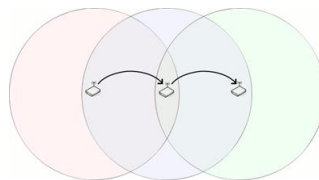


Abbildung 28: Netzwerkmodell. Quelle: Picopeering, 2012

6 Projekt Fazit

Zum Abschluss der Arbeit werden die Resultate noch einmal kurz zusammengefasst und ein Ausblick auf ein mögliches weiteres Vorgehen gegeben.

6.1 Aktueller Stand der Arbeit

Die Istanalyse hat ergeben, dass das Nordic Netzwerk gut übereinstimmt mit den Werten aus dem Datenblatt. Mängel gibt es bei der Mikrostreifenantennenanpassung und der Abstrahlcharakteristik.

Es konnte ein Lösungsvorschlag mit Mikrostreifenanpassung und einer mäanderförmiger Dipolantenne umgesetzt und bemessen werden.

Es ist nicht möglich, die einzelnen Veränderungen und ihren Einfluss separat zu veranschaulichen, da diese Komponenten gleichzeitig geändert haben. Die Orientierung der Antenne, der Antennentyp und das komplette Anpassnetzwerk haben gleichzeitig geändert. Über alles hinweg gesehen kann man sagen die Abstrahlcharakteristik hat sich mit den neuen Komponenten in die Vorderseite stark verbessert. Mit dem Mikrostreifen Netzwerk wurden in Vorzugsrichtung bis zu 6 dB bessere Ergebnisse erzielt. Die Ptx ist über den Frequenzbereich stabiler beim Mikrostreifen Netzwerk als mit dem diskreten Nordic Netzwerk.

Die Mikrostreifenanpassung ist 3.74 sFr. günstiger pro Anpassnetzwerk. Die Bauteiltoleranzen und der Bestückungsaufwand sind geringer als bei der Anpassung mit diskreten Bauelementen.

Anschaulich dargestellt in dieser Tabelle Abbildung 29 die Gegenüberstellung von technischen Daten der Nordic Version und dem Verbesserungsvorschlag.

Vergleich von:	Nordic Flylink	Vorschlag Flylink
Transceiver	nRF24AP1	nRF24AP1
Anpassung	Diskret	Mikrostreifen
Anpassung an	50 Ω	77 Ω
HF Speisung	Spule	$\lambda/4$ Leitung
Antenne	Mikrostreifenstabantenne	Mäanderförmige Dipolantenne
Antennen platzierung	Rückseite des Variometers	Auf der Vorderseite
Antennenpolarisation	Vertikal zum Variometer	Horizontal zum Variometer
Substrat	FR4	FR4
Bestückungsaufwand	10 Elemente	4 Elemente
Vorzugsrichtung	Nach Hinten	Nach Vorne
Prx bei 1 m	-42 dBm	-36 dBm
Ptx bei 2.45 GHz	-0.91 dBm	+0.376 dBm
Kosten	4.753.-	1.015 .-

Abbildung 29: Gegenüberstellung

6.2 Mögliche Erweiterungen

Das Mikrostreifen Netzwerk welches bemessen wurde, ist eine modifizierte Version und ist noch nicht serietauglich. Die in diesem Dokument beschriebene Lösung mit den offenen Mikrostreifen ist dasjenige Netzwerk, welches zur Serienreife gelangen kann. Die Gerberdaten für das Anpassnetzwerk wurden erstellt und sind einsatzbereit für weitere Prints.

Eine Impedanzmessung mit dem VNA würde eine qualitative Aussage über die Impedanzanpassung machen.

Die Abstrahlcharakteristik wurde auf Pflastersteinboden aufgenommen, dabei ist eine gewisse Messverfälschung durch Bodenreflexionen zustande gekommen. Mit Absorptionsmatten könnte man die Bodenreflexionskomponente bei der Messung minimieren. Bei einer Wegverdoppelung sollten dann die -6 dB zu sehen sein.

Um die Antenne immer gleich zu bauen sollte eine Lehre gebaut werden. Für die Montage der Antenne wäre eine Halterung im Variometer Gehäuse von Vorteil.

6.3 Leasson Learned

Während dem Projekt konnten verschiedene neue Geräte und Programme kennengelernt werden. Als Beispiele dazu der VNA, der SA, das Leistungsmessgerät, Microwave-Office und 4Nec2. Einiges an Wissen aus dem HF Bereich, aus dem Unterricht von INKT und EMF wurde praktisch angewandt und so vertieft. Ein wichtiger gelernter Punkt ist: "Antennenmessungen finden nie in einem geschlossenen Raum statt". Dies hat Messungsergebnisse durch Reflexionen stark verfälscht. Ein nützlicher Aspekt der Arbeit war es verschiedene Gerber Daten im CircuitCam zusammenzufügen.

Literatur

- [1] Marcel Joss. Antennenversuch, 10 2009.
- [2] Marcel Joss. Informations und kommunikationstechnik, 9 2011.
- [3] Marcel Joss. Folien elektromagnetische felder, 2012.
- [4] Th. Landolt. Flarm flylink v0932. Flytec AG, 8 2009.
- [5] Th. Landolt. Flarm flylink v0932 ppc. Flytec AG, 9 2009.
- [6] Erich Lerch. 2.4 ghz antennen. Flytec AG, 10 2011.
- [7] Ron Schmitt. Electromagnetics explained. Newnes, 2002.
- [8] Nordic Semiconductor. Productspecificationnrf24ap1 1.0. Nordic Semiconductor ASA, 9 2006.
- [9] Nordic Semiconductor. Single chip 2 4 ghz transceiver nrf24ap1. Nordic Semiconductor ASA, 9 2006.
- [10] Nordic Semiconductor. Tuning the nrf24xx matching network. Nordic Semiconductor ASA, 7 2006.
- [11] Wikipedia. Antennengewinn. <http://de.wikipedia.org/wiki/Antennengewinn>, 4 2012.
- [12] Wikipedia. Freies funknetz picopeering. http://de.wikipedia.org/wiki/Freies_Funknetz, 5 2012.
- [13] wissenschaftstechnikethik. Absorption von elektromagentischer strahlung. http://www.wissenschaft-technik-ethik.de/wasser_eigenschaften.htmlRAUTEkap091, 2 2012.

A Anhang

Alle Anhänge finden sich elektronisch auf der beigelegten CD.

- Dokumentation elektronisch
- Aufgabenstellung
- Laborberichte: Eine Sammlung der verschiedenen Messungen und Arbeiten um den Werdegang des Projektes nach zu Vollziehen.
- Präsentationen
- Plakat
- Arbeitsplan
- Produktions Daten
- Simulationen MWO
- Simulationen 4nec2
- Matlabberechnungen

Zusätzlich sind die Aufgabenstellung, relevante Berechnungen und das neue Schema nachfolgend angefügt.

A.1 Aufgabenstellung

Horw, 21. Februar 2012
Seite 1/2

Diplomarbeit im Fachbereich Elektrotechnik

Aufgabe für Herrn Patrick Boschung

1. Arbeitstitel

2.45GHz Antenne

2. Fachliche Schwerpunkte

EM-Feldausbreitung, 2.45 GHz Antenne und Anpassung, Mikrowellentechnik, Simulation, AWR

3. Einleitung

Flytec AG bietet unter dem Namen FlyLink ein Near Field Funknetzwerk für Piloten an. Mit dem Netzwerk sollen verschiedene Sensordaten auf ein Anzeigeinstrument übermittelt werden. Objekte im Nahfeld einer Antenne haben aber wesentlichen Einfluss auf die Übertragungseigenschaften. Im Rahmen dieser BDA sollen diese Phänomene untersucht werden.

4. Aufgabenstellung

Im heutigen System der Flytec AG wird das ISM Frequenzband im 2.4 GHz Bereich verwendet. Zu Beginn der Arbeit soll sich der Student in den Themenbereich einarbeiten, indem er die aktuelle Lösung studiert und messtechnisch erfasst.

In einem zweiten Teil sollen Verbesserungsvorschläge für eine robustere Funkübertragung erarbeitet werden. Insbesondere sollen der Typ der Antenne sowie die Anpassung derselben an den Transceiver im Fokus stehen.

Erwartete Ergebnisse:

- Messbericht über das bestehende System
- Bericht mit der Analyse der vorhandenen Schwachstellen sowie möglichen Verbesserungspotentialen
- Empfehlungen für den Entwurf des Anpassungsnetzwerkes und das Layout

5. Durchführung der Arbeit

Termine

Start der Arbeit:	Dienstag 21.2.2012; 8:30 Uhr
Zwischenpräsentation:	25. April 2012, 13:30 – 14:20 Uhr, Raum D312
Abgabe Schlussbericht:	Freitag 8. Juni 2012, 17:00 im Sekretariat
Abgabe Poster-File:	Freitag 8. Juni 2012
Abschlusspräsentation:	20. Juni 2012, 13:30 – 14:20 Uhr, Raum D312
Öffentliche Diplomausstellung:	Freitag 6. Juli 2012, 14:00-20:00

6. Dokumentation

Der Schlussbericht ist in 3-facher Ausführung zu erstellen. Der Schlussbericht enthält zudem zwingend

- die folgende Selbstständigkeitserklärung auf der Rückseite des Titelblattes:
*„Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig angefertigt und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel verwendet habe. Sämtliche verwendeten Textausschnitte, Zitate oder Inhalte anderer Verfasser wurden ausdrücklich als solche gekennzeichnet.
Horw, Datum, eigenhändige Unterschrift“*
- einen englischen Abstract mit maximal 2000 Zeichen.

Alle Exemplare des Schlussberichtes müssen termingerecht im Sekretariat Bachelor & Master abgegeben werden. Die termingerechte Abgabe wird mit einem Stempel bestätigt.

Ein Exemplar geht an den Experten und wird nach der Schlusspräsentation an den Abteilungsleiter zur Archivierung übergeben. Die verbleibenden zwei Exemplare sind für den betreuenden Dozenten und den Auftraggeber vorgesehen. Zusätzlich muss dem betreuenden Dozenten und dem Studiengangleiter je eine CD mit dem Bericht (inkl. Anhänge), dem Poster und mit den Präsentationen, Messdaten, Programmen, Auswertungen, usw. abgegeben werden.

Für die öffentliche Diplomausstellung ist ein Poster gemäss den offiziellen Layout-Vorgaben zu erstellen.

7. Fachliteratur/Web-Links/Hilfsmittel

- White Paper (2006). *Tuning the nRF24xx matching network*. Tiller: Nortic Semiconductors.
- Lerch, Erich (2011). *2.45GHz Antennas*. Horw: Flytec AG.

8. Verantwortlicher Dozent/Betreuungsteam, Industriepartner

Dozent: Prof. Marcel Joss marcel.joss@hslu.ch

Industriepartner: Flytec AG
Ebenastrasse 18
CH-6048 Horw

Hr. Erich Lerch erich.lerch@flytec.ch
Tel. +41 41 ...

9. Experte

Hr. Werner Scheidegger werner.scheidegger@sbb.ch
Tel. +41 79 611 7604

Hochschule Luzern
Technik & Architektur

Prof. Marcel Joss

A.2 Matlabberechnung Impedanz

%BSC Arbeit 2.45 GHz Antenne

%Boschung Patrick

%29.3.2012

%Load Impedanz des Netzwerkes berechnen

%Soll Impedanz des Netzwerkes 100+175*j

f=2.45e9

%Antennen Teil oberer Pfad

%%

C0=1e-12

XC0=1/(2*pi*f*C0*i)

L1=5.6e-9

XL1=2*pi*f*L1*i

L2=5.6e-9

XL2=2*pi*f*L2*i

C3=2.2e-12

XC3=1/(2*pi*f*C3*i)

C4=4.7e-12

XC4=1/(2*pi*f*C4*i)

antenna=50

Z0=XL1+XC4+(XL2*XC3)/(XL2+XC3) +antenna % 50.0000 +27.4726i

Zoben = Z0*XC0/(Z0+XC0) %54.0272 -24.4530i

%Speisungsteil der untere Pfad

%%

L5=10e-9

XL5=2*pi*f*L5*i

C6=1e-12

XC6=1/(2*pi*f*C6*i)

C7=2200e-12

XC7=1/(2*pi*f*C7*i)

C8=4.7e-12

XC8=1/(2*pi*f*C8*i)

IDEAL_PA=1

Z1=XC8*XC7/(XC8+XC7) % 0 - 0.0295i

Z2=Z1+XL5 %154i

Zunten=Z2*XC6/(Z2+XC6) %-112 i

%Gesamtes Netzwerk welches von nRFAP1 Ant1/2 gesehen wird

%%

L9=3.3e-9

XL9=2*pi*f*L9*i %0 +50.7996i

Z3= Zunten+Zoben % 5.4027e+001 -136.86i

Zges=Z3*XL9/(Z3+XL9) % 13.5035 +72.3088i

A.3 Matlabberechnung Bodenreflexion

```
%BSC Arbeit 2.45 GHz Antenne
%Boschung Patrick
```

```
%26.4.12
```

```
%Berechnung und gegenüberstellung des LFS mit dem Bodenreflexionsmodell
%gemäss INKT Skript S. 90
```

```
clear all
close all
```

```
%%
```

```
%Startdefinitionen
```

```
f0=2.45e9 ; % [1/s]
c=3e8 ; % [m/s]
lambda=c/f0; % 0.1250 [m]
lambda_viertel=lambda/4; % 0.0313 [m]
```

```
d=0.01:0.0001:3; %Distanzen [m]
```

```
Gt=1; %Gewinn Antenne
Gr=1; %Gewinn Antenne
Pt=1; %[mW] %Sendeleistung = 0 dBm
```

```
%Modell Tabellenwerte
```

```
sigma = 0.001; %Dielektrische Konstante des Bodens "Industriegelände"
epsilon = 5;
```

```
%%
```

```
%Loss Free Space
```

```
Lfs = (4*pi.*d/lambda).^2;
PrL=Pt*Gt*Gr./Lfs;
PrL_db=10.*log10(PrL);
```

```
%%
```

```
%Höhen der Geräte
```

```
ht=0.97;
hr=0.76;
```

```
%R als Reflexionskoeffizient
```

```
y=d*ht/(hr+ht);
theta=atan(ht./y);
theta_grad=theta*180/pi;
epsilon_st=epsilon-j*60*sigma*lambda;
z=sqrt(epsilon_st-cos(theta).^2)./epsilon_st; %Vertikal
R=(sin(theta)-z)./(sin(theta)+z);
```

```
%dPhi als Phasendifferenz
```

```
dPhi=2*pi.*d/lambda.*sqrt(1+((ht+hr)./d).^2) - ...
2*pi.*d/lambda.*sqrt(1+((ht-hr)./d).^2);
```

```
%%
```

```
%Bodenreflexion
```

```
Pr_vert_boden=Pt*Gt*Gr./Lfs.*abs(1+R.*exp(j*dPhi)).^2;
```

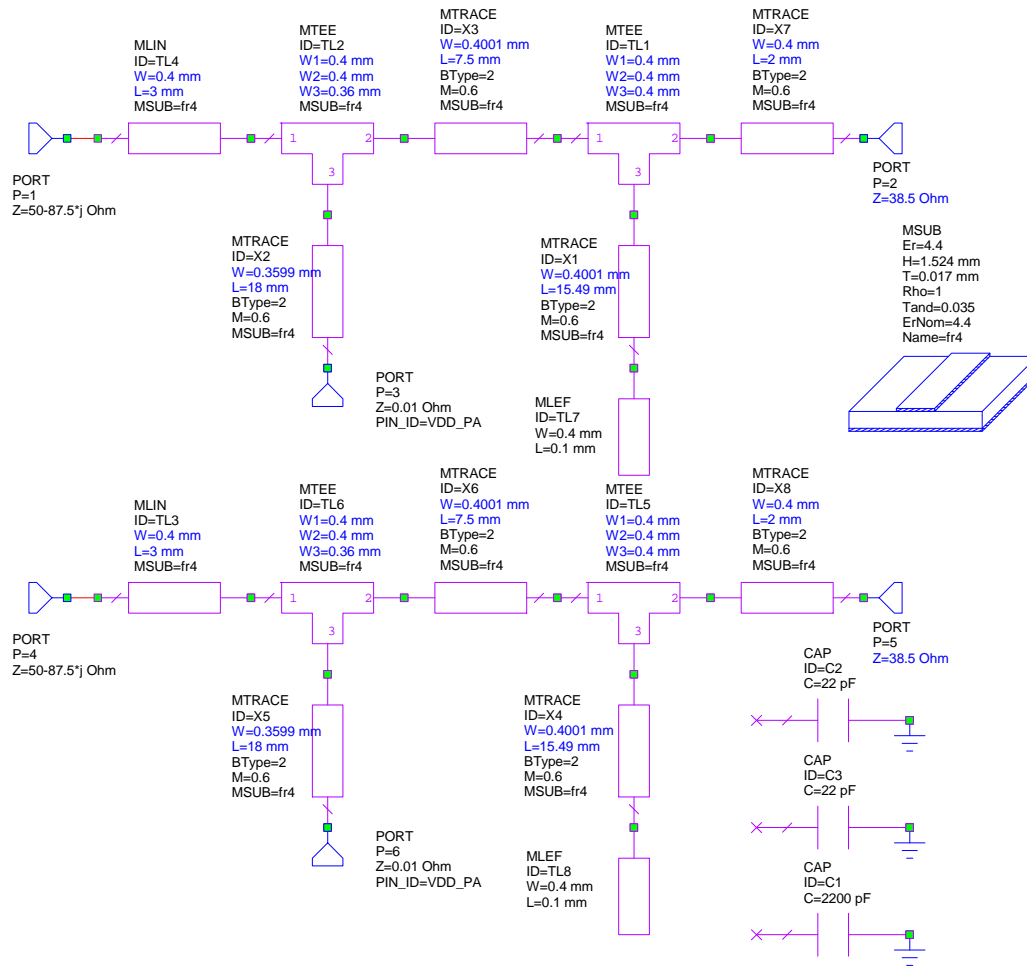


```
Pr_db=10.*log10(Pr_vert_boden);

%%
%Plot
plot(d,PrL_db,'r');
hold on;
plot(d,Pr_db);
hold off;
title('Empfangsleistung');
legend('LFS','Bodenreflexion');
xlabel('Distanz [m]');
ylabel('Empfangsleistung [dBm]');
grid on;
```

A.4 Anpassungsnetzwerk mit Mikrostreifen

Mikrostreifen Anpassungsnetzwerkschema



Mögliches Layout (Gerber Daten bereits generiert). Relevant sind die Dicke und die Leitungslängen der Elemente. Die Form ist der Leitung ist sekundär.

