

KANTONSSCHULE AM BURGGRABEN

KANTONSSCHULE AM BURGGRABEN

MATURAARBEIT

# **Satellitenbilder mit Hilfe eines SDRs empfangen**

Vorgelegt durch:  
Felix Niederer

Vorgelegt bei:  
DR. IVO BLÖCHLIGER

23. JANUAR 2019

# Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort</b>	<b>3</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>4</b>
1.1 Zielsetzung . . . . .	4
1.2 Inspiration . . . . .	5
1.3 Vorgehen . . . . .	5
1.4 Struktur . . . . .	5
<b>2 Vorbereitungen</b>	<b>6</b>
2.1 Satellitenwahl . . . . .	6
2.2 Antennenwahl . . . . .	7
2.2.1 Polarisierter Funkwellen . . . . .	7
2.2.2 Die Antennen . . . . .	7
2.3 Weitere Ausrüstung . . . . .	8
<b>3 Antennenbau</b>	<b>9</b>
3.1 Bau der Double-Cross Antenne . . . . .	9
3.1.1 Die Dipole . . . . .	10
3.1.2 Das Grundgerüst . . . . .	10
3.1.3 Verkabelung . . . . .	10
3.2 Bau der V-Dipole Antenne . . . . .	11
3.3 Verbesserungen . . . . .	11
3.3.1 Schaftverlängerung . . . . .	11
<b>4 Bild empfangen</b>	<b>12</b>
4.1 Wahl des Ortes . . . . .	12
4.2 Software . . . . .	12
4.3 Der Aufbau . . . . .	13
4.4 Aufnehmen . . . . .	13
4.4.1 NOAA-Satelliten . . . . .	13
4.4.2 Meteor-Satelliten . . . . .	13
<b>5 Bilder</b>	<b>15</b>
5.1 Demodulation und Dekodierung . . . . .	15
5.2 Für die NOAA-Satelliten . . . . .	15
5.3 Für die Meteor-Satelliten . . . . .	16
<b>6 Erfolge</b>	<b>18</b>
6.1 Die fehlgeschlagenen Versuche . . . . .	18
6.2 Das erste Bild . . . . .	19

<b>7 Konklusion</b>	<b>20</b>
7.1 Zielereichung . . . . .	20
7.2 Ausblick . . . . .	21
7.3 Danksagung . . . . .	21
<b>Abkürzungen</b>	<b>22</b>
<b>Softwareverzeichnis</b>	<b>23</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>24</b>
<b>Literatur</b>	<b>25</b>
<b>A Handbuch</b>	<b>27</b>
A.1 SDR# . . . . .	27
A.1.1 NOAA Satelliten . . . . .	27
A.1.2 Meteor Satelliten . . . . .	28
A.2 Meteor Demodulator . . . . .	28
A.3 Zadig USB . . . . .	28
A.4 Audacity . . . . .	28
A.5 WXtoIMG . . . . .	29
A.6 LRPTrx Demodulator . . . . .	29
A.7 LRPTofflinedecoder . . . . .	29
A.8 SmoothMeteor . . . . .	29
A.9 LRPT Image Processor . . . . .	29
<b>B Eigenständigkeitserklärung</b>	<b>30</b>

# Vorwort

Ich interessiere mich sehr für Informatik und auch für Funktechnik. Besonders die Funktechnik wird unserem Alltag oft ignoriert, denn wir sehen sie nicht. Dennoch stellt sie einen der wichtigsten Grundpfeiler unserer modernen Infrastruktur dar. Die Funktechnik erlaubt uns beispielsweise, genau zu navigieren und von überall ins Internet zu gelangen. Insbesondere der Satellitenfunk ist faszinierend. Daher wollte ich selbst einmal ein Projekt umsetzen, bei dem ich auf Daten von Satelliten zugreife. Dies sollte nicht nur mit teurer Ausrüstung und hohem Fachwissen möglich sein. Ich habe mich entschieden, ein Projekt zu diesem Themen umzusetzen. Das Ziel von meinem Projekt ist das Empfangen von Bildern, die von Wettersatelliten übertragen werden.

Felix Niederer

St.Gallen , 19 Januar 2019

# Kapitel 1

## Einleitung

### 1.1 Zielsetzung

Das Ziel dieser Arbeit ist, mit Hilfe von Ausrüstung, welche im Budget von Studenten liegt, Bilder von Satelliten zu empfangen. Alle Ressourcen, wie Software, Hardware und Informationen, müssen frei verfügbar sein. Die benötigte Antenne wird selbst gebaut. Der Fokus des Projektes liegt auf Nachvollziehbarkeit und Reproduzierbarkeit. Das Budget des Projektes beträgt maximal Fr. 1'000.–. Die Bilder, die empfangen werden, sollten Fotografien der Erde sein, wie dies in Abbildung 1.1 illustriert wird. Die Aufnahmen sollten möglichst klar und störungsfrei sein.

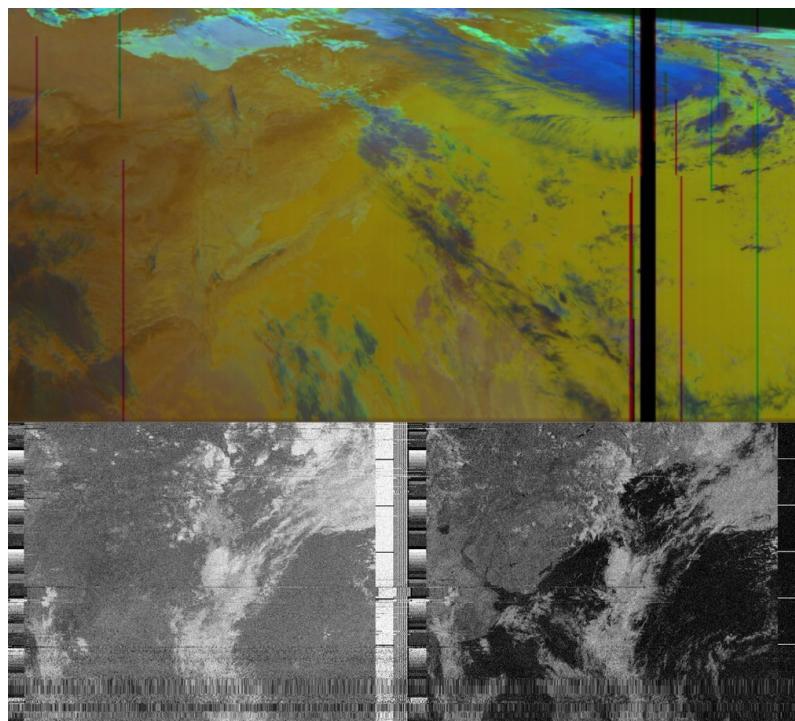


Abbildung 1.1: Beispielbilder der NOAA (unten) und Meteor (oben) Satelliten

## 1.2 Inspiration

Die Idee für dieses Projekt kommt von einem Youtube-Video des Kanals *The Thought Emporium*[1] mit dem Titel *Receiving Images From Satellites Part 2: Decoding and Demodulating NOAA and METEOR Transmissions*)[2]. In diesem Video stellen Justin Atkin und sein Team ihr Projekt zum Empfangen der NOAA Satelliten vor. Dazu verwendeten sie nur rudimentäre Ausrüstung und bauten ihre Antenne ebenfalls selber.

## 1.3 Vorgehen

Zu Beginn wurde das nötige Fachwissen gesammelt, um das Projekt realisieren zu können. Danach wurden mithilfe von diesem Wissen geeignete Satelliten ausgesucht. Nachdem Satelliten ausgewählt waren, wurden ihre Sendefrequenzen ermittelt. So konnte eine dazu passende Antenne gewählt und gebaut werden. Der Kernaspekt der Arbeit bestand darin, im Freien die Übertragungen der Satelliten zu empfangen und anschliessend in Bilder umzuwandeln.

## 1.4 Struktur

Im zweiten Kapitel werden die Vorbereitungen erläutert. Das dritte Kapitel beschreibt, wie die gewählten Antennen gebaut wurden. Danach wird im vierten Kapitel der Vorgang zum Empfangen der Satellitenübertragungen dargelegt. Im darauffolgenden Kapitel wird erklärt, wie die Übertragungen zu Bilder konvertiert wurden. Im letzten Kapitel werden die verschiedenen Aufnahmeversuche und ihr jeweiliger Erfolg oder Misserfolg aufgezeigt.

# Kapitel 2

## Vorbereitungen

### 2.1 Satellitenwahl

Um die Ausrüstung für das Projekt auswählen zu können, mussten zuerst die Satelliten nach folgenden Kriterien bestimmt werden:

- Sie müssen Bilder übertragen.
- Sie müssen die Schweiz in einem Winkel von  $25^\circ$  (über dem Horizont) oder mehr überfliegen.[2]
- Sie müssen im Frequenzbereich zwischen 100 MHz bis 1 GHz senden.
- Nicht nur das Umwandeln des Funksignals in ein Bild muss ausreichend dokumentiert sein, sondern auch die Software sollte für diese Aufgabe bereits existieren.

Der Frequenzbereich wurde festgelegt auf 100 MHz bis 1 GHz, da bei tieferen Frequenzen die benötigten Antennen zu gross sind, um noch einfach gehandhabt werden zu können. Bei Frequenzen über einem 1 GHz würde die benötigte Ausrüstung das Budget übersteigen. Bei diesen Frequenzen ist es schwierig, eine Antennen zu bauen, die eine ausreichende Empfangsqualität bietet. Deshalb müsste eine Antenne gekauft werden.

Es war auch wichtig, dass das Dekodieren der Bilder gut dokumentiert ist und dies auch bereits von Amateuren realisiert bzw. dokumentiert wurde. Bei fehlender oder mangelnder Dokumentation wäre das Dekodieren ausserhalb des Rahmens dieses Projektes, ebenso wenn noch keine Software zu diesem Zweck existierte, da es sich äusserst anspruchsvoll gestaltet hätte, eine derartige Software zu schreiben.

Diese Kriterien schliessen leider alle geostationären Satelliten aus, da deren Orbit über dem Äquator liegt, wodurch der Winkel immer sehr flach ist. Obschon dies das Empfangen nicht verunmöglichen würde, wäre es dadurch erheblich erschwert. Was jedoch einen grösseren Einfluss auf die Wahl des Satelliten hatte, war der Umstand, dass zu diesem Zeitpunkt nur wenige, gut dokumentierte Wettersatelliten in geostationärem Orbit existierten. Die einzigen, die auffindbar waren, waren die Satelliten GOES-15, 16 und 17, die jedoch alle über dem amerikanischen Kontinent stationiert sind.

Die Webseite [n2yo.com](http://n2yo.com) bietet eine gute Übersicht der bekannten Satelliten, von welchen Amateure bereits Informationen empfangen konnten. Aus dieser Liste wurden folgende Satelliten ausgewählt: Meteor-M, Meteor-M2, NOAA 15, NOAA 16, NOAA 17, NOAA 18, NOAA 19. Der Dekodierungsprozess dieser Satelliten ist auch in einem Video[3] von *The Thought Emporium* und von vielen verschiedenen Webseiten beschrieben.

## 2.2 Antennenwahl

### 2.2.1 Polarisierte Funkwellen

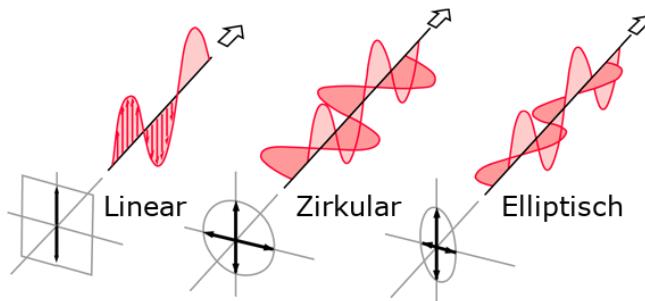


Abbildung 2.1: Die drei Polarisationsarten

Funkübertragungen bestehen wie Licht aus elektromagnetischen Wellen, weshalb sie ebenfalls eine Polarisierung aufweisen (siehe Abbildung 2.1). Für Übertragungen am Boden dient die Erde als Referenz. So können die Signale linear, horizontal polarisiert sein. Da Satelliten dieser Referenzpunkt fehlt, verwenden diese zirkulare Polarisierung. Dies limitiert die Auswahl möglicher Antennen, da Antennen, welche dies nicht berücksichtigen, Schwierigkeiten haben, zirkular polarisierte Übertragungen zu empfangen.[5]

### 2.2.2 Die Antennen

Im ursprünglichen Video[2] stellt *The Thought Emporium* zwei Antennentypen vor, die helixförmige QHF Antenne (siehe Abbildung 2.2)[8] und die Double-Cross Antenne [7]. Jedoch werden im Video Probleme mit der QHF Antenne beschrieben, da deren Pole für ihre Omnidirektionaleität präzise in eine Helixform gebogen werden müssen. Es kann es bereits bei kleinen Knicken zu grossen Einbussen in der Abstrahlcharakteristik der Antenne kommen. Aus diesen Gründen wurde eine Double-Cross Antenne (siehe Abbildung 2.3) nach der Anleitung von Gerald Martes[9] als Primärantenne ausgewählt. Später im Projekt wurde zusätzlich eine V-Dipol Antenne[10] als Sekundärantenne gebaut. Die Wahl auf diesen Typ fiel aufgrund ihrer einfachen Bauweise und ihrer häufigen erfolgreichen Verwendung in ähnlichen Projekten.



Abbildung 2.2: Eine QHF Antenne



Abbildung 2.3: Eine Double-Cross Antenne

## 2.3 Weitere Ausrüstung

Zum Aufnehmen der Übertragungen wird ein SDR (Software Defined Radio) verwendet. Diese Geräte haben meist einen leistungsstarken ADC (Analog to Digital Converter) mit einem breiten Funktionsbereich. Das gesamte Filtern für die gewünschte Frequenz wird von der Software erledigt. Es wurde das Modell Hackrf-One ausgewählt. Dieses hat einen Frequenzbereich von 1 MHz bis 6 GHz und kann sowohl empfangen, als auch senden. Es gibt viele günstigere Alternativen, wie der RTL-SDR, die jedoch in der Bandbreite eingeschränkt sind.[10]

Um die Antenne zu justieren und zu bewerten, wurde zusätzlich ein VIA (Vector Impedance Analyzer) angeschafft. Dieser zeigt die Menge der in die Antenne zurück reflektierten Strahlung bei verschiedenen Frequenzen an. Damit kann die Resonanzfrequenz<sup>1</sup> einer Antenne gemessen werden. Dieser wird jedoch nicht unbedingt benötigt. Auf die persönliche Empfehlung von Andreas Spiess[11] hin wurde der N1201SA+ mit einem Frequenzbereich von 35 MHz bis 2.7 GHz gewählt.

---

<sup>1</sup>Die Frequenz, an welcher eine Antenne ein Signal am besten sendet bzw. empfängt.

# Kapitel 3

## Antennenbau

### 3.1 Bau der Double-Cross Antenne

Für den Bau der Double-Cross Antenne gibt es auf Instructables[12] eine Anleitung. Dort ist auch das Dokument[9] verlinkt, auf dem die Anleitung im Instructables basiert. Für die Bauanweisungen wurde der Instructables verwendet. Für die Abmessungen sowie die Verkabelungsinstruktionen stützte man sich auf die ursprüngliche Anleitung[9]. Für den Bau der ersten Version wurden laut Anweisungen[12] folgende Materialien benötigt:

- Ein Dachlatte, ungefähr 2 m lang
- Zwei Dachlatten, ungefähr 50 cm lang
- Vier Dübelstangen
- Fünf Meter  $50 \Omega$  Koaxialkabel
- Acht 48.5 cm lange Leiter

Der grösste Teil dieser Materialien konnte im Baumarkt erworben werden. Für das Holz wurden zwei 2 m lange Dachlatten gekauft. Als Leiter für die Dipole konnten acht 1 m Aluminiumstangen mit einem Durchmesser von 4 mm verwendet werden. Das Koaxialkabel sowie die Koaxstecker wurden auf *aliexpress.com* bestellt.



Abbildung 3.1: Vorbereitete Dipole

### 3.1.1 Die Dipole

Im ersten Schritt wurden nach den Anweisungen des Instructables[12] die Dipole gerichtet. Dazu schnitt man die Aluminiumstangen auf ihre benötigte Länge zu. Danach wurde an jeder Stange ein Ende nach oben gebogen, um später die Kabel besser befestigen zu können. Die acht auf diese Weise vorbereiteten Stangen brachte man danach mit Klebeband an vier kurze Dübelstangen an. So entstanden vier Dipolantennen. In jede der vier Dübelstangen bohrte man ein kleines Loch, um sie so später am Grundgerüst verschrauben zu können. (siehe Abbildung 3.1)

### 3.1.2 Das Grundgerüst



Abbildung 3.2: Einstellen der Dipole  
drehen konnte, jedoch nicht weiter als  $30^\circ$  (siehe Abbildung 3.2).

Die kürzeren zwei Holzstücke wurden zu einem Kreuz verschraubt, welches danach auf dem längeren Holzstück verankert wurde. Danach brachte man die zuvor vorbereiteten Dipole an. Da sie  $30^\circ$  im Gegenuhzeigersinn geneigt sein müssen, klebte man zuerst eine Papierscheibe mit Gradeinzeichnungen auf. Darauf wurden, mit einer einzelnen Schraube durch das vorgebohrte Loch in der Dübelstange, die Dipole festgeschraubt. Nach dem Einstellen auf  $30^\circ$  brachte man eine zweite Schraube so an, dass sich die Dübelstange zwar noch frei

### 3.1.3 Verkabelung

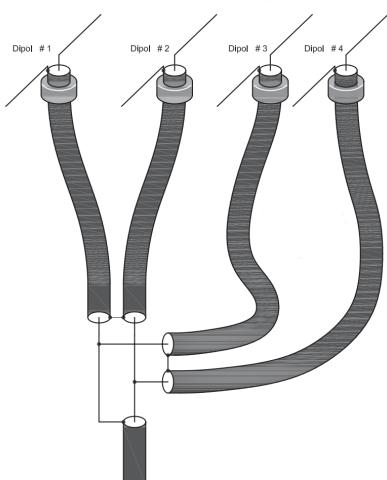


Abbildung 3.3: Verkabelung der Antenne

Um die vier Dipole zu verkabeln, musste ein Stück Koaxialkabel an jeden Dipol angebracht werden, den Mantel an die untere Hälfte und die Kerne an die obere. Da sich das Löten an die Aluminiumstangen mit der verfügbaren Ausrüstung als unmöglich herausstellte, wurden Schraubklemmen verwendet. Das Finden der richtigen Größe stellte sich als schwierig heraus, da die meisten gängigen Größen zwar einen Radius von 4 mm oder mehr aufwiesen, jedoch nicht vollständig rund waren. Schliesslich wurde wieder im Baumarkt eine passende Größe gefunden. Da die Signale bei zwei der Dipole aufgrund des Winkels phasenverschoben ankommen, muss das Signal von diesen Dipolen verzögert werden. Dazu müssen die Kabel dieser Dipole  $\lambda/4$  länger sein. Der Einfachheit wegen wurden, wie in dem Instructables[12] be-

schrieben  $\lambda/4$  und  $\lambda/2$  als Länge für die Kabel, von den Dipolen zur Verkabelung, gewählt. Die an die Dipole angebrachten Kabel mussten danach verlötet werden. Die Verkabelung wurde nach Abbildung 3.3 erstellt. Die Kerne von je zwei gegenüberliegenden Dipolen wurden mit dem Mantel, beziehungsweise mit dem Kern des wegführenden Kabels verlötet. Die gesamte Verkabelung schützte man mit einem Schrumpfschlauch. An die Verkabelung wurde ein etwa 2 m langes Stück Koaxialkabel angebracht, an dessen Ende man einen weiblichen Koaxstecker lötete.

## 3.2 Bau der V-Dipole Antenne

Da die zweite Antenne ein V-Dipol ist, war der Arbeitsaufwand bedeutend geringer. Dafür wurden die Anweisungen, beschrieben in *Decoding Russian Meteor-M2 satellite images in real time*[10], verwendet. Um die zwei Dipolhälften im richtigen Winkel zu halten, druckte man ein existierendes Modell von *Thingiverse*[13] aus ABS aus. Danach schnitt man die benötigten zwei Aluminiumstangen auf 53.4 cm zu und steckte sie in die gedruckte Halterung. Jedoch gab es ein Problem. Da die Lagenhöhe zu hoch gewählt wurde, begann sich die Halterung zu spalten. Dieses Problem konnte man durch das Erweichen des Plastiks mit einem Feuerzeug und erneutem Zusammendrücken lösen. Das Koaxialkabel brachte man wieder mit Schraubklemmen an. Da es nur einen Dipol gab, spielte es keine Rolle, an welchen Dipol der Kern und an welchen der Mantel angeschlossen wurde.

## 3.3 Verbesserungen

Im Verlaufe des Projekts wurden an der Double-Cross Antenne einige Verbesserungen vorgenommen.

### 3.3.1 Schaftverlängerung

Wie oben erwähnt, verwendete man für den Schaft der Double-Cross Antenne eine 2 m lange Dachlatte. Da diese jedoch merklich vom Optimum von  $2\lambda$  (ungefähr 4.36 m) abwich, entschied man, den Schaft zu verlängern. Dazu verwendete man eine weitere 2 m Dachlatte, welche man bereits fix um 36 cm verlängert hatte (und nun 2.36 m lang war) und brachte seitlich ein kurzes Stück Holz an, welches zur Hälfte über die Spitze der Verlängerung hinausragte. Durch den überlappenden Teil sowie durch den Schaft der Antenne bohrte man vier Löcher, durch welche man Metallschrauben mit Muttern anbrachte. So kann die Verlängerung bei Bedarf schnell von Hand an- oder abgeschaubt werden.

## Kapitel 4

# Bild empfangen

### 4.1 Wahl des Ortes

Um die Aufnahmen machen zu können, wurde ein Ort benötigt, der weit genug weg von möglichen Störungsquellen war und zugleich möglichst offen lag. Es war wichtig, dass möglichst wenig Hindernisse zwischen der Antenne und dem Satelliten standen. Ein weiteres grosses Problem war der Säntis, da sich auf dessen Spitze eine Sendeanlage befindet, die nach früheren Erfahrungen, ein starkes Signal auf ungefähr 137 Mhz sendet. Dies stellt eine schwere Störungsquelle dar. Daher sollte der Ort für die Aufnahmen keinen Sichtkontakt zum Säntis haben, damit man von ihm abgeschirmt ist. Ebenfalls wichtig war, dass der Aufnahmeort möglichst nahe am Wohnort lag, um den Zeitaufwand, der für jede einzelne Aufnahme benötigt wird, zu minimieren. Es wurde schliesslich ein Ort auf einem Hügel oberhalb des Riethüsli-Quartiers in St.Gallen gewählt, da dieser nach drei Seiten offen ist. Die vierte Seite Richtung Säntis war durch einen Hügel abgeschirmt. Diesen Standort kann man vom Quartier Riethüsli in unter 20 Minuten erreichen, selbst wenn die Antenne getragen wird.

### 4.2 Software

Um Funksignale zu empfangen, wurde eine Software benötigt, welche sich mit dem SDR verbindet und die Funksignale aufzeichnen kann. Es wurde die Software SDR# von *airspy.com* gewählt. Diese wurde primär für Windows entwickelt und war nach der Treiberinstallation mit dem Hackrf-One kompatibel. Für die Treiberinstallation wurde das Programm *Zadig USB* verwendet. Nach der Auswahl des Hackrf-One wurde die Installation des *WinUSB*-Treibers erzwungen.

Zusätzlich zu SDR# installierte man eine Erweiterung namens *Meteor Demodulator*. Für die Installation wurde die Erweiterung zuerst heruntergeladen und entpackt. Alle Dateien müssen danach in den SDR#-Ordner verschoben werden. Schliesslich muss die Zeile Code aus der Datei *MagicLine.txt* in die Datei *Plugins.xml* kopiert werden.

Um zu sehen, wann die Satelliten über die Schweiz flogen, wurde die Webseite *n2yo.com*

konsultiert. Diese gibt detaillierte 10-Tages Prognosen, welche nicht nur Beginn und Ende des Überfluges beinhalten, sondern auch Winkel und die erwartete Empfangsqualität.

## 4.3 Der Aufbau

Jeweils am Abend zuvor schrieb man von *n2yo.com* heraus, welche Satelliten am nächsten Tag in einem guten Winkel (min. 60°) und mit passabler Empfangsqualität über den Aufnahmeort flogen. Zudem wurde der Beginn des Überfluges sowie die Frequenz notiert, damit man garantiert zur richtigen Zeit auf der richtigen Frequenz aufnahm. Etwa eine halbe Stunde vor dem Beginn des Überfluges, brach man auf. Nach der Ankunft am Aufnahmeort (etwa 15 Minuten später) wurde begonnen, die Ausstattung aufzubauen. Zuerst verband man die Verlängerung mit der Antenne. Danach schraubte man die Dipole in ihrem 30° Winkel fest, denn für den Transport wurden sie aus Sicherheitsgründen immer gelockert. Im nächsten Schritt verband man den Koaxstecker über einen Männlich-Männlich Adapter mit dem Hackrf-One und diesen über ein Microusb-Kabel mit dem Laptop, auf dem SDR# lief. Schliesslich stellte man die Antenne auf und hielt sie mit einer Hand fest. Etwa fünf Minuten vor dem Beginn des Überfluges begann man mit der Aufnahme.

## 4.4 Aufnehmen

### 4.4.1 NOAA Satelliten

Da die NOAA Satelliten ein analoges Signal, vergleichbar mit FM-Radio, übertragen, reicht es, den WFM demodulierten Ton im richtigen Bereich aufzunehmen. Dazu wird in der Software SDR# die richtige Frequenz eingestellt; für den Satelliten NOAA 18 ist die Frequenz beispielsweise 137.9125 MHz. Die Übertragung des Satelliten hat eine Breite von 50 kHz, jedoch wurde immer etwas breiter aufgenommen. Dies ist notwendig, da das Signal beim Überflug des Satelliten der Dopplerverschiebung unterliegt. Dies führt, während der Satellit zur Antenne hin fliegt, zu einer Stauchung (Verkleinerung) der Frequenz und somit zu einer Linksverschiebung des Frequenzbandes, auf dem der Satellit sendet. Das Gegenteil passiert, wenn der Satellit sich von der Antenne entfernt. Wird dieser Umstand nicht kompensiert, kann es dazu kommen, dass ein Teil der Übertragung ausserhalb des Aufnahmespektrums liegt.

### 4.4.2 Meteor Satelliten

Die Meteor Satelliten senden ihre Bilder in digitaler Form, vergleichbar mit DAB+. Dies erlaubt dem Satelliten, im Vergleich zu den älteren NOAA Satelliten, mehr Daten zu übertragen. Daher sind die Bilder der Meteor Satelliten von höherer Qualität. Die digitale Übertragung hat auch Nachteile: die benötigte Empfangsqualität muss grösser sein,

um überhaupt etwas zu empfangen. Bei schlechtem Empfang kann bei den NOAA Satelliten noch ein Bild mit starkem Rauschen empfangen werden. Dies ist bei den Meteor Satelliten nicht möglich. Ein weiterer Nachteil ist, dass es aufgrund der von diesen Satelliten verwendeten QPSK-Modulierung nicht möglich ist, den WFM demodulierten Ton aufzunehmen. Die verwendete Software SDR# unterstützte zum Zeitpunkt des Projekts QPSK-Demodulation nicht. Es wurden zwei Lösungen gefunden:

### Basisband-Aufnahme

Die einfachste Methode, diese Signale aufzunehmen, ist, das gesamte Basisband aufzunehmen. Auch bei diesen Satelliten wurde die Aufnahmefähigkeit grösser eingestellt, als die Breite der Übertragung. Danach wurde mit der Software das Basisband aufgenommen.

Diese Methode hatte jedoch den entscheidenden Nachteil, dass die Aufnahmen sehr viel Speicherplatz benötigten. Zudem beendete das Programm die Aufnahme, nachdem 2 GB Daten aufgenommen wurden. Dies trat nach ungefähr einer Minute ein. Ohne konstante Überwachung konnte es zu Datenverlust kommen.

### Der Meteor Demodulator

Mit dieser Erweiterung war es möglich, direkt das demodulierte Signal aufzuzeichnen. Dies sparte nicht nur Speicherplatz, sondern auch zwei Arbeitsschritte beim Umwandeln in ein Bild. Zudem gab die Erweiterung Rückmeldung über die Demodulation in Echtzeit. So sah man bereits während den Aufnahmen, ob eine Demodulation stattfinden konnte. Die Erweiterung ermöglichte es auch, die demodulierten Daten direkt an einen *TCP Socket* zu senden. Diese Funktion hätte es erlaubt, die demodulierten Bilder in Echtzeit zu dekodieren und in ein Bild umzuwandeln. Diese Funktion wurde in diesem Projekt nicht genutzt, da die anderen Möglichkeiten bedeutend einfacher waren und ausreichten.

# Kapitel 5

## Bilder

### 5.1 Demodulation und Dekodierung

Die Signale, die man mit Hilfe des SDRs empfangen hatte, waren noch keine Bilder. Um sie über Funk zu senden, wurden sie speziell moduliert. Bei den NOAA-Satelliten wird eine WFM-Modulation verwendet. In diesem Fall wird eine Intensität in einem Pixel direkt zu einer Frequenzverschiebung (eine vordefinierte Abweichung von der Trägerfrequenz) übersetzt (siehe Abbildung 5.1) [14]. Dieses Signal wird anschliessend gesendet. So wird jeder Pixel der Reihe nach gesendet. [16]

Meteor Satelliten sind neuer und übermitteln mehr Informationen. Um dies bewerkstelligen zu können, werden die Daten in ein digitales Format kodiert, welches danach QPSK moduliert und gesendet wird. Diese Modulation erlaubt es, doppelt so viele Daten bei gleicher Frequenz zu senden. Erreicht wird dies, da es bei der QPSK-Modulation nicht wie bei WFM oder AM nur zwei Zustände 0 oder 1 gibt, sondern deren vier: 00, 01, 10 oder 11. (siehe Abbildung 5.2) [15] Um ein Signal wieder zu einem Bild umzuwandeln, musste man diese Schritte rückgängig machen.

Dafür verwendete man wieder die Anleitungen von *The Thought Emporium* [3].

### 5.2 Für die NOAA Satelliten

Für das Umwandeln der Aufnahmen zu einem Bild (siehe Abbildung 5.3), musste zuerst die Abtastrate der Audioaufnahme auf 11025 Hz angepasst werden. Dies wurde mit dem Programm *Audacity* bewerkstelligt. Danach konnte die Datei mit *WXtoIMG* direkt in ein Bild umgewandelt werden.

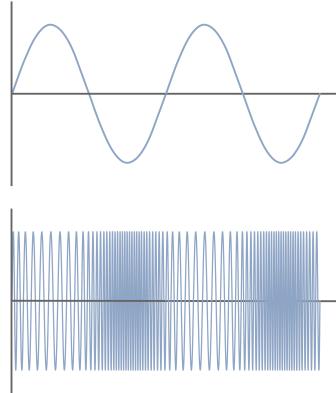


Abbildung 5.1:  
WFM Modulation

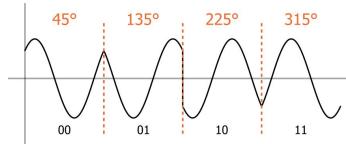


Abbildung 5.2:  
QPSK Modulation

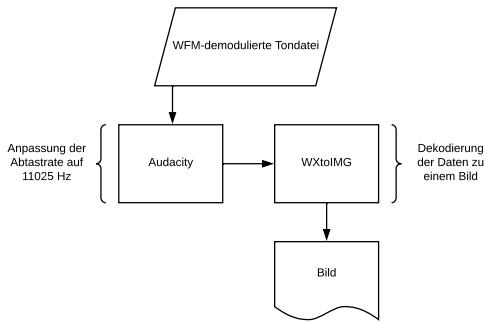


Abbildung 5.3: Umwandlungsprozess der Aufnahmen bei NOAA Satelliten

### 5.3 Für die Meteor Satelliten

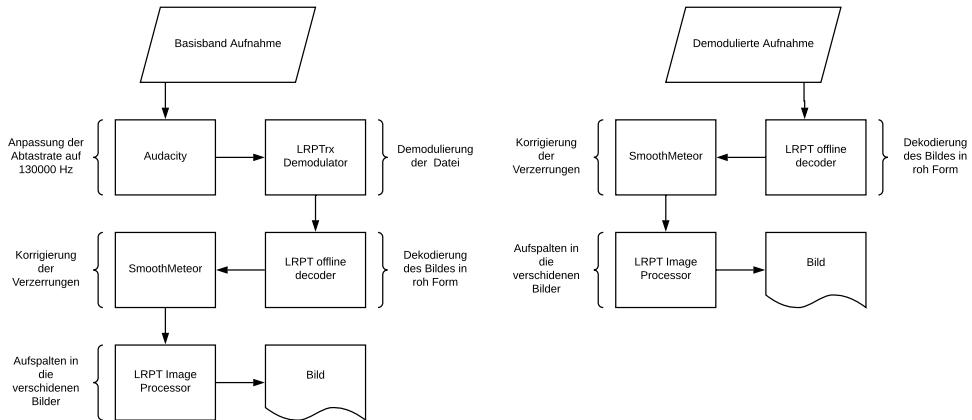


Abbildung 5.4: Umwandlungsprozess der Aufnahmen bei Meteor Satelliten, ohne Erweiterung links, mit Erweiterung rechts

Aufgrund der komplexeren Kodierung und Modulation der Meteor Satelliten ist auch das Umwandeln der Aufnahmen aufwendiger (siehe Abbildung 5.4). Für den Umwandlungsprozess wurde die Anleitung im zweiten Video[3] von *The Thought Emporium* verwendet.

Wenn die Erweiterung *Meteor Demodulator* nicht verwendet wurde und stattdessen das Basisband aufgezeichnet wurde, brauchte es fünf Schritte, um die Aufnahme in ein Bild umzuwandeln (siehe Abbildung 5.4 links). Im ersten Schritt wurde wie bei den NOAA-Satelliten die Abtastrate mit *Audacity* angepasst, jedoch auf 130000 Hz. Im zweiten Schritt

wurde die Basisbandaufnahme mit dem *LRPTx Demodulator* demoduliert und anschließend im dritten Schritt in ein Bild dekodiert. Dieses war jedoch noch stark verzerrt, was mit Hilfe des Programms *SmoothMeteor* korrigiert wurde. Als Letztes wurde der Infrarot Kanal mit dem *LRPT Image Processor* abgespalten. Dieses Programm erlaubte zudem verschiedene Bearbeitungsoptionen, wie Wärmebild (eingefärbtes Infrarot), sowie diverse Filter für Vegetation und weiteres.

Wurde die Erweiterung *Meteor Demodulator* während der Aufnahme verwendet, konnten die ersten beiden Schritte weggelassen werden. Da diese während der Aufnahme von der Erweiterung übernommen wurden (siehe Abbildung 5.4 rechts).

# Kapitel 6

## Erfolge

### 6.1 Die fehlgeschlagenen Versuche

Ein Grossteil der versuchten Aufnahmen war nicht erfolgreich. Die Gründe dafür sind nicht bei allen Fehlschlägen vollständig bekannt. Es wurde jedoch oft vermutet, dass eine zu schlechte Sichtbarkeit (zum Beispiel Berge, die zwischen Satellit und Antenne standen) oder ein zu flacher Winkel zwischen Satellit und Horizont die Ursachen waren. Unter Umständen war auch eine Fehlkonstruktion im Bau der Antenne schuld, die bis zu letzte nicht entdeckt wurde. Eine weitere Möglichkeit ist mangelnde Qualität der auf *aliexpress.com* gekauften Ausrüstung. Wenn das Koaxialkabel nicht den korrekten Wellenwiderstand von  $50 \Omega$  hatte, hätte dies die Empfangsleistung der Antenne und somit die Qualität der Bilder stark beeinträchtigt.

In der folgenden Tabelle sind ein Teil der fehlgeschlagenen Aufnahmeversuche mit angenommenem Grund aufgelistet. Die Liste ist nicht vollständig da die Aufnahmeversuche zu Beginn nicht protokolliert wurden. Die Sichtbarkeit wurde von *n2yo.com* abgelesen. Alle Aufnahmen wurden mit der grossen Double-Cross Antenne gemacht. Da mit dieser nur wenige Erfolge erzielt wurden, sah man von einem Wechsel auf eine V-Dipol Antenne ab, da diese weniger leistungsstark ist.

Tabelle 6.1: Die fehlgeschlagenen Versuche

Datum	Uhrzeit	Satellit	Frequenz	Winkel	Sichtbarkeit	Ergebnisse	Grund
19.10.18	20:09	NOAA 15	137 .62 MHz	43°	gut	2	vmtl. ein flacher Winkel
19.10.18	21:07	NOAA 18	137.9125 MHz	72°	gut	2	unbekannt
19.10.18	21:16	Meteor M2	137.1 MHz	64°	knapp	1	vmtl. niedrige Sichtbarkeit
20.10.18	19:44	NOAA 15	137 .62 MHz	70°	sehr gut	2	unbekannt
20.10.18	20:55	NOAA 18	137.9125 MHz	88°	sehr gut	2	unbekannt
20.10.18	20:55	Meteor M2	137.1 MHz	44°	knapp	1	vmtl. niedrige Sichtbarkeit und flacher Winkel
23.10.18	21:36	Meteor M2	137.1 MHz	86°	gut	2	vmtl. schlechtes Wetter (leichter Regen)
25.10.18	19:01	Meteor M	137.1 MHz	89°	sehr gut	1	defekter Satellit

1 = Das Signal wurde nicht gesehen.

2 = Das Signal wurde gesehen und verhielt sich normal, jedoch war kein Bild zu dekodieren.

## 6.2 Das erste Bild

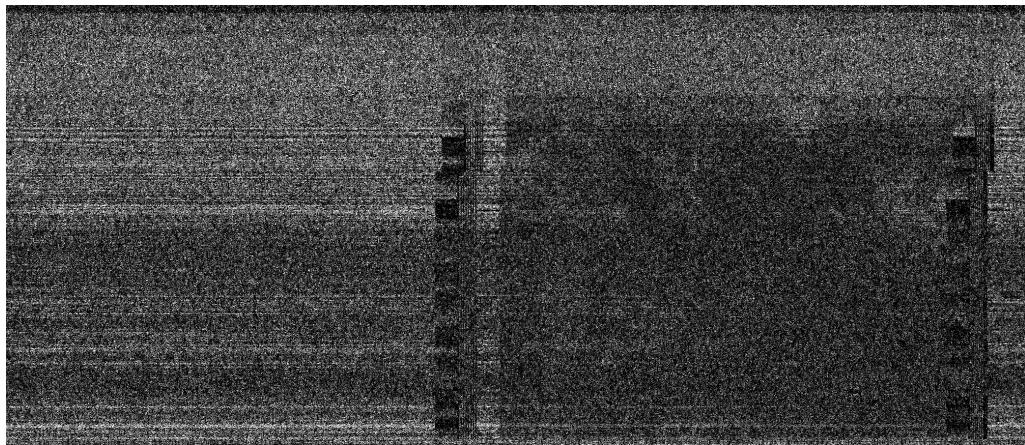


Abbildung 6.1: Erstes Bild eines NOAA 18 Satelliten

Am 20 Oktober 2018 gelang es um 20:55 Uhr zum ersten Mal, bei sehr guter Sichtbarkeit und einem Winkel von  $88^\circ$  zwischen Satellit und Horizont, ein Bild eines Satelliten zu empfangen (siehe Abbildung 6.1). Das Bild stammte von dem NOAA 18 Satelliten. Obwohl es starkes Rauschen aufweist, sind trotzdem klar die für NOAA Satelliten charakteristischen filmähnlichen Balken an den Rändern zu erkennen. Auf diese Aufnahme folgten keine weiteren.

# Kapitel 7

## Konklusion

### 7.1 Zielereichung

Die gesetzten Ziele wurden zum Teil erreicht. Das Projekt hat gezeigt, dass es möglich ist, mit begrenzten Ressourcen eine Antenne zu bauen, mit Hilfe derer man Bilder von diversen Wettersatelliten empfangen kann. Dies wurde alles mit einem Studentenbudget von ungefähr Fr. 600.– realisiert. Wenn man den VIA weggelassen hätte und den Hackrf-One gegen ein günstigeres Modell (wie zum Beispiel ein RTL-SDR) gewechselt hätte, wäre das Projekt für unter Fr. 200.– zu bewerkstelligen gewesen.

Jedoch gelang es leider nicht, Bilder von der gewünschten Qualität zu empfangen. Die Gründe für dieses Ergebnis konnten nicht vollständig geklärt werden. Dies lag hauptsächlich an Zeitmangel. Um die Fehlerquellen zu finden, wären weitere Aufnahmeversuche nötig gewesen. Über die Gründe, weshalb die Aufnahmen nicht die gewünschte Qualität hatten, kann daher nur spekuliert werden.

Ein grosses Problem war die geografische Lage in der das Projekt durchgeführt wurde. Da die Schweiz nur von wenigen geeigneten Satelliten überflogen wird, gab es nur wenige Zeitfenster, in welchen Aufnahmen möglich waren. Zudem waren die verfügbaren Satelliten nur äusserst selten in einer für eine Aufnahme geeigneten Position. So war in der ganzen Aufnahmephase nur ein Versuch des Meteor-M2 Satelliten bei guter Sichtbarkeit und Winkel möglich. Dies schränkte die Anzahl möglicher Zeitfenster weiter ein. Auch waren alle möglichen Satelliten bereits älteren Modelle, deren Bilder qualitativ schlechter sind. Die Nähe zur Sendestation auf dem Säntis stellte vermutlich auch ein Problem dar, da diese auf der Frequenz der Satelliten sendet. Dies könnte zu starken Störungen geführt haben.

Eine Fehlkonstruktion beim Bau kann nicht ausgeschlossen werden, da die Antenne aus Zeitgründen nicht wie geplant mit dem VIA vermessen und optimiert wurde. Gerade die komplexe Verkabelung ist essentiell für die Funktionstüchtigkeit der Antenne. Es ist nicht ausgeschlossen, dass bei der Verkabelung ein Fehler gemacht wurde. Dies könnte zum Beispiel ein Kurzschluss zwischen zwei unzureichend von einander isolierten Kabeln oder ein vertauschter Dipol sein.

Als letzter eventueller Schwachpunkt kommt die günstige Ausrüstung von *aliexpress.com* in Frage. Es ist nicht ausgeschlossen, dass nicht genau das geliefert wurde, was gekauft wurde. So hatte unter Umständen das  $50 \Omega$  Koaxialkabel einen falschen Wellenwiderstand oder der Hackrf-One war von minderer Qualität.

Diese Umstände können ohne weitere Nachforschungen nicht überprüft werden und sind deshalb nur Vermutungen.

## 7.2 Ausblick

Es sollten noch weitere Aufnahmeversuche gemacht werden, um bessere Bilder zu erhalten. Ebenfalls muss der Grund für die vielen fehlgeschlagenen Aufnahmen gefunden werden. bei vergleichbaren Projekten wurden zum Teil mit schwächeren Antennen bessere Ergebnisse erzielt. Für weitere Aufnahmen, sollten jedoch alle Versuche genauer dokumentiert werden, um allfällige Muster zu erkennen. Des weiteren können beide Antennen noch mit dem VIA optimiert werden. Als letztes wäre es noch wichtig, die Auswirkungen der Sende anlage auf dem Säntis auf die Empfangsqualität zu ermitteln. Dafür müsste jedoch mit der gesamten Ausrüstung ein geeigneter Standpunkt gefunden werden.

## 7.3 Danksagung

Ich möchte Dr. Ivo Blöchliger für seine Unterstützung bei der Realisierung dieses Projektes und der Erstellung dieser Maturaarbeit herzlich danken. Ebenso möchte ich Cédric Solenthaler und Raffael Suter für ihre Beratung danken. Ohne sie hätten die Recherchearbeiten bedeutend mehr Zeit in Anspruch genommen. Luca Bosin möchte ich für seine Hilfe bei der Formatierung und dem Aufspüren von Fehlern danken. Als letztes danke ich noch meiner Familie für ihre Unterstützung beim Realisieren der Maturaarbeit, insbesondere auch für das Korrekturlesen.

# Abkürzungen

**SDR** Software defined Radio

**QHF** Quadrifilar Helix Antenna

**ADC** Analog to Digital Converter

**VIA** Vector Impedance Analyzer

**WFM** Wideband Frequency modulation

**QPSK** Quadrature Phase Shift Keying

**AM** Amplitude modulation

**ABS** Acrylonitrile butadiene styrene

# Softwareeverzeichnis

**SDR#** <https://airspy.com/download/>

**Meteor Demodulator(QPSK Demodulator)** <http://www rtl-sdr.ru/page/komplekt-plaginov-dlja-priema-sputnikov>

**Zadig USB** <https://zadig.akeo.ie/>

**WXtoImg** <https://wxtoimgrestored.xyz/>

**Audacity** <https://www.audacityteam.org/download/>

**LRPTrx Demodulator** <https://www.dropbox.com/s/qq1fjyitpa3j14o/software.zip>

**LRPTofflinedecoder** <http://cosmetics.smed.ru/>

**SmoothMeteor** <http://leshamilton.co.uk/meteor3m.htm>

**LRPT Image Processor** <http://www.satsignal.eu/software/LRPT-processor.html>

# Abbildungsverzeichnis

1.1	Beispielbilder der NOAA und Meteor Satelliten [12] [10]	4
2.1	Die drei Polarisationsarten [4]	7
2.2	Eine QHF Antenne [6]	8
2.3	Eine Double-Cross Antenne[7]	8
3.1	Vorbereitete Dipole	9
3.2	Einstellen der Dipole	10
3.3	Verkabelung der Antenne [9]	10
5.1	WFM Modulation [14]	15
5.2	QPSK Modulation [15]	15
5.3	Umwandlungsprozess der Aufnahmen bei NOAA Satelliten	16
5.4	Umwandlungsprozess der Aufnahmen bei Meteor Satelliten mit und ohne Erweiterung	16
6.1	Erstes Bild eines NOAA 18 Satelliten	19
A.1	SDR# 1	27
A.2	SDR# 2	28
A.3	Meteor Demodulator	28

# Literatur

- [1] V. K. Justin Atkin Gabriel Licina. (2017). The Thought Emporium. [Online; Zugriff am 16. Januar 2019], Adresse: [https://www.youtube.com/channel/UCV5vCi3jPJdURZwA00\\_FNfQ](https://www.youtube.com/channel/UCV5vCi3jPJdURZwA00_FNfQ).
- [2] ——, (2017). How to Pull Images from Satellites in Orbit (NOAA 15,18,19 and METEOR M2). [Online; Zugriff am 16. Januar 2019], Adresse: <https://www.youtube.com/watch?v=cjC1TnZ4Xh4>.
- [3] ——, (2017). Receiving Images From Satellites Part 2: Decoding and Demodulating NOAA and METEOR Transmissions). [Online; Zugriff am 16. Januar 2019], Adresse: <https://www.youtube.com/watch?v=L3ftfGag7D8&t=327s>.
- [4] rscfw.com. (unbekannt). State Three Methods Of Polarizing. [Online; Zugriff am 16. Januar 2019], Adresse: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/phyopt/imgpho/polcls.png>.
- [5] Electronics-notes. (unbekannt). Antenna Polarization. [Online; Zugriff am 13. Dezember 2018], Adresse: <https://www.electronics-notes.com/articles/antennas-propagation/antenna-theory/polarisation-polarization.php>.
- [6] J. Coppens. (unbekannt). Pictures of the copper tubing version. [Online; Zugriff am 16. Januar 2019], Adresse: <http://jcoppens.com/ant/qfh/img/v2/012.jpeg>.
- [7] S. A. Andrea Blanco. (2014). The DCA once built. [Online; Zugriff am 7. Januar 2019], Adresse: [https://sourceforge.isae.fr/attachments/download/845/DCA\\_finished.png](https://sourceforge.isae.fr/attachments/download/845/DCA_finished.png).
- [8] J. Moss. (unbekannt). A QFH antenna for the weather satellite band. [Online; Zugriff am 16. Januar 2019], Adresse: <http://www.g4ilo.com/qfh.html>.
- [9] K. Gerald Martes. (2008). Double Cross — A NOAA SatelliteDownlink Antenna. [Online; Zugriff am 16. Januar 2019], Adresse: <https://www.qsl.net/py4zbz/DCA.pdf>.
- [10] Phasenoise. (2017). Decoding Russian Meteor-M2 satellite images in real time. [Online; Zugriff am 16. Januar 2019], Adresse: <https://phasenoise.livejournal.com/2245.html>.

- [11] A. Spiess. (2016). Andreas Spiess. [Online; Zugriff am 19. Januar 2019], Adresse: [https://www.youtube.com/channel/UCu7\\_D0o48KbfhpEohoP7YSQ/videos?sort=da&view=0&flow=grid](https://www.youtube.com/channel/UCu7_D0o48KbfhpEohoP7YSQ/videos?sort=da&view=0&flow=grid).
- [12] V. K. Justin Atkin Gabriel Licina. (2017). Receiving Images From Passing Weather Satellites (NOAA and METEOR M2) Using a Cheap SDR. [Online; Zugriff am 16. Januar 2019], Adresse: <https://www.instructables.com/id/Receiving-Images-From-Passing-Weather-Satellites-N/>.
- [13] Adam/Tysonpower. (2017). V-Dipole antenna bracket. [Online; Zugriff am 16. Januar 2019], Adresse: <https://www.thingiverse.com/thing:2515645>.
- [14] Electronics-note. (unbekannt). What is Frequency Modulation, FM. [Online; Zugriff am 16. Januar 2019], Adresse: <https://www.electronics-notes.com/articles/radio/modulation/frequency-modulation-fm.php>.
- [15] R. Keim. (2016). What is Frequency Modulation, FM. [Online; Zugriff am 16. Januar 2019], Adresse: <https://www.allaboutcircuits.com/technical-articles/quadrature-phase-shift-keying-qpsk-modulation/>.
- [16] N. Oceanic und A. Administration. (2009). User's Guide for Building and Operating Environmental Satellite Receiving Stations. [Online; Zugriff am 16. Januar 2019], Adresse: [https://noaasis.noaa.gov/NOAASIS/pubs/Users\\_Guide-Building\\_Receive\\_Stations\\_March\\_2009.pdf](https://noaasis.noaa.gov/NOAASIS/pubs/Users_Guide-Building_Receive_Stations_March_2009.pdf).

# Anhang A

## Handbuch

In diesem Anhang sind detaillierte Informationen zur Benutzung der Software zu finden. Diese Anleitungen sind für alle, die das Projekt reproduzieren wollen. Ein Mirror zu den ganzen verwendeten Programmen sollte sich unter folgendem Link befinden: <https://github.com/Xelef2000/Receive-satellite-images-using-an-SDR>

### A.1 SDR#

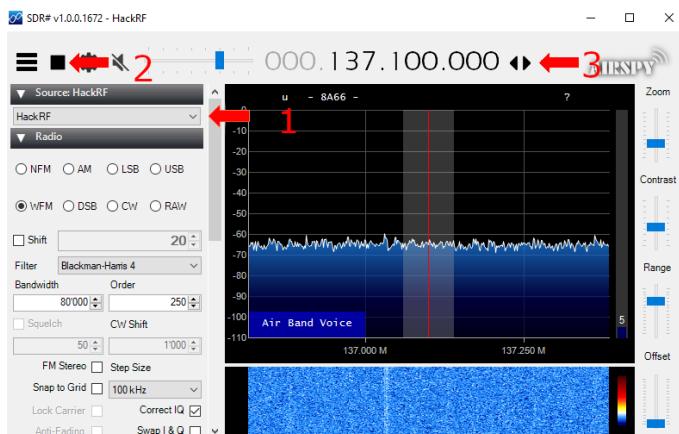


Abbildung A.1: SDR# 1

Als Erstes muss oben links der Hackrf-One als SDR ausgewählt werden(1). Darauf kann bereits auf *Play* gedrückt werden(2). Um die Frequenz des Satelliten zu empfangen, muss sie oben ausgewählt werden(3). (Abbildung A.1)

#### A.1.1 NOAA Satelliten

Für die Aufnahme der NOAA Satelliten wird als Demodulationsmethode WFM ausgewählt(1). Als Bandbreite sollte etwa 80 KHz verwendet werden(2). Nach dem Einstellen der korrekten Frequenz, muss unter *Recording*, *Audio* angewählt und *Basband* abgewählt sein(3). Um die Aufnahme zu starten, wird *Record* gedrückt(4). (Abbildung A.2)

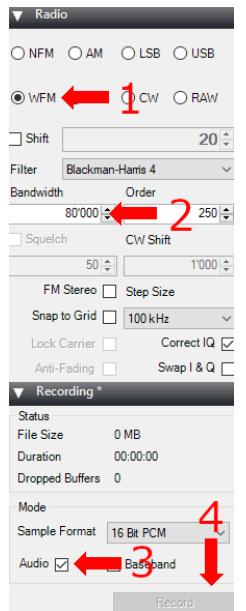


Abbildung A.2: SDR# 2

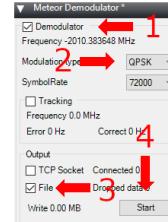


Abbildung A.3: Meteor Demodulator

### A.1.2 Meteor Satelliten

Für die Meteor Satelliten wird eine Bandbreite von 125 KHz verwendet. Anstelle von *Audio* muss *Baseband* ausgewählt sein!

## A.2 Meteor Demodulator

Um den Demodulator zu verwenden , muss man *Demodluation*(1) anwählen und als *Modulation type* QPSK ausgewählt(2). Als Ausgabe wählt man *file*(3) aus. Mit der Option *TCP Socket* könnte man theoretisch das demodulierte Signal direkt an ein weiteres Programm weiterleiten, welches dann das Signal direkt dekodiert und so könnte man direkt vor Ort ein Bild erhalten. Um die Aufnahme zu, starten muss auf den *Start-Knopf* (4) gerückt werden. In der restlichen SDR# Software muss der Aufnahmefeldbereite von 125 KHz und die Frequenz von 137.1 MHz ausgewählt werden. (Abbildung A.3)

## A.3 Zadig USB

Als erstes wird als Gerät der Hackrf-One ausgewählt. Danach kann die Instalation des *WinUSB*-Treibers erzwungen werden.

## A.4 Audacity

Um die Abtastrate anzupassen, wird unten links die Projektrate auf 11025 Hz bzw. gestellt 130000 Hz. Danach wird unter *Spuren* und *Abtastrate* die Spuren auf 11025 Hz bzw.

130000 Hz umgestellt. Anschliessend wird die Datei mit angepasster Abtastrate als *WAVE* exportiert(4).

## A.5 WXtoIMG

Im Programm *WXtoIMG* wird die exportierten Audiodatei in ein Bild umgewandelt. Dafür lädt man die gesamplete Datei unter *File* und *Open Audio File*. Das Bild wird automatisch erstellt.

## A.6 LRPTrx Demodulator

Die gesamplete Datei wird im Programm geöffnet. Danach muss ein Ausgabename und Ort gewählt werden. Nachdem auf *Run* gedrückt wird, sollten sich, wenn alles gut läuft, im Fenster unten rechts vier klar unterscheidbare Punkte bilden. Das Programm stoppt nicht von alleine. Nachdem der Statusbalken am Ende angekommen ist, muss auf *Quit* gedrückt werden.

## A.7 LRPTofflinedecoder

Zum Öfnnen der Datei aus dem letzten Schritt, muss der Knopf *72k* gedrückt werden. Für die Einstellungen dieses Programms verwendet man die in den Anweisungen von *The Thought Emporium*[3] beschriebenen. Als RGB-Werte verwendete man R:0.5-0.7, G:0.7-1.1, B:10.5-11.5. Dies gibt zuerst unrealistische Bilder. Dies wird jedoch später korrigiert. Nachdem Laden des Bildes sollte das Programm automatisch starten. Wieder sollten sich oben links vier Klare Punkte bilden.

## A.8 SmoothMeteor

Nachdem Laden des Bildes werden die seltsamen Farben direkt korrigiert, dies macht man jedoch rückgängig. Dies wird unter *Color Scheme* mit der Auswahl *None* gemacht. Für das Strecken wählt man unter *Processing* die Option *Rectify* aus. Danach kann man das Bild speichern.

## A.9 LRPT Image Processor

Bei diesem Programm wird das Bild aus dem letzten Schritt mit *File* und *Open* geladen. Danach sind im Programm verschiedene Auswahloptionen für das normale Bild, Infrarot, Wärmebild (eingefärbtes Infrarot) sowie diverse Filter für Vegetation und künstliche Farben, verfügbar.

## **Anhang B**

### **Eigenständigkeitserklärung**

«Ich bestätige mit meiner Unterschrift, dass ich meine Maturaarbeit selbstständig verfasst und in schriftliche Form gebracht habe, dass sich die Mitwirkung anderer Personen auf Beratung und Korrekturlesen beschränkt hat und dass alle verwendeten Unterlagen und Gewährspersonen aufgeführt sind. Mir ist bekannt, dass eine Maturaarbeit, die nachweislich ein Plagiat gemäss der in der Maturaarbeitsbroschüre gegebenen Definition darstellt, als schwerer Verstoss im Sinne des Maturitätsprüfungsreglements gewertet wird.»

Ort & Datum

Unterschrift