

Diplomarbeit

**Empfangsstation für globales
Satellitenbodenstationsnetzwerk
SatNOGS**

Ritter Gabriel, Metzler Jakob

18. Dezember 2023

Betreuer: Dipl.-Ing. König Christian

1 Abstract

Ziel der Diplomarbeit ist es, eine funktionstüchtige Satelliten-Ground-Station aufzubauen, um mit Satelliten im Amateurfunkband, vor allem auch dem CubeSat des STS1, kommunizieren zu können.

Im ersten Schritt muss hierzu die Ground-Station selbst aufgebaut werden. Dazu gehören zum Beispiel die Demodulation, Low-Noise-Amplification und ein Software-Defined-Radio. Sobald die Ground-Station funktionstüchtig ist, sollen drei verschiedene Antennen-Typen gebaut und mit der Ground-Station betrieben werden, um den besten Antennen-Typ für den Empfang der CubeSat-Daten zu ermitteln. Die empfangenen Daten sollen weiters über eine grafische Benutzeroberfläche übersichtlich dargestellt werden können.

Im letzten Schritt werden die verschiedenen Antennen charakterisiert und Werte wie die Richtcharakteristik und der Gain ermittelt.

2 Vorwort

Wir wollen allen danken die blabla so dankbar bla

Inhaltsverzeichnis

1	Abstract	2
2	Vorwort	3
3	Theoretische Grundlagen	5
3.1	SatNOGS-Netzwerk	5
3.2	grundlegende Antennentheorie	7
3.2.1	Einführung	7
3.2.2	Antennenfeldzonen	7
3.2.3	Polarisation	7
3.2.4	Kenngößen einer Antenne	8
3.2.5	Antennentypen	10
3.2.6	Baluns	10
4	Hauptteil	11
4.1	Antennen	11
4.1.1	1. Antenne: Dipol	11
4.1.2	2. Antenne: QFH (Quadrifilar Helical Antenna)	11
4.1.3	3. Antenne: Helix-Antenne	11
4.2	Kommunikationsprotokolle: CCSDS	11
4.2.1	Punctured Convolutional Code	11
4.2.2	Reed Solomon 255,223 coding	11
4.2.3	Standard CCSDS descrambling	11
4.2.4	Standard CCSDS Sync Word	11
4.2.5	CRC32 _C Checksum	11
5	Zusammenfassung	12
6	Literaturverzeichnis	13
7	Abkürzungsverzeichnis	15
8	Begleitprotokoll	16
9	Anhang	17

3 Theoretische Grundlagen

In diesem Kapitel werden die theoretischen Grundlagen der Antennen-und Leitertheorie gelegt sowie das SatNOGS Netzwerk näher erläutert.

3.1 SatNOGS-Netzwerk

Das SatNOGS-Netzwerk spielt eine zentrale Rolle in unserer Diplomarbeit und bietet hundert Forschern, Amateurfunkern und Interessierten eine Plattform für verlässliche Kommunikation mit Satelliten.

Das, was SatNOGS zu so einer attraktiven Lösung macht, ist der Fakt dass die Bodenstation um den ganzen Globus verteilt sind. Der große Vorteil davon ist, dass der Empfang von Satellitendaten nun über alle verfügbaren Empfangsstationen laufen kann.

In Abbildung 1 wird die Topologie des SatNOGS-Netzwerkes abstrahiert dargestellt. Alle über das Netzwerk verfügbaren Bodenstationen sind mit SatNOGS-Servern verbunden. Auf diese Server kann über die Website bzw. API zugegriffen werden, welche die empfangenen Satellitendaten für alle Benutzer erreichbar macht.

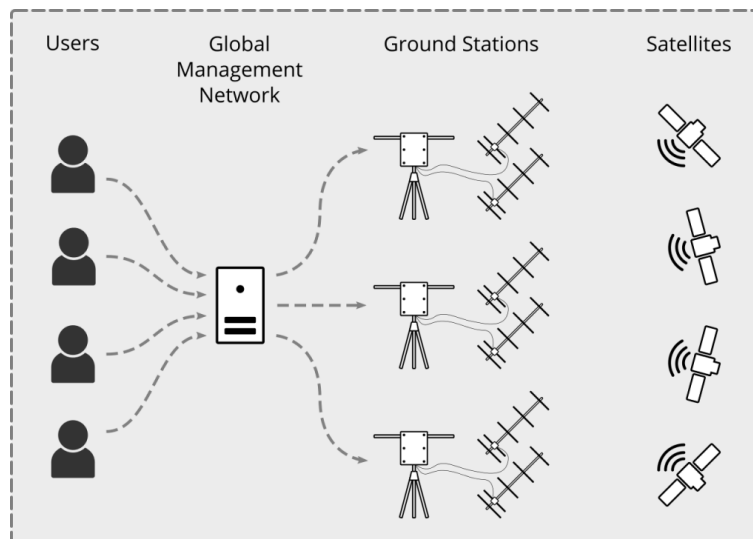


Abbildung 1: Erklärung des SatNOGS Netzwerkes

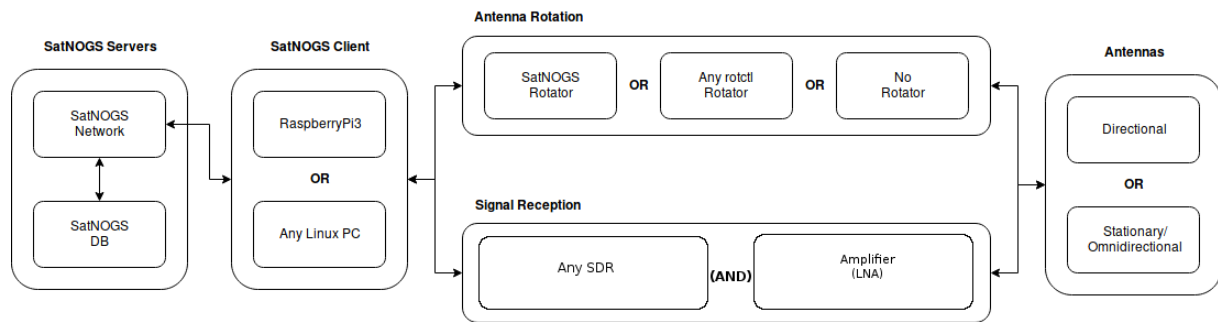


Abbildung 2: SatNOGS-Systemtopologie

Um näher auf den Ablauf des Datenempfangs und der benötigten Systemblöcke einzugehen wird auf Abbildung 2 verwiesen.

Zum Empfang von Daten kommen zwei Antennentypen infrage: Direktionale oder omnidirektionale Antennen. Eine direktionale Antenne folgt dem Verlauf des Satelliten. Dies bringt den Vorteil mit sich, dass eine höhere Empfangsleistung erzielt, und somit klarere Daten empfangen werden, jedoch wird für solch ein Modell ein Rotator benötigt. Der Vorteil einer omnidirektionalen Antenne ist, dass kein teurer Rotator notwendig ist, allerdings können damit nur schwer brauchbare Daten empfangen werden.

Für gerichtete Antennen können verschiedene Rotatoren benutzt werden, unter anderem der SSatNOGS-Rotator sowie diverse Open-Source-Rotatoren und Rotatoren welche zum Verkauf stehen.

Zur Demodulation der Daten sind ein SDR (Software Defined Radio) sowie ein LNA (Low Noise Amplifier) notwendig. Das SDR übernimmt softwaretechnische Aufgaben welche normalerweise von Hardware übernommen werden (Demodulation, Filter, Mixer, etc...). Der LNA, wie der Name schon andeutet, ist für die Verstärkung kleiner Signale mit besonderer Rauscharmut verantwortlich.

Die Aufgabe des SatNOGS Clients kann in der Regel von jedem Linux-PC oder RaspberryPi übernommen werden. Allerdings wird die Kompatibilität zwar für alle Linux-basierten PCs, jedoch nur für die RaspBerryPis Version 3, 3+ und 4 garantiert.

Der SatNOGS Client ist mit den Servern verbunden, der die Bodentation als solche im Netzwerk repräsentiert. Die Server unterhalten weiters eine Datenbank, welche Daten über Satelliten enthält, die mit den Empfangsstationen erreichbar sind.

3.2 grundlegende Antennentheorie

3.2.1 Einführung

Um die in der Diplomarbeit bearbeiteten Inhalte besser verstehen zu können, wird eine Einführung in die Grundlagen der Antennentheorie gegeben.

3.2.2 Antennenfeldzonen

Das von einer Antenne abgestrahlte Feld lässt sich in 3 verschiedene Regionen einteilen: das Nahfeld, das Übergangsfeld (Fresnel-Region) und das Fernfeld (Fraunhofer-Region).

Je nach Literatur erfolgt der Übergang zwischen den Feldzonen fließend. Eine Möglichkeit die Zonen einzuteilen ist in der nachfolgenden Tabelle einzusehen.

Nahfeld	Übergangsfeld	Fernfeld
$r < 0.2 \lambda$	$0.2 \leq r \leq 4\lambda$	$r > 0.4\lambda$

Das Nahfeld ist darin besonders, dass das elektrische und magnetische Feld mit unterschiedlichen Faktoren in Abhängigkeit der Entfernung abnehmen. Im Übergangsfeld nehmen das elektrische und magnetische Feld zwar mit dem gleichen Faktor ab, jedoch unterscheiden Sie sich noch in der Phase und Amplitude.

Im Gegensatz zum reaktiven Nahfeld wird beim Fernfeld Wirkleistung abgestrahlt. Hierbei sind die elektrische und magnetische Komponente der Welle in Phase und nehmen im gleichen Maß ab.

Da unsere Diplomarbeit einen Fokus auf die Satellitentechnik hat, ist für dieses Dokument nur das Fernfeld relevant.

3.2.3 Polarisation

Die Polarisationsart wird von der Ausrichtung des Vektors der elektrischen Feldstärke bestimmt. Es lässt sich zwischen drei verschiedenen Arten der Polarisation unterscheiden.

- Lineare Polarisation
 - horizontale Polarisation
Eine horizontale Polarisation liegt vor, wenn der elektrische Feldstärkevektor sich periodisch ändert und die Feldlinien parallel zum Boden verlaufen.
 - vertikale Polarisation
Eine vertikale Polarisation liegt vor, wenn die elektrischen Feldlinien senkrecht zum Erdboden liegen. Eine vertikale Polarisation liegt vor wenn

- Zirkulare Polarisation

Der Betrag des elektrischen Feldstärkevektors ist konstant. Der Feldstärkevektor rotiert in einer Spirale um den in Ausbreitungsrichtung weisenden Vektor. Ein Spiralumlauf ist nach der Wellenlänge λ vollendet.

- Elliptische Polarisation

Betrag sowie Richtung des elektrischen Feldstärkevektors ändern sich laufend. Bei der Rotation beschreibt der Vektor eine Ellipse.

linear (vertikal, horizontal), Zirkular, Elliptisch

3.2.4 Kenngrößen einer Antenne

Antennengewinn

Als Antennengewinn wird die "bündelnde" Eigenschaft einer gerichteten Antenne im Vergleich zu einer Bezugsantenne bezeichnet. Hierbei ist die Vergleichsantenne meist ein Kugelstrahler.

Der Gewinn der Antenne berechnet sich mit dem Verhältnis der maximalen Empfangsleistung der gerichteten Antenne zu der des Kugelstrahlers. Wird als Bezugsantenne der Kugelstrahler verwendet, so wird die Empfangsleistung mit dem Index 'i' versehen um dies zu kennzeichnen.

$$G = \frac{P_{max}}{P_i} \quad (1)$$

Welligkeit

Die Welligkeit oder das Stehwellenverhältnis (SWR) gibt Aufschluss über die Spannungsverteilung auf der Speiseleitung und ist ein Maß für die Qualität der Anpassung.

$$SWR = \frac{U_{max}}{U_{min}} = \frac{I_{max}}{I_{min}} = \frac{1 + |\rho|}{1 - |\rho|} \quad (2)$$

Wobei ρ der Reflexionsfaktor ist.

Richtcharakteristik und Richtdiagramm

Die Richtcharakteristik beschreibt das Abstrahlverhalten einer Antenne. Hierbei wird die unter einem bestimmten Winkel (θ, ϕ) auftretende Feldstärke auf einen Maximalwert bezogen.

$$C(\theta, \phi) = \frac{E(\theta, \phi)}{E_{max}} \quad (3)$$

Wobei θ der Elevationswinkel (vertikal Winkel) und ϕ den Azimutwinkel (horizontaler Winkel) repräsentiert.

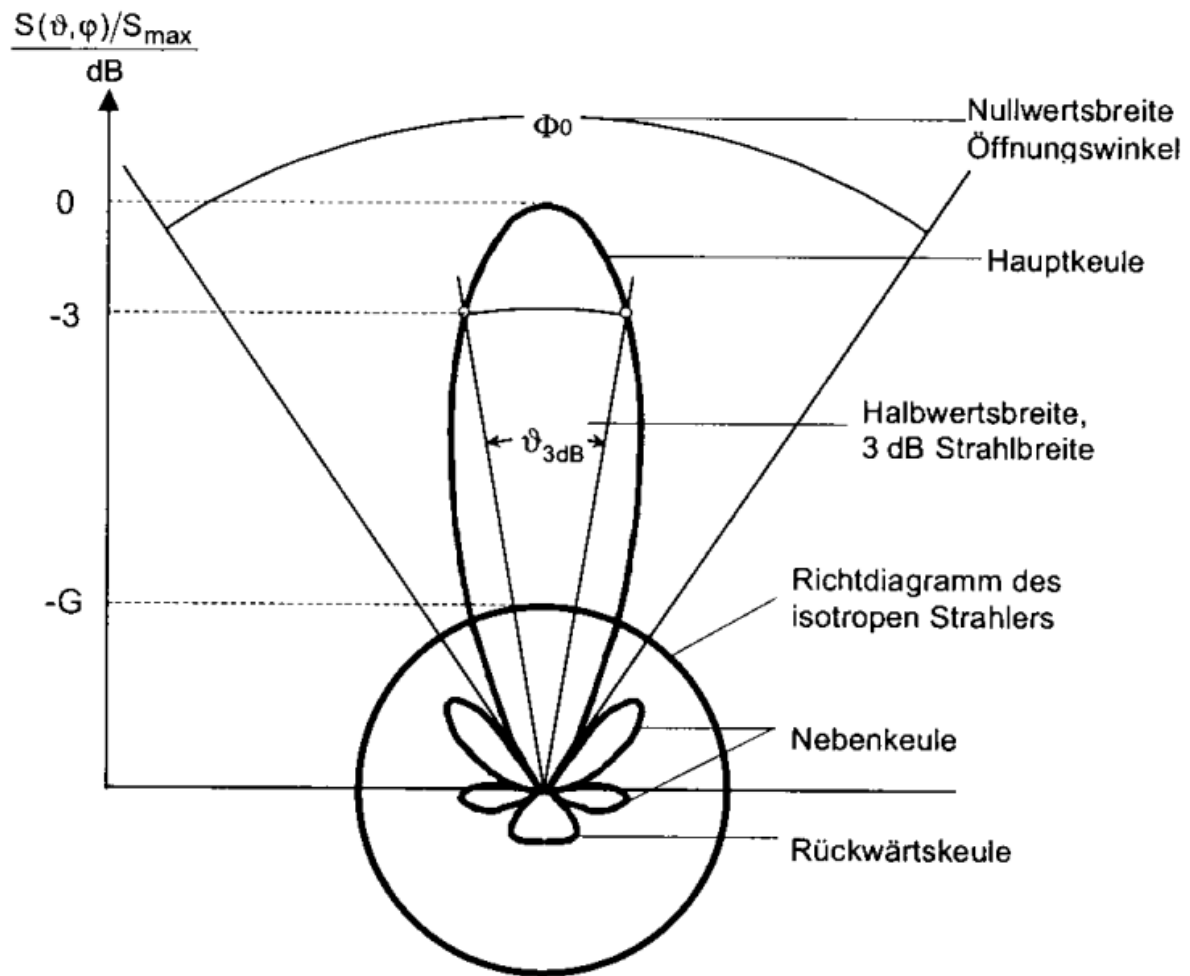


Abbildung 3: Richtdiagramm einer stark bündelnden Antenne

Hierbei ist zu bemerken dass in Abbildung 3 entgegen der üblichen Konvention das Richtdiagramm aus dem Verhältnis zwischen Strahlungsleistungsdichte und ihrem Maximalwert ergibt. Es ist gebräuchlich, das Diagramm auf den Maximalwert zu normieren, sodass sich bei der maximalen Feldstärke 0 dB Dämpfung ergeben.

Der größte Teil der Leistung ist naheliegend in der Hauptkeule zu finden, während es nötig ist die Neben- und Rückwärtskeulen möglichst klein zu halten, um unnötige Abstrahlung in die Umgebung zu vermeiden. Die Halbwertsbreite der Hauptkeule ist der Wert ab dem die Leistungsdichte auf die Hälfte abgesunken ist.

Eine weitere wichtige Kenngröße bei Richtantennen ist das Vor-Rückwärtsverhältnis. Dies ist die Fähigkeit einer Richtantenne, Strahlung aus anderen Richtungen als der Hauptstrahlrichtung zu unterdrücken.

Einfluss der Erde auf das Richtdiagramm

Wird das Strahlungsdiagramm einer Antenne über dem Boden mit dem einer Antenne im Freiraum verglichen, lassen sich große Unterschiede erkennen. Der Boden dient als Reflektor wobei seine Reflexionseigenschaften von der Dielektrizitätskonstante sowie der Leitfähigkeit bestimmt werden.

Für die Reflexion elektromagnetischer Wellen am Erdboden trifft das Reflexionsgesetz zu, das bedeutet, dass der Einfallswinkel gleich dem Ausfallswinkel ist. Hierbei kann es zu Überlagerungen zwischen den reflektierten und nicht reflektierten Wellen kommen und somit können destruktive und konstruktive Interferenzen entstehen.

Die Polarisierung der verwendeten Antenne spielt eine entscheidende Rolle bei der Reflexion. Bei einer vertikal polarisierten Antenne ist der Stromverlauf von Spiegelbild und Original gleichphasig. Bei einer horizontal polarisierten Antenne hingegen ist der Stromverlauf zwischen Reflexion und Original gegenphasig.

Der Abstand vom Boden spielt ebenfalls eine kritische Rolle und hat großen Einfluss auf das resultierende Richtdiagramm der Antenne. Wird beispielsweise ein Dipol $\frac{\lambda}{2}$ vom Boden entfernt aufgestellt, so verändert sich sein Richtdiagramm so sehr, dass aus der omnidirektionalen Antenne ein Strahler mit zwei Strahlungskeulen wird.

3.2.5 Antennentypen

Um ein grundlegendes Verständnis für die in der Diplomarbeit aufgebauten und charakterisierten Antennentypen zu vermitteln, werden diese nun näher erläutert.

Dipol

QFH (Quadrifilar Helical Antenna)

3.2.6 Baluns

Strombalun

Mantelwellensperre, schwach gegen statische Entladungen, da Balun \rightarrow konvertiert balanced zu unbalanced

Spannungsbalun

Konvertiert "balanced zu unbalanced" guter Schutz gegen statische Entladung, keine Mantelwellensperre.

Un-Un

4 Hauptteil

4.1 Antennen

4.1.1 1. Antenne: Dipol

4.1.2 2. Antenne: QFH (Quadrifilar Helical Antenna)

Die Quadrifilar Helical Antenna ist eine zirkular polarisierte, omnidirektionale Antenne, welche oft für Satellitenanwendungen verwendet wird.

Anhand des Abstrahldiagramms lässt sich erkennen, dass diese

4.1.3 3. Antenne: Helix-Antenne

Direktional, hoher Richtfaktor

4.2 Kommunikationsprotokolle: CCSDS

4.2.1 Punctured Convolutional Code

4.2.2 Reed Solomon 255,223 coding

4.2.3 Standard CCSDS descrambling

4.2.4 Standard CCSDS Sync Word

4.2.5 CRC32 C Checksum

5 Zusammenfassung

6 Literaturverzeichnis

Abbildungsverzeichnis

1	Erklärung des SatNOGS Netzwerkes	5
2	SatNOGS-Systemtopologie	6
3	Richtdiagramm einer stark bündelnden Antenne	9

7 Abkürzungsverzeichnis

8 Begleitprotokoll

9 Anhang