

# Long Range Live Video Link



Ersteller:

Dominik Beisch (2034449),

Jonas Rückel (2010304),

Leo Hillinger (2022905)

Datum: 08.01.2021

Dieser Bericht darf von Herrn Prof. Beckmann im Bezug auf das SearchWing-Projekt veröffentlicht werden.

## Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung .....	5
2	Versuchsvorbereitung.....	5
2.1	Grundlagen .....	5
2.1.1	System .....	5
2.1.2	Begrifflichkeiten Antennentheorie.....	5
2.1.3	Reichweitensteigerung.....	6
2.2	Rechtliche Situation .....	6
2.3	Komponentenauswahl.....	6
2.3.1	Empfänger und Empfangsantennen .....	7
2.3.2	Sender und Sendeantenne .....	11
2.3.3	Kamera und Zubehör.....	13
2.3.4	Anpassungen zur Verbindung der Komponenten.....	14
2.4	Kosten der Komponenten.....	15
2.5	Reflexionsfaktormessung .....	16
2.6	Theoretische Reichweitenberechnung.....	20
3	Messungen.....	22
3.1	Versuchsaufbau .....	22
3.1.1	Sendemodul .....	22
3.1.2	Empfängermodul.....	23
3.2	Königsbrunner Berg Reichweitenmessung.....	24
3.2.1	Messung 500m .....	26
3.2.2	Messung 2,5 km .....	27
3.2.3	Messung 4,5 km .....	28
3.2.4	Messung 6,1 km .....	29
3.2.5	Messung 10 km .....	29
3.2.6	Fazit .....	29
3.3	Hohen Peisenberg Reichweitenmessung .....	30
3.3.1	Messung 3,8 km .....	32
3.3.2	Messung 5,4 km .....	34
3.3.3	Messung 11,0km .....	35
3.3.4	Messung 12,5 km .....	37
3.3.5	Messung 15,0 km .....	39
3.3.6	Messung 17,5 km .....	40
3.3.7	Messung 22 km .....	42
3.3.8	Fazit .....	42

3.4	Königsbrunner Berg weitere Untersuchungen.....	43
3.4.1	Bildqualität in Abhängigkeit von der Leistung .....	44
3.4.2	Bildqualität in Abhängigkeit von dem Winkel.....	45
4	Interpretation der Versuchsergebnisse .....	48
	Literaturverzeichnis.....	49
	Anhang.....	50
	Eachine Manual .....	50
	Tabelle Hohen Peisenberg.....	51

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Konzeptsystem.....	5
Abbildung 2:	Eachine Moneagle (Empfänger mit Bildschirm) .....	7
Abbildung 3:	Skydroid 5.8G Dual Receiver.....	8
Abbildung 4:	Directional Antenna Panel 23 .....	9
Abbildung 5:	Verstärkung 23dbi Panel (Quelle: Ende Abschnitt) .....	9
Abbildung 6	Öffnungswinkel 23dbi Panel .....	10
Abbildung 7:	ORT Helical 6 Turn.....	10
Abbildung 8:	VAS Crosshair Extreme.....	11
Abbildung 9:	TBS Unify Pro 32 HV .....	11
Abbildung 10:	VAS 5.8 Ghz ION PRO .....	12
Abbildung 11:	Runcam Phoenix 2 .....	13
Abbildung 12:	Adapter SMA/RP-SMA .....	13
Abbildung 13:	XT-60 Akkustecker (links) und original Akkustecker (rechts) .....	14
Abbildung 14:	Verbindung zwischen Sender und Kamera .....	14
Abbildung 15:	Messaufbau Reflexionsfaktormessung.....	16
Abbildung 16:	Reflexionsfaktormessung Panel 23.....	17
Abbildung 17:	Reflexionsfaktormessung Helical 6 Turn .....	18
Abbildung 18:	Reflexionsfaktormessung VAS Crosshair Extreme.....	19
Abbildung 19:	Schema Freiraumausbreitung.....	20
Abbildung 20:	Fresnel-Ellipsoid (Gustrau 2019, S. 298).....	21
Abbildung 21:	Rmax des Fresnel-Ellipsoid über $r$ ( $f=5,8\text{GHz}$ ) .....	21
Abbildung 22:	Anordnung der Komponenten des Sendemoduls .....	22
Abbildung 23:	Messvorrichtung mit Komponenten.....	23
Abbildung 24:	Empfängermodul .....	23
Abbildung 25:	Empfangsaufbau auf der Ulrichshöhe .....	24
Abbildung 26:	Messpunkte Königsbrunn .....	25
Abbildung 27:	Skydroid + ORT Helical 6 Turn, 500m .....	26
Abbildung 28:	<i>Eachine Moneagle + Directional Antenna Panel 23, 500m</i> .....	26
Abbildung 29:	Skydroid + ORT Helical 6 Turn, 2,5 km.....	27
Abbildung 30:	Eachine Moneagle + Directional Antenna Panel 23, 2,5 km .....	27
Abbildung 31:	Skydroid + ORT Helical 6 Turn, 4,5 km.....	28
Abbildung 32:	Eachine Moneagle + Directional Antenna Panel 23, 4,5 km .....	28
Abbildung 33:	Skydroid + Directional Antenna Panel 23+ ORT Helical 6 Turn, 6,1 km .....	29
Abbildung 34:	Ausblick vom hohen Peisenberg.....	30

Abbildung 35: Messpunkte hohen Peisenberg .....	31
Abbildung 36: Eachine große Patchantenne bei 25 mW .....	32
Abbildung 37: Skydroid große Patchantenne bei 25 mW .....	32
Abbildung 38: Skydroid Helix bei 25mW .....	33
Abbildung 39: Skydroid kleine Patchantenne bei 100mW .....	33
Abbildung 40: Skydroid kleine Patchantenne bei 400mW .....	33
Abbildung 41: Eachine große Patchantenne bei 25 mW .....	34
Abbildung 42: Skydroid große Patchantenne bei 25 mW .....	34
Abbildung 43: Skydroid kleine Patchantenne bei 400mW .....	35
Abbildung 44: Eachine große Patchantenne bei 100 mW .....	35
Abbildung 45: Eachine große Patchantenne bei 400 mW .....	36
Abbildung 46: Eachine Helix bei 400 mW .....	36
Abbildung 47: Skydroid große Patchantenne bei 25 mW .....	36
Abbildung 48: Skydroid Helix bei 100 mW .....	37
Abbildung 49: Eachine große Patchantenne bei 400 mW .....	37
Abbildung 50: Eachine Helix bei 400 mW .....	38
Abbildung 51: Skydroid große Patchantenne bei 25 mW .....	38
Abbildung 52: Skydroid Helix bei 100 mW .....	38
Abbildung 53: Eachine große Patchantenne bei 400 mW .....	39
Abbildung 54: Skydroid große Patchantenne 25 mW .....	39
Abbildung 55: Skydroid Helix bei 400 mW .....	40
Abbildung 56: Eachine große Patchantenne bei 400mW .....	40
Abbildung 57: Skydroid große Patchantenne bei 25 mW .....	41
Abbildung 58: Skydroid große Patchantenne bei 100mW .....	41
Abbildung 59: Skydroid Helix bei 400 mW .....	41
Abbildung 60: Bild von Handykamera .....	42
Abbildung 61: Aussicht vom Königsbrunner Berg bei der zweiten Messung .....	43
Abbildung 62: Bildqualität der Helixantenne bei verschiedenen Leistungen (Prozentzahl=Signalstärke Skydroid Empfänger) .....	44
Abbildung 63: Bildqualität der großen Patchantenne bei verschiedenen Leistungen (Prozentzahl=Signalstärke Skydroid Empfänger) .....	45
Abbildung 64: gemessener Öffnungswinkel Helixantenne .....	46
Abbildung 65: Bildqualität der Helixantenne bei verschiedenen Winkeln .....	46
Abbildung 66: gemessener Öffnungswinkel Patchantenne .....	47
Abbildung 67: Bildqualität der großen Patchantenne bei verschiedenen Winkeln .....	47

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Frequenztafel (MHz) .....	7
Tabelle 2: Komponenten Kosten .....	15
Tabelle 3: theoretische maximale Abstände (f=5,8GHz, Empfänger Sensitivität: -90dB) .....	20

## Abkürzungsverzeichnis

**FPV** First Person View

**EIRP** equivalent isotropically radiated power (äquivalente isotrope Strahlungsleistung)

**SRD** Short Range Device

## 1 Einleitung

Das Projekt *SearchWing* beschäftigt sich mit dem Bau autonom fliegender Drohnen für die Seenotrettung. Mittels einer Drohne werden dabei von einem weitläufigen Meeresgebiet Luftaufnahmen erstellt, mit denen sich in Seenot befindliche Menschen ausfindig gemacht werden können. Dieses Verfahren, bei dem der Nutzer die Aufnahmen aus der Sicht der Drohne erhält, wird als *First Person View* (FPV) bezeichnet. Bisher wurden die Aufnahmen auf einer Speicherkarte in der Drohne gespeichert und im Anschluss an den Aufnahmezug ausgewertet, sogenanntes passives FPV. Mit diesem *Long Range Live Video Link*-Projekt soll ein mögliches aktives FPV getestet werden. Hierbei soll der Nutzer das Livebild aus der Sicht der Drohne erhalten. Es werden dabei die Erfahrungen und Komponenten aus dem Modellbaubereich herangezogen. Die Komponenten des Systems werden hinsichtlich ihrer Eigenschaften ausgewählt und untersucht. Das komplette Übertragungssystem wird bezüglich Übertragungreichweite, Komponenteneigenschaften und Übertragungsqualität praktisch als auch theoretisch untersucht.

## 2 Versuchsvorbereitung

### 2.1 Grundlagen

#### 2.1.1 System

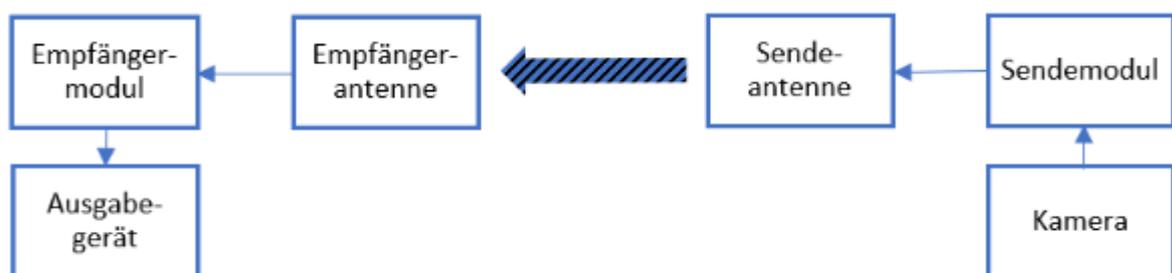


Abbildung 1: Konzeptsystem

Zu Beginn wurde ein Grobkonzept des späteren Systems entwickelt (siehe Abb. 1). Es wurden die erforderlichen Komponenten aufgezeigt und mit Pfeilen der Weg des Signals dargestellt. Der geriffelte Pfeil symbolisiert hierbei die Datenübertragung per Funk, die restlichen Pfeile eine drahtgebundene Datenübertragung. Die Stromversorgung der Komponenten wurde hier noch nicht berücksichtigt.

#### 2.1.2 Begrifflichkeiten Antennentheorie

Die äquivalente isotrope Strahlungsleistung (EIRP) gibt das Verhältnis der Sendeleistung einer gerichteten Antenne in Hauptstrahlungsrichtung gegenüber einer ungerichteten Antenne (Isotropstrahler) bei gleichbleibender Leistungsdichte an. (Bundesamt für Strahlenschutz 2020) Die EIRP ist das Produkt aus Sendeleistung und Antennengewinn. (Heuberger und Gamm 2017)

$$EIRP = P \cdot G \quad (1)$$

Der Antennengewinn bezieht sich auf den Zugewinn einer gerichteten Antenne gegenüber einem Isotropstrahler und wird mit *dBi* angegeben. (DHBW Ravensburg - Antennentheorie 04.12.20)

### 2.1.3 Reichweitensteigerung

Um die Reichweite der Übertragung bei gleichbleibenden Umwelteinflüssen zu erhöhen, gibt es folgende Möglichkeiten:

- Erhöhung der Sendeleistung des Sendemoduls
- Wahl von Antennen mit höherem Antennengewinn
- Wahl eines Empfangsmoduls mit höherer Empfangssensitivität

## 2.2 Rechtliche Situation

In Deutschland zählt FPV zu den sogenannten Funkanwendungen geringer Reichweite (SRD). Für solche Anwendungen sind laut aktuellem Stand der Bundesnetzagentur im 5,8-GHz-Band die Frequenzteilbereiche zwischen 5.725 MHz und 5.875 MHz vorgesehen. Hierbei werden für die Nutzung der Frequenzen die Bedingungen der maximal zulässigen äquivalenten Strahlungsleistung von 25 mW EIRP und die relative Frequenzbelegungsdauer – auch Duty Cycle genannt – kleiner 100% vorgeschrieben. Außerdem ist dieser Bereich für diese Anwendung ausschließlich zur Übertragung von Daten, Ton- und Bildsignalen über kurze Entfernung vorgesehen. Für Bildungseinrichtungen sind hierbei bis zu 5 W EIRP zulässig.

(Frequenzplan; Einträge 335001, 336001, 337001, 338001, 336004 & 337004 Bundesnetzagentur - Frequenzplan 2020)

## 2.3 Komponentenauswahl

Durch eine Internetrecherche wurde zu Beginn nach einem geeigneten System zur Live-Übertragung von Videomaterial gesucht. Eine Möglichkeit war es, ein bereits bestehendes System zu kaufen, das alle einzelnen Elemente bereits beinhaltet. Die andere Möglichkeit war es einzelne Komponenten zu kaufen und sich selbst ein funktionierendes System zusammenzustellen.

In der folgenden Analyse wurde beschlossen ein eigenes System zusammenzustellen, wofür Sender, Sendeantenne, Kamera, Empfangsantenne, Empfänger und Monitor benötigt wurden. Um dies zu realisieren, waren verschiedene kompatible Elemente nötig. Zunächst wurden die Eigenschaften der einzelnen Komponenten des Systems untereinander verglichen, anschließend diverse Berechnungen, wie zum Beispiel die der Reichweite, angestellt. Daraus ergaben sich die nachfolgenden Komponenten, die bei verschiedenen Lieferanten bestellt wurden. Wichtig dabei war neben der Kompatibilität hinsichtlich der Signalübertragung, auch auf das Zusammenpassen der mechanischen Verbindungen zueinander zu achten.

### 2.3.1 Empfänger und Empfangsantennen

#### 2.3.1.1 Eachine Moneagle (Empfänger mit Bildschirm)

Beim *Eachine Moneagle* handelt es sich um ein 5,8 GHz Empfangsmodul mit integriertem 5 Zoll Bildschirm.



Abbildung 2: Eachine Moneagle (Empfänger mit Bildschirm)

Im Lieferumfang enthalten waren neben diversen Kabeln zum Laden des integrierten Akkus und zur Verbindung mit externen Monitoren, auch Antennen und Halterungen.

Es ist möglich eine Vielzahl von verschiedenen Frequenzen damit zu empfangen. Diese Tabelle gilt für den Eachine-Empfänger und den noch folgenden Skydroid-Empfänger:

Tabelle 1: Frequenztabelle (MHz)

	CH1	CH2	CH3	CH4	CH5	CH6	CH7	CH8
Band A	5865	5845	5825	5805	5785	5765	5754	5725
Band B	5733	5752	5771	5790	5809	5828	5847	5866
Band E	5705	5685	5665	5645	5885	5905	5925	5945
Band F	5740	5760	5780	5800	8520	5840	5860	5880
Band R	5658	5695	5732	5769	5806	5843	5880	5917

Diese Kombination aus Empfangsmodul und Bildschirm bringt neben der Varianz an empfangbaren Frequenzen noch weitere Vorteile, wie die Flexibilität und Mobilität durch den integrierten Akku und eine Aufnahmefunktion mit sich. Die aufgenommenen Daten können auf einer Micro SD-Karte gespeichert werden. **Achtung (!!!):** Es ist zu beachten, dass alle Daten, die vorher auf der Micro SD-Karte gespeichert waren, überschrieben bzw. gelöscht werden, ausgenommen hiervon sind die vorherigen mit dem Eachine aufgenommenen Videos.

Weitere Informationen: *User Manual* im Anhang

### 2.3.1.2 Skydroid 5.8 Dual Receiver (Empfänger)

Mit dem Skydroid ist es möglich Frequenzen zwischen 5645 und 5945 MHz zu empfangen. Um ein Bild zu erhalten wird ein externer Bildschirm benötigt. Dafür kann ein Smartphone oder Computer über USB angeschlossen werden. Über diesen Anschluss kann auch die Stromversorgung des Empfängers gewährleistet werden. Zusätzlich gibt es einen Port für einen Akkuanschluss.



Abbildung 3: Skydroid 5.8G Dual Receiver

Im Paket enthalten waren zwei USB-Kabel mit verschiedenen Steckern für die Verbindung zu einem Smartphone und zwei Stabantennen, die allerdings nicht für die Funkstrecke eingeplant sind. Für die Verwendung mit einem Smartphone war es zusätzlich nötig, eine App herunterzuladen, die kostenfrei zur Verfügung steht. Dabei hat sich herausgestellt, dass die App *SkyDroid FPV* im Playstore nicht funktionsfähig war (Absturz, Stand 20.11.2020). Die [Go-FPV v2.2.1-App<sup>1</sup>](https://drive.google.com/open?id=0Bzr4U7GOGvNJRHI4M09QS0lxdEU) von *Eachine* funktionierte, stürzte aber bei der Aufnahme von Videos ab (Stand 27.11.2020). Schlussendlich wurde die zuverlässigere [Android APP for Eachine ROTG02-App<sup>2</sup>](https://www.firstquadcopter.com/download/android-app-for-eachine-rotg02/) bei den Messungen verwendet.

(Team BlackSheep Online Store - Skydroid UVC Dual Antenna Control Receiver OTG 5.8G - Black 2020)

---

<sup>1</sup> <https://drive.google.com/open?id=0Bzr4U7GOGvNJRHI4M09QS0lxdEU>

<sup>2</sup> <https://www.firstquadcopter.com/download/android-app-for-eachine-rotg02/>

### 2.3.1.3 Directional Antenna Panel 23 (Empfängerantenne, große Patchantenne)



Abbildung 4: Directional Antenna Panel 23

Mit den Maßen von 315 x 315 mm, handelt es sich hierbei um eine große Antenne, die ihren Nennfrequenzbereich bei 5150 bis 5850 MHz besitzt. Abhängig von der Frequenz ist es möglich eine Verstärkung des Signals von bis zu 23 dBi zu erreichen.

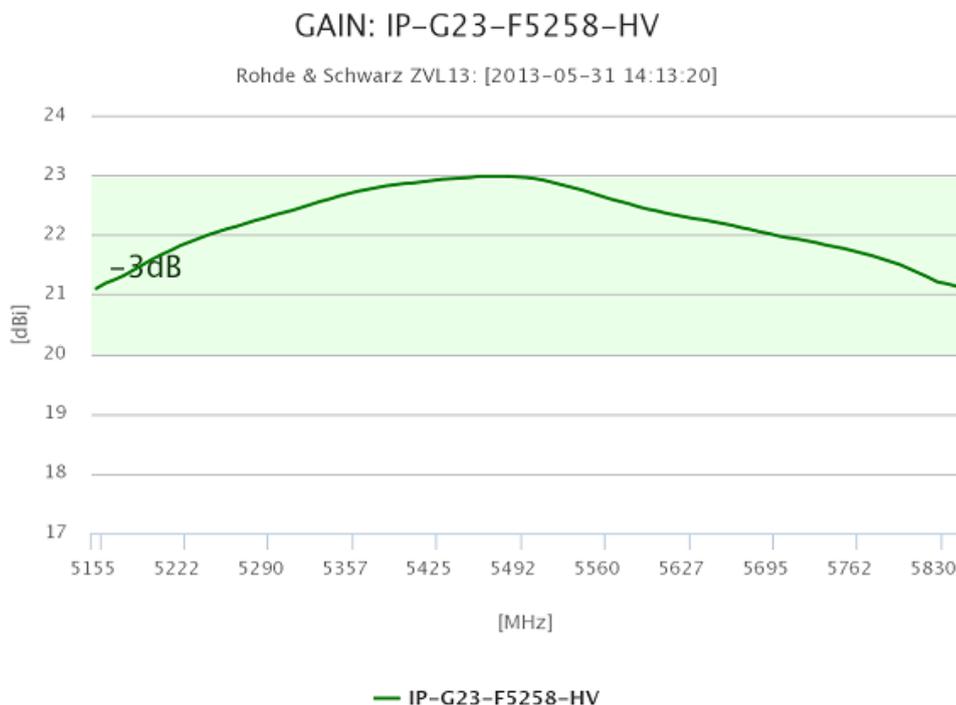


Abbildung 5: Verstärkung 23dbi Panel (Quelle: Ende Abschnitt)

Da es sich hierbei um eine Richtantenne, oder auch direktionale Antenne, handelt muss darauf geachtet werden, dass man diese in Richtung des Senders ausrichten muss. In diesem Fall beträgt der angegebene Öffnungswinkel 20°.



Abbildung 6 Öffnungswinkel 23dbi Panel

Im Lieferumfang waren neben der Antenne, noch Halterungen und ein Kabel mit einem N-Stecker und einem SMA-Reverse-Stecker enthalten.

(5 GHz WLAN Richtantenne PANEL 23 2020)

#### 2.3.1.4 ORT Helical 6 Turn (Empfängerantenne, Helixantenne)

Mit der Helical 6 Turn Antenne ist es möglich einen Empfänger mit bis zu 10 dbic zu unterstützen. Es werden Frequenzen von 5300 bis 6000 GHz verstärkt. Die Richtantenne besitzt einen Öffnungswinkel zwischen 100 und 120 Grad und muss in Richtung des Signals ausgerichtet werden.



Abbildung 7: ORT Helical 6 Turn

Um eine mechanische Verbindung mit dem Empfänger einzugehen, ist ein SMA-Stecker verbaut.

(Team BlackSheep Online Store - ORT New Helical 6 Turn Antenna Black 2020)

#### 2.3.1.5 VAS Crosshair Extreme (LHCP) 5.8 GHz (Empfängerantenne, kl. Patchantenne)

Eine weitere Option auf der Empfängerseite ist es, das Signal durch diese Richtantenne zu verstärken. Mit ihr ist eine Verstärkung von 10,25 dbic möglich. Dazu muss die Antenne im Rahmen des Öffnungswinkels von 120 Grad in Richtung des Signals zeigen. Zu beachten ist, dass ab einem Winkel von  $\pm 30$  Grad nur noch die halbe Leistung zur Verfügung steht. Um

dieses Modul nutzen zu können muss das gesendete Signal zwischen einer Frequenz von 5080 und 6000 GHz liegen.

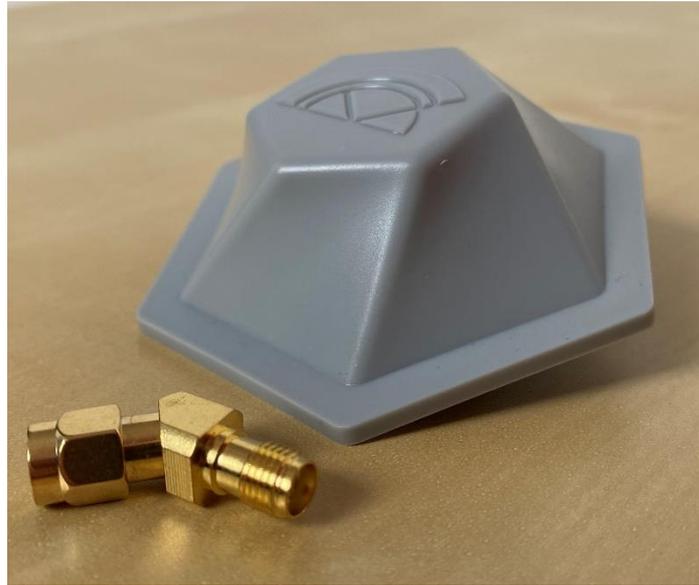


Abbildung 8: VAS Crosshair Extreme

Mit dem Empfänger verbunden wird die Antenne über einen SMA-Stecker. Um eine die Ausrichtung leichter zu gestalten, ist ein Adapter mit 45°-Winkel der Antenne beigelegt.

(Team BlackSheep Online Store - VAS Crosshair Extreme (LHCP) 5.8GHZ 2020)

## 2.3.2 Sender und Sendeanenne

### 2.3.2.1 TBS Unify Pro 32 HV (Sender)

Der ausgewählte Sender kann in einem großen Frequenzbereich senden (vgl. Tabelle 1). Außerdem kann die Sendeleistung zwischen 25 mW, 100 mW, 400 mW und 1000mW variiert werden.



Abbildung 9: TBS Unify Pro 32 HV

Der Sender kann mit einer Spannung von 7 bis 26 V betrieben werden. Neben Anschlüssen für die Stromversorgung gibt es einen Eingang für das Videosignal und ein 5V Ausgang, durch den die Kamera mit Strom versorgt wird. Dieser Empfänger kann sehr heiß werden aufgrund seiner

kompakten Bauweise. Es sollte auf genug Belüftung geachtet werden. Ab einer Temperatur von 105°C wird die Sendeleistung heruntergeregelt.

Im Lieferumfang enthalten waren ein Adapter zur Antennenverbindung und Kabel für Stromversorgung und Verbindung zur Kamera. Weitere Informationen befinden sich in der Dokumentation auf der Webseite von Team Blacksheep.

(Team BlackSheep Online Store - TBS Unify Pro32 HV (MMCX) 2020)

#### 2.3.2.2 VAS 5.8 GHz ION PRO (Sendeantenne)

Um den Sender zu unterstützen, wird eine omnidirektionale Antenne mit einer Verstärkung von 2,5 dbic verwendet. Bei diesem Typ muss die Antenne nicht in die gewünschte Senderichtung gedreht werden, da das Signal kreisförmig in alle Richtungen abgestrahlt wird.



Abbildung 10: VAS 5.8 Ghz ION PRO

(Team BlackSheep Online Store - VAS 5.8GHz Ion Pro (Short w/SMA Connector) Antenna (RHCP) 2020)

### 2.3.3 Kamera und Zubehör

#### 2.3.3.1 Runcam Phoenix 2

Bei der verwendeten Kamera wurde darauf geachtet, dass sie kompatibel mit dem Sender ist. Sie ist speziell konstruiert für eine Verwendung im First Person View-Bereich und ist damit nur 9 g schwer und kompakt.

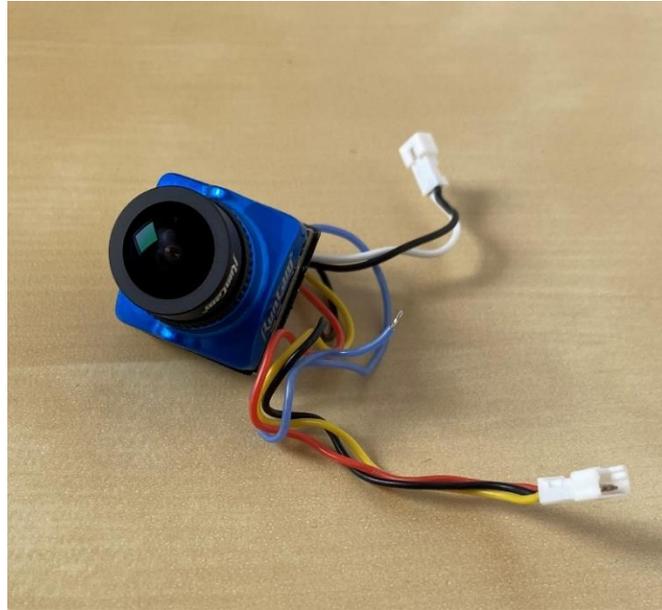


Abbildung 11: Runcam Phoenix 2

Zur Verbindung mit dem Sender wurden passende Kabel mitgeliefert. Neben der Videoübertragung zum Sender wird auch die Stromversorgung über den 5 V-Pin am Sender gewährleistet.

(RunCam FPV Store 2020)

#### 2.3.3.2 Adapter RP-SMA Male auf SMA-Female

Für die Verbindung zwischen Empfänger und Antenne wurde ein Adapter benötigt, da die Empfänger mit einem RP-SMA Stecker ausgerüstet waren und die zwei Antennen mit einem SMA-Stecker.



Abbildung 12: Adapter SMA/RP-SMA

Bei dem Adapter handelt es sich um eine rein mechanische Lösung, an der Übertragung änderte sich nichts.

### 2.3.3.3 Weiteres Zubehör

Um das System zu vervollständigen wurden außer den gekauften Modulen noch weitere Teile benötigt, die von der Hochschule zur Verfügung gestellt wurden.

Im speziellen handelte es sich dabei um 4S-Akkus, ein zugehöriges Ladegerät und XT-60 Akkustecker.

### 2.3.4 Anpassungen zur Verbindung der Komponenten

Der Großteil der Verbindungsleitungen kann ohne Veränderung verwendet werden. Lediglich zwei Stecker mussten angepasst werden, um ein vollständiges System aufzubauen. Für die Stromversorgung des Senders wurde der angebrachte Stromstecker abgezwickelt und durch einen XT-60 Akkustecker ersetzt.

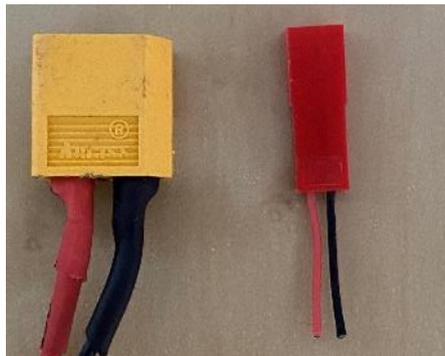


Abbildung 13: XT-60 Akkustecker (links) und original Akkustecker (rechts)

Weiter war für die Verbindung von Sender zur Kamera ein Stecker mit 4 Pins für Stromversorgung, Übertragung des Videosignals und eines weiteren Signals verbaut. Die Kamera verfügte jedoch nur über einen Stecker mit 3 Pins. Für diese Testreihe wurde der Stecker mit 4 Pins so moduliert, dass die beiden Stecker zueinander passen. Falls bei späterer Verwendung diese Verbindung auf Zug belastet werden sollte, ist es ratsam die entsprechenden Adern zu verlöten.

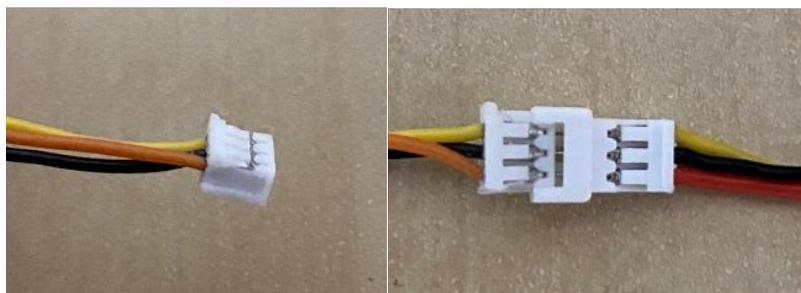


Abbildung 14: Verbindung zwischen Sender und Kamera

## 2.4 Kosten der Komponenten

In der folgenden Tabelle sind die einzelnen Preise der Komponenten aufgezeigt.

Tabelle 2: Komponenten Kosten

Kosten der Komponenten			
Art	Name	Händler	PREIS
Empfänger	Eachine Moneagle 5 Zoll IPS	Banggood.com	60,59 €
Empfänger	Skydroid UVC Dual Antenna Control Receiver	Team Black Sheep	27,99 \$
Sender Antenne	VAS 5.8GHz Ion Pro	Team Black Sheep	19,95 \$
Sender	TBS Unify Pro 32HV	RCTech	54,89 €
Empfänger Antennen	ORT New Helica 6	Team Black Sheep	36,00 \$
Empfänger Antennen	5 GHz WLAN Richtantenne PANEL 23 mit Kabel 1m	FTS Henning	82,52 €
Empfänger Antennen	VAS CROSSHAIR EXTREME (LHCP) 5.8GHZ	Team Black Sheep	34,95 \$
Kamera	Runcam phoenix 2	Team Black Sheep	26,99 \$
Adapter	RP-SMA Male auf SMA-Female	Team Black Sheep	2,95 \$
Kabel	Micro USB auf USB Typ C Kabel	Amazon	7,29 €

## 2.5 Reflexionsfaktormessung

Bei der Reflexionsfaktormessung im Labor der Hochschule Augsburg wurde das Verhältnis zwischen der Leistung am Antenneneingang und der reflektierten Leistung gemessen.

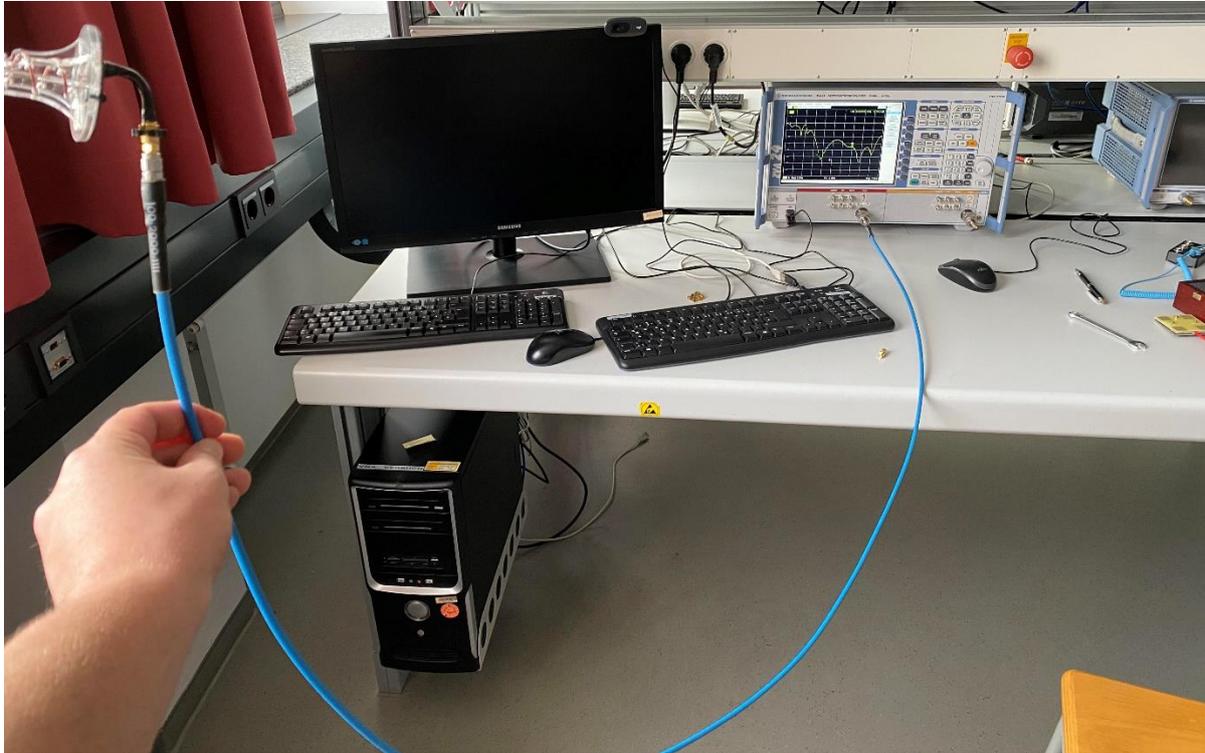
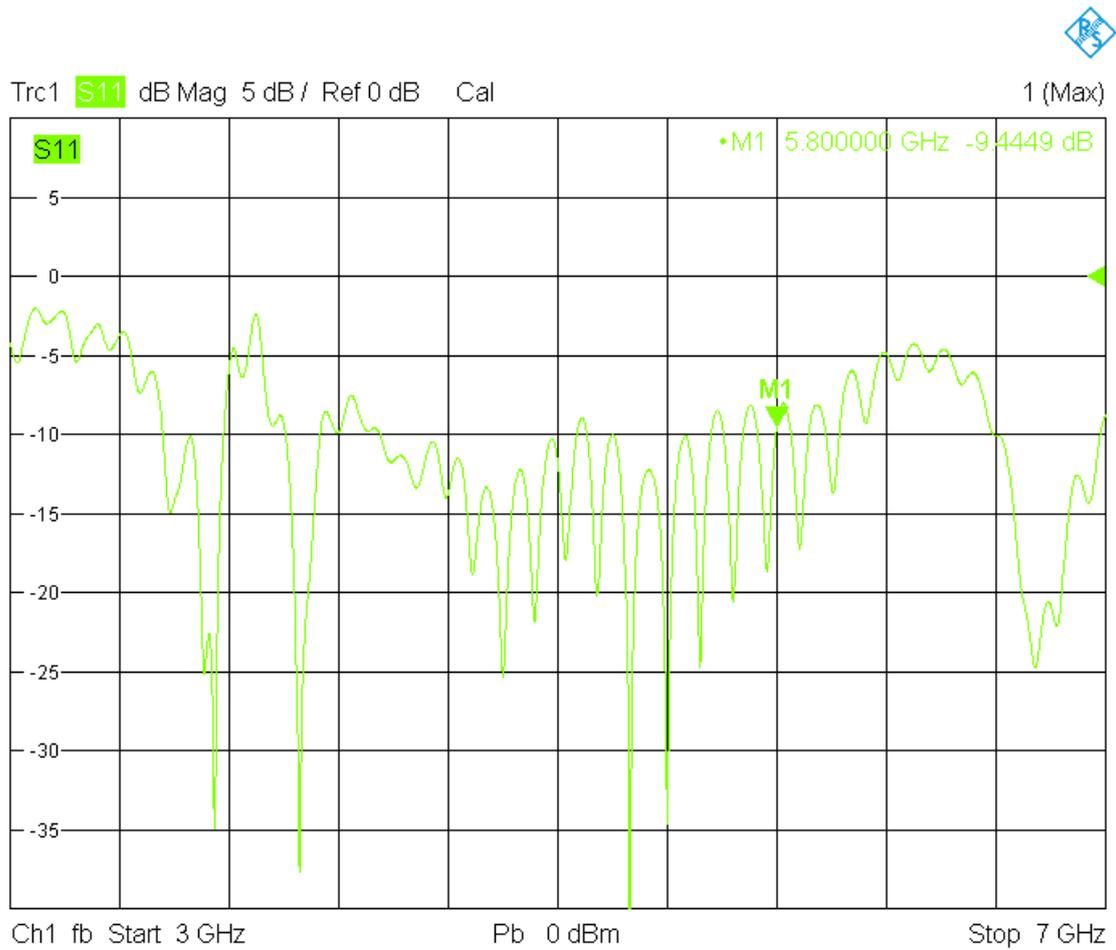


Abbildung 15: Messaufbau Reflexionsfaktormessung

Für diese Messung wurde das ZVA 24 des Hochfrequenzlabors der Hochschule verwendet. Mit Hilfe des Port 1 wurde eine Ein-Tor-Messung mit 2001 Messpunkten in einem Frequenzbereich von 3 bis 7 GHz für die drei zur Verfügung stehenden Antennen durchgeführt.

Bevor die Antennen vermessen wurden, wurde das Gerät kalibriert. Für die sogenannte OSM-Kalibrierung wurde dabei das RPC-3.50 Calibration Kit von Rosenberger verwendet. Um eine volle Kalibrierung durchzuführen, wurden nacheinander „Open“, „Short“ und „Match“-Kalibrier-Standards an die blaue Leitung angeschraubt. Dabei war darauf zu achten, dass die Schraubverschlüsse gut festgezogen wurden. Da je nach Biegung der Leitung, andere Fehler auftreten können, muss das Kabel schon bei der Kalibrierung, in die für spätere Messungen gewünschte Raumrichtung gehalten werden. Nach erfolgreicher Kalibrierung wurden die Antennen vermessen.

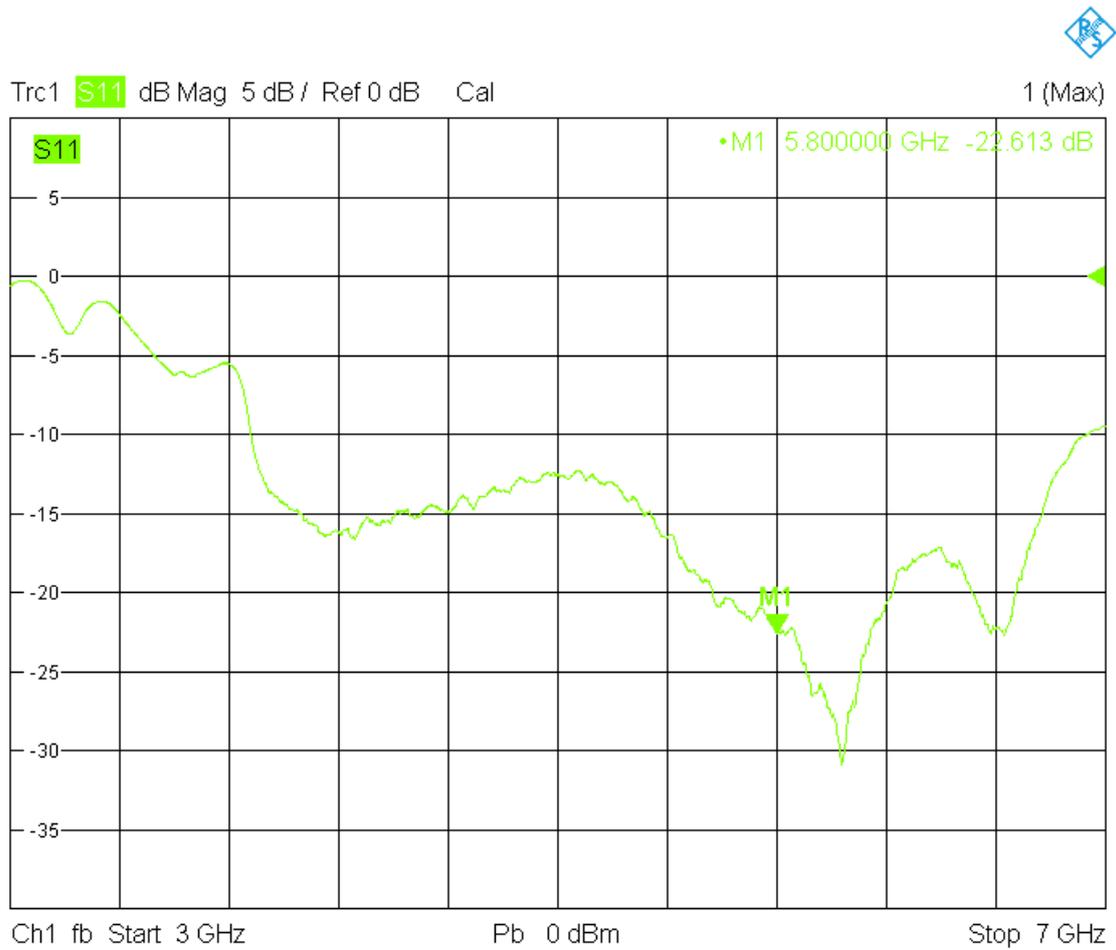
Der Wirkungsgrad einer Antenne steigt mit fallendem dB-Wert. Um eine korrekte Messung durchzuführen sollte die Antenne in eine möglichst offene Raumrichtung gehalten werden. In diesem Fall wurden die Antennen aus dem Fenster im 6. Stockwerk gehalten.



11/13/2020, 1:13 PM

Abbildung 16: Reflexionsfaktormessung Panel 23

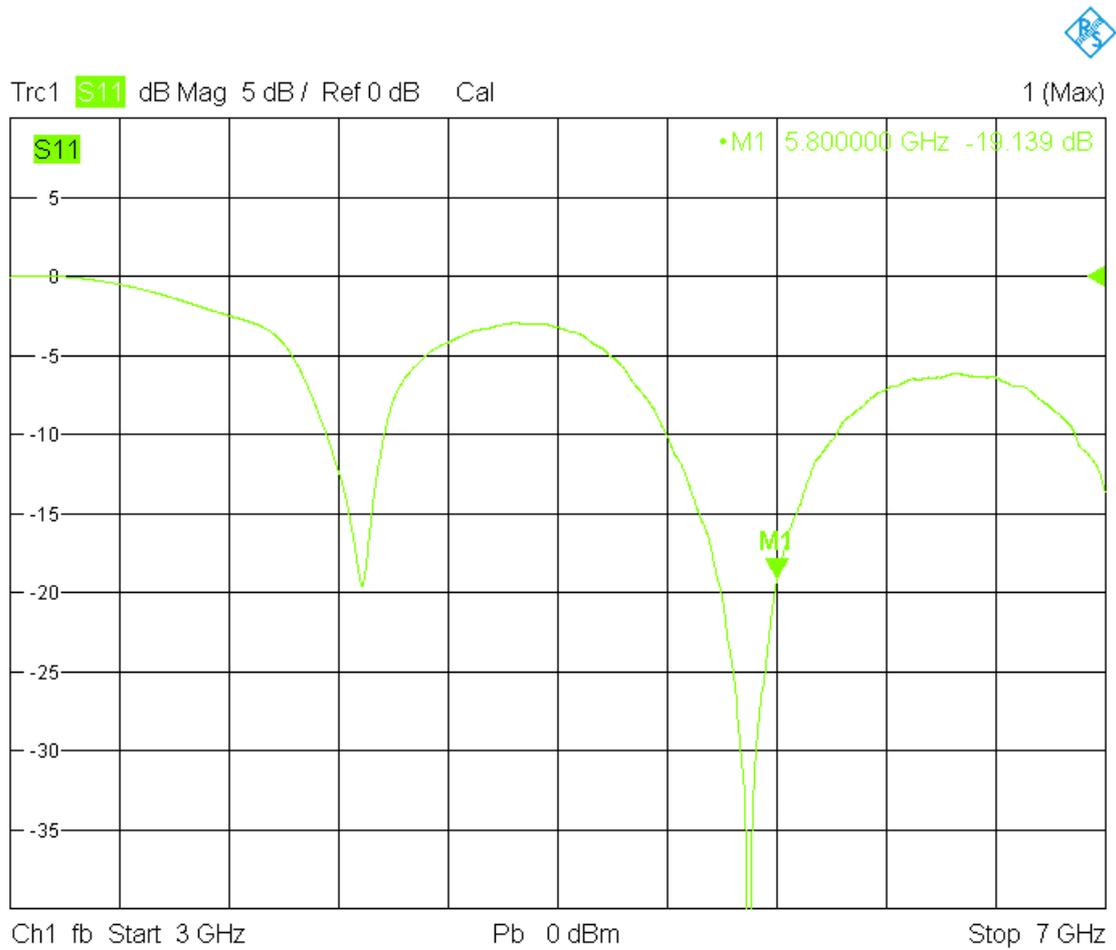
Bei der Messung der Antenne Panel 23 ergab sich ein sehr schwankendes Bild. Wie in der Abbildung 16 zu erkennen bildet die Kennlinie für kleine Frequenzbereiche Spitzen aus. Anders als in der Abbildung oben rechts dargestellt, bewegt sich der Wert bei einer Frequenz von 5,8 Ghz zwischen -13,2 db und 14 db.



11/13/2020, 1:16 PM

Abbildung 17: Reflexionsfaktormessung Helical 6 Turn

Bei der Helical 6 Turn Antenne ergibt sich ein breitbandiges Bild. Über einen großen Frequenzbereich bewegt sich der Reflexionsfaktor um -15 db. Bei einer Frequenz von 5,8 Ghz liegt er bei -22,613 db.



11/13/2020, 1:19 PM

Abbildung 18: Reflexionsfaktormessung VAS Crosshair Extreme

Die Kennlinie der VAS Crosshair Extreme Antenne bildet ebenfalls für niedrige Frequenzbereiche Spitzen aus. Bei einer Frequenz von 5,8 Ghz liegt der Reflexionsfaktor bei -19,139 dB.

2.6 Theoretische Reichweitenberechnung

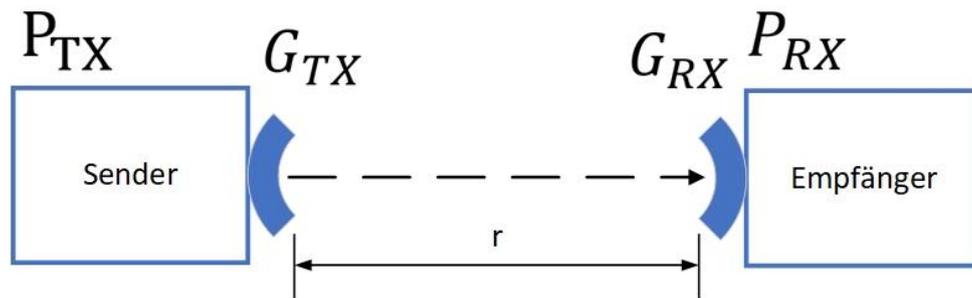


Abbildung 19: Schema Freiraumausbreitung

Um die Reichweite abzuschätzen wurde zuerst die maximal mögliche Grundübertragungsdämpfung D mit Hilfe der Freiraumausbreitung berechnet (Gustrau 2019, S. 291–299).

$$D = 20 \lg \left( \frac{4\pi r}{\lambda_0} \right) = \frac{P_{TX}}{dBm} + \frac{G_{TX}}{dBi} + \frac{G_{RX}}{dBi} - \frac{P_{RX}}{dBm} \quad (2)$$

Mit:

$P_{TX}, G_{TX}$  als Senderleistung und -antennengewinn

$P_{RX}, G_{RX}$  als Empfängerleistung und -antennengewinn

$\lambda_0 = \frac{c_0}{f}$  als Wellenlänge ( $c_0$ : Lichtgeschwindigkeit,  $f$ : Frequenz)

$r$  als Abstand zwischen Sender und Empfänger

Dämpfungen, die im Kabel entstehen, können zusätzlich in die Formel mit einbezogen werden, da sie die mögliche Reichweite verkürzen. Der Abstand kann mit folgender Gleichung berechnet werden:

$$r = \frac{10^{\frac{D}{20}} \cdot \lambda_0}{4\pi} \quad (3)$$

Dabei ergeben sich folgende Werte über die Variation der Sendeleistung und Empfängerantenne:

Tabelle 3: theoretische maximale Abstände ( $f=5,8\text{GHz}$ , Empfänger Sensitivität:  $-90\text{dB}$ )

Reichweite In [m]		$P_{TX}$ in dBm			
		14 (25mW)	20 (100mW)	26 (400mW)	30 (1000mW)
$G_{RX}$ in dBi	10 (Helix)	2749	5485	10944	17345
	10,25 (kl.Patch)	2829	5645	11264	17852
	21,5 (gr. Patch)	10332	20615	41132	65190

Um möglichst nah an die Freiraumausbreitungsbedingungen zu kommen, muss eine Richtfunkstrecke aufgebaut werden. Das sogenannte *Fresnel-Ellipsoid* soll möglichst frei von Hindernissen (Boden, Häuser, usw.) sein, um mögliche Reflektionen zu vermeiden. Es kann gezeigt werden das Hindernisse im *Fresnel-Ellipsoid* die Übertragung beeinflusst.

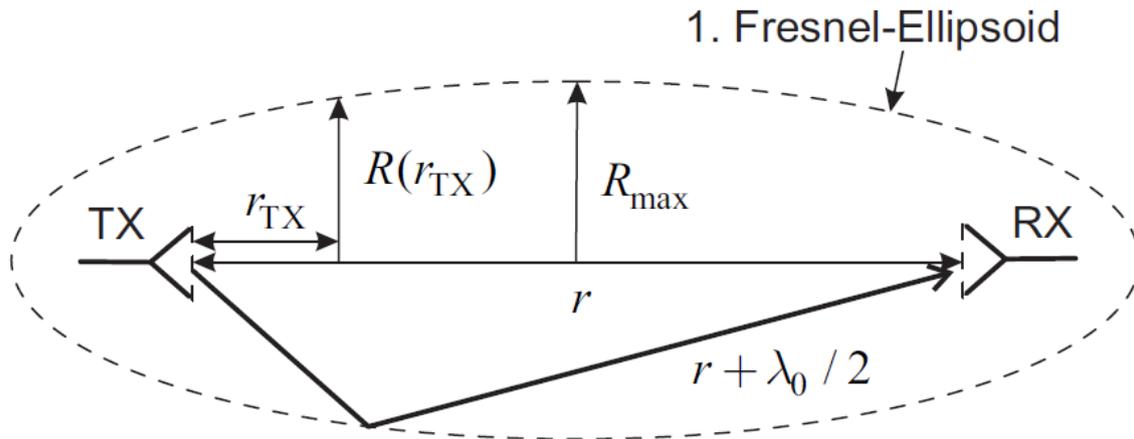


Abbildung 20: Fresnel-Ellipsoid (Gustrau 2019, S. 298)

Bei  $r \gg R_{max}$  gilt folgende Näherung (Geng und Wiesbeck 1998):

$$R(r_{TX}) = \sqrt{\lambda_0 \frac{r_{TX}(r-r_{TX})}{r}} \quad (4)$$

Der maximale Radius ergibt sich durch:

$$R_{max} = \sqrt{\lambda_0 \frac{r}{4}} \quad (5)$$

Somit ergibt sich folgende Kurve für  $R_{max}(r)$ :

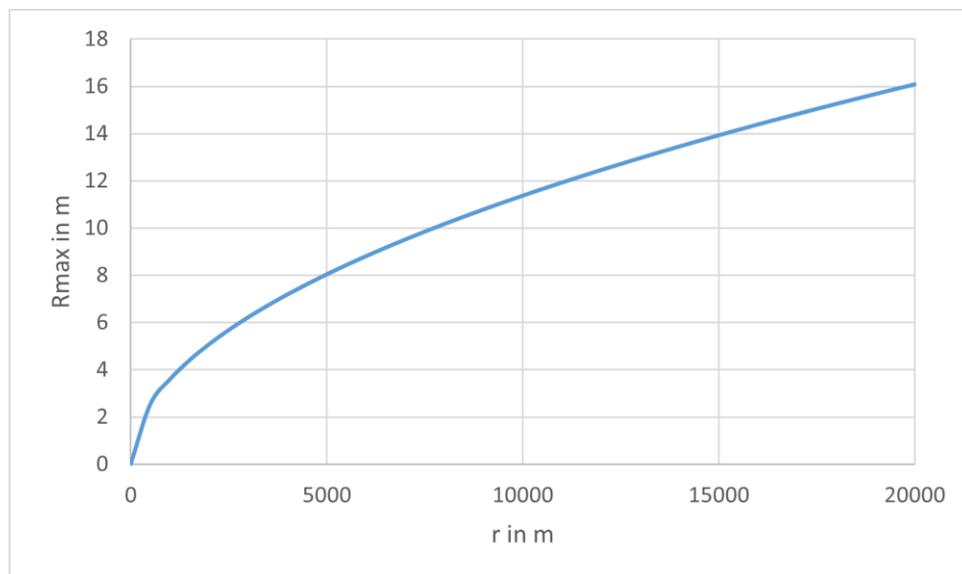


Abbildung 21:  $R_{max}$  des Fresnel-Ellipsoid über  $r$  ( $f=5,8\text{GHz}$ )

Die Kurve zeigt, dass ein ebenes Gelände für Messungen unzureichend ist. Deswegen müssen die Messungen auf einer Erhöhung stattfinden wie z.B. einen Berg.

Des Weiteren wurde die Messung durch Störfrequenzen und Wetter beeinflusst. Nur letzteres kann beeinflusst werden. Die Dämpfung durch Luft bei neutralem Wetter ist bei 5,8GHz sehr gering und kann somit vernachlässigt werden.

### 3 Messungen

#### 3.1 Versuchsaufbau

Die Messversuche wurden im Freien durchgeführt. Dafür wurden Halterungen für den Empfänger und den Sender angefertigt

##### 3.1.1 Sendemodul

Das Sendemodul besteht aus Sender, Sendeantenne, Kamera und Akku. Um diese Komponenten einfacher handhaben zu können wurde sich mit einer eigens gebauten Halterung aus Holz beholfen.

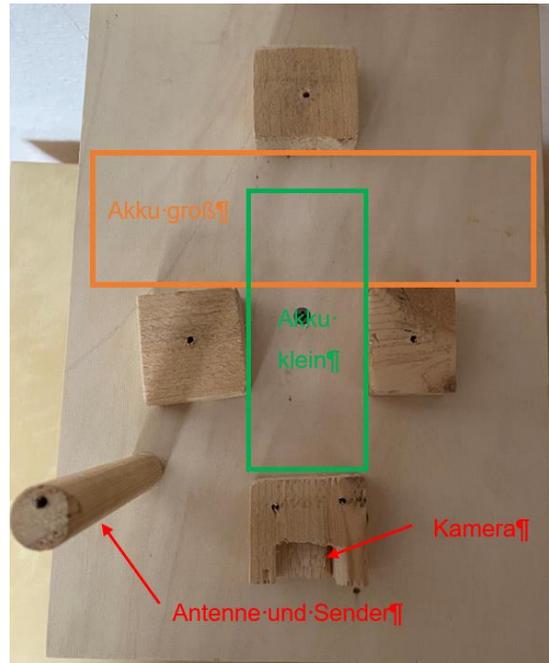


Abbildung 22: Anordnung der Komponenten des Sendemoduls

Auf der Oberseite wurden die Komponenten befestigt. Dabei wurde der Sender mit seiner Antenne aufgehängt. Eine derartige Montage ist einerseits durch die Bauart des Adapters für die Antenne bedingt, bietet aber andererseits auch die Möglichkeit einer guten Kühlung des Senders durch Luftströmung.

An der Unterseite der Vorrichtung ist ein Rundholz befestigt, an dem man greifen und das Sendemodule in die Höhe halten konnte.

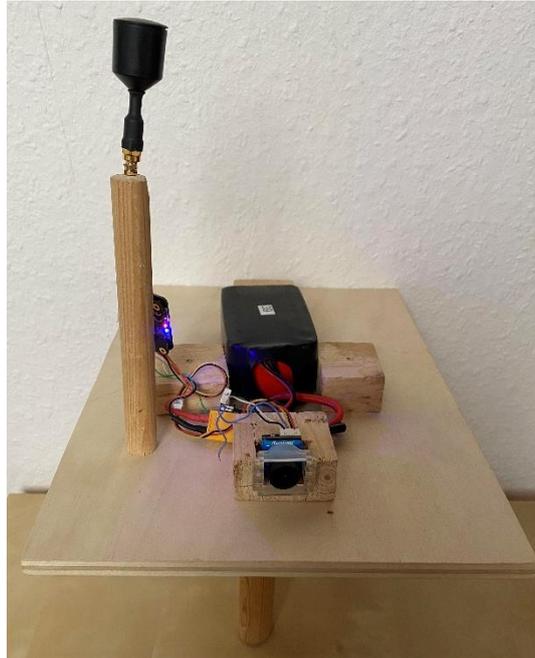


Abbildung 23: Messvorrichtung mit Komponenten

### 3.1.2 Empfängermodul

Für das Empfängermodul wurde mit Hilfe eines alten Mikrofonständers eine Station gebaut, an der die Antennen und die Empfänger montiert wurden.



Abbildung 24: Empfängermodul

### 3.2 Königsbrunner Berg Reichweitenmessung

Am Mittwoch 18. November 2020 wurde die erste Versuchsmessung durchgeführt. Es herrschte Sonnenschein bei klarer Sicht. Der Empfänger wurde auf der *Ulrichshöhe bei Königsbrunn* stationiert. Dabei handelt es sich um eine rund 20 Meter hohe Erhebung mit weitem Blick auf das Lechfeld. Gesendet wurde mit 25 mW Sendeleistung. Die Empfangsantenne wurde bei jeder Messung in Richtung des Senders neu ausgerichtet.

Der Empfänger wurde mit den Kombinationen aus *Eachine Moneagle* und *Directional Antenna Panel*, sowie *Skydroid* und Helixantenne betrieben. Da bei der Messung mit der Entfernung 6,1 km mit der Kombination *Eachine Moneagle* und *Directional Antenna Panel* kein Empfang mehr möglich war, wurde das große *Directional Antenna Panel* zusammen mit der Helixantenne an das *Skydroid* angeschlossen.

Empfänger	
Standort	48°16'14.2"N 10°52'33.7"E



Abbildung 25: Empfangsaufbau auf der Ulrichshöhe



## 3.2.1 Messung 500m

Erste Messung	
Entfernung	500m
Standort Sender	48°16'06.1"N 10°52'12.4"E
Hindernisse Funkstrecke	Sichtkontakt
Empfänger	Eachine Moneagle + Directional Antenna Panel 23 & Skydroid + ORT Helical 6 Turn



Abbildung 27: Skydroid + ORT Helical 6 Turn, 500m



Abbildung 28: Eachine Moneagle + Directional Antenna Panel 23, 500m

## 3.2.2 Messung 2,5 km

Zweite Messung	
Entfernung	2,5 km
Standort Sender	48°15'41.0"N 10°50'45.5"E
Hindernisse Funkstrecke	Bäume, Straßenverkehr
Empfänger	Eachine Moneagle + Directional Antenna Panel 23 & Skydroid + ORT Helical 6 Turn



Abbildung 29: Skydroid + ORT Helical 6 Turn, 2,5 km



Abbildung 30: Eachine Moneagle + Directional Antenna Panel 23, 2,5 km

## 3.2.3 Messung 4,5 km

Dritte Messung	
Entfernung	4,5 km
Standort Sender	48°15'03.4"N 10°49'22.1"E
Sichtbare Hindernisse Funkstrecke	Bäume, Hochspannungsleitung
Empfänger	Eachine Moneagle + Directional Antenna Panel 23 & Skydroid + ORT Helical 6 Turn



Abbildung 31: Skydroid + ORT Helical 6 Turn, 4,5 km



Abbildung 32: Eachine Moneagle + Directional Antenna Panel 23, 4,5 km

## 3.2.4 Messung 6,1 km

Vierte Messung	
Entfernung	6,1 km
Standort Sender	48°13'27.5"N 10°49'57.3"E
Sichtbare Hindernisse Funkstrecke	Umspannwerk, Hochspannungsleitungen
Empfänger	Skydroid + Directional Antenna Panel 23+ ORT Helical 6 Turn



Abbildung 33: Skydroid + Directional Antenna Panel 23+ ORT Helical 6 Turn, 6,1 km

## 3.2.5 Messung 10 km

Fünfte Messung	
Entfernung	10 km
Standort Sender	48°11'59.4"N 10°48'42.0"E
Sichtbare Hindernisse Funkstrecke	Freies Feld, Häuser
Empfänger	Skydroid + Directional Antenna Panel 23+ ORT Helical 6 Turn

Kein Empfang mehr möglich.

## 3.2.6 Fazit

Das Eachine Moneagle hat nicht die im Internet angegebenen -90 dB Empfängersensitivität, wie der Skydroid Empfänger. Es waren auch keine Angaben auf der Verpackung vorhanden. Ab 4,5 km konnte mit dem Eachine Moneagle auf den Empfangsbilder nur noch Konturen erkannt werden. Dieser erste Versuch kann noch nicht aussagend beurteilt werden, da sich in der Funkstrecke etliche Hindernisse befanden.

### 3.3 Hohen Peisenberg Reichweitenmessung

Am Mittwoch den 25. November 2020 wurde die zweite Messung durchgeführt. Hierbei wurden die Reichweite der Antennen unter verschiedenen Bedingungen untersucht (Leistung Sender, Empfängertyp, Empfängerantennen). Es war klares Wetter und Sonnenschein (ausgenommen Messpunkt 7). Der Sender wurde bewegt, die Empfänger befanden sich stationär auf den Hohenpeißenberg und wurden bei jeder Messung ausgerichtet.

Die genaue Tabelle zu allen Messdaten befindet sich im Anhang. Dabei bedeutet ein Haken, dass es mit den Parametern ein erkennbares Bild gab. Wenn es kein erkennbares Bild gab wurde die Leistung erhöht. Bei der großen Patchantenne erwies sich die Ausrichtung als schwierig. Deswegen wurde die Antenne nach der von dem Skydroid ausgegebenen Signalstärke ausgerichtet. Die kleine Patchantenne wurde nach den 3 Messpunkt nicht mehr gemessen, da sie bei den vorherigen Messpunkten schlechte Ergebnisse erzielt hatte.

Empfänger	
Standort	47°48.0800'N 11°0.8030'E



Abbildung 34: Ausblick vom hohen Peisenberg

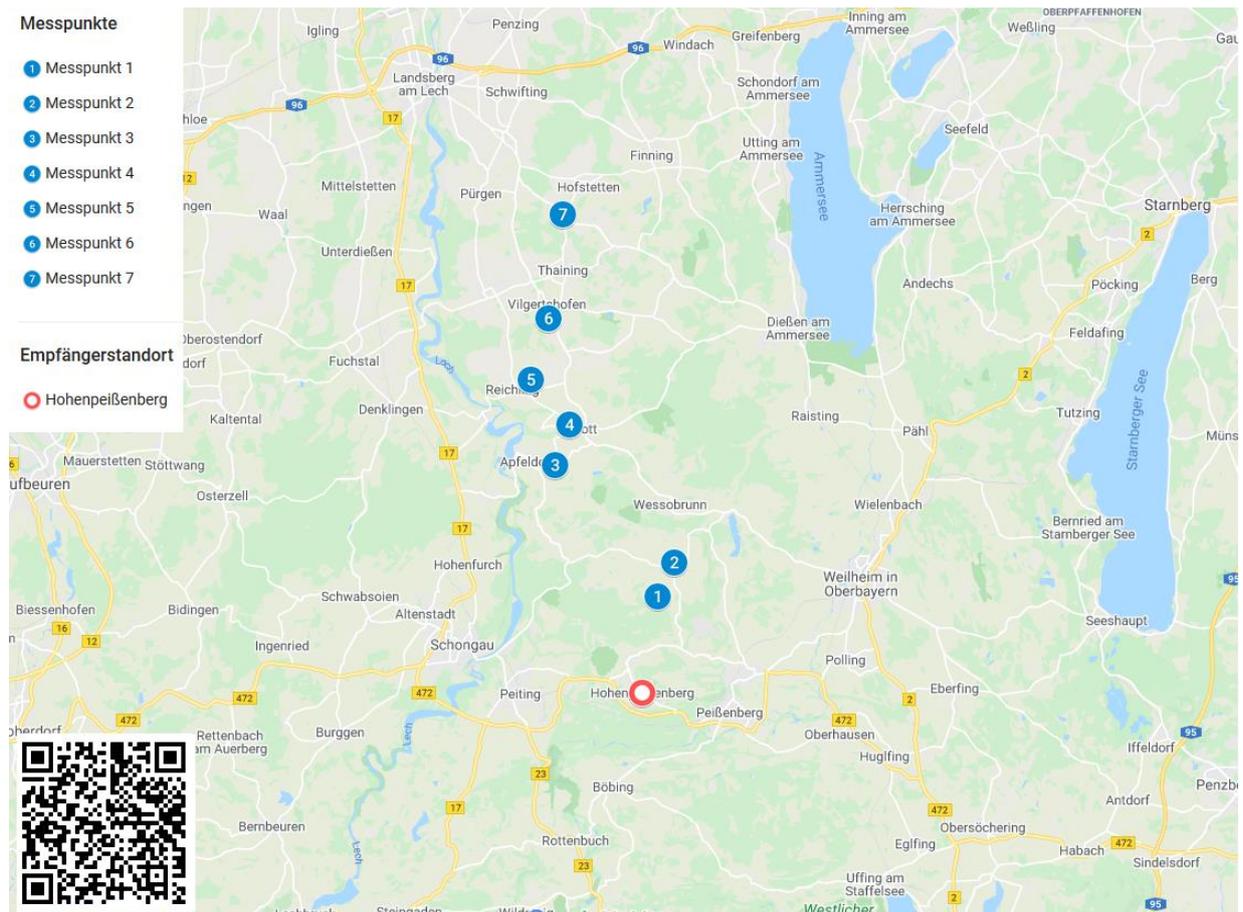


Abbildung 35: Messpunkte hohen Peissenberg

## 3.3.1 Messung 3,8 km

Erste Messung				
Entfernung		3,8 km		
Standort Sender		47.83544, 11.01602		
Sichtbare Hindernisse Funkstrecke		Sichtkontakt, freies Feld, Stromleitungen		
Sendeleistung		25 mW	100 mW	400mW
Empfänger	Skydroid	Helix (6%), gr. Patchantenne (9%)	kl. Patchantenne (4%)	kl. Patchantenne (24%)
	Eachine	gr. Patchantenne		

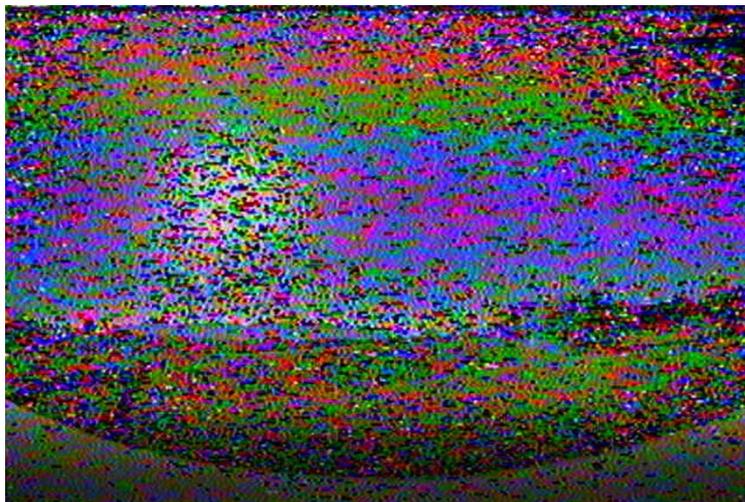


Abbildung 36: Eachine große Patchantenne bei 25 mW



Abbildung 37: Skydroid große Patchantenne bei 25 mW



Abbildung 38: Skydroid Helix bei 25mW



Abbildung 39: Skydroid kleine Patchantenne bei 100mW



Abbildung 40: Skydroid kleine Patchantenne bei 400mW

## 3.3.2 Messung 5,4 km

Zweite Messung				
Entfernung		5,4 km		
Standort Sender		47.84955, 11.02641		
Sichtbare Hindernisse Funkstrecke		Sichtkontakt, freies Feld, vereinzelte Bäume		
Sendeleistung		25 mW	100 mW	400mW
Empfänger	Skydroid	Helix (6%), gr. Patchantenne (9%)		kl. Patchantenne(10%)
	Eachine	gr. Patchantenne	gr. Patchantenne	gr. Patchantenne



Abbildung 41: Eachine große Patchantenne bei 25 mW



Abbildung 42: Skydroid große Patchantenne bei 25 mW



Abbildung 43: Skydroid kleine Patchantenne bei 400mW

### 3.3.3 Messung 11,0km

Dritte Messung				
Entfernung		11,0 km		
Standort Sender		47.89063, 10.95211		
Sichtbare Hindernisse Funkstrecke		Sichtkontakt, freies Feld		
Sendeleistung		25 mW	100 mW	400mW
Empfänger	Skydroid Eachine	gr. Patchantenne (7%)	Helix (6%) gr. Patchantenne	Helix, gr.Patchantenne

Ab hier wurde mit der kleinen Patchantenne nicht mehr gemessen aufgrund von schlechten Ergebnissen.

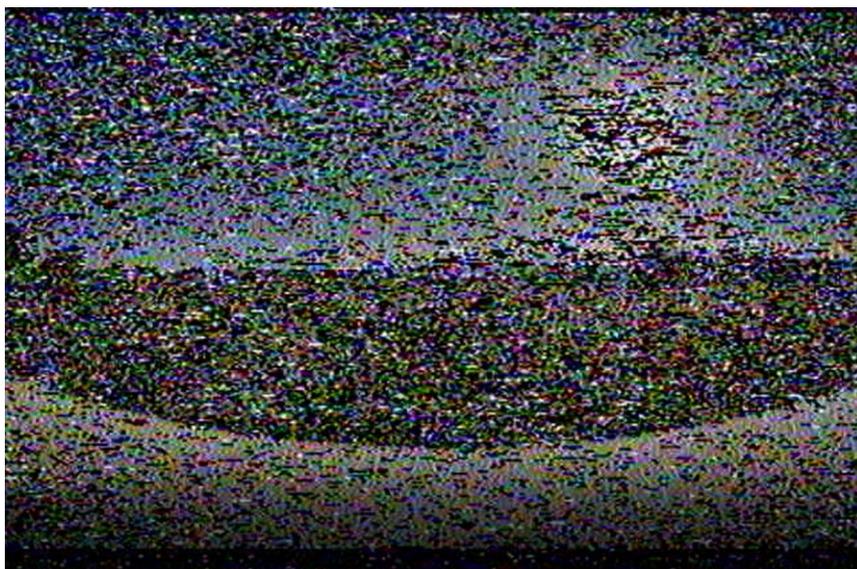


Abbildung 44: Eachine große Patchantenne bei 100 mW



Abbildung 45: Eachine große Patchantenne bei 400 mW



Abbildung 46: Eachine Helix bei 400 mW



Abbildung 47: Skydroid große Patchantenne bei 25 mW



Abbildung 48: Skydroid Helix bei 100 mW

## 3.3.4 Messung 12,5 km

Vierte Messung				
Entfernung		12,5 km		
Standort Sender		47.90775, 10.9608		
Sichtbare Hindernisse Funkstrecke		Sichtkontakt, hügelige Umgebung, von Wald umgeben		
Sendeleistung		25 mW	100 mW	400mW
Empfänger	Skydroid Eachine	gr. Patchantenne (5%)	Helix (7%)	Helix, gr. Patchantenne



Abbildung 49: Eachine große Patchantenne bei 400 mW



Abbildung 50: Eachine Helix bei 400 mW



Abbildung 51: Skydroid große Patchantenne bei 25 mW



Abbildung 52: Skydroid Helix bei 100 mW

## 3.3.5 Messung 15,0 km

Fünfte Messung			
Entfernung		15,0 km	
Standort Sender		47.92655, 10.93683	
Sichtbare Hindernisse Funkstrecke		Sichtkontakt, leichte Anhöhe	
Sendeleistung		25 mW	100 mW
Empfänger	Skydroid Eachine	gr. Patchantenne (5%)	Helix (9%) gr. Patchantenne

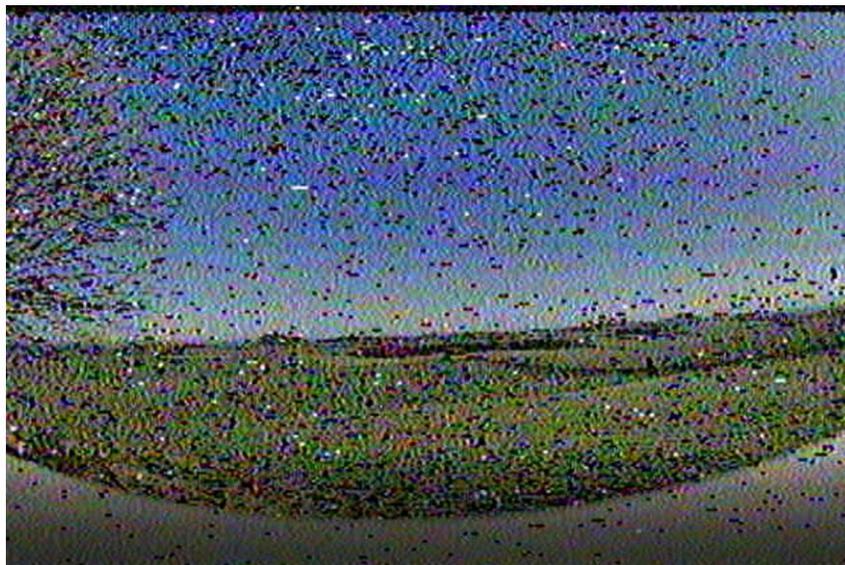


Abbildung 53: Eachine große Patchantenne bei 400 mW

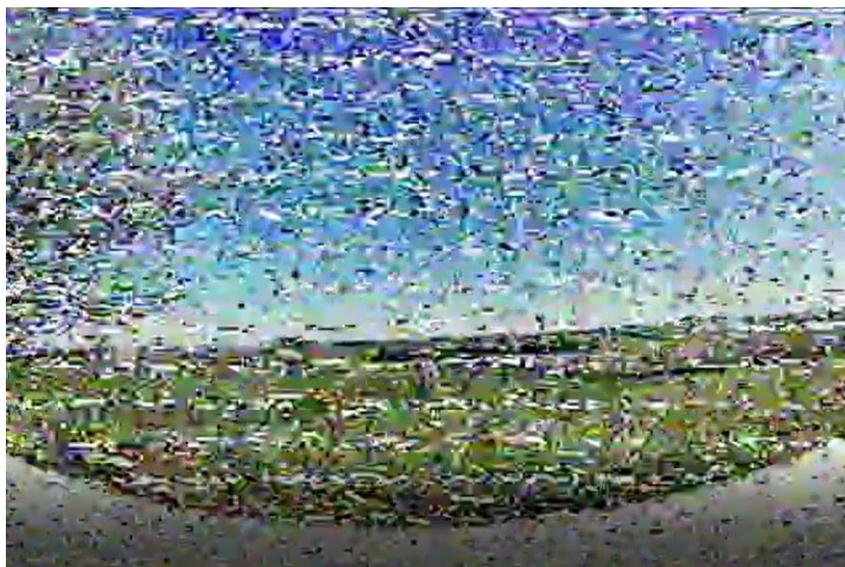


Abbildung 54: Skydroid große Patchantenne 25 mW



Abbildung 55: Skydroid Helix bei 400 mW

3.3.6 Messung 17,5 km

Sechste Messung				
Entfernung		17,5 km		
Standort Sender		47.95202, 10.94755		
Sichtbare Hindernisse Funkstrecke		Eingeschränkter Sichtkontakt durch Nebel, leichte Anhöhe, vereinzelt Bäume		
Sendeleistung		25 mW	100 mW	400mW
Empfänger	Skydroid Eachine	gr. Patchantenne (4%)	gr. Patchantenne (8%)	Helix (11%) gr. Patchantenne



Abbildung 56: Eachine große Patchantenne bei 400mW



Abbildung 57: Skydroid große Patchantenne bei 25 mW



Abbildung 58: Skydroid große Patchantenne bei 100mW



Abbildung 59: Skydroid Helix bei 400 mW

## 3.3.7 Messung 22 km

Siebte Messung				
Entfernung		22 km		
Standort Sender		47.996, 10.95713		
Sichtbare Hindernisse Funkstrecke		Kein Sichtkontakt, Straßenkreuzung, starker Nebel		
Sendeleistung		25 mW	100 mW	400mW
Empfänger	Skydroid Eachine	gr. Patchantenne	gr. Patchantenne	

Keine Messung mehr möglich.



Abbildung 60: Bild von Handykamera

## 3.3.8 Fazit

Die kleine Patchantenne wurde nach der dritten Messung nicht mehr berücksichtigt, da hier schon bei der ersten Messung die Sendeleistung von 400 mW benötigt wurde, um ein Signal zu empfangen. Aufgrund dieser Ergebnisse wurde sie in den folgenden Messungen nicht mehr berücksichtigt. Es stellte sich heraus, dass der Skydroid hinsichtlich des Eachine-Empfängers eine wesentlich bessere Empfangsensitivität besitzt. Des Weiteren stellte sich am Eachine-Empfänger heraus, dass dieser schwer zu bedienen war. Er reagierte teilweise nicht auf Tastendrücke und manche Videoaufnahmen waren beschädigt, sodass sie nicht ausgewertet werden konnten. In einem Fall schaltete sich der Eachine-Empfänger während der Aufnahme ab. Die Akkustandsanzeige variierte erheblich während der Messungen und stellte somit keine Zuverlässigkeit dar. Bei der Helixantenne musste zwar bei mittlerer Entfernung die Sendeleistung erhöht werden, um ein verwertbares Signal zu empfangen, aber durch den höheren Empfangswinkel musste diese nicht lang ausgerichtet werden, um eine gute Bildqualität zu erhalten. Bei der großen Patchantenne wiederherum konnte mit 25mW Sendeleistung noch über große Entfernungen ein Bild empfangen werden, jedoch durch den begrenzt niedrigen Empfangswinkel, musste die Antenne erst genau in Richtung Sender ausgerichtet werden, um den höchsten Empfang zu erhalten. Hierbei zeigt sich das mit dieser

Messung noch lange nicht die maximale Reichweite ausgereizt wurde, da bei der sechsten Messung sogar noch mit 25mW etwas empfangen werden konnte.

### 3.4 Königsbrunner Berg weitere Untersuchungen

Am 16. Dezember 2020 wurde eine zweite Messung auf dem Königsbrunner Berg durchgeführt. Der Messaufbau entsprach dabei dem Aufbau der ersten Messung auf dem Königsbrunner Berg. Das Wetter war bewölkt mit leichtem Sonnenschein.



Abbildung 61: Aussicht vom Königsbrunner Berg bei der zweiten Messung

Alle Messungen wurden am gleichen Standort durchgeführt. Dabei wurde nur der Skydroid-Empfänger mit der Helixantenne und großen Patchantenne untersucht, da der Eachine Empfänger und die kleine Patchantenne in der vorherigen Messung schlechte Ergebnisse zeigten.

Empfänger	
Standort	48°16'14.2"N 10°52'33.7"E
Sender	
Standort (= MP3 erste Messung Kö. Berg)	48°15'03.5"N 10°49'21.8"E

### 3.4.1 Bildqualität in Abhängigkeit von der Leistung

In diesem Teil der Messung wurde untersucht wie sich die Bildqualität bei der Helixantenne und großen Patchantenne bei verschiedenen Leistungen verhält.

25mW (6%)



100mW (48%)



400mW (64%)



1000mW (75%)



Abbildung 62: Bildqualität der Helixantenne bei verschiedenen Leistungen (Prozentzahl=Signalstärke Skydroid Empfänger)

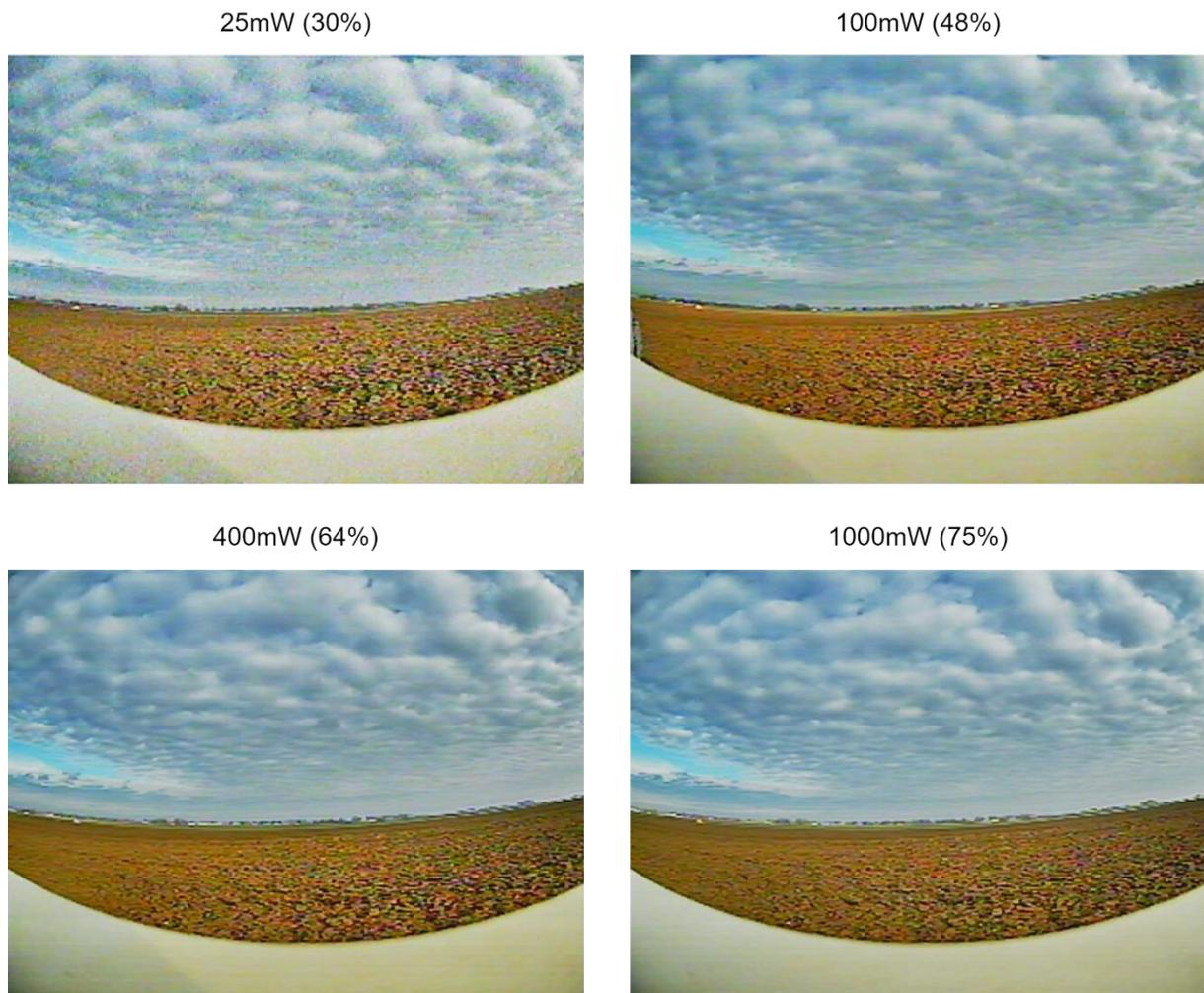


Abbildung 63: Bildqualität der großen Patchantenne bei verschiedenen Leistungen (Prozentzahl=Signalstärke Skydroid Empfänger)

Wie in den Abbildungen zu erkennen ist unterscheidet sich die Bildqualität der zwei Antennen, trotz großen Signalstärkeunterschied, nicht signifikant.

### 3.4.2 Bildqualität in Abhängigkeit von dem Winkel

Hier zeigt sich wie gut die Bildqualität bei verschiedenen Winkeln ist und ob der Öffnungswinkel den Angaben entspricht. Die Winkel wurden mit dem Handy an die planare Fläche der Antennen angelegt, durch den Kompass bestimmt. Die Winkel entsprechen dem Horizontalen Winkel.

Die Videos, bei denen die Antenne geschwenkt wurde, zeigen die Bildqualität nicht korrekt. Die Bildqualität war auf den Handybildschirm deutlich besser (Video sieht interpoliert aus).

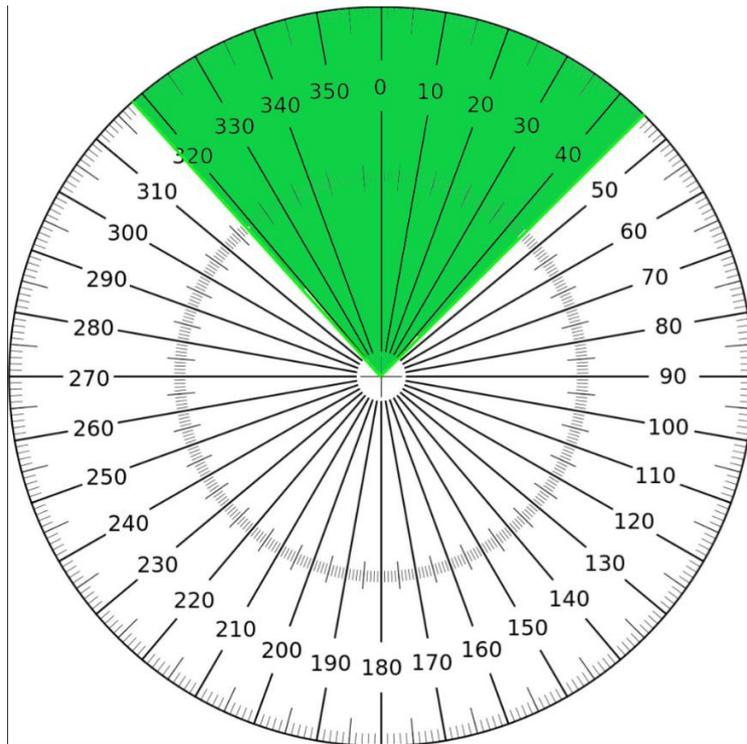


Abbildung 64: gemessener Öffnungswinkel Helixantenne

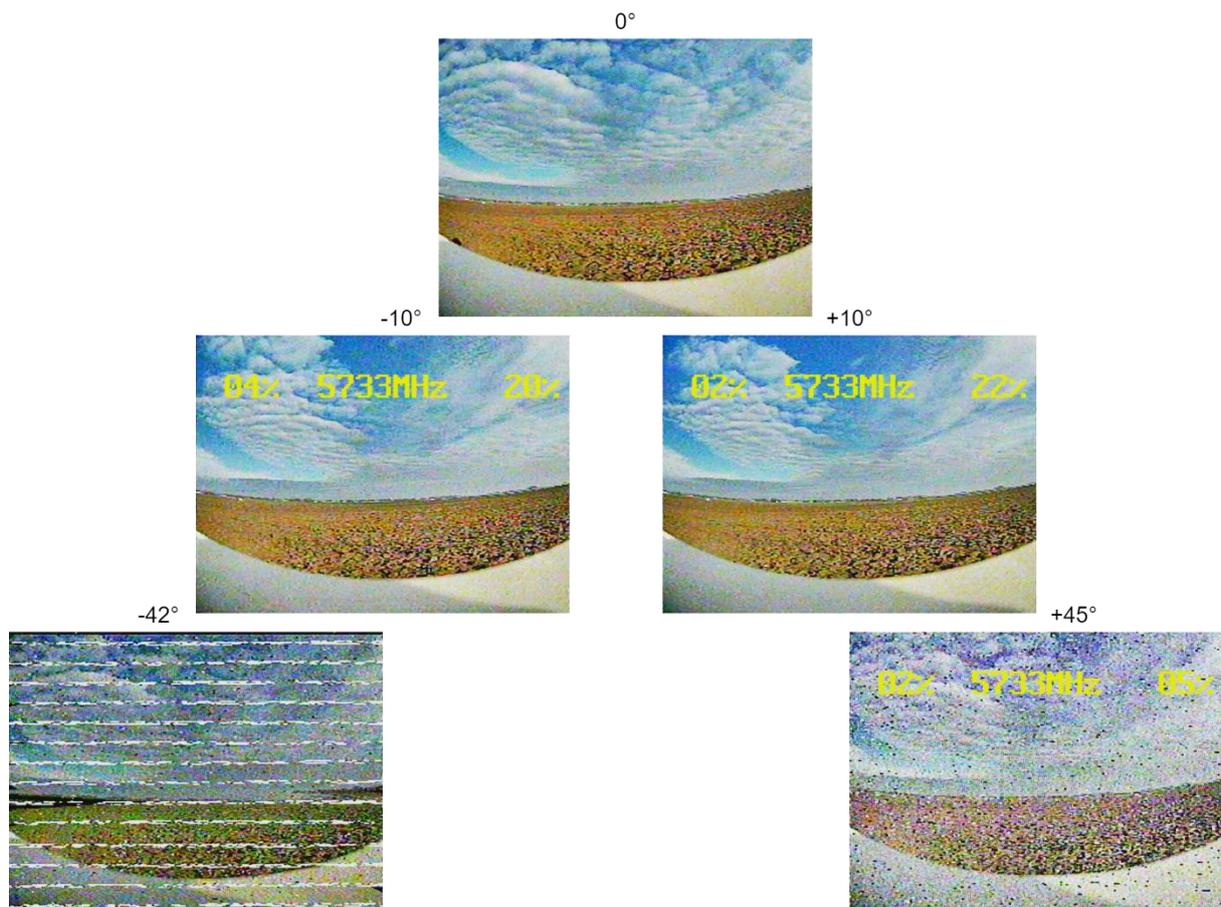


Abbildung 65: Bildqualität der Helixantenne bei verschiedenen Winkeln

Der Öffnungswinkel der Helixantenne entspricht fast der Angabe von minimal 100° (10° Abweichung).

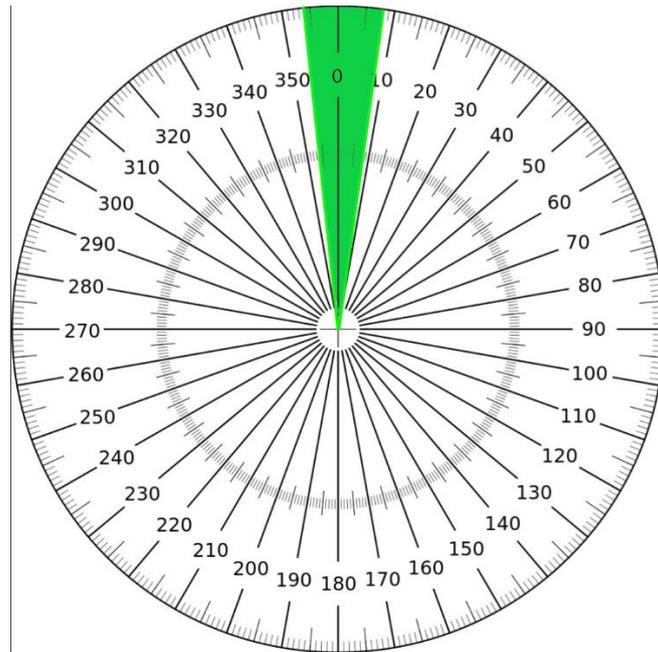


Abbildung 66: gemessener Öffnungswinkel Patchantenne

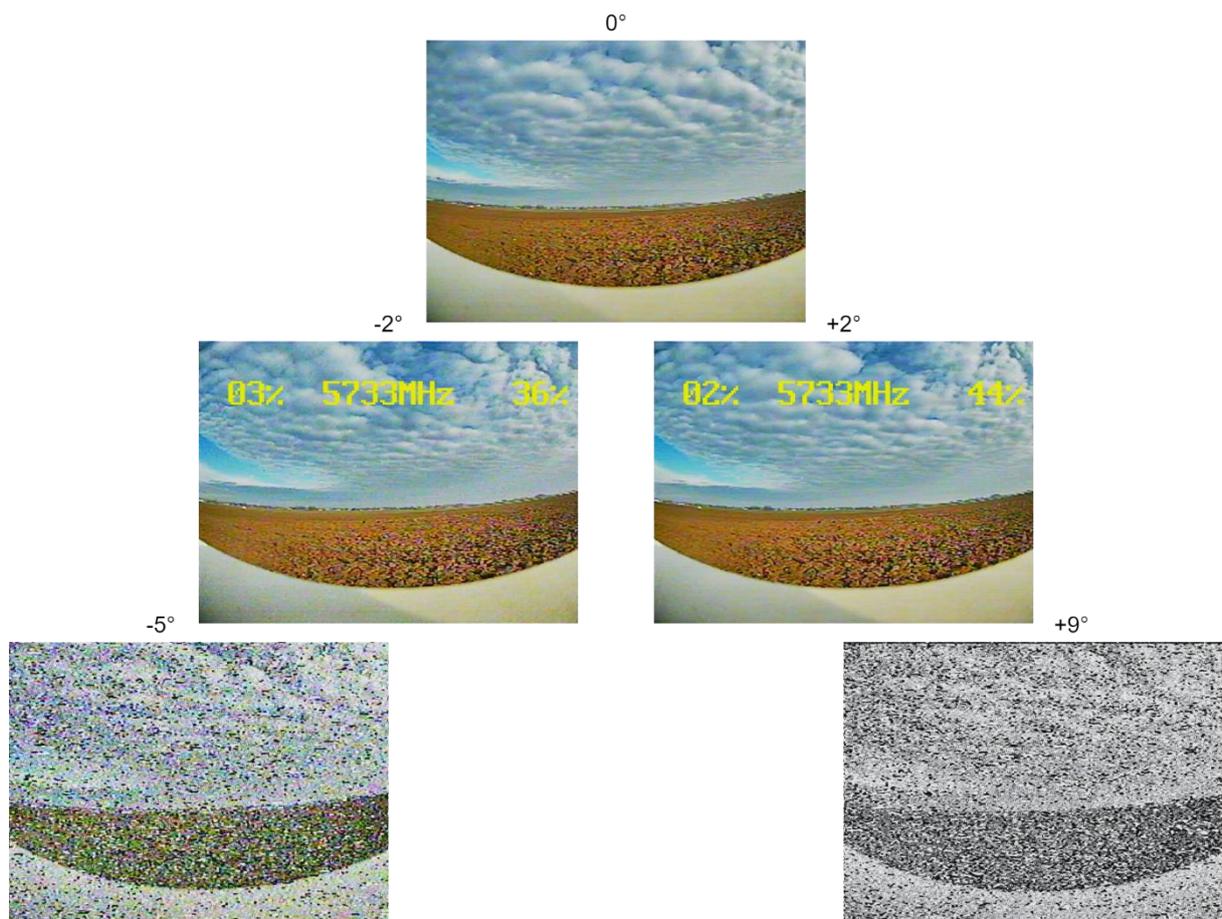


Abbildung 67: Bildqualität der großen Patchantenne bei verschiedenen Winkeln

Der Öffnungswinkel der großen Patchantenne ist nochmals um 6° kleiner als der angegebene Winkel.

## 4 Interpretation der Versuchsergebnisse

Abschließend lässt sich sagen, dass die Herstellerangaben zu den FPV-Komponenten nicht immer von Verlässlichkeit geprägt sind und die Praxisanwendung einen wesentlichen Aufschluss über die Eigenschaften der Komponenten bringt.

Das Skydroid-System - das in Kombination mit einem Android-Gerät betrieben wird - setzte sich bei den Versuchsreihen wegen der einfacheren und zuverlässigeren Bedienung und Speicherung der Bilder und Videos, sowie des geringeren Stromverbrauchs gegen das Eachine Mineagle durch. Leider gibt es verschiedene Apps, die nicht immer zuverlässig funktionieren (Abstürze, Videoaufnahmen schlecht). Bei der bei den Messungen verwendeten *Android APP for Eachine ROTG02*-App konnte eine geringe Komprimierung der aufgenommenen Bilder und Videos festgestellt werden, so waren beispielsweise die abgespeicherten Bilder geringfügig unschärfer als das während der Übertragung auf dem Bildschirm angezeigte Bild.

Die kleine Patchantenne konnte in der Praxis nicht überzeugen, da schon bei geringen Reichweiten von ca. 5km der Empfang eines Signals auch mit erhöhter Sendeleistung schwer möglich war und somit die Herstellerangaben beim Antennengewinn nicht stimmen können.

Die Helixantenne konnte mit ihrem hohen Öffnungswinkel von 120° überzeugen. Der Nachteil hierbei ist jedoch der Antennengewinn von 10 dB. Andersrum verlief es bei der großen Patchantenne, die mit ihrem Antennengewinn von 23 dB überzeugen konnte, jedoch ist die Ausrichtung der Antenne mit dem geringen Öffnungswinkel von 20° wesentlich erschwerter. Als einziges Empfängersystem haben der Skydroid zusammen mit der Großen Patchantenne oder der Helixantenne überzeugt. Hierbei empfiehlt es sich bei der Verwendung der Helixantenne mit höherer Leistung zu senden und bei Verwendung der Großen Patchantenne eine automatisierte Antennenausrichtung zu verwenden.

Es zeigte sich, dass mit höherer Sendeleistung, die Bildqualität am Empfänger stieg. Jedoch muss beachtet werden, dass mit höherer Leistung das Sendemodul sich sehr stark erwärmt und ab einer Temperatur von 105°C die Leistung reguliert. Dies sollte bei einer möglichen Verbauung beachtet werden.

## Literaturverzeichnis

5 GHz WLAN Richtantenne PANEL 23 (2020). Online verfügbar unter <https://www.fts-hennig.at/antennen/wlan/aussenantenne/panel-23-58.html>, zuletzt aktualisiert am 20.11.2020, zuletzt geprüft am 20.11.2020.

Bundesamt für Strahlenschutz (2020): Äquivalente isotrope Strahlungsleistung (EIRP). Online verfügbar unter <https://www.bfs.de/SharedDocs/Glossareintraege/DE/A/eirp.html>, zuletzt aktualisiert am 04.12.2020, zuletzt geprüft am 04.12.2020.

Bundesnetzagentur - Frequenzplan (2020). Online verfügbar unter [https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen\\_Institutionen/Frequenzen/Grundlagen/Frequenzplan/frequenzplan-node.html](https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Frequenzen/Grundlagen/Frequenzplan/frequenzplan-node.html), zuletzt aktualisiert am 11.11.2020, zuletzt geprüft am 11.11.2020.

DHBW Ravensburg - Antennentheorie (04.12.20). Online verfügbar unter <http://dk0te.dhbw-ravensburg.de/studienarbeit-4nec2/downloads/antennentheorie.pdf>, zuletzt aktualisiert am 04.12.20, zuletzt geprüft am 04.12.20.

Geng, Norbert; Wiesbeck, Werner (1998): Planungsmethoden für die Mobilkommunikation. Funknetzplanung unter realen physikalischen Ausbreitungsbedingungen. Berlin, Heidelberg: Springer (Information und Kommunikation).

Gustrau, Frank (2019): Hochfrequenztechnik. Grundlagen der mobilen Kommunikationstechnik. 3., aktualisierte Auflage.

Heuberger, Albert; Gamm, Eberhard (2017): Software Defined Radio-Systeme für die Telemetrie. Aufbau und Funktionsweise von der Antenne bis zum Bit-Ausgang. Berlin: Springer Vieweg.

RunCam FPV Store (2020): RunCam Phoenix 2. Online verfügbar unter <https://shop.runcam.com/runcam-phoenix-2/>, zuletzt aktualisiert am 20.11.2020, zuletzt geprüft am 20.11.2020.

Team BlackSheep Online Store - ORT New Helical 6 Turn Antenna Black (2020). Online verfügbar unter [https://www.team-blacksheep.com/products/prod:ort\\_helical\\_6t\\_black](https://www.team-blacksheep.com/products/prod:ort_helical_6t_black), zuletzt aktualisiert am 20.11.2020, zuletzt geprüft am 20.11.2020.

Team BlackSheep Online Store - Skydroid UVC Dual Antenna Control Receiver OTG 5.8G - Black (2020). Online verfügbar unter [https://www.team-blacksheep.com/products/prod:skydroid\\_otg\\_vrx\\_5g8](https://www.team-blacksheep.com/products/prod:skydroid_otg_vrx_5g8), zuletzt aktualisiert am 20.11.2020, zuletzt geprüft am 20.11.2020.

Team BlackSheep Online Store - TBS Unify Pro32 HV (MMCX) (2020). Online verfügbar unter [https://www.team-blacksheep.com/products/prod:unifypro32\\_hv](https://www.team-blacksheep.com/products/prod:unifypro32_hv), zuletzt aktualisiert am 04.12.2020, zuletzt geprüft am 04.12.2020.

Team BlackSheep Online Store - VAS 5.8GHz Ion Pro (Short w/SMA Connector) Antenna (RHCP) (2020). Online verfügbar unter <https://www.team-blacksheep.com/products/product:4185>, zuletzt aktualisiert am 20.11.2020, zuletzt geprüft am 20.11.2020.

Team BlackSheep Online Store - VAS Crosshair Extreme (LHCP) 5.8GHZ (2020). Online verfügbar unter [https://www.team-blacksheep.com/products/prod:vas\\_ch\\_ex\\_lhcp](https://www.team-blacksheep.com/products/prod:vas_ch_ex_lhcp), zuletzt aktualisiert am 20.11.2020, zuletzt geprüft am 20.11.2020.

# Anhang

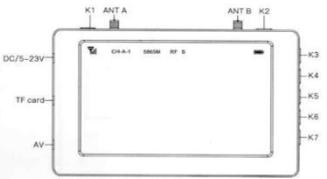
## Eachine Manual



### User Manual

#### Moneagle





**K1: Power**    **K4: Band+**    **K7: B-**  
**K2: Search**   **K5: CH+**  
**K3: Rec**        **K6: B+**

**Operation Instructions**

**1.KEY**

① **Power/MENU**  
 Press 3s boot,then press 3s shutdown  
 Short press start to MENU

Replay	
Brightness	50
Contrast	50
Color	50
Sharpness	20
Backlight	50
Volume	10
Video mode	VGA
Video sound	ON
Loop video	OFF
Formatting	English
Reset	
MONTEAGLE	

② Search  
A key to automatic signal search,Simple operation

③ Rec  
Press the button,recording start ,then press the button again to save the video

④ BAND+  
5 Bands  
Default mode,click the BAND+ option,A,B,E,F,G cycal selection

⑤ CH+  
Default mode,click the option for the CH1 -8cycles;

⑥ B+/B-  
Button for controlling luminance

**2. JACK**

① AV-video Input,Audio output  
② TF card. Support up to 64G  
③ DC/5-23V:

The monitor support DC5-23V wide voltage,It not only can be charged with USB and Power Bank,but also 2-6S lipo battery,which is very suitable for long-time flight.

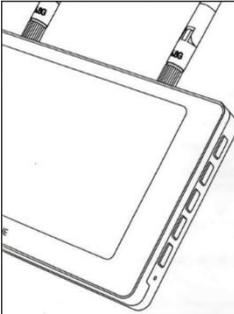
**3. Battery**  
Built-in 3.8V 4000mAh high-capacity polymer battery

**4. DVR**  
\*Enter DVR  
Short press Power start to MENU, and Press Power again to setctc DVR mode,So press CH+ button to enter DVR mode. VGA/D1 /HD three modes are available.

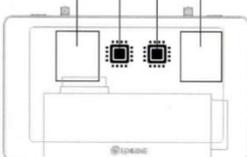
**5. Package included:**

1. FPV Monitor x1
- 2.USB cable x1
3. X160 expanded cable x1
4. AV cable x1
5. Linear antenna x2
6. Bracket for radio controller x1
7. Instruction x1

---



**Dual module and dual system**



**Features:**

- \*Built-in Dual module and dual system
- \*With DVR function and DVR autonomous system
- \*Built-in video input,Audio output
- \*Built-in 5.8Ghz Dual diversity receiver automatically for best reception
- \*4000mAh high-capacity battery for 3 hours working time
- \*There are three video recording modes
- \*Have the function of video replay
- \*360-degree all-view HD display
- \*Small, light weight, durable
- \*5 Bands and total 8 Channels,40 frequency channel numbers
- \*Built-in battery , easy to carry and outdoor use
- \*Ultra-high luminance and button for controlling luminance
- \*5-23 V wide supply voltage: range,support 2-6S lipo battery to charge the monitor
- \*A key to automatic signal search,Simple operation
- \*Work status OSD display,Always be aware of the device working condition.

**Technical parameter**

Size	5 inch
Material	IPS high light,full-view
Resolution	800x480Px
Brightness	1000Lux
Receiver	5.8G Diversity
Frequency	40
DVR system	Autonomous system
DVR Function	Supporting replay
DVR Mode	VGA/D1 /HD available
Storage medium	TF card
Storage standard	C10, Maximum supporting 64G
Loudspeaker	High fidelity, stereo speakers
Battery material	3.8V Polymer battery
Battery capacity	4000mAh
Working time	≥ 3 hours
Size	145x86x16mm (antenna not included)
Weight	219g
Charging	USB
Input voltage	Wide voltage DC 5-23V, support 2S-6S supply
Language	English,German,French,Spanish,Italian,Chinese, Russian,Japanese
Connectors	RP-SMA female(outer needle)
Antennas Connectors	RP-SMA male (inner hole)
Working temperature	-10℃~+ 65 ℃

Frequency Table(MHz)

	CH1	CH2	CH3	CH4	CH5	CH6	CH7	CH8
Band A	5865	5845	5825	5805	5785	5765	5745	5725
Band B	5723	5703	5711	5706	5809	5828	5847	5866
Band E	5705	5685	5665	5645	5880	5900	5920	5940
Band F	5740	5760	5780	5800	5820	5840	5860	5880
Band H	5858	5896	5732	5769	5806	5843	5880	5917

Notice: It can't receive 2 different channels at the same time,  
Not affect by 2.4Ghz R/C Radios


 Company: Eachine M. S.V.  
 Address: Koningin Julianenlaan 10, 1e Vloer, 2595AA The Hague, Netherlands  
 E-mail: order@eachine.com  
 Tel: +31 (0)41189988



Tabelle Hohen Peisenberg

Abstand in km	Signalstärke in % (Skydroid)			Skydroid Empfänger		
	Helixantenne	kl. Patchantenne	gr. Patchantenne	Helixantenne	kl. Patchantenne	gr. Patchantenne
3,80	6,00	4,00	9,00	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
3,80	-	4,00	-	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3,80	-	24,00	-	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5,40	6,00	4,00	9,00	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
5,40	-	-	-	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5,40	-	10,00	-	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11,00	-	-	7,00	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
11,00	6,00	-	-	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11,00	-	-	-	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12,50	-	-	5,00	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
12,50	7,00	-	-	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12,50	-	-	-	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
15,00	-	-	5,00	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
15,00	9,00	-	-	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
17,50	-	-	8,00	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
17,50	11,00	-	-	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
22,00	-	-	-	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Abstand in km	Eachine Empfänger			Sendeleistung in mW				Frequenz in MHz	Uhrzeit
	Helixantenne	kl. Patchantenne	gr. Patchantenne	25	100	400	1000		
3,80	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	5733	11:15
3,80	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	5733	11:34
3,80	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	5733	11:39
5,40	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	5733	11:58
5,40	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	5733	12:01
5,40	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	5733	12:12
11,00	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	5733	12:42
11,00	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	5733	12:49
11,00	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	5733	12:55
12,50	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	5733	13:20
12,50	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	5733	13:25
12,50	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	5733	13:31
15,00	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	5733	13:47
15,00	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	5733	13:49
17,50	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	5733	14:25
17,50	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	5733	14:30
22,00	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	5733	15:03