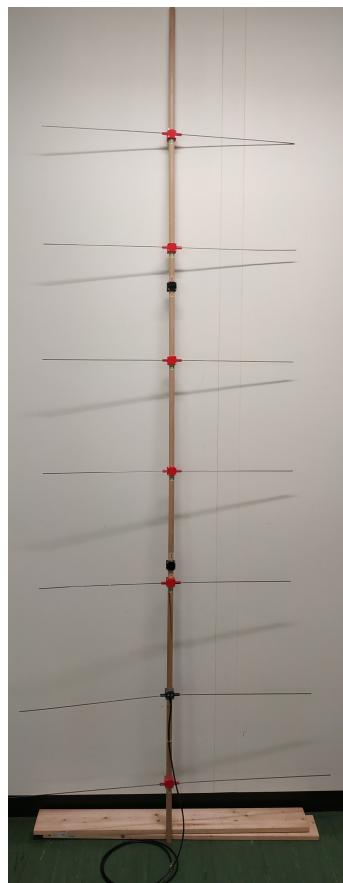


Bau einer Yagi-Uda-Antenne - Bericht hf2

Simon Zoller, Thomas Frei

Windisch, 15. Juli 2019



Universität

Fachhochschule Nordwestschweiz

Studiengang

Elektro- und Informationstechnik

Autor

Simon Zoller, Thomas Frei

Betreuer

Christoph Wildfeuer und Peter Niklaus

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	1
2 Theorie	2
2.1 Yagi-Uda-Antenne	2
2.2 Strahlungsdiagramm	3
2.3 Impedanzanpassung ev. Flusspunktimpedanz	3
2.4 Mantelwellenunterdrückung	3
3 Berechnung	4
4 Simulation	6
4.1 Aufbau der Antenne	6
4.2 Simulationsresultate	6
5 Aufbau	12
6 Messung	14
6.1 Ideale Messung	14
6.2 Messaufbau	14
6.3 Kalibration des Network Analysers	14
6.4 Messung der Antenne im Labor	15
7 Fazit	17
Literatur	18

1 Einleitung

Ein grosses Thema der Hochfrequenztechnik sind Antennen. Generell können Antennen als Leiter angesehen werden, welche identisch zur Leitungstheorie gelten. Jedoch gibt es viele verschiedene Ausführungen welche alle sich unterschiedlich verhalten. Dieser Bericht ist als Weiterführung zu dem hf1-Bericht gedacht. Der hf2-Bericht spezialisiert sich auf Yagi-Antennen. Neben der theoretischen Arbeit soll selber eine Yagi-Antenne für 144MHz konstruiert und gebaut werden. Hierfür wurden zuerst die Theorie erarbeitet. Mit den berechneten Werten für die Yagi-Anntene wird eine Simulation mit dem Programm CST durchgeführt, welche sich vor allem auf die Direktivität der Antennen beziehen. Als Abschluss wird die Antenne noch ausgemessen.

2 Theorie

Als erstes wird die Yagi-Uda-Antenne beschrieben. In einem zweiten Teil wird deren Strahlungsdiagramm betrachtet um die Abstrahlung zu verstehen. Zum Schluss soll die benötigte Theorie zur Impedanzanpassung und Wellenunterdrückung erarbeitet werden, da diese beim Antennenbau wichtig ist.

2.1 Yagi-Uda-Antenne

Die Yagi-Uda-Antenne stammt aus Japan. 1926 erfanden Shintaro Uda und Hidetsugu Yagi die Antenne. Etwas später veröffentlichte Yagi den ersten englischen Artikel. Aus diesem Grund wird heute oft die Antenne nur noch seinem Namen in Verbindung gebracht. Ein typisches Beispiel für die Verwendung einer Yagi-Antenne ist der Fernsehrundfunkempfang. Hierfür wird die Antenne für eine Frequenz von einigen 100MHz ausgelegt.

Zur Erhöhung der Richtwirkung kann sowohl Reflektor- als auch Direktordipole an einen primär erregten Dipol angebracht werden. Oft wird eine ganze Reihe von Direktoren, bis zu 20 Stück, benutzt. Jedoch beschränkt manch sich meist auf einen Reflektor. Zur Minderung der unerwünschten Rückstrahlung baut man höchstens noch mit weiteren Stäben den Reflektor zu einer reflektierenden Wand aus.

In der Praxis werden als Reflektoren meist Halbwelldipole verwendet. Der aktive gespeiste Dipol wird etwa 6% kürzer ausgeführt. In der Direktorreihen wird jeder Nachfolger ca. 1% kürzer als sein Vorgänger ausgelegt. Die Elementabstände liegen um $0,3\lambda$. Alle Strahler sind in ihrer Mitte auf einem Trägerstab befestigt. Durch die Strahlungskopplung, welche mit zunehmendem Abstand schwächer wird, werden die passiven Dipole zum Mitschwingen angeregt. Die unterschiedlichen Längen der Elemente führen zu unterschiedlichen Phasenverschiebungen zwischen einfallender und abgestrahlter Welle. Diese Phasenverschiebung sowie der Abstand der Elemente werden so dimensioniert, dass es in Hauptstrahlrichtung zu einer konstruktiven Überlagerung der Teilwellen und damit einer starken Abstrahlung kommt. Weitere die Elemente vom aktiven Dipol entfernt sind, desto weniger tragen sie zur Abstrahlung bei. Deshalb ist der erzielbare Gewinn einer Yagi-Antenne beschränkt. Wenn die Antennenlänge L auf einen Wert im Bereich $0.5 \leq L/\lambda_0 \leq 7$ verdoppelt wird, steigt der Gewinn nur um 2.2dB und nicht um 3dB.

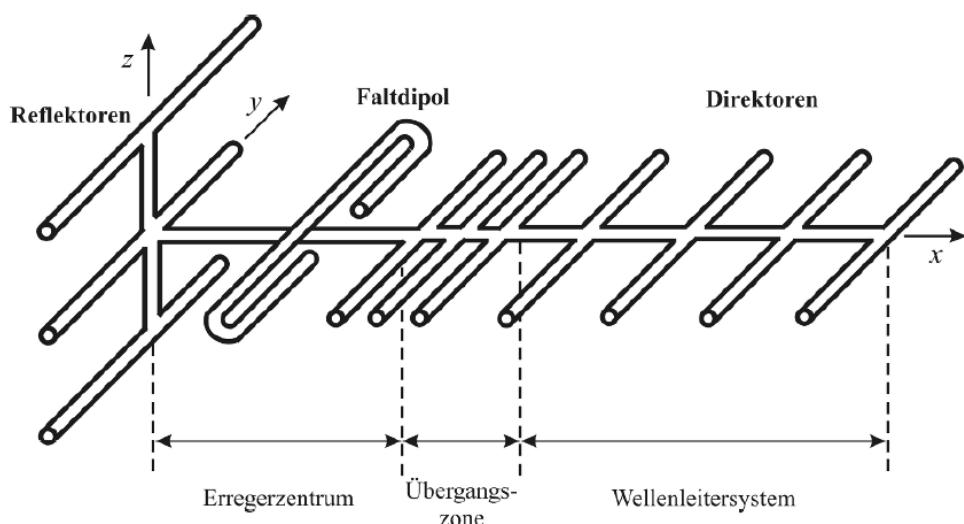


Abbildung 2.1: Aufbau einer Yagi-Antenne mit einem aktiv gespeisten Faltdipol und parasitären Strahlelementen.

Wie man aus der Abbildung 2.1 erkennen kann, lässt sich die Yagi-Antenne in drei Wirkungszonen unterteilen. Diese sind das Erregerzentrum, die Übergangszone und das Wellenleitersystem.

Erregerzentrum

Im Erregerzentrum wird die Bandbreite und der Eingangswiderstand der ganzen Antenne bestimmt. Durch die parasitären Elemente wird der Dipol stärker belastet. Deshalb wird der Strahlungswiderstand niederohmiger. Um dem entgegenzuwirken wird meistens ein Faltdipol verwendet, da er gegenüber einem "gestreckten" $\lambda/2$ -Dipol den Vorteil gröserer Breitbandigkeit und etwa viermal höheren Eingangswiderstand besitzt. Als Speiseleitung wird eine Flachbandleitung mit $Z_L \approx 240\Omega$ an den Dipol angeschlossen. Der Reflektor gehört auch zum Erregerzentrum. Er kann mit zusätzlichen Stäben zu einer reflektierenden Wand erweitert werden.

Übergangszone

Dieser Bereich besteht aus mehreren Direktoren. Sie dienen zur optimalen Anpassung der Strahlung des Erregerzenstrums an das folgende Wellenleitersystem.

Wellenleitersystem

Mit diesem System wird die Strahlungscharakteristik der Antenne bestimmt. Es wird aus mehreren Direktoren gebildet.

2.2 Strahlungsdiagramm

Das Strahlungsdiagramm wird genutzt um graphisch die Richtcharakteristik einer Antenne darzustellen. Das Diagramm gibt Informationen über die Feldstärkeverteilung von der Antenne in grosser Distanz. In der Abbildung 2.2 ist das Strahlungsdiagramm einer Yagi-Antenne dargestellt. Die Hauptstrahlrichtung der Antenne breitert sich zur Richtung des Direktors aus.

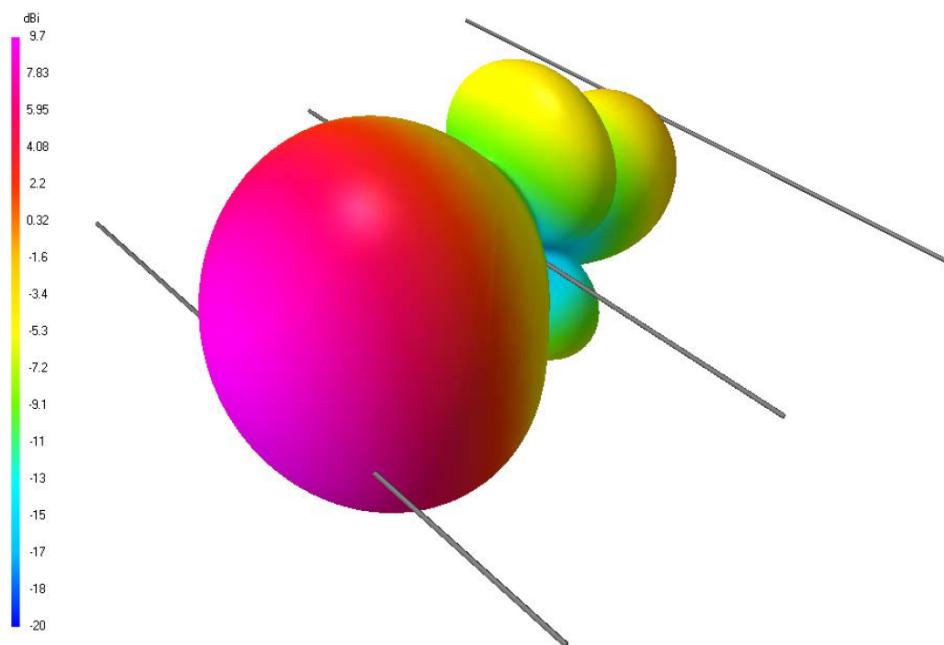


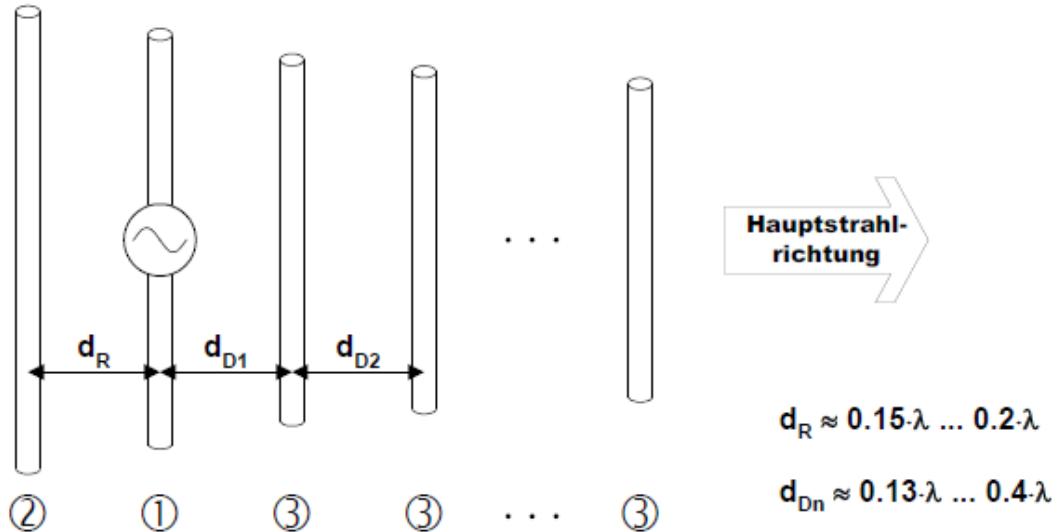
Abbildung 2.2: Strahlungsdiagramm einer Yagi-Antenne mit einem Direktor.

2.3 Impedanzanpassung ev. Flusspunktimpedanz

2.4 Mantelwellenunterdrückung

3 Berechnung

In diesem Kapitel wird anhand der Abbildung 3.1 die Abstände zwischen den Elementen sowie die Länge des Dipols, des Reflektor und den Direktoren berechnet. Die Yagi-Antenne soll für eine Frequenz von 144MHz ausgelegt werden. Diese Frequenz entspricht dem 2-Meter-Band, welches von den Amateurfunkern für eine Erde-Mond-Erde-Übertragung genutzt wird.



- ① Gespeister Strahler: Meist $\lambda/2$ -Faltdipol
- ② Reflektor: Länge $\geq \lambda/2$
- ③ Direktoren: Länge $< \lambda/2$

Abbildung 3.1: Aufbau einer Yagi-Antenne mit Dimensionsangaben.

Die Antenne soll aus einem Reflektor einem Dipol und fünf Direktoren bestehen. Die benötigten Elemente werden in dem nachfolgenden Teil berechnet.

Die Wellenlänge λ für 144MHz berechnet sich wie folgt:

$$\lambda = \frac{c}{f_0} = \frac{300 \times 10^6 \text{ m/s}}{144 \text{ MHz}} = 2.08 \text{ m} \quad (3.1)$$

Die Länge des Reflektor l_R berechnet sich wie folgt:

$$l_R \geq \frac{\lambda}{2} = \frac{2.08 \text{ m}}{2} = 1.04 \text{ m} \Rightarrow 1.2 \text{ m} \quad (3.2)$$

Die Länge des Dipols l_S berechnet sich wie folgt:

$$l_S = \frac{\lambda}{2} = \frac{2.08 \text{ m}}{2} = 1.04 \text{ m} \quad (3.3)$$

Die Länge der Direktoren l_{Dn} berechnet sich wie folgt:

$$l_{Dn} \leq \frac{\lambda}{2} = \frac{2.08 \text{ m}}{2} = 1.04 \text{ m} \Rightarrow 0.9 \text{ m} \quad (3.4)$$

Der Abstand d_R zwischen Reflektor und Dipol berechnet sich wie folgt:

$$d_R \approx 0.15 \cdot \lambda = 0.15 \cdot 2.08 \text{ m} = 0.312 \text{ m} \Rightarrow 0.32 \text{ m} \quad (3.5)$$

Der Abstand d_{Dn} zwischen Dipol und Direktor oder Direktor und Direktor berechnet sich wie folgt:

$$d_{Dn} \approx 0.2 \cdot \lambda = 0.2 \cdot 2.08 \text{ m} = 0.416 \text{ m} \Rightarrow 0.4 \text{ m} \quad (3.6)$$

Die Länge des Trägerstabs l_T berechnet sich wie folgt:

$$l_t = d_R + 5 \cdot d_{Dn} + Anfang = 0.32 \text{ m} + 5 \cdot 0.4 \text{ m} + 0.2 \text{ m} = 2.52 \text{ m} \quad (3.7)$$

Alle Masse sind in der Tabelle 3.1 zusammengefasst.

Name	Masse [m]
Wellenlänge	2.08
Länge Reflektor	1.2
Länge Dipol	1.04
Länge Direktor	0.9
Länge Trägerstab	2.52
Distanz d_R	0.32
Distanz d_{Dn}	0.4

Tabelle 3.1: Zusammenstellung der Längen der Elemente sowie deren Abstand zueinander.

4 Simulation

Für das Testen des theoretischen Aufbaus der Yagi-Antenne wurde eine Simulation mit *CST Studio* durchgeführt. Somit kann vor dem Zusammenbau der Antenne dessen Funktion verifiziert werden und falsche Berechnungen überprüft werden. Dieser Abschnitt erläutert die Vorgehensweise bei der Simulation und dessen Resultate.

4.1 Aufbau der Antenne

Um die Antenne so realitätsnahe wie möglich simulieren zu können wurde Aluminium ($\sigma = 3.56 \times 10^7 \text{ S/m}$) und Holz aus der Materialsbibliothek geladen. Anschliessend wurde die Antenne anhand den Parametern aus Kapitel 3 konstruiert. Die fertig konstruierte Antenne ist in Abbildung 4.1 zu sehen.

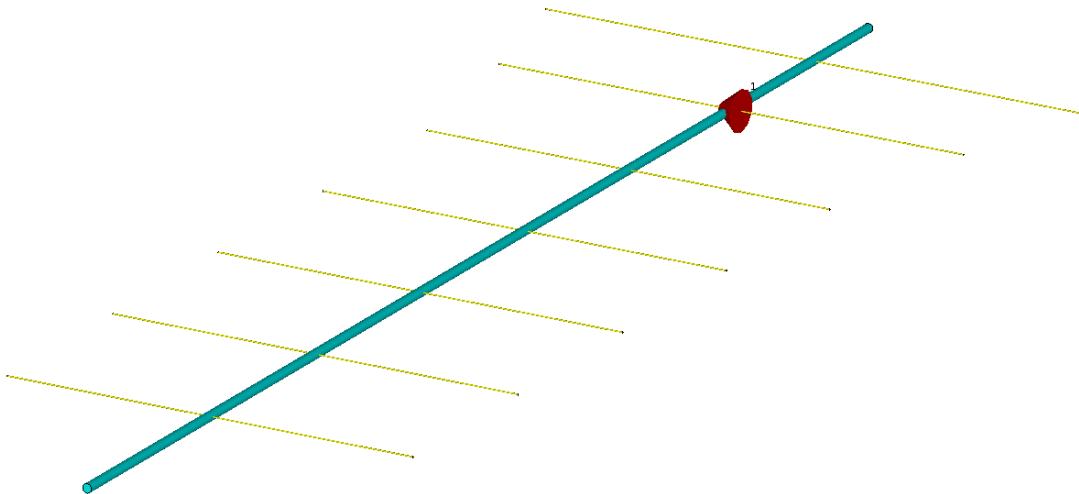


Abbildung 4.1: Aufbau der Yagi-Antenne in *CST Studio*.

4.2 Simulationsresultate

Für die Simulation sind für den Bericht vor allem zwei Parameter wichtig: die S-Parameter und das Fernfeld. Letzteres wurde bei 144 MHz gemessen und ist in Abbildung 4.2 zu sehen. Zur Veranschaulichung ist ein 3D-Diagramm zu sehen, wie bereits in Abbildung 2.1 dargestellt. Daneben befindet sich das Richtdiagramm, welches im Bericht von *hf1* ausführlich beschrieben ist. Aus dem Richtdiagramm lässt sich eine Halbwertsbreite von 56.0° und eine Abstrahlstärke in Hauptrichtung von 10.3 dBi ablesen.

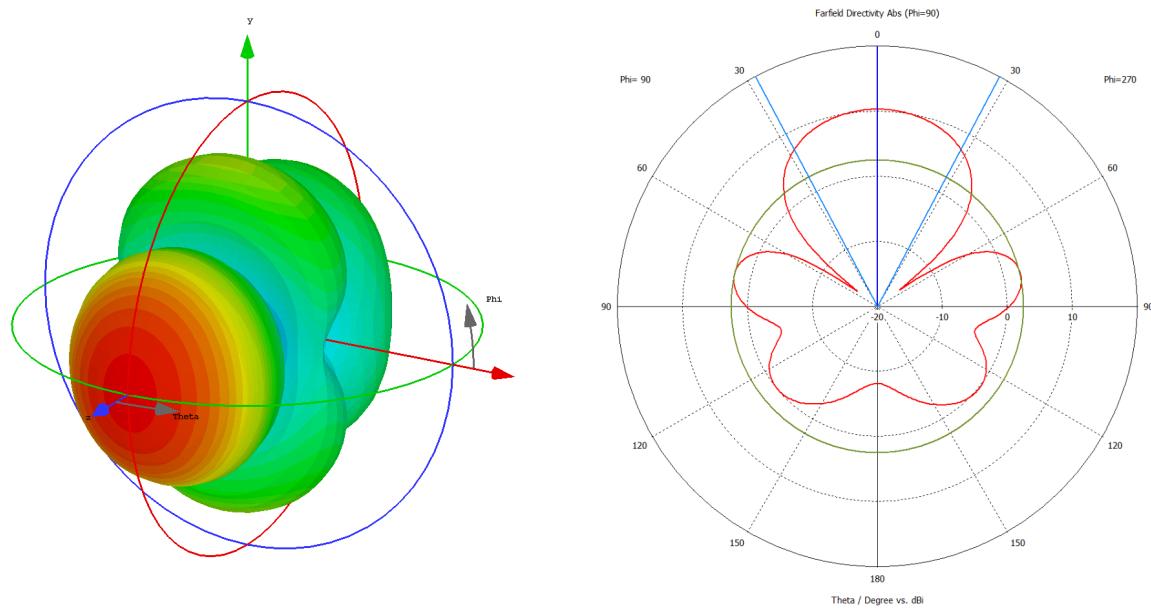


Abbildung 4.2: Fernfeld 3D- und Richtdiagramm der Yagi-Antenne.

Als Vergleich wurden eine Messung mit nur zwei Direktoren durchgeführt. Die identische Simulation wurde nochmals laufen gelassen, wobei sich das 3D- und Richtdiagramm aus Abbildung 4.3 ergibt. Hierbei ist bereits ersichtlich, dass die Hauptkeule viel breiter ist und sich total weniger Keulen ergeben. Die Halbwertsbreite beträgt bei dieser Antenne 89.2° und die Abstrahlstärke in Hauptrichtung 7.6 dBi . Somit kann bestätigt werden, dass mehr Direktoren zu einer kleineren Halbwertsbreite führen und dessen Abstrahlstärke dadurch auch stärker wird.

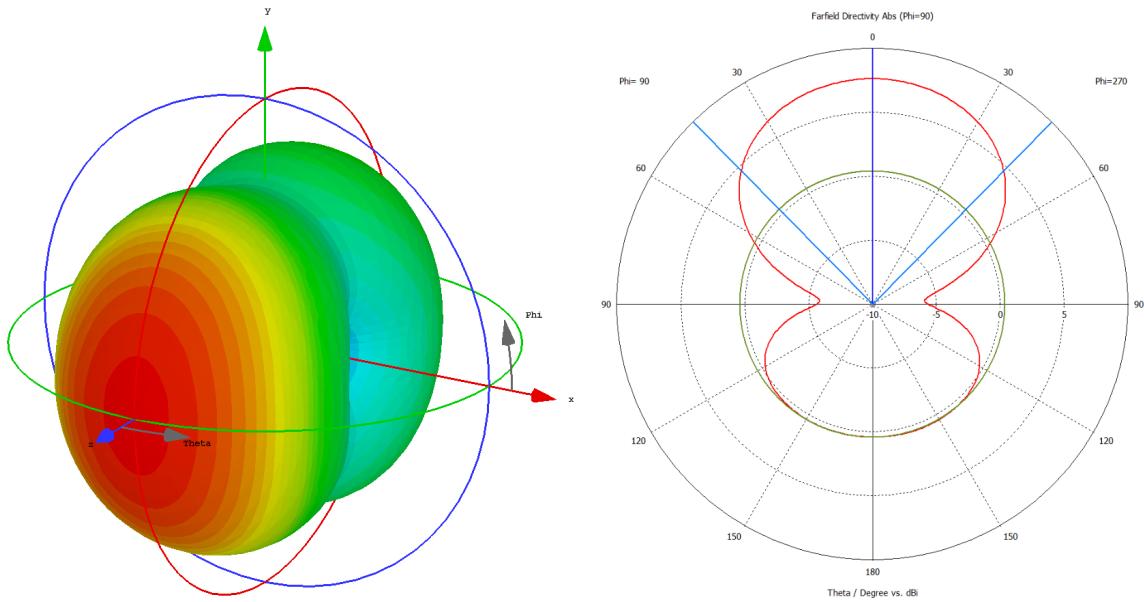


Abbildung 4.3: Fernfeld 3D- und Richtdiagramm der Yagi-Antenne mit nur 2 Direktoren.

Während die 3D-Diagramme gut sind für das Verständnis der Abstrahlung der Antenne, für den Bericht sind die Messungen bezüglich der S1,1 Parameter aussagekräftiger (und vor allem auch einfacher messbar). Diese Parameter werden anschliessend in Kapitel 6 im Labor gemessen und können als Verifikation verwendet werden. Somit wurde die Antenne mit dem *Frequency Domain Solver* ausgemessen.

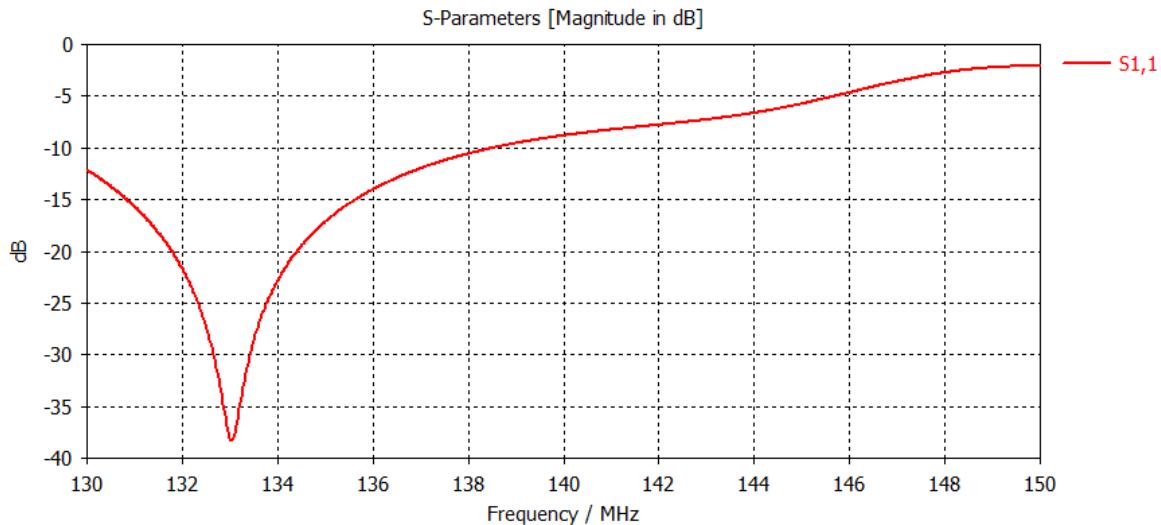


Abbildung 4.4: S1,1 Parameter der simulierten Yagi-Antenne.

Abbildung 4.4 zeigt die S1,1 Parameter der konstruierten Yagi-Antenne. Wie bereits erwähnt wurde diese für 144.125 MHz berechnet, wobei bei der Simulation eine Grenzfrequenz von 133.0 MHz gemessen wird. Die dabei abweichende Grenzfrequenz kann vor allem durch das Anpassen der Länge des Dipols verbessert werden. Für das bessere Verständnis der Antenne werden die für die Simulation berechneten Parameter um ± 5 cm angepasst, womit dessen Auswirkungen auf die S1,1 Parameter dargestellt werden können.

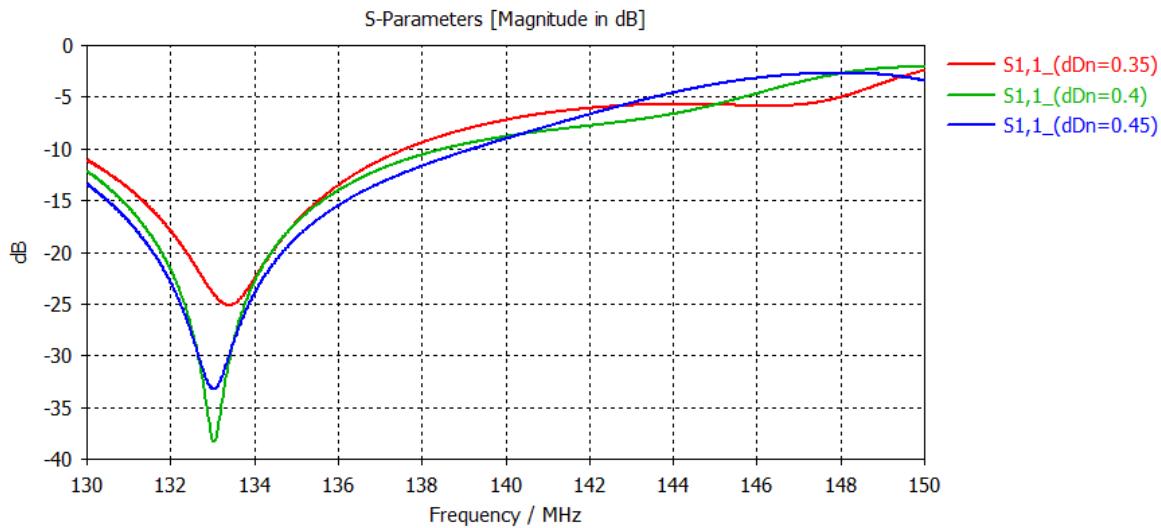


Abbildung 4.5: Resultat der S1,1 Parameter durch Abändern von dDn .

In Abbildung 4.5 wird das Resultat durch verändern des Abstandes zwischen den Direktoren dargestellt. Erwartungsgemäss hat dieser Abstand nahezu keinen Einfluss auf die Grenzfrequenz, sondern nur auf den Antennengewinn. Kleine Abweichungen vom berechneten Wert können dabei

bereits eine Verschlechterung von 15 dB ausmachen (dies liegt jedoch auch daran, dass alle 5 Direktoren dabei voneinander um 5 cm verschoben werden, weshalb der letzte Direktor ganze 25 cm weiter hinten liegt).

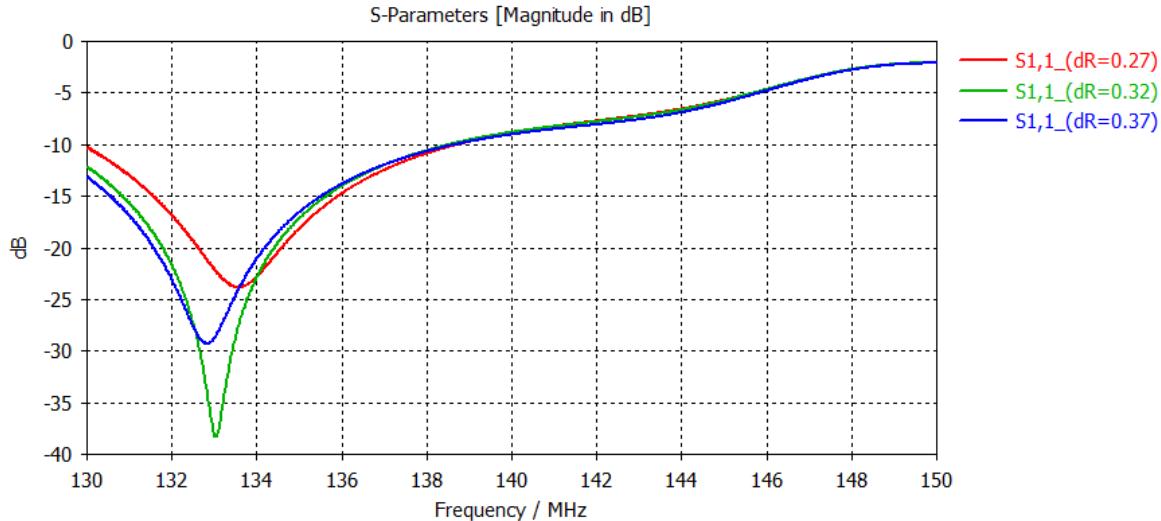


Abbildung 4.6: S1,1 Parameter mit sich änderndem Abstand des Reflektors zum Dipol.

Auch ein Abändern des Abstandes des Reflektors zum Dipol hat nur einen minimalen Einfluss auf die Grenzfrequenz. Dies ist der Abbildung 4.6 zu entnehmen. Dabei haben die kleinen Veränderungen nahezu das selbe Ausmass wie bei den Direktorenabständen in Abbildung 4.5. Das Verhalten der S1,1 Parameter entfernt der Grenzfrequenz ist jedoch nahezu identisch.

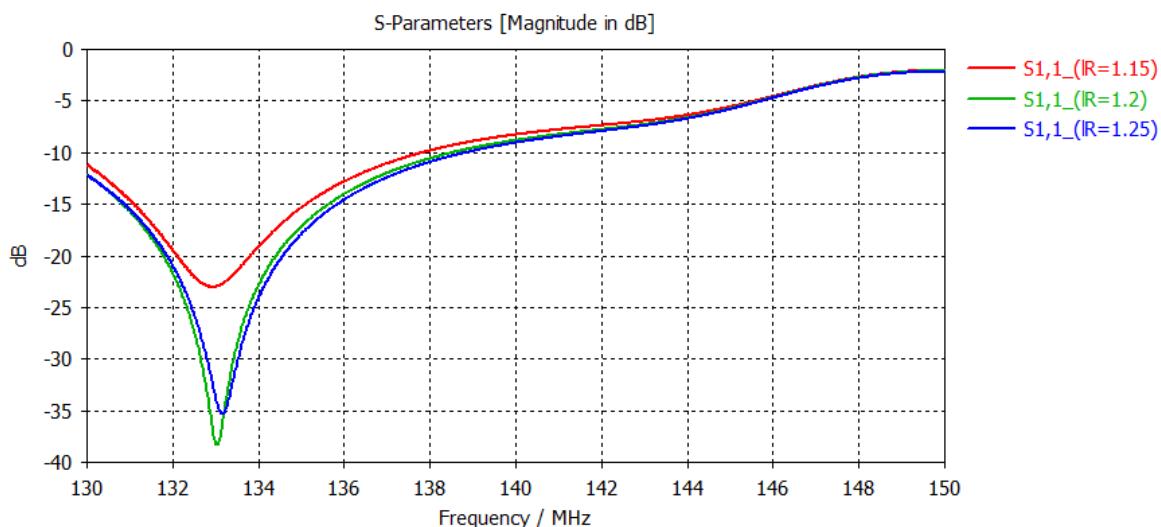


Abbildung 4.7: Resultat durch Abändern der Reflektolänge.

Wie im Kapitel 3 beschrieben soll die Länge des Reflektors mindestens eine halbe Wellenlänge betragen. Dieser Wert wurde grosszügig gerundet, wobei Abbildung 4.7 zu entnehmen ist, dass zu kleine Werte für die Reflektolänge dem Antennengewinn viel mehr schaden als zu grosse Werte. Daher lohnt es sich, die Yagi-Antenne eher zu überdimensionieren anstelle von zu knappen Werten, damit der Antennengewinn nicht zu schwach ist. Jedoch muss dabei auch beachtet werden, dass ein zu langer Reflektor wiederum den Antennengewinn verschlechtern kann. Daher muss bei einem genauen Design ein Optimum gefunden werden.

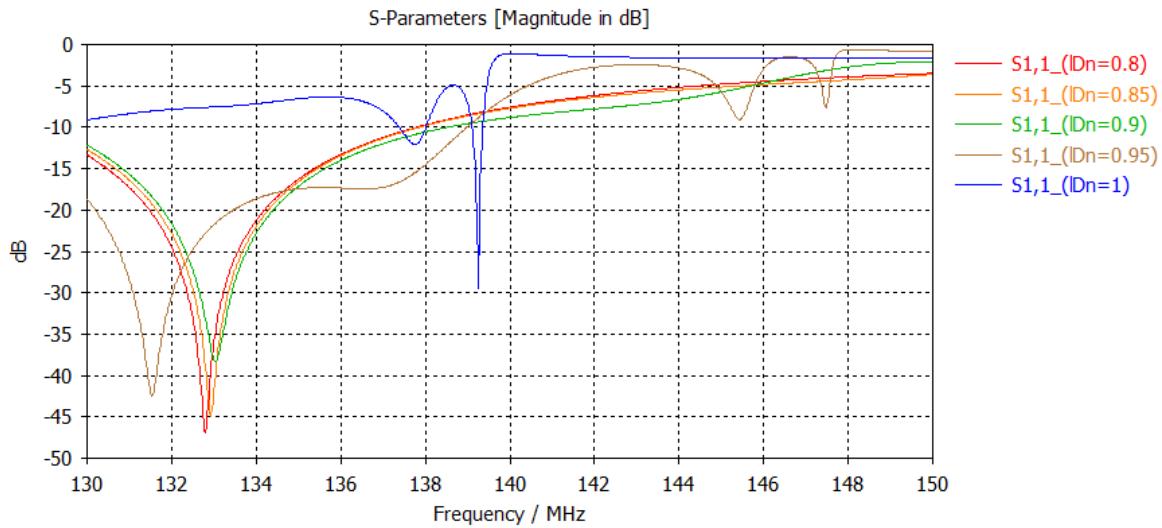


Abbildung 4.8: Einfluss der Direktorenlänge auf die S_{1,1} Parameter.

Der Einfluss der Direktorenlänge ist in Abbildung 4.8 zu sehen. Diese soll, wie in den Berechnungen beschrieben, weniger als eine halbe Wellenlänge betragen. Dabei scheinen zu knapp dimensionierte Werte sehr merkwürdige Resultate abzuliefern, weshalb bei dieser Simulation zwei zusätzliche Messungen durchgeführt wurden (eine Direktorenlänge von 1 m beträgt weniger als eine halbe Wellenlänge, liefert jedoch schon zu schlechte Resultate). Bei kürzeren Direktoren wird nicht viel Antennengewinn aufgegeben, während für lange Werte die Grenzfrequenz stark verschoben wird (für die Messung mit dem längsten Reflektor liegt diese ausserhalb des gemessenen Bereiches). Daher lohnt es sich, diese eher zu kurz zu wählen.

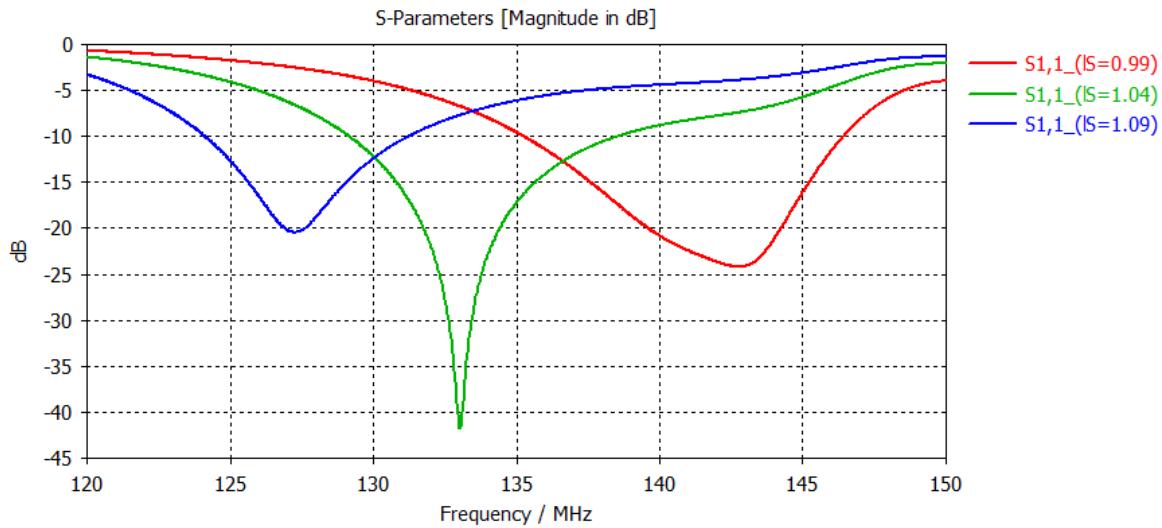


Abbildung 4.9: Verhalten der S_{1,1} Parameter bei Abändern der Länge des Strahlers.

Abbildung 4.9 zeigt wie sich die Grenzfrequenz beim Abändern der Strahlerlänge verhält. Idealerweise beträgt diese Länge exakt eine halbe Wellenlänge, jedoch hat die Simulation gezeigt, dass die Grenzfrequenz der berechneten Antenne ungefähr 10 MHz zu tief liegt. Diese Simulation zeigt jedoch, dass die Dimensionierung für die berechnete Antenne sich am Besten verhält im Gegensatz zu den anderen zwei Simulationen. Für kürzere oder längere Strahler kann die

Grenzfrequenz im Gegensatz zu den vorherigen Messungen am effektivsten verschoben werden, jedoch leidet der Antennengewinn stark darunter.

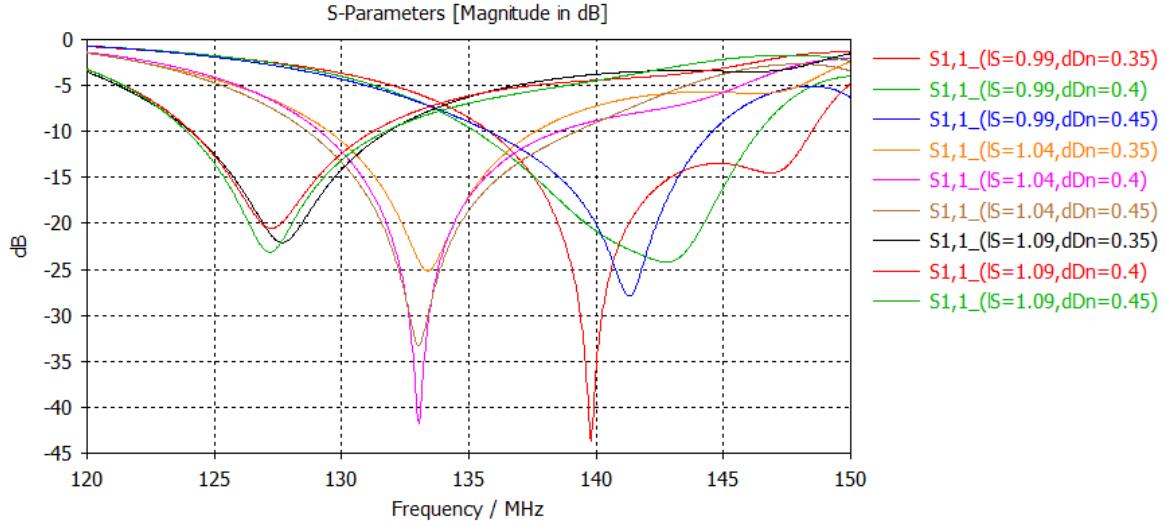


Abbildung 4.10: Einfluss der Abänderung der Strahlerlänge und des Direktorenabstandes auf die S1,1 Parameter.

Anhand der vorherigen Simulation kann angenommen werden, dass blass ein Abändern der Strahlerlänge nicht ausreicht. Deshalb wurde als Beispiel eine weitere Grösse angepasst. In Abbildung 4.10 sind die S1,1 Parameter zu sehen bei Veränderng der Strahlerlänge und der Direktorenabstände. Dabei wird zum Beispiel aufgezeigt, dass bei einem kürzeren Strahler druch das Anpassen der Direktorenabstände der Antennengewinn stark verbessert werden kann. Somit wurde durch die Simulation ein Parameterset gefunden, für welches die Antenne bie 140 MHz sehr gute Eigenschaften besitzt. Dieses Verfahren könnte weiter verwendet werden, um ein Optimum bei 144 MHz zu erreichen, was bei 5 veränderbaren Grössen relativ kompliziert werden kann. Da jedoch ein Grossteil der Simulationen bereits optimale Eigenschaften bei 133 MHz aufweisen, wurden für den Bau der Antenne die bereits berechneten Werte verwendet.

5 Aufbau

In der Abbildung 5.1 ist die zusammengebaute Yagi-Uda-Antenne dargestellt. Die wichtigsten Bestandteile der Antenne sind die 3D-Elemente, die Aluminiumstäbe, das Rundholz und die Speisung des Dipols. Alle benötigten Bauteile sind in der Tabelle 5.1 aufgeführt. Jedes dieser Bestandteile ist mit einer Nummer versehen, welche sich in der Abbildung beim passenden Element befindet. Die 3D-Elemente und der Aufbau des Dipols werden später noch genauer erklärt.

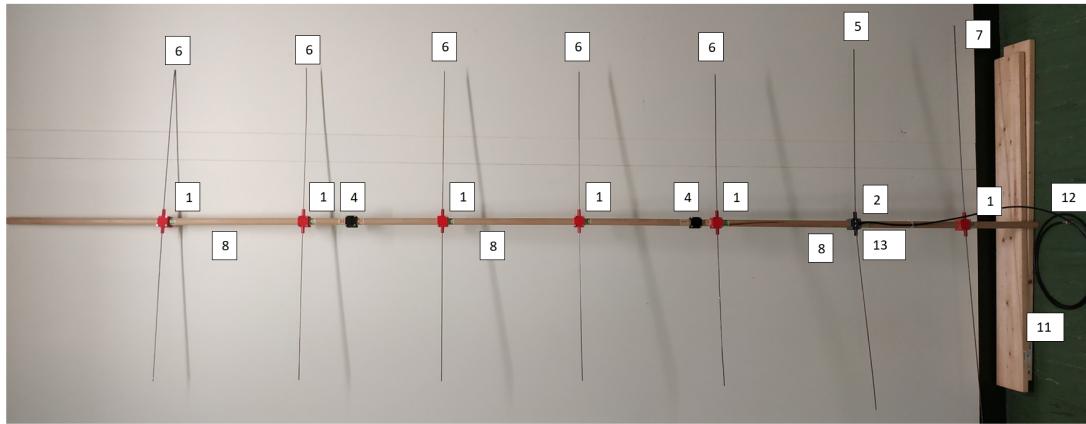


Abbildung 5.1: Aufbau eigener Yagi-Antenne mit nummerierten Bauteilen

Nummer	Bauteil	Hersteller	Anzahl
1	3D-Element Direktor/Reflektor	Eigenkonstruktion	6
2	3D-Element Dipol	Eigenkonstruktion	1
3	3D-Element Unten	Eigenkonstruktion	7
4	3D-Element Halterung	Eigenkonstruktion	2
5	Aluminiumstab Ø2 mm Dipol	FHNW Werkstat	1
6	Aluminiumstab Ø2 mm Direktor	FHNW Werkstat	5
7	Aluminiumstab Ø2 mm Reflektor	FHNW Werkstat	1
8	Holzrundstab Ø20 mm, L=1 m	Jumbo	3
9	M3 Impusschrauben	Institut ISE	36
10	M3 Muttern	Institut ISE	36
11	Kabel	Institut ISE	1
12	Stecker	Institut ISE	1
13	Kabelschuh	Institut EA	2

Tabelle 5.1: Zusammenstellung aller verwendeten Bauteilen.

Die Halterung für den Dipol, den Reflektor und die Direktoren sind mit einem 3D-Drucker hergestellt worden. Die Zeichnungen sind im Autodesk Fusion 360 konstruiert worden und danach mit dem Ultimaker 2+ gedruckt. Die Elemente sind in der Abbildung 5.2 dargestellt.

Das spezielle der Konstruktion für die Halterung für den Dipol (Bild a) ist, dass sie Platz bietet um das Koaxialkabel anzuschliessen sowie die beiden Aluminiumstäbe, welche den Dipol bilden in der Mitte trennt.

Die Halterung für den Direktor/Reflektor (Bild b) ist so konstruiert, dass der Aluminiumstab sehr einfach durch die Öffnung hindurchgeschoben und mit Leim fixiert werden kann.

Mit dem Gegenstück der Halterung (Bild c), vier Impusschrauben und dem Oberteil (Bild a,b) kann das Element auf dem Trägerstab montiert werden. Die drei Trägerstäbe werden mit zwei Gegenstücke zusammengebaut. Nun können die Distanzen zwischen den Elementen ganz einfach angepasst werden durch leichtes Lösen der Schrauben.

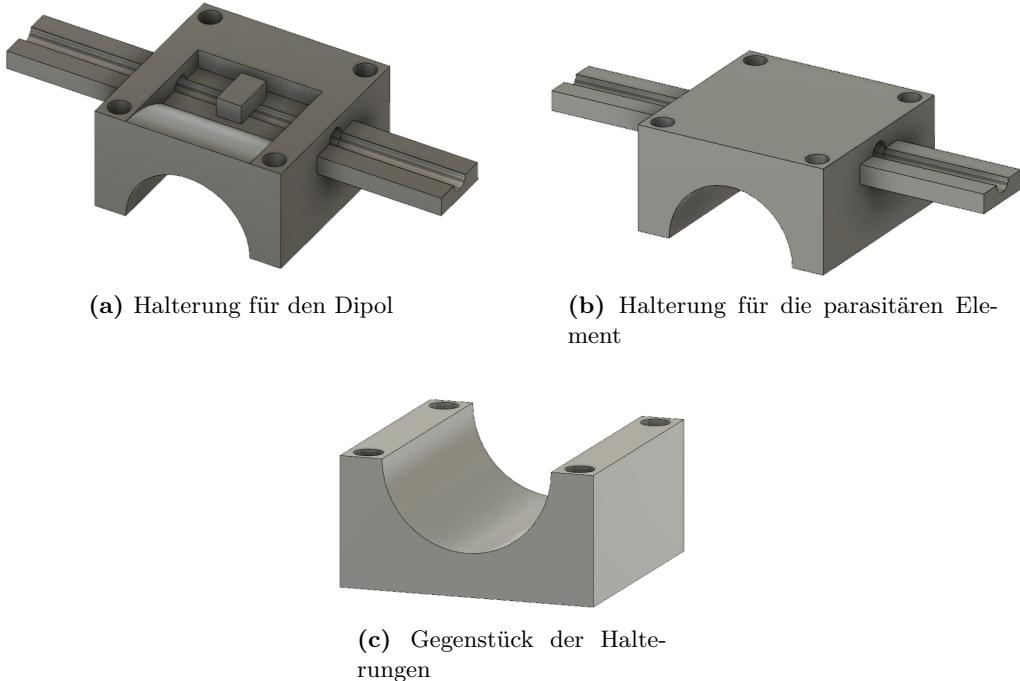


Abbildung 5.2: Zeichnungen der 3D-gedruckten Elemente

In der Abbildung 5.3 ist der Aufbau des Dipols dargestellt. Der Leiter des Koaxialkabels ist am einen Teil und der Schirm an dem anderen Teil des Dipols angebracht. Die Befestigung wurde mit einem Kabelschuh realisiert. Dafür wurde bei dem Aluminiumstab ein Aussengewinde gedreht. Zum Schutz wurde das Ganze mit einem Schrumpfschlauch versehen.

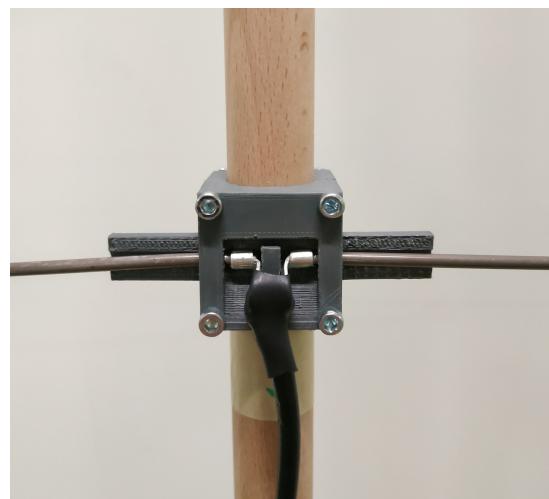


Abbildung 5.3: Aufbau des Dipols der Yagi-Antenne

6 Messung

Die in Kapitel 5 gebaute Antenne muss für die Verifikation dessen Funktionsweise ausgemessen werden. Die Resultate werden dabei mit der Simulation aus Kapitel ?? verglichen. Dieses Kapitel befasst sich mit der Messung der Antenne im Labor.

6.1 Ideale Messung

Um eine Antenne vermessen zu können müssen ideale Bedingungen erfüllt werden. Bereits kleine Imperfektionen können zu Störungen führen. Die Bedingungen sind dabei davon abhängig, welche Eigenschaft der Antenne ausgemessen werden soll. Für ideale Messungen werden reflexionsarme Räume bevorzugt **range**. Diese Räume sind so aufgebaut, dass elektromagnetische Wellen an den Wänden und dem Boden absorbiert werden. Da der Abstand von der Empfängerantenne zur Testantenne für Fernfeldmessungen in der Regel mehrere Wellenlängen betragen muss ($R > \frac{2D^2}{\lambda} \approx R \gg D$, wobei R den Abstand der Antennen darstellt und D die lineare Dimension der Antenne, siehe **Frauenhofer-Distanz frauenhofer**), werden je nach Antenne sehr grosse Räume benötigt. Daher werden Antennen mit tiefen Frequenzen in der Natur, zum Beispiel in den Bergen, ausgemessen.

6.2 Messaufbau

Um die Antenne auszumessen wird der *Network Analyser E5071B* von *Agilent Technologies* verwendet. Die Antenne wird dabei über einen Adapter am Port 1 des Gerätes angeschlossen.

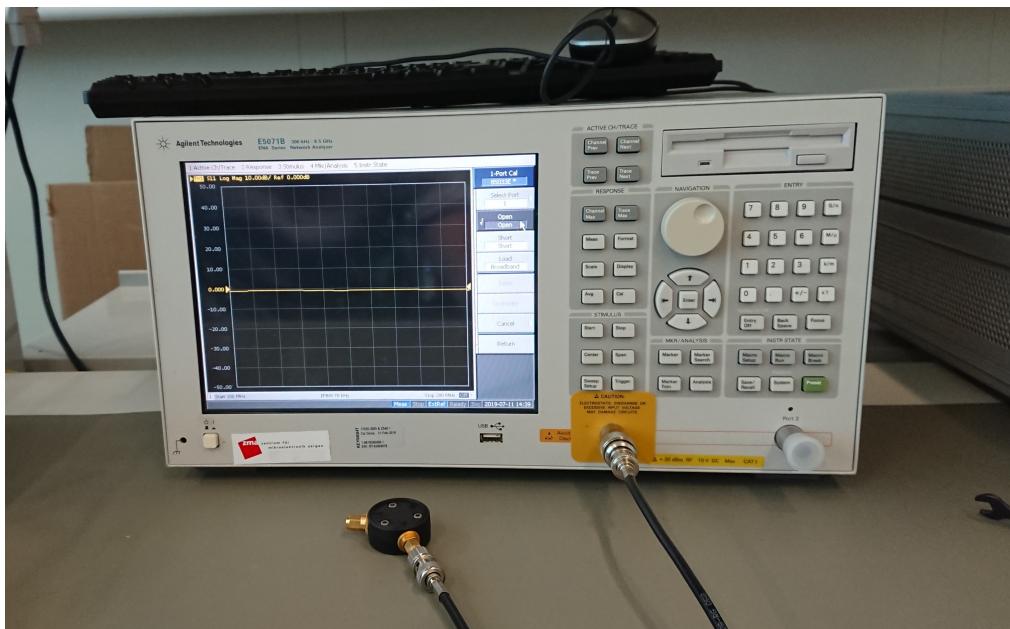


Abbildung 6.1: Aufbau der Messung mit der Antenne. Im Bild wurde mit dem Element des *Calibration Kits* der Network Analyser kalibriert.

Der Messaufbau ist in Abbildung 6.1 abgebildet. Hierbei ist jedoch das Element des *Calibration Kits* angeschlossen, welches durch die Antenne ausgetauscht wird.

6.3 Kalibration des Network Analysers

Damit die Messungen so genau wie möglich werden muss das Messgerät zuerst kalibriert werden. Da das Koaxkabel der Antenne direkt am Dipol der Yagi-Antenne angelötet ist, muss für die

Kalibration ein Kabel bereitgestellt werden. Dieses muss aus dem selben Kabel-Typ wie das der Antenne bestehen und eine identische Länge aufweisen (2.06 m, leicht länger als eine Wellenlänge). Anschliessend wird das *Calibration Kit 85033D* von *Hewlett Packard* verwendet um die Kalibration durchzuführen. Die Kalibration wird manuell mit dem Network Analyser gestartet. Anschliessend wird das eine Ende des 2.06 m Koaxkabel über einen passenden Adapter am Port 1 des Network Analysers angeschlossen, während am anderen Ende eines der drei Abschlüsse des *Calibration Kits* entsprechend dem Kalibrationsvorgang angeschlossen. Dabei stehen drei Abschlüsse zur Verfügung:

- Kurzschluss (S, Short definition)
- Offener Abschluss (O, Open definition)
- Abschlusswiderstand (L, Load definition)

Diese Abschlüsse sind in Abbildung 6.2 aufgeführt. Die Kalibration muss dabei über einen angemessen Bereich durchgeführt werden, welcher für die Yagi-Antenne auf 100 MHz bis 200 MHz eingestellt wurde. Nach dieser Kalibration kann die Antenne ausgemessen werden. Der kalibrierte Network Analyser ist unter dem Messaufbau in Abbildung 6.1 abgebildet, was anhand der konstanten Dämpfung identifizierbar ist.



Abbildung 6.2: Element des *Calibration Kits* mit allen drei Abschlüssen. Der offene Abschluss wurde dabei entfernt und dessen Messung kann ohne Abschluss durchgeführt werden.

6.4 Messung der Antenne im Labor

Da kein reflexionsarmer Raum zu Verfügung steht muss die Antenne entweder im Freien oder im Labor des ISE ausgemessen werden. Dabei wurde das Labor ausgewählt um den Transport der Messgeräte zu vermeiden. Das Labor besteht jedoch aus sehr vielen Störquellen, weshalb die Ausmessung der Antenne nur als Verifikation der Funktionsweise angesehen werden soll.

Bei der Messung ist jedoch relativ schnell klar geworden, dass kleine Änderungen der Ausrichtung der Antenne schon grosse Schwankungen aufzeigen. Bei der Messung ist daher wichtig, die Antenne stabil zu halten oder zu befestigen.

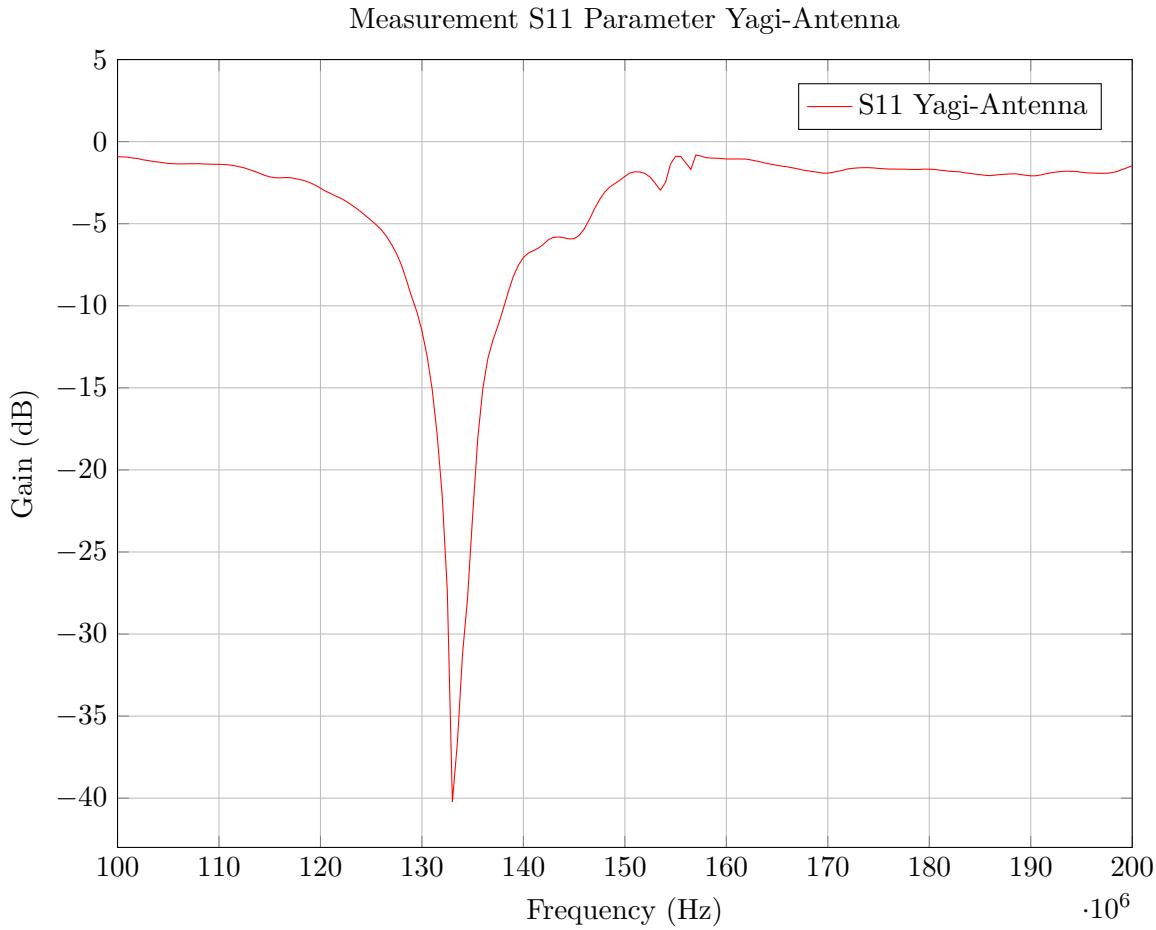


Abbildung 6.3: Messung der Yagi-Uda-Antenne im Labor mit dem Network Analyser.

Abbildung 6.3 zeigt die gemessenen S1,1 Parameter der gebauten Antenne im Labor. Die Auflösung der exportierten Datenpunkte ist nicht ganz optimal, da diese in 1 MHz-Schritten aufgezeichnet wurden, aber es kann eine Grenzfrequenz von 133 MHz abgelesen werden. Diese Frequenz ist interessanterweise identisch mit der Frequenz der Simulation in Kapitel ???. Es sind Abweichungen zu erwarten gewesen durch die schlechten Messverhältnisse, jedoch liegt die Frequenz ziemlich genau im selben Bereich. Es muss jedoch auch vermerkt sein, dass wie bereits erwähnt die Frequenz um mehrere Megahertz schwankt bereits beim stabilen Festhalten der Antenne.

Weitere Messungen der Antenne wurden nicht direkt durchgeführt, da die Schwankungen während der Messung der S1,1 Parameter zu gross sind, um genaue Schlüsse aus den Resultaten zu ziehen. Zudem ist die Antenne bereits schon etwas deformiert, was nur weitere Ungenauigkeiten liefert.

7 Fazit

Literatur

- [1] K. W. Kark, *Antennen und Strahlungsfelder*. Vieweg+Teubner, 2011.