



Hochschule Augsburg
University of Applied Sciences



Projektdokumentation

Systems Engineering 2 – Wintersemester 2018/2019



Team 1 - LongRangeTelemetrie
Bayr, Höfer, Kaiser, Margraf, Ritter

21.01.2019

Version 1.0



Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I
Abstract	II
Abbildungsverzeichnis.....	III
Tabellenverzeichnis	IV
1 Einführung.....	5
2 Hardware und Systemparameter	6
3 Vorversuche	10
4 Hohenpeißenberg	14
4.1 Antennenkombinationen	16
4.2 Antennenausrichtung	18
4.3 Baudrate	20
4.4 Airspeed	21
4.5 Power.....	22
4.6 Entfernung	23
5 Segelflugplatz Stillberghof	24
5.1 Planung	24
5.2 Ablauf.....	26
5.3 Messergebnisse	29
5.3.1. Flug 1	29
5.3.2. Flug 2	32
6 Fazit	34



Abstract

This documentation describes the evaluation of the long range telemetry RFD868+ modems. The introductory chapter stated the available software and hardware components, having regard also to the various setup parameters. The following chapter explains the launch of the modules in conjunction with the RF Design software. Subsequently the series of experiments performed are explained in detail. The detailed description of measuring conditions offers a high degree of reproducibility. In addition to small experiments extensive measurements are conducted e.g. on a local mountain during the course of the project. On account of the view into the valley and the direct line of sight to exchange data transmitted between the modules the mountain Peißenberg next to Landsberg am Lech was chosen. Finally, a measuring flight with a high practical relevance is made. While one module is fixed as the master at ground level the other module is fastened to an ultralight aircraft acting as moving substation. Due to the multitude of trials the modules have been checked and tested extensively. In closing it can be stated, that the required range has been largely reached by the modules and thus the demanded area coverage has been extended to 10 x 10 square kilometers. During the flight trial a maximum range of 66.06 kilometers is achieved. The antennas are arranged essentially parallel to each other to achieve higher ranges. To allow the antenna to be ideally matched to the other antenna, a 12 dBi omnidirectional antenna is used for the ground station and a $\lambda/2$ -antenna is applied for the drone.

To sum up, the modules are without limitation applicable for the SearchWing project.



Abbildungsverzeichnis

Abb. 2-1: RFD868+ Telemetrie Bundle (links) und 12 dBi Omnidirektional-Antenne (rechts) ..	6
Abb. 2-2: Benutzeroberfläche der Software von RF Design	7
Abb. 2-3: USB zu TTL-Serial-UART-Kabel	7
Abb. 2-4: Einstellungen im Geräte-Manager	8
Abb. 2-5: Pinbelegung RFD 868 - Modul	8
Abb. 2-6: Anschluss des USB zu TTL-Serial-UART-Kabel an das RFD868+ Modul	9
Abb. 3-1: Antenne groß/mittel.....	11
Abb. 3-2: Antenne groß/klein.....	12
Abb. 3-3: Antenne mittel/mittel	12
Abb. 3-4: Antenne mittel/klein	12
Abb. 4-1: Hohenpeißenberg -> Landsberg a. L.....	14
Abb. 4-2: Hohenpeißenberg -> Dießen a. A	14
Abb. 4-3: Messstationen, die mit dem Auto angefahren werden	15
Abb. 4-4: Messung auf dem Lechfeld.....	16
Abb. 4-5: Messung auf dem Ammersee	16
Abb. 4-6: Antennenkombinationen	17
Abb. 4-7: Ausrichtung Lang-Kurz.....	18
Abb. 4-8: Ausrichtung Lang-Mittel	19
Abb. 4-9: Baudrate	20
Abb. 4-10: Airspeed.....	21
Abb. 4-11: Power.....	22
Abb. 4-12: Entfernung.....	23
Abb. 5-1: Flugroute via Eichstätt nach Beilngries (ICAO-Karte)	25
Abb. 5-2: Flugroute via Eichstätt nach Beilngries (OSM-Karte)	25
Abb. 5-3: Ultraleichtflugzeug Ikarus C42 D-MBGG	26
Abb. 5-4: Befestigung der mittleren Antenne.....	27
Abb. 5-5: Befestigung der kleinen Antenne	27
Abb. 5-6: Überflug des Flugplatzes Beilngries ENDC.....	28
Abb. 5-7: Überflug des Flugplatzes Eichstätt EDPE	28



1. Einführung

Abb. 5-8: Blick von Bodenstation in Abflugrichtung	28
Abb. 5-9: Bodenstation	28
Abb. 5-10: Messergebnisse erster Flug	30
Abb. 5-11: Flugstrecke erster Flug	31
Abb. 5-12: Flugstrecke zweiter Flug	32
Abb. 5-13: Messergebnisse zweiter Flug.....	33

Tabellenverzeichnis

Tabelle 4-1: Power.....	22
Tabelle 5-1: Entfernungen.....	31



1 Einführung

Im Rahmen der Vorlesung System Engineering 2 war es die Aufgabe, ein aktuell offenes Thema aus dem Projekt Search Wing zu übernehmen. Hierbei übernahmen wir, ein Team aus fünf Mechatronik Studenten, das Thema rund um die Telemetrie-Einheit. Aktuell wird in der Drohne ein Telemetriemodul eingesetzt, welches vorrangig für kleinere Reichweiten konzipiert ist. Damit die Drohne im späteren Einsatz flächendeckend größere Bereiche auf dem Meer abdecken kann, wurde kürzlich ein neues Telemetriebundle erworben. Das Bundle besteht aus zwei einzelnen Telemetriemodulen, mehreren unterschiedlichen Antennen sowie einem Verbindungs-USB Kabel. Die Module RFD 868+, der in Australien ansässigen Firma RF Design, verfügen über eine Ausgangssendeleistung in Höhe von 1 Watt und sind somit für lange Reichweiten (> 40 km) ausgelegt. Ziel dieses Projekts ist es, erste Untersuchungen bezüglich der Reichweite des Funkmodems durchzuführen. Es soll der Einfluss der verschiedenen Einsatzfaktoren, wie Softwareparameter (Sendeleistung, Datenrate) und verwendeter Antennentyp evaluiert werden. Die anstehenden Versuche sollen möglichst exakt protokolliert und aufgenommen werden, sodass diese reproduzierbar und verständlich sind. Das Projekt soll den Entwicklern hinter dem Search Wing Projekt einen ersten Eindruck über das neue Telemetriemodul geben und so dessen Integration in das bestehende Drohnen-System erleichtern. Am Ende des Projekts sollen aussagekräftige Schlussfolgerungen bezüglich der Reichweiten und der dazugehörigen Parameter gezogen werden.



2 Hardware und Systemparameter

Die vom Projektteam SearchWing zur Verfügung gestellten Funkmodule (Abb. 2-1) bestehen aus zwei RFD868+ Modems, einer $\lambda/2$ -Antennen (1, mittlere), einer $\lambda/4$ -Antennen (2, kurze) und einer 12 dBi Omnidirektional-Außenantenne (3, lange).

Die beiden Modems dienen jeweils als Sender und Empfänger. Die verschiedenen Antennen können über die vorhandenen SMA-Buchsen mit den Modulen verbunden werden.



Abb. 2-1: RFD868+ Telemetrie Bundle (links) und 12 dBi Omnidirektional-Antenne (rechts)

Ergänzend zu den Modems wird vom Hersteller ein FTDI-Kabel (Abb. 2-1) geliefert, welches zur Verbindung eines Modems mit einem PC/Laptop benutzt werden kann. Die Verbindung mit dem FTDI-Kabel zu einem Modem kann über das Linux-Terminal oder mit der OpenSource Software SikRadio (oder auch RFD900Tools) auf einem Windows-Betriebssystem hergestellt werden. Mit der Software (Abb. 2-2) lassen sich sämtliche Betriebsparameter des Modems wie z.B. die Sendeleistung (TX-Power), Baudrate der UART-Schnittstelle sowie der Datenübertragungsgeschwindigkeit zwischen den Modulen (Air Speed) einstellen. Die blauen Markierungen zeigen die Einstellmöglichkeiten für die Kommunikation zwischen den beiden Modulen, während die grünen Markierungen die Kommunikationsparameter mit dem Rechner zeigt.



2. Hardware und Systemparameter

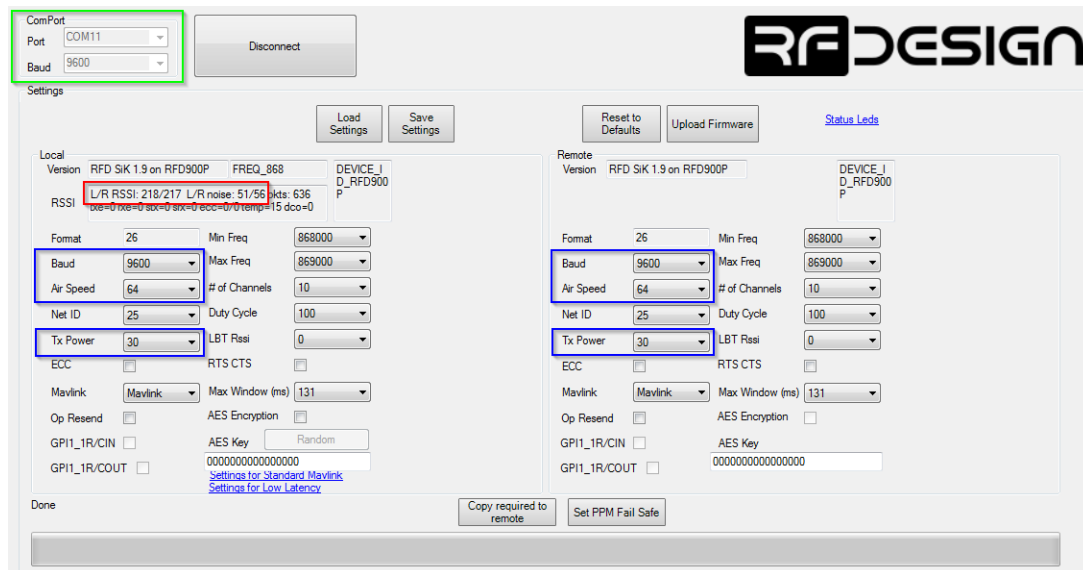


Abb. 2-2: Benutzeroberfläche der Software von RF Design

Es ist theoretisch möglich, die Parameter an beiden Modulen mit einem Laptop über die Software zu verstellen. Sobald das andere Modul nur mit Strom versorgt wird und nicht über eine direkte Verbindung zum Rechner ausgewertet werden kann, erscheint die Übernahme der eingestellten Parameter als sehr unzuverlässig und oftmals fehlerhaft. Die Einstellung der Baudrate gestaltet sich ebenfalls als fehleranfällig, es kommt vor, dass die Verbindung abbricht und erst nach einer Neukonfiguration beider Module die Verbindung aufgebaut werden kann. Das heißt, da nur ein Kabel vorhanden ist, muss erst das eine Modul mit dem FTDI-Kabel konfiguriert werden und anschließend das zweite Modul mit dem gleichen Kabel verbunden und ebenfalls neu konfiguriert werden.

Zusätzlich werden aber auch zwei USB-zu-TTL-Serial-UART-Kabel (Abb. 2-3) durch die Hochschule zur Verfügung gestellt, mit denen sich aber ohne Weiteres keine Verbindung zum PC aufbauen lässt.



Abb. 2-3: USB zu TTL-Serial-UART-Kabel

Dazu ist eine Konfiguration der Baudrate im Geräte-Manager nötig. Da die Baudrate sich nicht von der SikRadio-Software übertragen lässt, muss man die identische Baudrate sowohl in der



2. Hardware und Systemparameter

SikRadio-Software, als auch im Geräte-Manager unter COM-Verbindungen eingestellt werden (Abb. 2-4). Damit ist es dann auch möglich, beide Modems unabhängig voneinander mit einem Laptop direkt vor Ort zu konfigurieren.

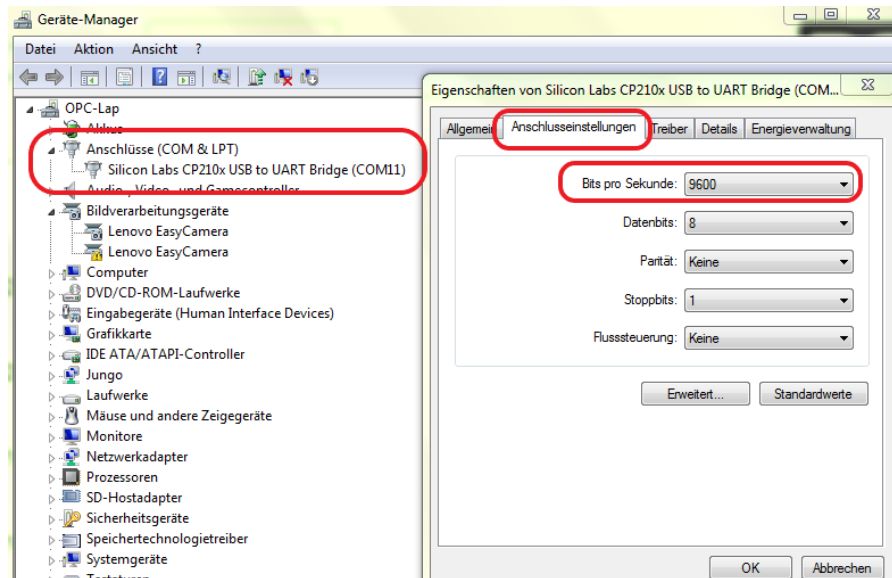


Abb. 2-4: Einstellungen im Geräte-Manager

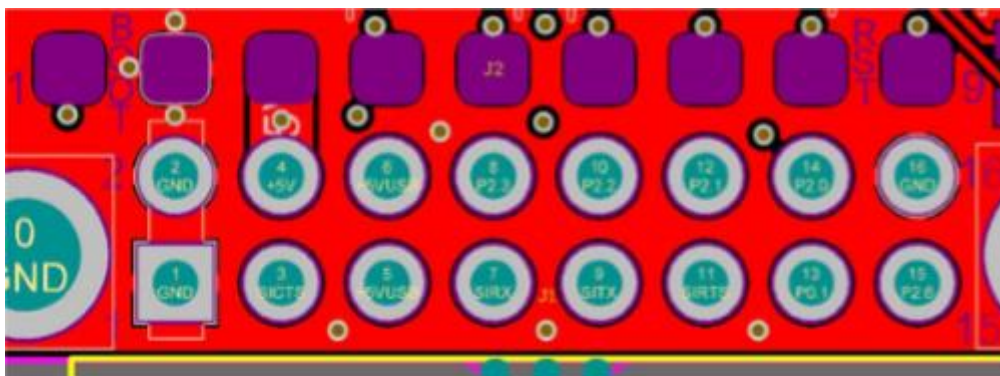
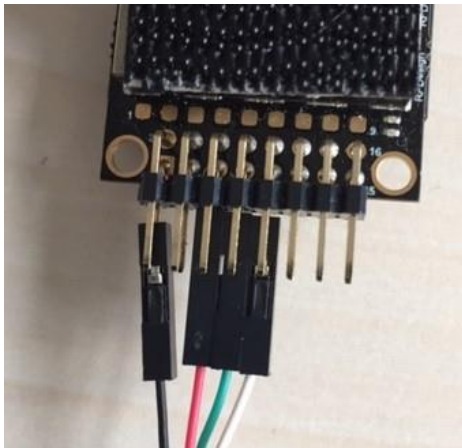


Abb. 2-5: Pinbelegung RFD 868 - Modul

Der Anschluss des Kabels an das Modul, siehe Pinbelegung Modul (Abb. 2-5: Pinbelegung RFD 868 - Modul), kann der Abb. 2-6 entnommen werden. Bei gleichzeitiger Stromversorgung über Pin 1/GROUND und Pin 5/+5VUSB muss zusätzlich eine Steckbrücke an Pin 4/+5V und Pin 6/+5VUSB angebracht werden. Bei externer Stromversorgung mit einer Powerbank über Pin 2/GROUND und Pin 4/+5V wird die Brücke weggelassen.



2. Hardware und Systemparameter



Schwarz	=>	Pin 1/GROUND
Rot	=>	Pin 5/+5VUSB
Grün	=>	Pin 7/RX
Weiß	=>	Pin 9/TX

Abb. 2-6: Anschluss des USB zu TTL-Serial-UART-Kabel an das RFD868+ Modul

Nach einer erfolgreichen Verbindung mit einem Laptop zum Modem werden Parameter wie RSSI-Wert oder Noise-Wert vom Sender und Empfänger durch die Software ausgewertet und angezeigt (Abb. 2-2).

Der Parameter TXPower bestimmt die Sendeleistung in dBm. Maximal sind hier 30dBm einstellbar. Die eingestellte Power steht im Zusammenhang mit der aufgenommenen elektrischen Leistung, die dem Datenblatt entnommen werden kann. Des Weiteren kann an dieser Stelle die Sendeleistung soweit reduziert werden, dass die maximal zulässige Sendeleistung eingehalten wird. Letztere wird von der Bundesnetzagentur vorgegeben.

Mit dem Parameter Airspeed wird die Datenübertragungsrate zwischen den Funkteilnehmern eingestellt. Einstellbar ist ein Wert zwischen 2 und 250. Ein höherer Wert steigert die Datenrate, senkt aber gleichzeitig die Reichweite.

Der RSSI-Wert (received signal strength indicator) beschreibt die empfangene Signalstärke, wobei ein höherer Wert einem besseren Empfang entspricht. Aufgrund fehlender Informationen war es nicht möglich diesen Wert in einen Pegel (dB) umzurechnen.

Der noise-Wert zeigt, wie viel Rauschen das entsprechende Modem empfängt. Besser ist hier ein niedrigerer Wert.

Neben der Einstellung der Parameter ist die Ausrichtung der Antennen zueinander von besonderer Bedeutung. Aufgrund der spezifischen Abstrahl-Charakteristiken der Antennen ändert sich die Signalstärke des empfangenen Signals mit dem Winkel, in dem diese zueinander stehen.



3 Vorversuche

Um die Modems und die Software kennenzulernen und anwenden zu können, wird der erste Test auf einem Feld nahe Haunstetten durchgeführt. Der Sender und Empfänger sind ca. 1300 Meter horizontal und etwa 13 Meter vertikal voneinander entfernt. Die Außentemperatur liegt an diesem Tag bei 12°C und die Luftfeuchtigkeit bei 73%.

Es werden die Antennen getauscht, die TX-Power und die Baudrate an den Modulen verstellt. Zu diesem Zeitpunkt wird auch nur ein Laptop mit dem FTDI-Kabel benutzt und das zweite Modem wird lediglich über eine Anker Powerbank (10000mAh bei bis zu 2,4A / 5V) versorgt. Bei dem ersten Test kann man schon erkennen, dass sich der RSSI-Wert bei Verwendung einer kleineren Antenne verschlechtert (Abb. 3-1 bis einschließlich Abb. 3-4).



3. Vorversuche

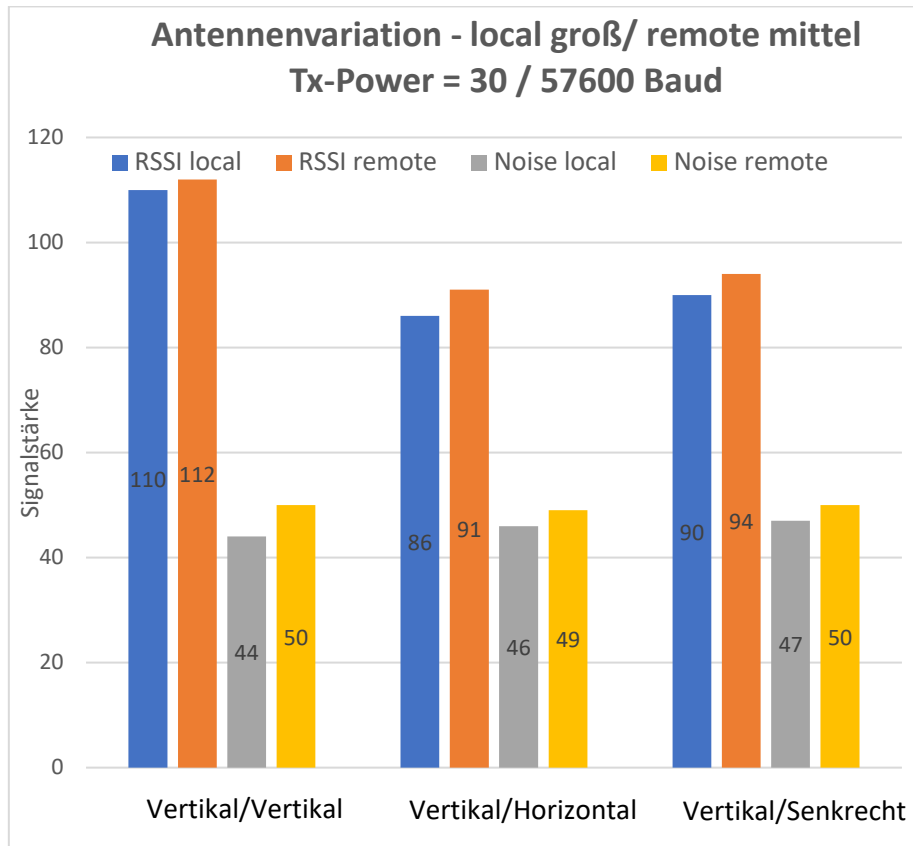
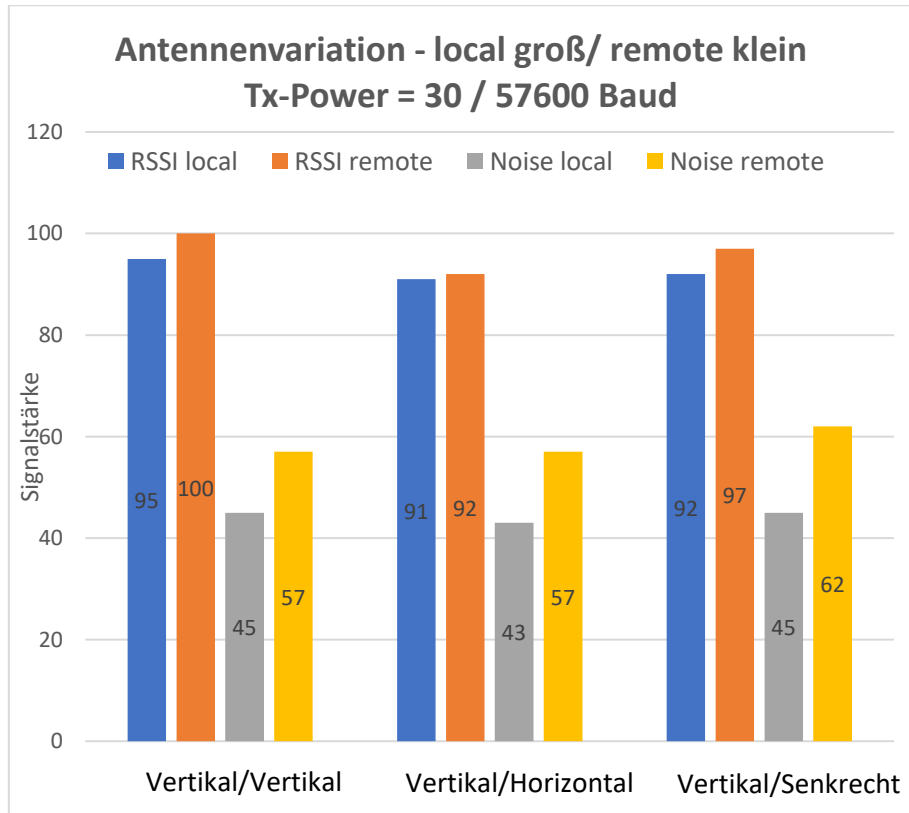


Abb. 3-1: Antenne groß/mittel





3. Vorversuche

Abb. 3-2: Antenne groß/klein

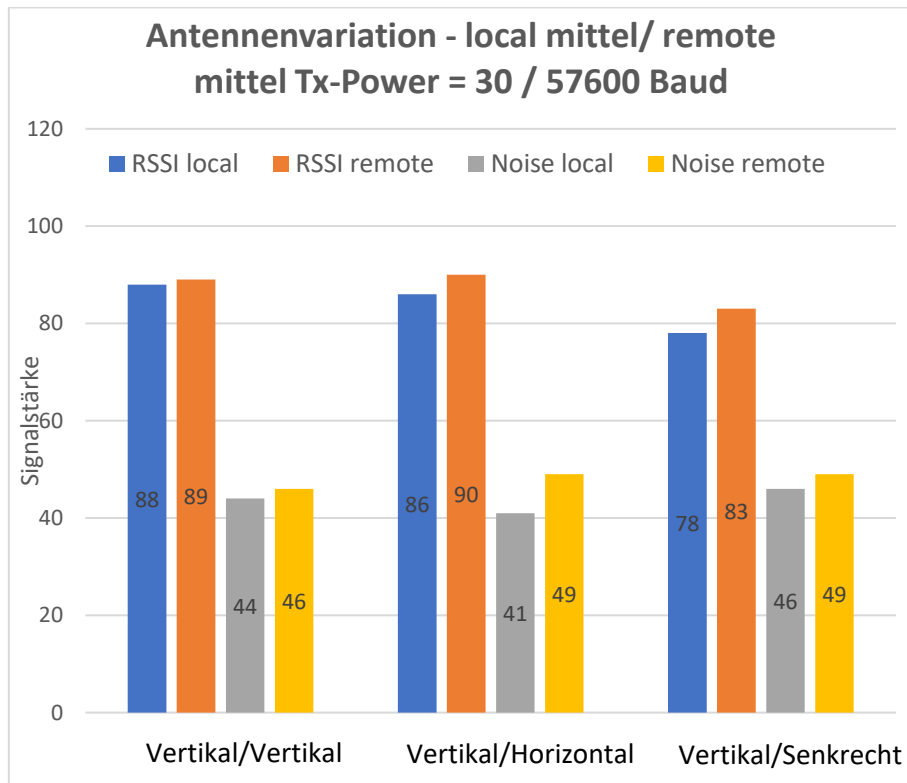


Abb. 3-3: Antenne mittel/mittel

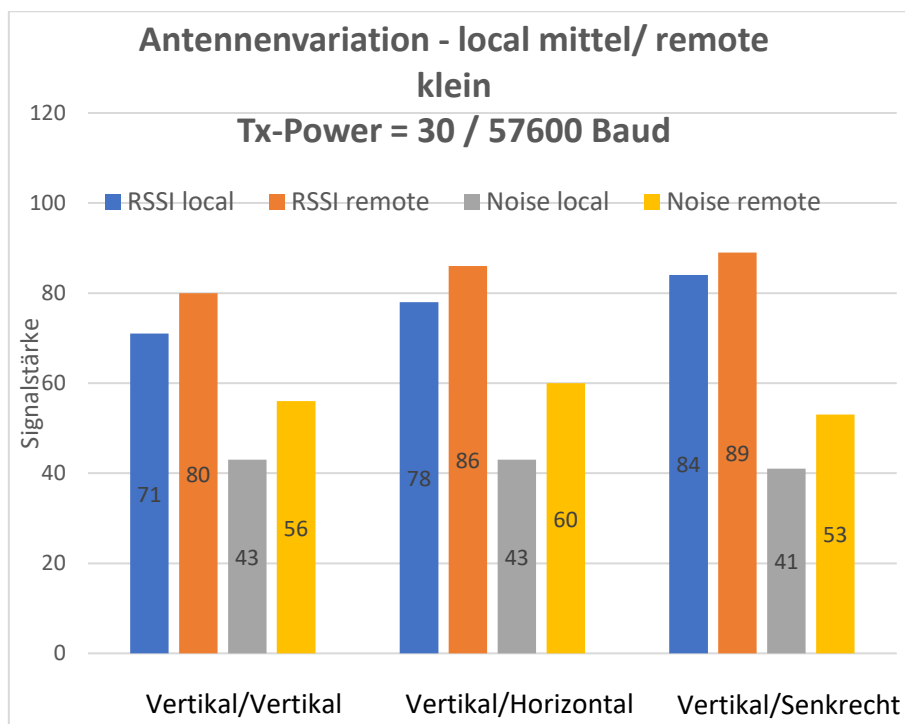


Abb. 3-4: Antenne mittel/klein

Während der Messung wird festgestellt, dass die TX-Power am zweiten Modul über das mit dem Laptop verbundene Modul verstellt werden kann, es aber nicht möglich ist dies zu überprüfen, da das zweite Modul nicht direkt mit einem Laptop verbunden ist. Der Wert der TX-



3. Vorversuche

Power ändert sich auch bei manchen Messungen von allein, ohne dass dieser der Wert bewusst verstellt wird.

Ein anderes Problem taucht auf, nachdem die Baudrate geändert wird. Es ist nicht mehr möglich eine Verbindung mit den Modems aufzubauen (siehe dazu Kapitel 2. Hardware und Systemparameter, S.6). Da zu dem Zeitpunkt nur das mitgelieferte FTDI-Kabel verwendet wird, müssen beide Module nacheinander an den Laptop angeschlossen werden und neu konfiguriert werden.

Die Haupteckdaten der Messung ist, dass für nachfolgende Messungen beide Modems über eine direkte Verbindung mit einem Laptop konfigurierbar sein sollen. Und bei längeren Messungen ist es vorteilhaft, wenn die Modems über eine separate Stromquelle, z.B. eine Powerbank, versorgt werden.



4. Hohenpeißenberg

4 Hohenpeißenberg

Als nächster Schritt, nachdem die Modems grob getestet wurden, soll die mögliche Reichweite untersucht werden. Da die Drohne, in der später eines der Modems als Sender eingebaut wird, eine bestimmte Höhe über dem Schiff erreicht, sollen für die Messung ähnliche Bedingungen gelten. Eine gute bzw. freie Sicht zum Empfängermodem ist ebenfalls nötig. Diese Möglichkeit bietet sich passenderweise auf einem Berg. So wird der Hohenpeißenberg für diese Messung ausgesucht. Von dem Berg aus hat man eine freie Sicht über den Ammersee mit ca. 18-25km Luftlinie und bis nach Landsberg am Lech mit über 30km, wie die Abbildungen 5-1 und 5-2 zeigen. Der Höhenunterschied von ca. 270m bis über 370m zeigt auch eine gewisse Realitätsnähe. Die Temperatur auf dem Hohenpeißenberg liegt zwischen 11 und 13°C und die Luftfeuchtigkeit bei ca. 70%.

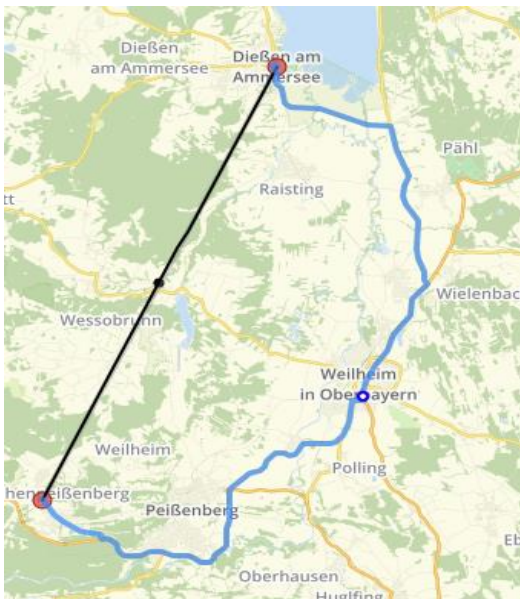


Abb. 4-2: Hohenpeißenberg -> Dießen a. A

Höhenunterschied ca. 450m

Luftlinie ca. 18km

Fahrstrecke ca. 33km

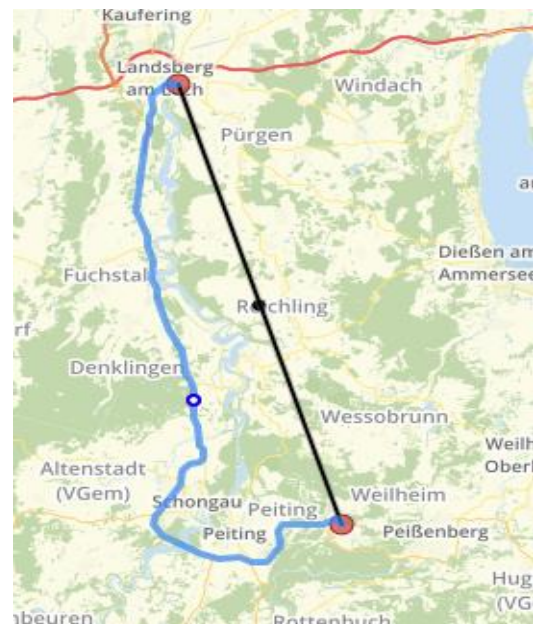


Abb. 4-1: Hohenpeißenberg -> Landsberg a. L

Höhenunterschied ca. 400m

Luftlinie ca. 30km

Fahrstrecke ca. 44km



4. Hohenpeißenberg

Die Idee ist, ein Modem stationär auf dem Berg zu positionieren, während das zweite Modem als mobiles Modul dient. Mit einem Auto, in dem sich das Sendemodul befindet, werden bestimmte Orte angefahren und eine Funkverbindung zwischen den Modulen aufgebaut. Die Karte (Abb. 4-3) zeigt die ausgesuchten Messstationen.

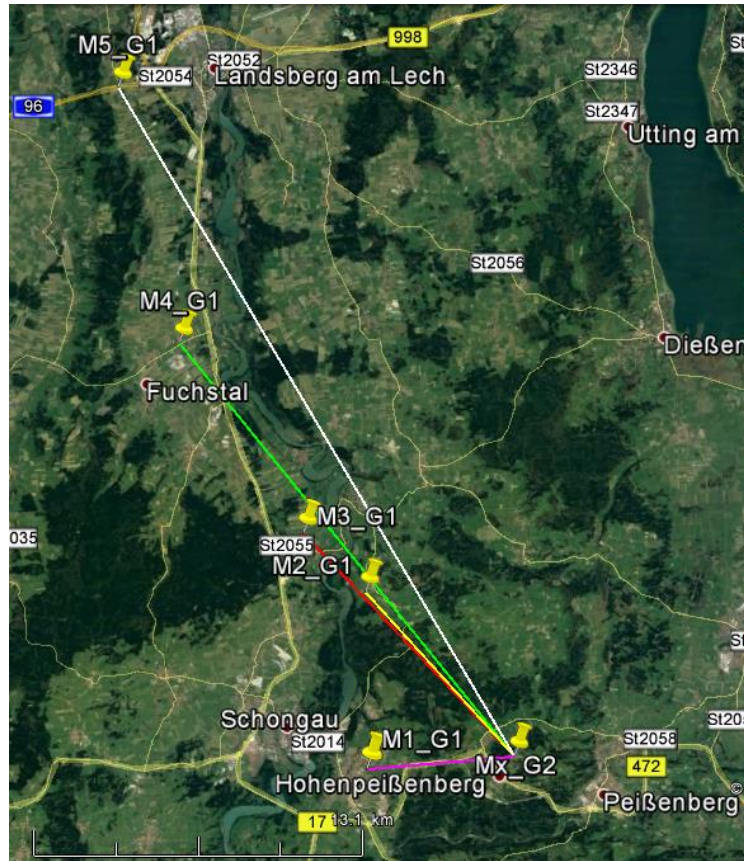


Abb. 4-3: Messstationen, die mit dem Auto angefahren werden

Erste Messstation ist Peiting (in Abb. 4-3 M1_G1, lila Linie). Die Entfernung zwischen Peißenberg (Mx_G2) und Messpunkt_1 liegt bei ca. 5,9 km. Zweite Station ist die Ortschaft Berg (M2_G1, gelbe Linie) mit einer Entfernung von ca. 8,9 km. Bei einer Entfernung von ca. 12,2 km, direkt hinter dem Ort Kinsau (M3_G1, rote Linie) liegt die dritte Messstation. Der nächste Messpunkt befindet sich ca. 21 km entfernt auf einer Feldfläche (M4_G1, grüne Linie) zwischen den Orten Asch und Seestall. Und der letzte Messpunkt (M4_G1, weiße Linie), der mit dem Auto angefahren wird, befindet sich an der A96 zwischen Buchloe und Landsberg am Lech, die Entfernung beträgt hier ca. 30 km.



4. Hohenpeißenberg

Messergebnisse

Vor der Messung auf dem Berg werden zusätzlich zwei Referenzmessungen durchgeführt. Eine findet auf dem Lechfeld statt und die zweite am Ammersee (Abb. 4-4 und Abb. 4-5).

Die Entfernung zwischen den Modems ist bei beiden Messungen um die 13,5km. Es ist aber nicht möglich, eine Verbindung zwischen beiden Modulen aufzubauen. Dies könnte sowohl an der Erdkrümmung, sowie der schlechten Wetterbedingungen liegen (Nebel und Nieselregen).



Abb. 4-4: Messung auf dem Lechfeld

Die Messergebnisse vom Peißenberg und der mobilen Station werden in den nachfolgenden



Abb. 4-5: Messung auf dem Ammersee

Abschnitten genauer beschrieben.

4.1 Antennenkombinationen

Power: 30



4. Hohenpeißenberg

Baudrate: 57600
Ausrichtung: parallel
Entfernung: 5,9km
Höhenunterschied: 269m
Airspeed: 64

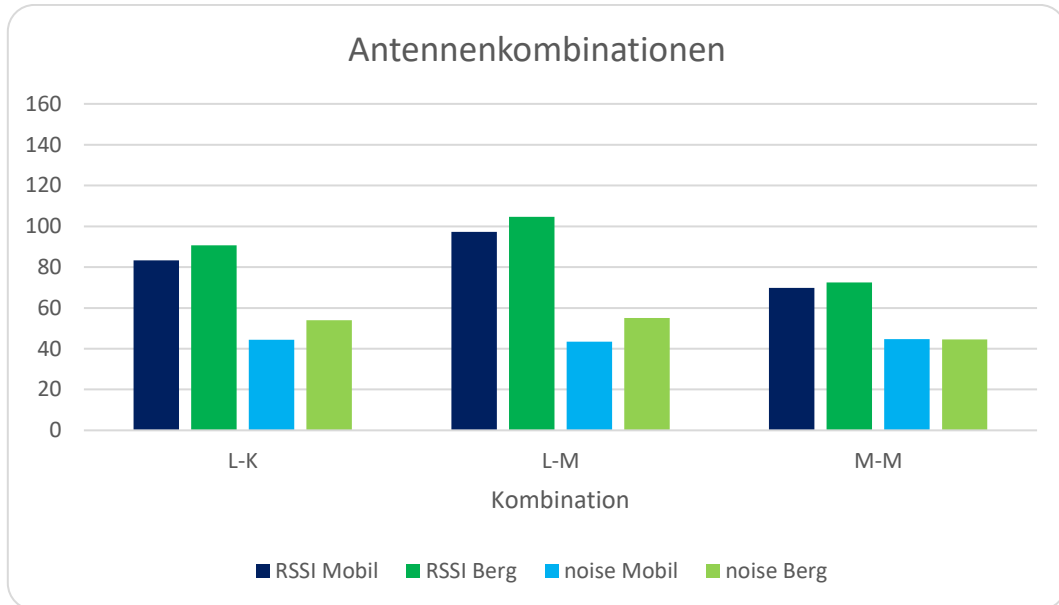


Abb. 4-6: Antennenkombinationen

Getestet wurden drei verschiedene Kombinationen. Die lange Antenne auf dem Berg mit der mittleren, sowie der kurzen Antenne an der mobilen Station, sowie die mittlere Antenne auf dem Berg mit der kurzen Antenne am anderen Teilnehmer. Die Entfernung zwischen den Antennen betrug 5,9km. Beide Antennen sind parallel zueinander ausgerichtet gewesen. Die Sendeleistung wurde auf beiden Seiten auf 30 eingestellt. Anhand der im Datenblatt angegebenen Formeln werden folgende Sendeleistungen berechnet:

- Lang:	41,4dBm	=	13,8W
- Mittel ($\lambda/2$):	33dBm	=	2W
- Kurz ($\lambda/4$):	32dBm	=	1,6W

Die beste Empfangsstärke bot die Kombination aus langer und mittlerer Antenne, welche aus Abb. 4-6 abgelesen werden kann.



4. Hohenpeißenberg

4.2 Antennenausrichtung

Power: 30
Baudrate: 57600
Entfernung: 5,9km
Höhenunterschied: 269m
Kombination: L-K
Airspeed: 64

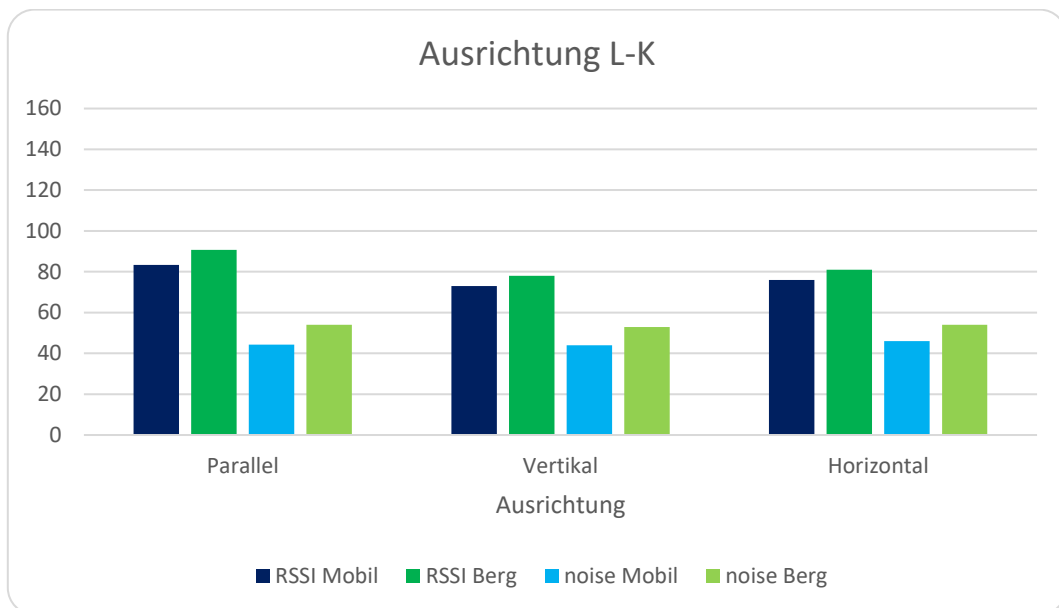


Abb. 4-7: Ausrichtung Lang-Kurz

Power: 30
Baudrate: 57600
Entfernung: 5,9km
Höhenunterschied: 269m
Kombination: L-M
Airspeed: 64



4. Hohenpeißenberg

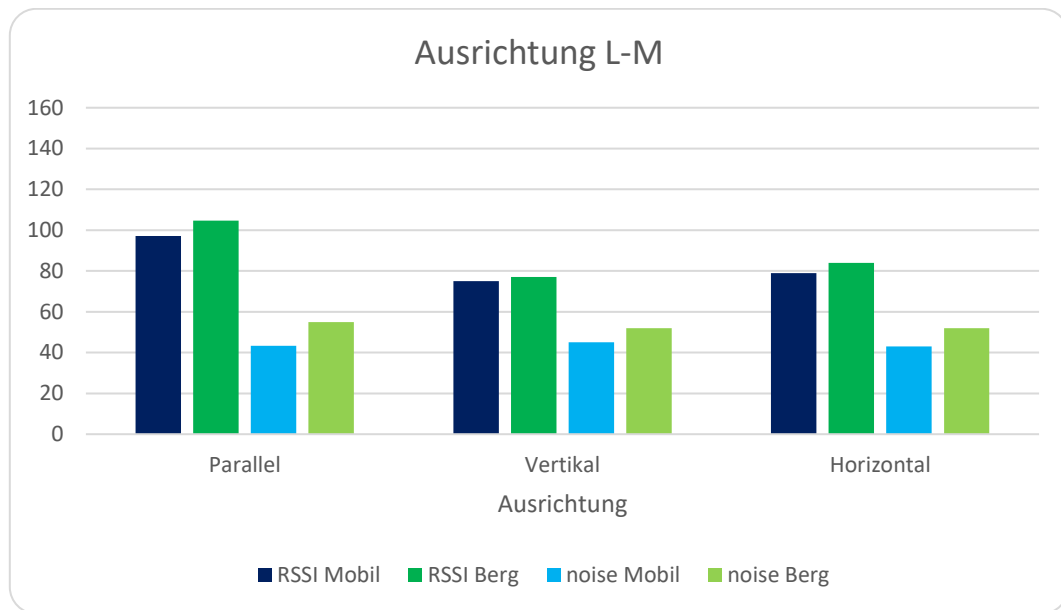


Abb. 4-8: Ausrichtung Lang-Mittel

Da sich während des Betriebes die Ausrichtung der Antennen zueinander ändern kann und auch verschiedene Einbaupositionen im Fluggerät möglich sind, sollten in dieser Testreihe verschiedene Ausrichtungen überprüft werden. Im ersten Fall ‚Parallel‘ stehen beide Antennen senkrecht zum Boden und sind somit parallel zueinander. Im zweiten Fall ‚Vertikal‘ zeigt die Antenne an der mobilen Station entlang des Antennenkörpers direkt auf die Station auf dem Berg. Im dritten Fall ‚Horizontal‘ ist die Antenne der mobilen Station wieder parallel zum Boden, zeigt aber diesmal mit der Seite zur Antenne am Berg. Die Ausrichtung der längeren Antenne auf der Bergstation wurde aufgrund der Wechselwirkung mit dem geerdeten Boden nicht verändert. Alle drei Fälle wurden mit der kurzen und der mittleren Antenne an der mobilen Station, sowie der langen Antenne auf der Bergstation vermessen. Als beste Ausrichtung hat sich der erste Fall herausgestellt. Der RSSI-Wert ist hier am höchsten. Die RSSI-Werte der anderen beiden Fälle sind nahezu gleich. Die noise-Werte dagegen sind in allen Fällen gleichbleibend.



4. Hohenpeißenberg

4.3 Baudrate

Power: 30
Ausrichtung: parallel
Entfernung: 5,9km
Höhenunterschied: 269m
Kombination: L-M
Airspeed: 64

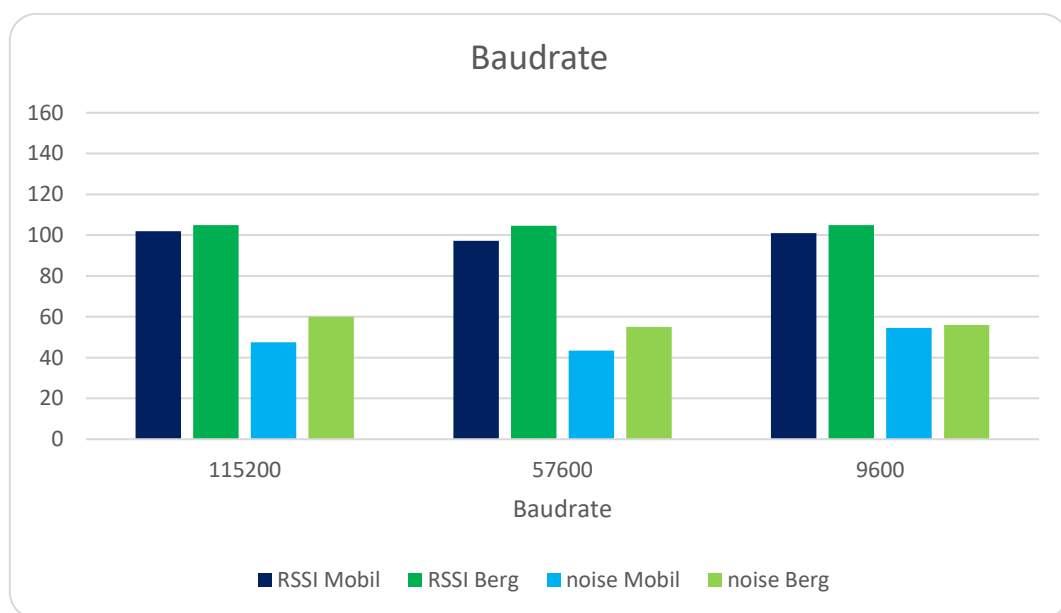


Abb. 4-9: Baudrate

Um den Einfluss der Baudrate auf die Empfangsqualitäten zu untersuchen, wurde diese Testreihe mit drei verschiedenen Baudraten durchgeführt. Es wird kein Einfluss der Baudrate festgestellt



4. Hohenpeißenberg

4.4 Airspeed

Power: 30
Baudrate: 9600
Ausrichtung: parallel
Entfernung: 5,9km
Höhenunterschied: 269m
Kombination: L-M

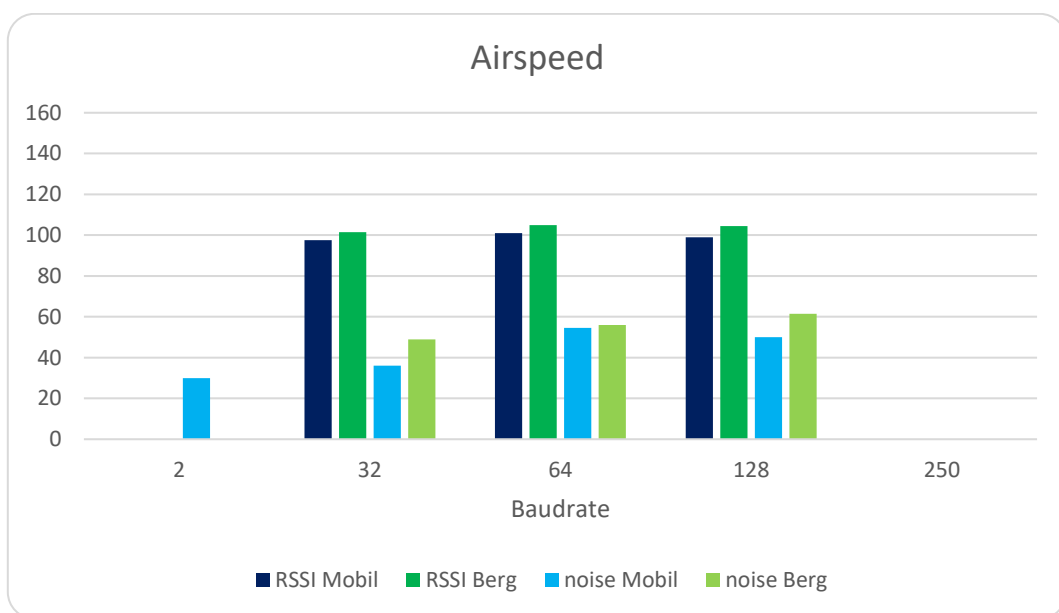


Abb. 4-10: Airspeed

Eine Variation des Parameters Airspeed zeigte, außer an den Grenzwerten, ähnliche RSSI- und noise-Werte. An den Grenzwerten der Airspeed konnte keine Verbindung zwischen den Modems hergestellt werden. Die Messung zeigt, dass es keinen direkten Zusammenhang zwischen der Airspeed und dem RSSI-Wert gibt. Lediglich die Reichweite wird von dem Airspeed Parameter mit beeinflusst.



4. Hohenpeißenberg

4.5 Power

Baudrate: 9600
Ausrichtung: parallel
Entfernung: 5,9km
Höhenunterschied: 269m
Kombination: L-M
Airspeed: 64

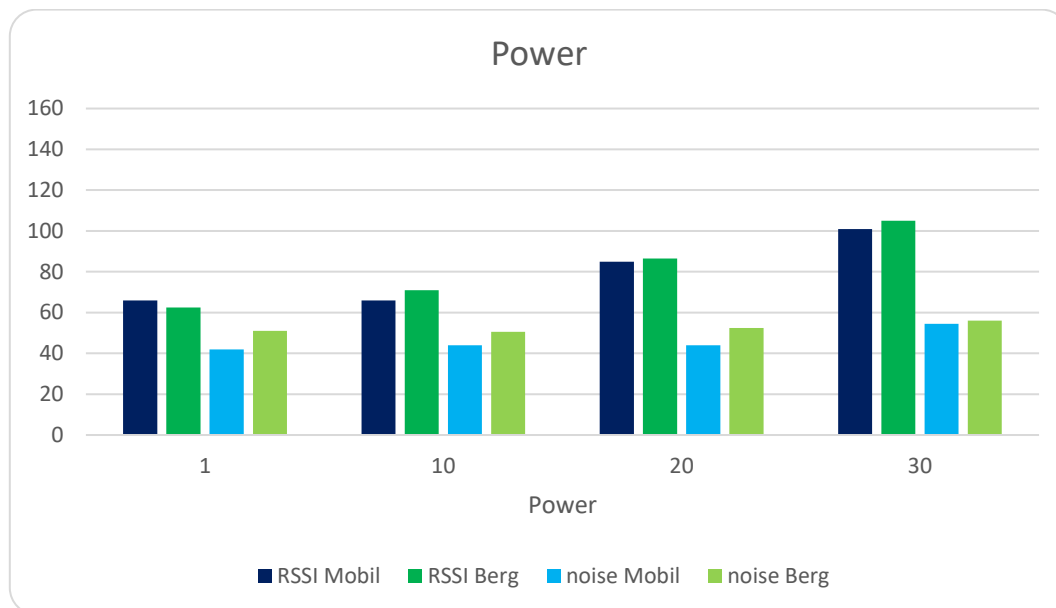


Abb. 4-11: Power

Ziel dieser Testreihe ist es den Einfluss verschiedener Einstellungen bei der Power auf den Empfang herauszufinden. Es wurde auf beiden Seiten die gleiche Power eingestellt. Ersichtlich wurde hierbei, dass der RSSI-Wert mit steigender Sendeleistung ebenfalls steigt. Der noise-Wert ist gleichbleibend. Die effektiv ausgesendete Leistung entspricht folgenden Werten:

Tabelle 4-1: Power

Power	Vom Berg lange Antenne		Vom mobilen mittlere Antenne ($\lambda/2$)	
	dBm	mW	dBm	mW
1	12,4dBm	17,4mW	4dBm	2,5mW
10	21,4dBm	138mW	13dBm	20mW
20	31,4dBm	1,4W	23dBm	199,5mW
30	41,4dBm	13,8W	33dBm	2W



4. Hohenpeißenberg

4.6 Entfernung

Power: 30

Baudrate: 9600

Ausrichtung: parallel

Kombination: L-M

Airspeed: 64

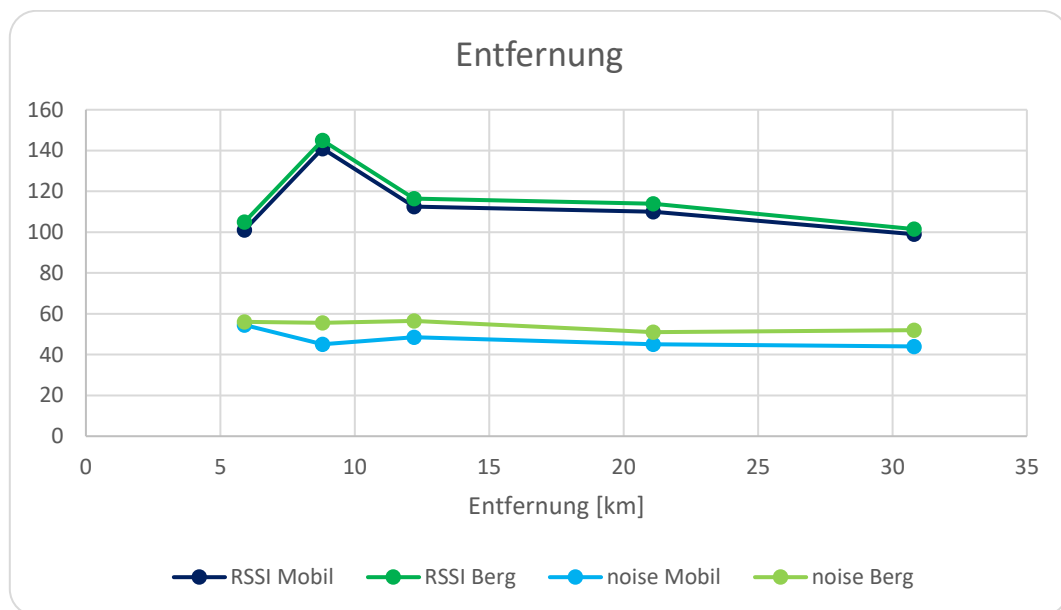


Abb. 4-12: Entfernung

Die finale Auswertung zu diesen Testreihen stellt die RSSI- und noise-Werte in Abhängigkeit der Entfernung zwischen den Teilnehmern dar. Erkennbar ist, die noise-Werte ändern sich kaum über die Entfernung, die RSSI-Werte jedoch schon. Am auffälligsten ist hierbei die große Änderung zum Besseren vom ersten auf den zweiten Messpunkt. Zu erwarten wäre hier eine Verschlechterung. Die schlechteren Ergebnisse zu Beginn erklären sich durch den größeren Winkel zwischen der Direktverbindung der beiden Antennen und der der Horizontalen. Die große Antenne hat jedoch eine starke Ausrichtung in die Horizontale und etwas darüber und schlechter darunter, wie aus der spezifischen Antennen-Charakteristik hervorgeht. Die große Antenne stand aber auf dem Berg, während der mobile Teilnehmer im Tal stand.



5 Segelflugplatz Stillberghof

Nachdem nun die groben Zusammenhänge der einzelnen Parameter mit der Reichweite verifiziert wurden, soll als Nächstes eine möglichst praxisnahe Messung durchgeführt werden. Glücklicherweise ergab sich innerhalb des Teams die Möglichkeit, einen preiswerten Flug in einem Ultraleicht-Flugzeug zu absolvieren. Hierbei war der Grundgedanke eines der beiden Module stationär an einer Bodenstation zu platzieren, während das andere Modul im Flugzeug mitgeführt wird. Der Flug konnte so gestaltet werden, dass sich die Umgebungs- und Einsatzbedingungen sehr zur späteren Anwendung ähnelten.

5.1 Planung

Eine ausführliche Planung bildet die Grundlage für jene erfolgreiche Evaluierung. Daher wurden im Vorfeld wichtige Absprachen mit dem Piloten getroffen und diesbezüglich auch eine genaue Flugroute festgelegt. Flugerfahrungen zeigen, dass ein Abflug Richtung Nordwest am meisten Sinn macht. In diesem Zusammenhang wird die große Antenne auf der Ostseite des Flugplatzes positioniert. Da hier der höchste Punkt des Platzes liegt und keine Hindernisse die Sicht behindern, kann eine optimale Sichtverbindung zum Flugzeug sichergestellt werden.

Bei der Wahl der Flugroute gilt es Verschiedenes zu beachten. Dabei ist der Luftraum von größter Bedeutung. Kontrollzonen von Flughäfen, wie z.B. Augsburg oder Ingolstadt, müssen ohne Freigabe umflogen werden. Flugbeschränkungsgebiete und Sperrgebiete, wie z.B. das Kernkraftwerk Gundremmingen dürfen nicht befliegen werden.

Es werden unterschiedliche Flugrouten diskutiert. Eine mögliche Route in Richtung Südwest würde über das Donautal bis nach Thannhausen verlaufen. Jedoch besteht vom Flugplatz aus keine ideale Sichtverbindung in Abflugrichtung Südwest. Gleiche Sichtbehinderung durch Bäume und das Wohngebiet Donauwörth-Parkstadt gilt für eine westliche Route entlang der Donau flussabwärts bis nach Ulm.

Dagegen erscheint eine Flugroute über Eichstätt nach Beilngries als besonders vorteilhaft. Vom Flugplatz (grüner Tower) aus kann in Abflugrichtung Nordwest eine optimale Sichtverbindung sichergestellt werden. Weiterhin wird aus Abb. 5-1 ersichtlich, dass auf dieser Route und in der geplanten Flughöhe keine Kontrollzonen oder Flugbeschränkungsgebiete zu beachten sind.



5. Segelflugplatz Stillberghof

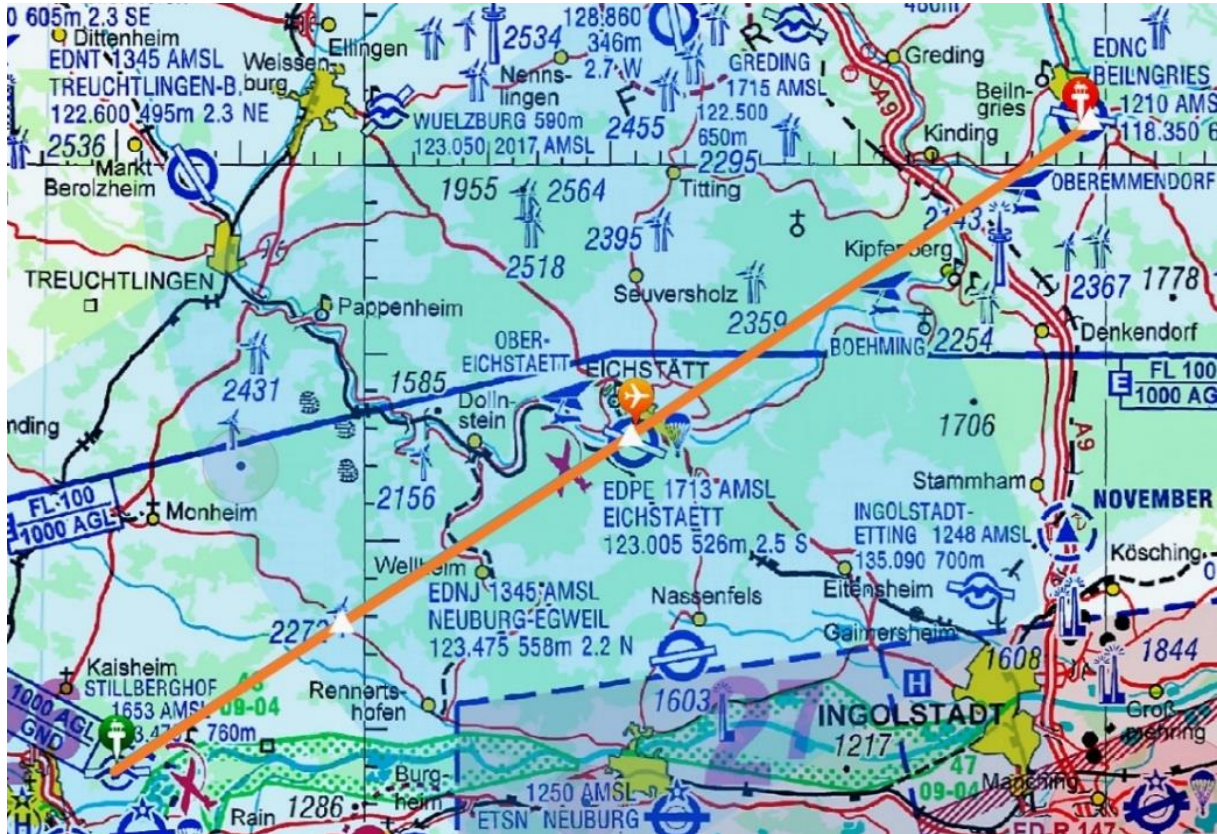


Abb. 5-1: Flugroute via Eichstätt nach Beilngries (ICAO-Karte)

Bei genauer Betrachtung der Abb. 5-1 kann man erkennen, dass auf der Strecke nach Beilngries verschiedene Wegpunkte liegen. So wird ein Windrad im Abflug auf halber Strecke nach Eichstätt, bei Kilometer 15 überflogen. Nach weiteren 15 km folgt der Flugplatz Eichstätt, was der erfolgreichen Messung vom Peißenberg nach Landsberg am Lech entspricht. Der weitere Flug verläuft auf gleichem Kompasskurs nach Eichstätt entlang der Donau bis über den Flugplatz von Beilngries (roter Tower) und einige Kilometer darüber hinaus. Folglich werden die Streckenabschnitte für Hin- und Rückflug durch bekannte Wegpunkte klar definiert.

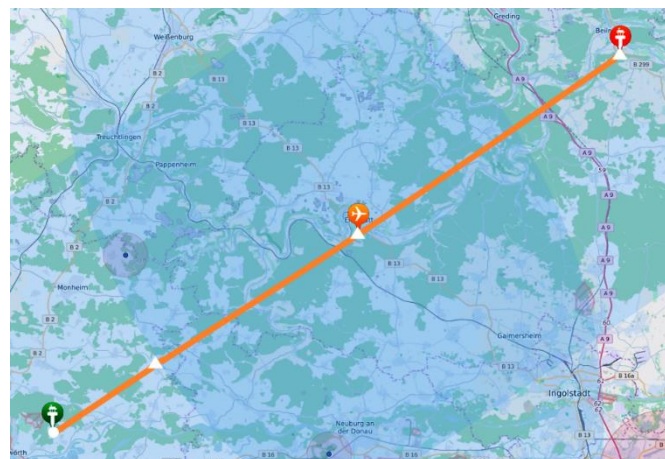


Abb. 5-2: Flugroute via Eichstätt nach Beilngries (OSM-Karte)



5.2 Ablauf

Die geplante Evaluierung wird auf einer Ikarus C42, einem zweisitzigen Ultraleichtflugzeug durchgeführt. Die Reisegeschwindigkeit dieser Maschine liegt zwischen 130 und 170 km/h. Außerdem beträgt die vertikale Steiggeschwindigkeit etwa 1000 Fuß pro Minute (ca. 5 m/s), sodass bereits wenige Minuten nach dem Abheben die Reiseflughöhe erreicht wird. Letztere liegt der sog. Halbkreisflugregel zu Grunde, welche zur Staffelung der Flugzeuge angewendet wird. Die Reiseflughöhe ergibt sich bei diesem Verfahren aus einer ungeraden Zahl nach Osten bzw. einer geraden nach Westen PLUS jeweils 500 Fuß. Daher wird nach Beilngries eine Flughöhe von 3500 Fuß (610 Meter über Grund) beziehungsweise für den Rückflug eine Flughöhe von 4500 Fuß (915 Meter über Grund) gewählt.



Abb. 5-3: Ultraleichtflugzeug Ikarus C42 D-MBGG

Zunächst bildet die Fixierung der genauen Messstrecke (siehe Planung) die Grundlage zur Durchführung von zwei oder ggf. mehreren einheitlichen Flügen. Des Weiteren ist der Messaufbau bei jedem Durchgang sowohl am Boden, als auch am Flugzeug identisch. Beide Antennen werden an derselben Position und auf die gleiche Weise am Flieger befestigt. Durch diese einheitlichen Messbedingungen wird ein direkter Vergleich der Antennen erreicht.



5. Segelflugplatz Stillberghof

Die Befestigung der Antenne erfolgt jeweils vor dem Flug auf der rechten Seite in Flugrichtung, da hier auch der Fluggast sitzt. Dabei sind verschiedene Positionen möglich, wie der Flugzeug-Bauch, der Radkasten und die Tragflächenhalterung. Letztere erweist sich als zuverlässigste Position, da keine hohen Temperaturen durch den Abgasstrahl des Motors herrschen und das Gehäuse der Antenne umwickelt werden kann. Weiterhin wird sichergestellt, dass die Kabel nicht durch die Türe eingeklemmt werden. Zur Versorgung der Antenne wird in der Kabine eine Anker Powerbank mitgeführt, welche über 20100 mAh und am Ausgang 5V / 4,8A verfügt.



Abb. 5-4: Befestigung der mittleren Antenne



Abb. 5-5: Befestigung der kleinen Antenne

Aus Abb. 5-4 und Abb. 5-5 wird ersichtlich, dass die Antenne auf der Unterseite der Halterung in Richtung Boden zeigt. Nachdem die Antennen-Charakteristik aus dem Datenblatt ein gutes Sende-/ Empfangsverhalten in die seitliche Umgebung aufweist, wird diese weitestgehend senkrecht zum Boden ausgerichtet. Zusätzliches Klebeband sichert die Antenne v.a. bei hohen Fluggeschwindigkeiten vor einer Ausrichtung mit dem Luftstrom.

Im Weiteren wird die lange Antenne auf der Ostseite des Flugplatzes etwas erhöht platziert, wodurch eine gute Sichtverbindung in Abflugrichtung sichergestellt werden kann. Die Versorgung der Antenne erfolgt durch ein Laptop. Eine mobile Wetterstation dient, wie bereits auf dem Peißenberg, als Referenz für die vorherrschende Außentemperatur und Luftfeuchtigkeit, wobei beide Einflüsse im Laufe der Messung relativ konstant bleiben.

Die Kommunikation zur Übermittlung der einzustellenden Power und aktuellen Flugposition erfolgt während der Evaluierung über Funk bzw. Nachrichten via SMS. Indem auch für die Flug-Evaluierung eine Baudrate von 9600 und eine Airspeed von 64 wird an die erfolgreichen vorgehenden Messungen angeknüpft.



5. Segelflugplatz Stillberghof

Nach letzten Absprachen und einem kurzen Systemcheck kann die mittlere in Verbindung mit der langen Antenne evaluiert werden. Erfreulicherweise verläuft der Flug angenehm ruhig. Der starke Ostwind führt dazu, dass das Flugzeug seine Reiseflughöhe schneller erreicht, jedoch der Hinflug nach Beilngries um einige Minuten länger dauert als der Rückflug nach Hause.



Abb. 5-7: Überflug des Flugplatzes Eichstätt EDPE

Abb. 5-6: Überflug des Flugplatzes Beilngries ENDC

Im Anschluss an die Landung nach über 1 h Flugzeit wird die Antenne am Flugzeug gewechselt, wobei die mittlere Antenne den Flug unversehrt überstanden hat und über die gesamte Dauer in der Ausgangsposition verblieben ist. Anschließend erfolgt auch die Evaluierung der kurzen Antenne reibungslos. Dieser Flug ist aufgrund der kürzeren Reichweite um einige Flugminuten kürzer und auch die kurze Antenne behält über den gesamten Flug ihre Ausgangsposition.



Abb. 5-9: Bodenstation



Abb. 5-8: Blick von Bodenstation in Abflugrichtung



5.3 Messergebnisse

Während des Fluges werden in regelmäßigen Abständen Positionsangaben übermittelt, wodurch eine Flugstrecke zurückverfolgt werden kann. Um Positionen zwischen einzelnen Messpunkten zu ermitteln, muss die Durchschnittsgeschwindigkeit des Flugzeuges verwendet werden. Indem beim zweiten Flug alle 30 Sekunden die Position des Ortungsgerätes des Flugzeuges abfotografiert wird, kann die Genauigkeit erhöht werden. Um diese Daten auszuwerten und um die Reichweite zu ermitteln, müssen die Positionen mit den Messergebnissen der Telemetrie in zeitlicher Abfolge aufgetragen werden.

5.3.1. Flug 1

Der erste Flug wird mit der mittleren Antenne am Flugzeug durchgeführt. Diese ist an der Außenseite des Flugzeuges befestigt. Die Bodenstation wird durch die große Antenne realisiert. Daher kann sich bei einem erneuten Versuch eine höhere Reichweite ergeben, als in dieser Messung herausgekommen ist. Der grundlegende Gedanke hinter diesem Versuch ist es, die Power erst dann schrittweise zu erhöhen, wenn die Verbindung kurz abgebrochen ist. Dadurch kann auch die Reichweite bei verschiedenen Betriebsarten ermittelt werden. Die Power, der Antenne im Flugzeug, wird hierbei bei dem Hinflug von 10 auf 20 und zuletzt auf 30 erhöht. Im Rückflug ist die Power konstant bei 30. Die Leistungszufuhr der Bodenstation ist während des Versuches dauerhaft auf 30.

Diese Einstellung wird getroffen, da an der Bodenstation der Energieverbrauch nicht relevant ist. Das in der Drohne verbaute Modem darf allerdings nicht unbegrenzt Energie verbrauchen, weshalb lediglich die Leistung des Moduls, welches sich innerhalb des Flugzeuges befindet, variiert. Aufgrund der großen Reichweite, die diese Antennenkombination hat, ist die Funkverbindung während des Versuches mit Power 30 nicht abgebrochen.

Die Ergebnisse des ersten Flugs sind in Abb. 5-10 abgebildet.



5. Segelflugplatz Stillberghof

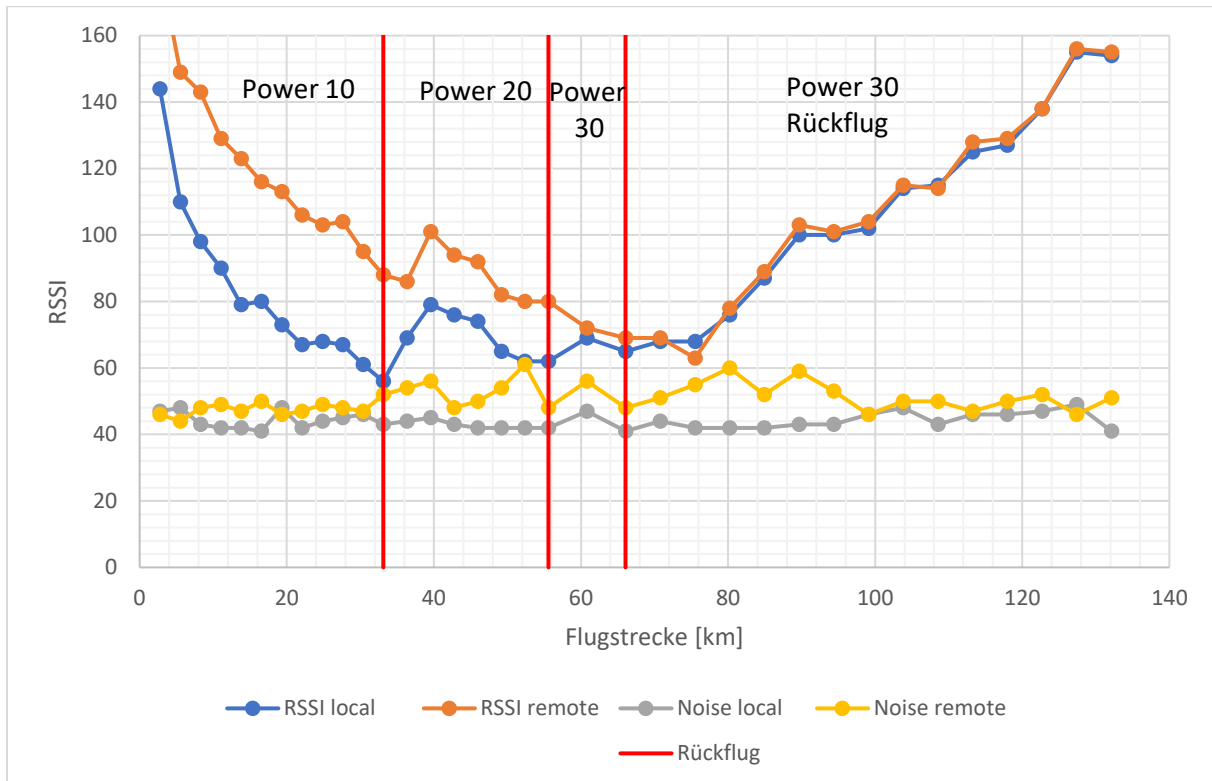


Abb. 5-10: Messergebnisse erster Flug

In diesem Diagramm ist zu erkennen, dass der RSSI Wert der Antenne im Flieger besser ist. Dies lässt sich durch die erhöhte Sendeleistung der Bodenstation erklären. Im Rückflug sind die RSSI Werte beider Antennen vergleichbar, da dieselbe Sendeleistung eingestellt ist.

In einer Karte werden nun, die Punkte markiert, an denen der letzte Funkkontakt bestanden hat. Infolge von Kommunikationsproblemen mit dem Team am Boden, wird die Reichweite von Power 30 wurde nicht bis zu einem Abbrechen der Funkverbindung getestet. In der folgenden Abbildung ist der Umkehrpunkt des Flugzeuges markiert.



5. Segelflugplatz Stillberghof

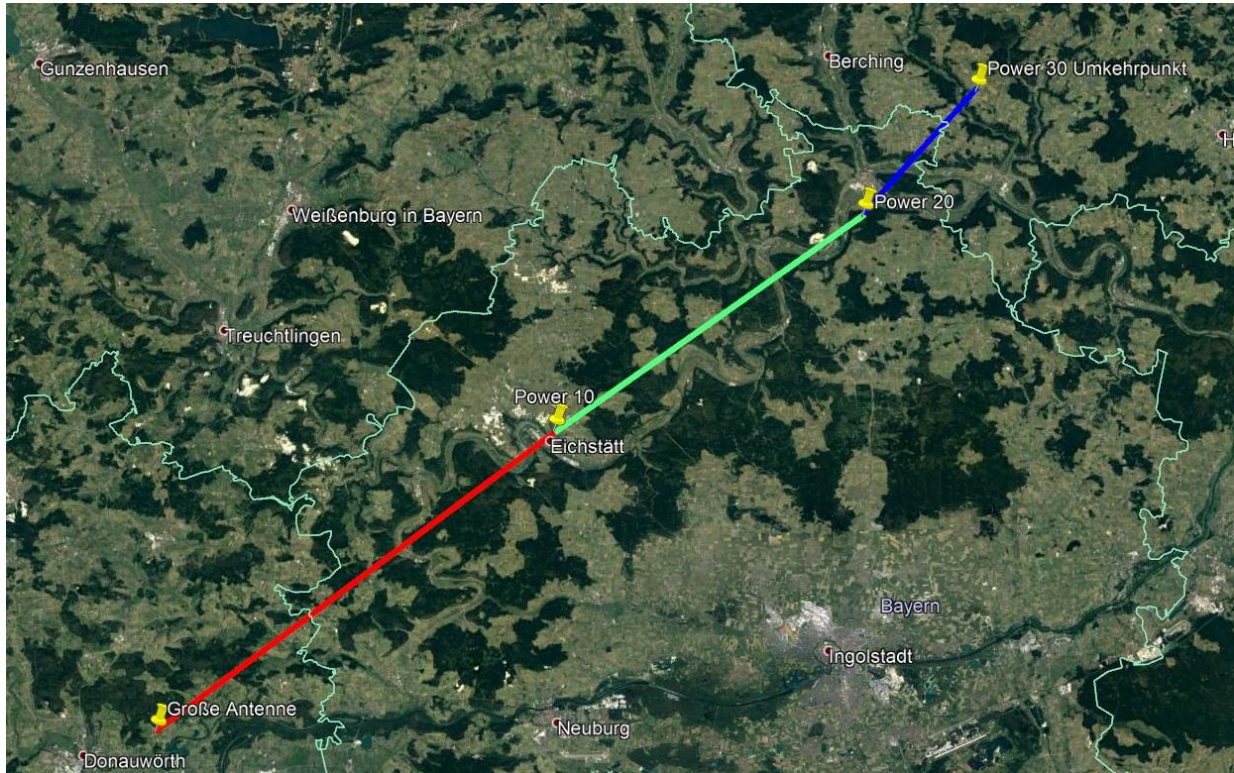


Abb. 5-11: Flugstrecke erster Flug

Dabei können folgende Ergebnisse der Reichweite ermittelt werden:

Reichweite:

Tabelle 5-1: Entfernungen

Leistungseinstellung	Entfernung [km]
Power 10	33,13
Power 20	55,58
Power 30	66,06



5. Segelflugplatz Stillberghof

5.3.2. Flug 2

Der zweite Flug wird mit der kleinen Antenne durchgeführt. Die Bodenstation bleibt unverändert gegenüber dem ersten Flug. Die Power des Modules im Flugzeug ist während des Fluges konstant auf 30 eingestellt. Während des Fluges werden die Längen und Breitengrade der Flugzeugposition notiert und somit die Genauigkeit und Rückverfolgbarkeit erhöht. Sobald die Verbindung abbricht, wendet der Flieger und kehrt zurück. Schließlich wird beim zweiten Flug mit der kurzen Antenne eine Reichweite von 52,63 km evaluiert. In Abb. 5-12 ist neben der Flugstrecke auch der letzte Kontakt mit der Telemetrie zu erkennen.

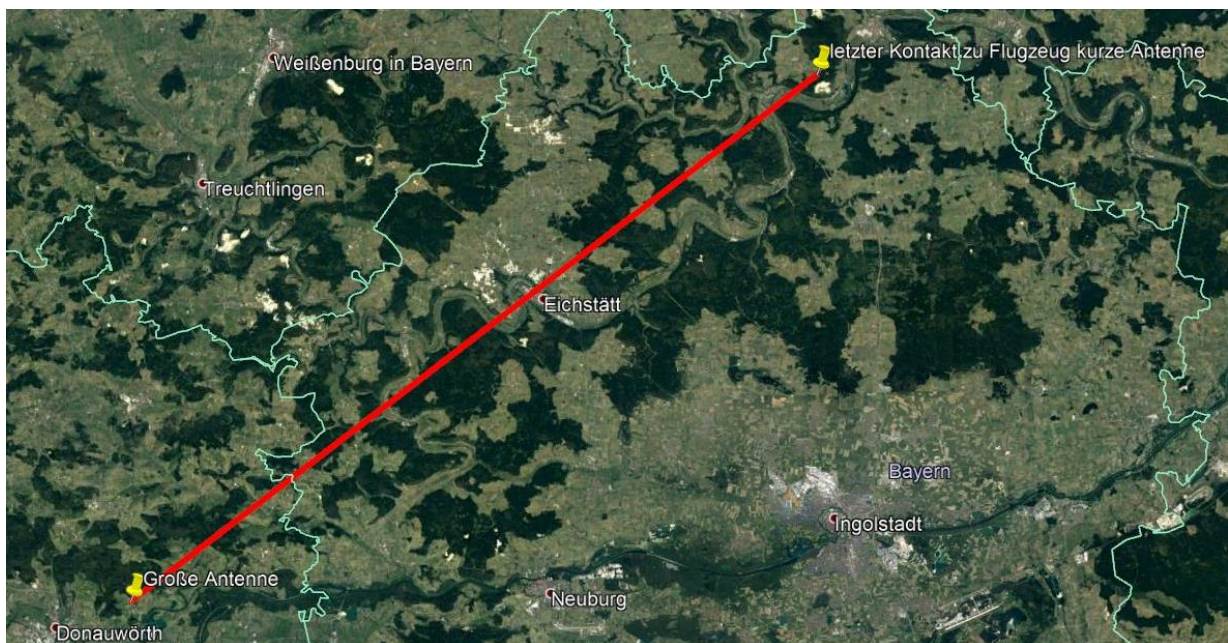


Abb. 5-12: Flugstrecke zweiter Flug

Reichweite:

Power 30: 52,63 km



5. Segelflugplatz Stillberghof

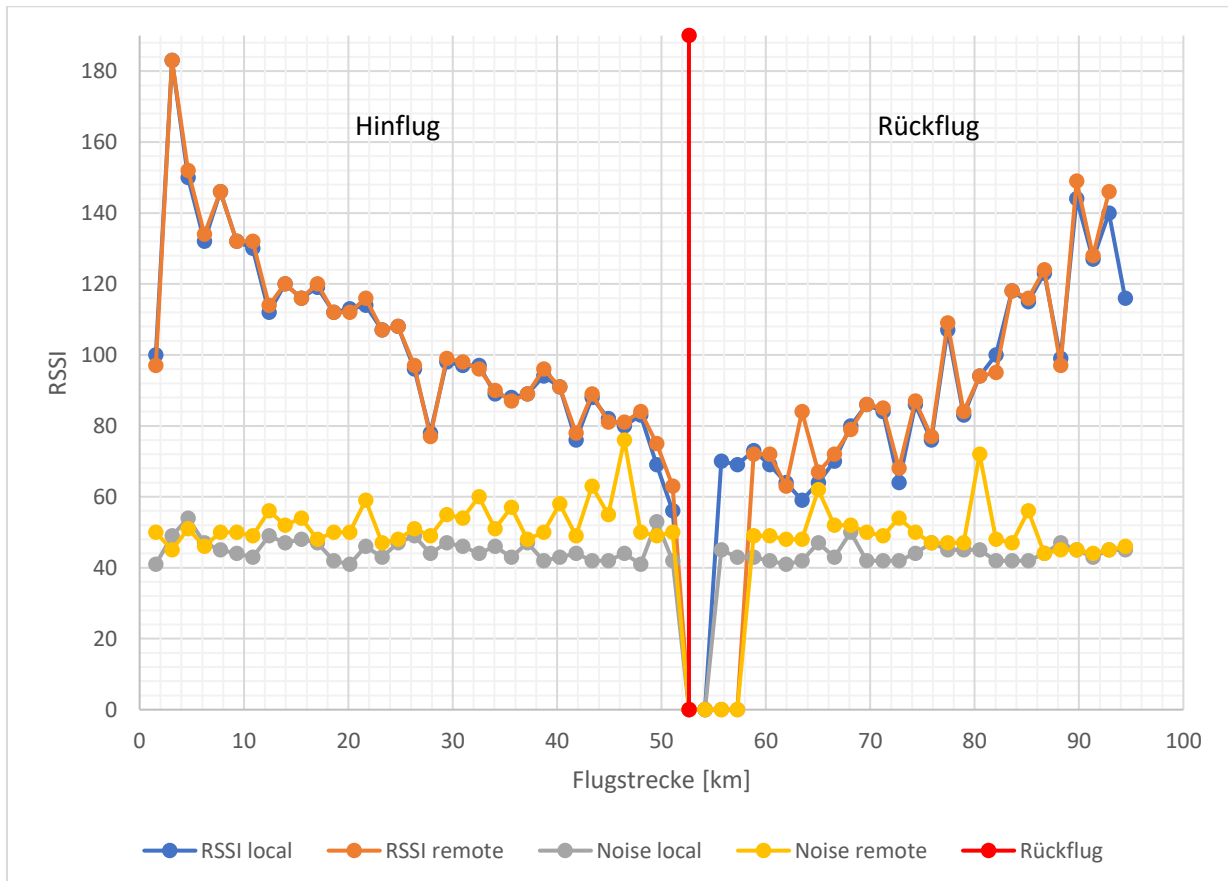


Abb. 5-13: Messergebnisse zweiter Flug

In Abb. 5-13 sind die Messergebnisse während des zweiten Fluges aufgetragen. Der Rückflug hat dabei kürzer gedauert als der Hinflug. Dies liegt an den Windverhältnissen, die an diesem Tag geherrscht haben. Der Wind kam an diesem Tag aus nordöstlicher Richtung mit 28 km/h. Daher die unterschiedlichen Flugzeiten bei gleicher Flugstrecke. In diesem Diagramm ist auch erkennbar, dass die RSSI Werte der Bodenstation und des Fliegers sich nur unwesentlich unterscheiden. Es ist außerdem in dem Diagramm erkennbar, dass die Bodenstation schneller wieder verbunden war, als das Modem im Flugzeug.



6 Fazit

Rückblickend auf den Beginn des Projekts kann festgehalten werden, dass die zwei Antennen in Kombination mit den Modems ihre benötigte Reichweite erfüllen. Zunächst konnten die Messtermine infolge der ausführlichen Vorbereitung erfolgreich absolviert werden. Weiterhin bilden aufeinander aufbauende und anknüpfende Messtermine eine umfangreiche Evaluierung. Nachdem das System erstmalig in Betrieb genommen und aufeinander abgestimmt wird (vgl. Kapitel 3 Vorversuche) können im Rahmen der Messung am Hohenpeißenberg sehr bedeutsame Erkenntnisse gewonnen werden. Im Anschluss daran stellt die Vermessung am Segelflugplatz Stillberghof die abschließende erfolgreiche Evaluierung dar.

Zusammenfassend ist zu sagen, dass das Modul in Verbindung mit der passenden Hard- und Software ohne Bedenken in SearchWing integriert werden kann. Zahlreiche Messversuche unter realen Umgebungsbedingungen belegen die Zuverlässigkeit des Systems. Schließlich konnten im Rahmen der Evaluation deutlich höhere Reichweite erzielt werden, als anfangs angenommen. Die Evaluierung spricht ausschließlich für die Integration der Module in SearchWing.