

Studienprojektbericht

Stratoballonprojekt

Umprogrammieren einer RS41 Vaisala zum APRS-Tracker

Joachim Matthias Konrad, Matrikelnummer: 3038493

Joachim.M.Konrad@physik.uni-giessen.de

17. Juni 2022

Betreuer: Apl. Prof. Dr. Sören Lange

Sommersemester 2022

Inhalt

| | |
|--|----|
| Abbildungsverzeichnis..... | 2 |
| Das Stratoballonprojekt | 3 |
| Projektziel..... | 3 |
| Theorie | 3 |
| Die RS41 Vaisala | 4 |
| Umprogrammieren der RS41 | 5 |
| Einstellen der Sonde..... | 10 |
| Bodentests..... | 14 |
| Einbau der RS41 in den Ballon..... | 14 |
| Empfangene Sondendaten | 14 |
| Auswertung der Sondendaten | 17 |
| Diskussion..... | 18 |
| Exkurs: versuchter Empfang und Dekodierung eines APRS-Signals mit RTL-SDR-Dongle und SDR# | 19 |
| Liste der verwendeten Adapter und dazugehöriger Treiber/Software | 20 |
| Quellen- und Abbildungsverzeichnis..... | 20 |

Abbildungsverzeichnis

| | |
|---|----|
| Abbildung 1: RS41 GPS-Empfänger | 4 |
| Abbildung 2: RS41 Senderchip und Antenne | 5 |
| Abbildung 3: ST-Link Pinout..... | 6 |
| Abbildung 4: Fehlermeldung ST-Link Utility..... | 7 |
| Abbildung 5: Aufhebung Schreibschutz | 8 |
| Abbildung 6: Reiter mit neuem OS..... | 9 |
| Abbildung 7: Pinout USB-TTL..... | 10 |
| Abbildung 8: PuTTY Verbindung aufbauen | 10 |
| Abbildung 9: PuTTY-Konsole | 11 |
| Abbildung 10: RS41-Flugverlauf | 16 |
| Abbildung 11: Sondendaten, roh | 17 |

Das Stratoballonprojekt

Das Ziel der Stratoballon AG war es einen Ballon zu starten und diesen auf ca. 35km steigen zu lassen. Dort sollte dieser, mit in der Payload enthaltenen Versuchsaufbauten, Messungen durchführen.

An Bord waren unter anderem Bakterien-/Sporenkulturen, sowie ein Myonendetektor um Myonenschauer zu messen.

Zum Verfolgen und späteren bergen des Ballons waren die drei Systeme: LoRaWAN. GPS-Tracker, sowie eine RS41 Vaisala eingebaut.

Projektziel

Das Projektziel für die RS41 war es diese so umzuprogrammieren, dass sie zum Tracken des Ballons in Echtzeit geeignet ist und der Ballonflug im Internet über spezielle Trackingwebseiten nachverfolgt werden kann.

Theorie

Bei der RS41 handelt es sich um eine gebrauchte Wettersonde, die z.B.: vom DWD oder der Bundeswehr eingesetzt wurde.

Flüge solcher Wettersonden sind im Internet auf speziellen Seiten wie z.B. „radiosondy.info“, oder „sondehub.org“ nachverfolgbar. Nach dem Absturz einer solchen Sonde machen sich s.g. „Sondenjäger“ auf diese zu finden, um sie selbst weiterzuverwenden, oder zu verkaufen.

Vor dem Weiterverwenden der Sonde muss diese umprogrammiert werden, da die ursprünglichen Frequenzen, welche sie genutzt hat, nur den entsprechenden Behörden vorbehalten sind.

Es gibt mehrere Möglichkeiten die RS41 für die Nutzung im ISM, bzw. Amateurfunkbereich umzuprogrammieren, so kann man z.B. die original Firmware der Sonde installiert lassen und nur die eingespeicherten Frequenzen, sowie das Rufzeichen ändern. Der Nachteil hierbei ist, dass einige Einstellungen hierbei nur einen Powercycle lang übernommen werden.

Alternativ kann man ein neues Betriebssystem auf die Sonde aufspielen, welches stärker auf die Amateurfunknutzung angepasst ist.

In diesem Fall wurde das Betriebssystem „OM3BC“ vom slovakischen Funkamateurl Joseph Illés aufgespielt. Dieses bietet unter anderem die Möglichkeit die RS41 als APRS-Tracker zu benutzen.

„Das Automatic Packet Reporting System (**APRS**) stellt eine spezielle Form von Packet Radio im Amateurfunkdienst dar.“ (vgl. Wikipedia 2021). Damit können Datenpakete automatisiert im Packet-Radio-Netz verbreitet werden. Dafür wird das 2m-Band, sowie das 70cm-Band verwendet. Mit der RS41 wird das 70cm-Band genutzt.

Eine als APRS-Tracker Umprogrammierte RS41, kann damit nun APRS-Pakete aussenden, die von APRS-Digipeatern (IGATE) ans Internet weitergeleitet werden, wo diese dann per Browser abgerufen werden können.

Somit ermöglicht der APRS-Betrieb die Position der Sonde auf der Website „aprs.fi“ über das genutzte Amateurfunkrufzeichen zu verfolgen. Zudem kann die Sonde weitere Daten, wie Geschwindigkeit, Höhe und Batteriespannung an die Website übermitteln.

Hierbei ist zu beachten, dass der Betrieb der Sonde als APRS-Tracker ein Amateurfunkrufzeichen erfordert, da die entsprechende Frequenz 432,500MHz(70cm) in Deutschland nur für Amateurfunke zugelassen ist.

Das Amateurfunkausbildungsrufzeichen „DN5FCG“ wurde von Herrn Winfried Senger hierfür zur Verfügung gestellt. Für die Nutzung dieses Rufzeichens ist es erforderlich ein Protokoll über die Zeiträume zu führen, in denen die Sonde im Sendebetrieb war.

Die RS41 Vaisala

Die RS41 ist eine Wettersonde vom finnischen Hersteller Vaisala.

Ohne Styroporverpackung wiegt diese mit 2xAA Batterien ca. 70g (ohne Styroporgehäuse).

Die maximale Sendeleistung beträgt >60mW.

Die Sonde hat eine ($\lambda/4$) Antenne für das 400Mhz-Band, einen Temperatursensor, einen zusätzlich angebauten Drucksensor, sowie einen GPS-Empfänger mit intern verbauter Antenne.

Zudem hat die RS41 zwei LED, 1xRot und 1xGrün.

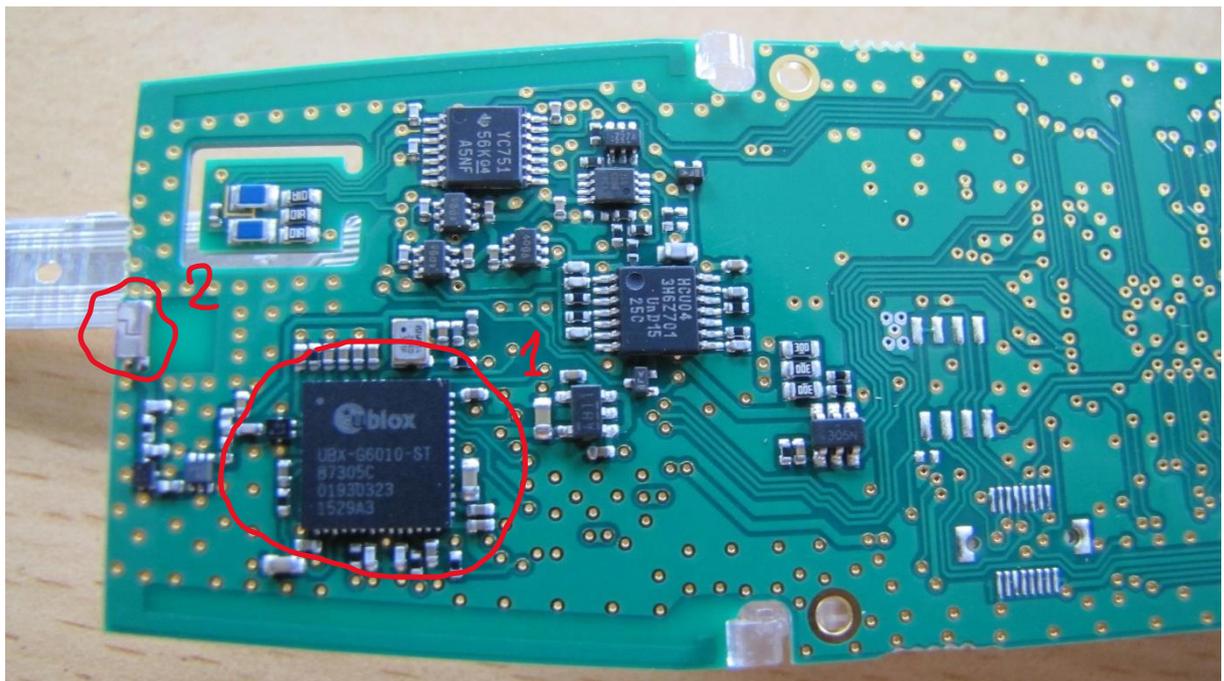


Abbildung 1: RS41 GPS-Empfänger

In Abbildung 1 erkennt man unten links im Bild den U-blox GPS-Chip (Abbildung 1, 1). Links daneben befindet sich die GPS-Antenne (Abbildung 1, 2). Hierbei ist zu beachten, dass die RS41 ein GPS-Signal braucht damit sie Funken/APRS aussenden kann.

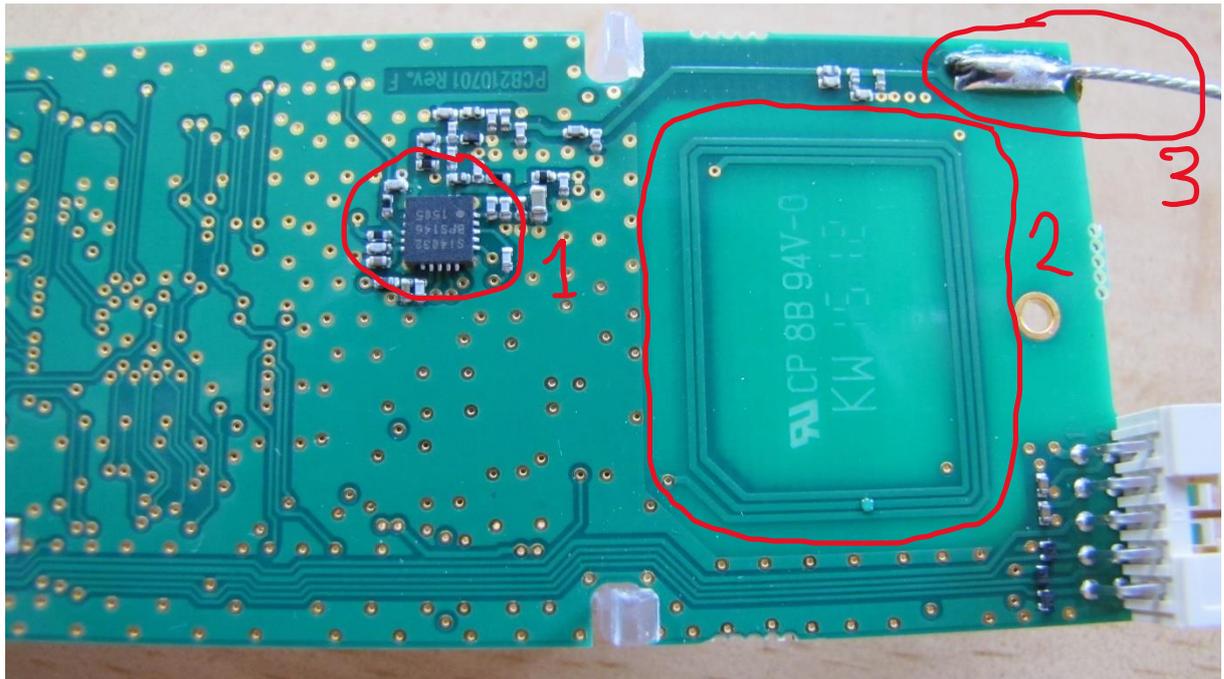


Abbildung 2: RS41 Senderchip und Antenne

In Abbildung 1 sieht man rechts den Senderchip (Abbildung 2, 1). Daneben befindet sich die NFC-Antenne zum Kalibrieren (Abbildung 2, 2). Diese ist im Weiteren nicht mehr von Bedeutung. Oben rechts sieht man die $(\lambda/4)$ Antenne (Abbildung 2, 3).

Um die Sonde in Betrieb zu nehmen drückt man Ein-/Ausschaltknopf. Daraufhin fängt die grüne LED langsam an zu blinken, bis sie ein GPS-Signal hat. Sobald dies der Fall ist leuchtet sie dauerhaft. Hierbei ist zu beachten, dass aufgrund der integrierten Antenne in Gebäuden, oder am Boden nur sehr schwer ein GPS-Signal eingefangen wird. Weiterhin braucht die Sonde auch unter guten Bedingungen einige Minuten (3-15min) bis sie ein Signal bekommt.

Wenn die Sonde ein GPS-Signal hat und sendet, leuchtet parallel zur grünen LED auch die rote LED für die Dauer des Sendens des Paketes.

Zum Ausschalten der Sonde hält man den Ein-/Ausschaltknopf länger gedrückt und lässt dann los. Das Erreichen des Ausschaltzeitpunktes wird durch schnelles blinken der grünen LED angezeigt.

Umprogrammieren der RS41

Zum Umprogrammieren der Sonde werden zusätzlich ein ST-Link V2 Adapter, die HEX-Datei mit dem neuen Betriebssystem, sowie ein USB-TTL-Wandler zum Einstellen benötigt. Während des Umprogrammierens kann die Sonde entweder über den ST-Link V2, oder über ihre Batterien mit Strom versorgt werden.

Zuerst muss man den ST-Link V2 Treiber, sowie den USB-TTL-Wandler-Treiber (hier für Typ CP210x) installieren. Der Treiber für den USB-TTL-Wandler richtet sich nachdem welchen Typ dieser hat.

Zuletzt installiert man das Programm ST-Link Utility, sowie ein Terminal z.B. wie hier PuTTY.

Danach nimmt man die Sonde aus ihrem Styroporgehäuse und schließt sie über Kabel an den ST-Link V2 an, wobei die Anschlüsse mit der gleichen Bezeichnung and der Sonde und am ST-Link

miteinander verbunden werden. Die Pin-Belegung der Sonde ist in Abbildung 3 dargestellt. Die Sonde wird hierfür eingeschaltet. Die Pinbelegung für den ST-Link ist diesem zu entnehmen.

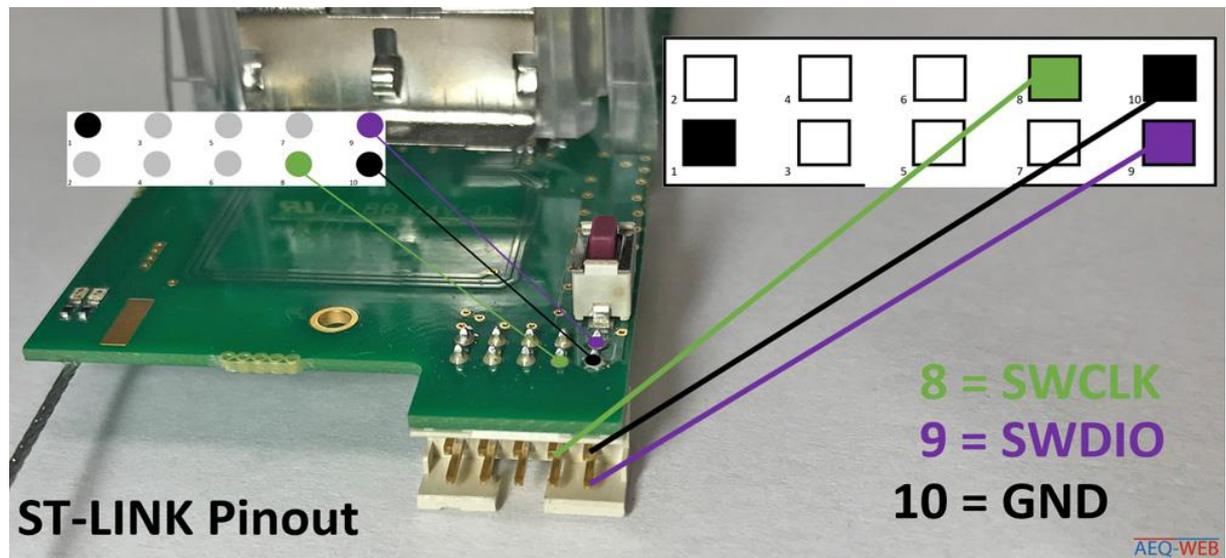


Abbildung 3: ST-Link Pinout

Hierbei ist zu beachten, dass der Anschluss an der Sonde sehr eng ist und Kabel mit Plastikummantelung nicht nebeneinander Platz finden. Zudem bietet es sich der Übersichtlichkeit wegen an die Stromversorgung über die Batterien zu gewährleisten.

Nachfolgend wird der ST-Link-Adapter an den PC angeschlossen und das Programm ST-Link Utility gestartet.

Im Programm klickt man auf „connect to the target“. Bei originaler, unveränderter Firmware erscheint eine Fehlermeldung über das Auslesen des Speichers. (Abbildung 4)

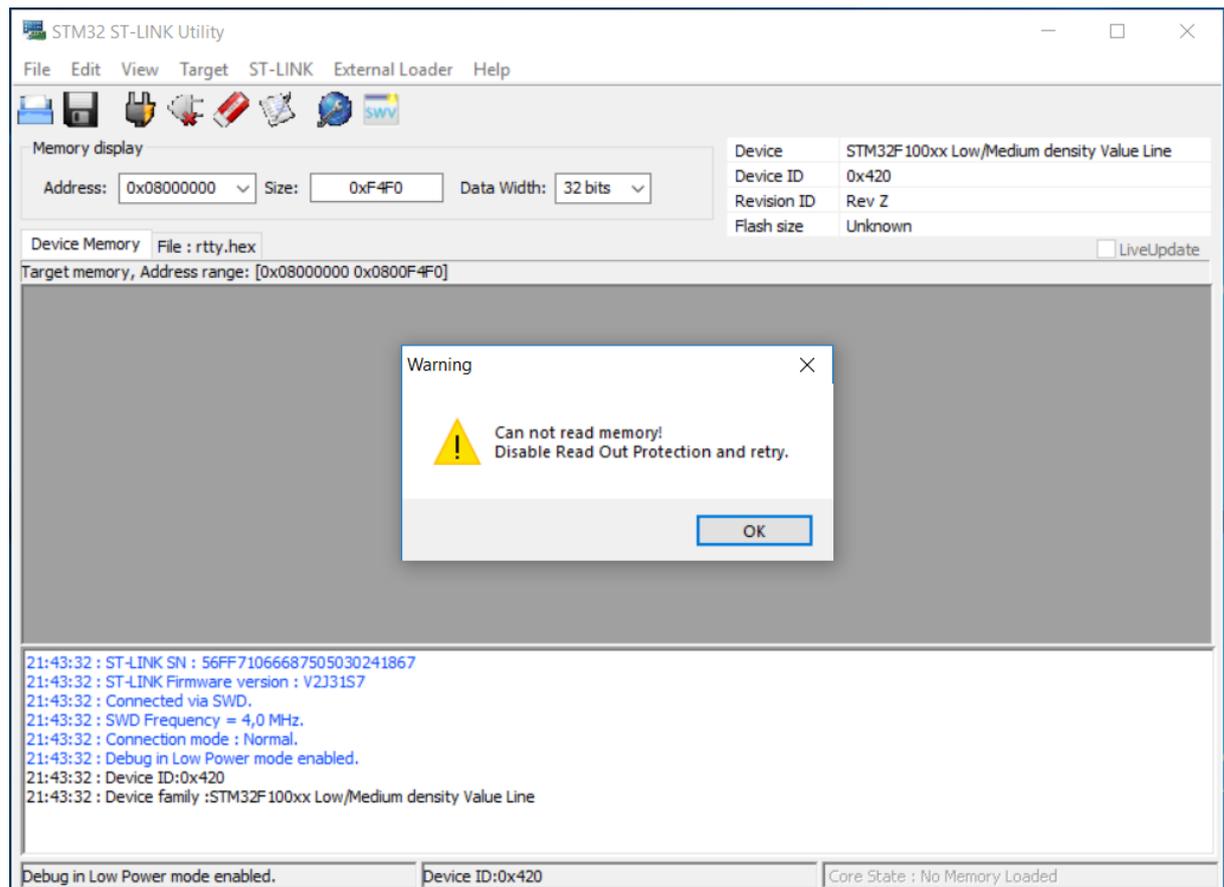


Abbildung 4: Fehlermeldung ST-Link Utility

„Um den Schutz aufzuheben, geht man im Menü oben nun unter TARGET > OPTION BYTES und stellt die „Read Out Protection“ auf „Disabled“. Weiterhin muss man unten den Schreibschutz der Sektoren aufheben. Dazu entfernt man alle Häkchen im Abschnitt „Flash sectors protection“ oder klickt auf den Button „Unselect all“. Anschließend schließt man das Fenster mit „Apply“.“ (vgl. Cocis 2018). Dies ist dargestellt in Abbildung 5.

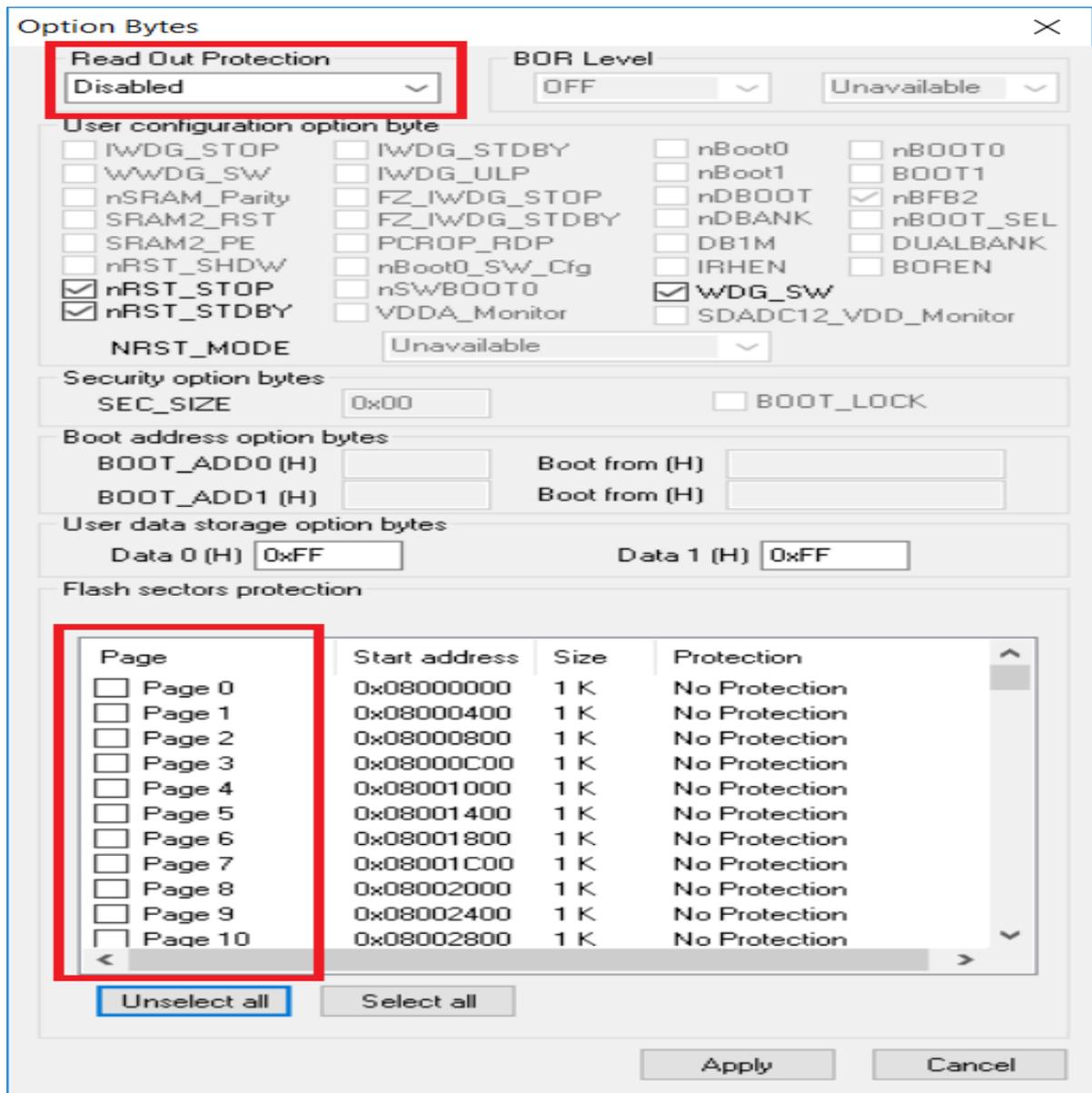


Abbildung 5: Aufhebung Schreibschutz

Nun lädt man mit FILE > OPEN FILE die Datei „dateiname.hex“ (hier „rtty.hex“) mit dem neuen Betriebssystem. Diese wird dann in einem neuen Reiter angezeigt (Abbildung 6).

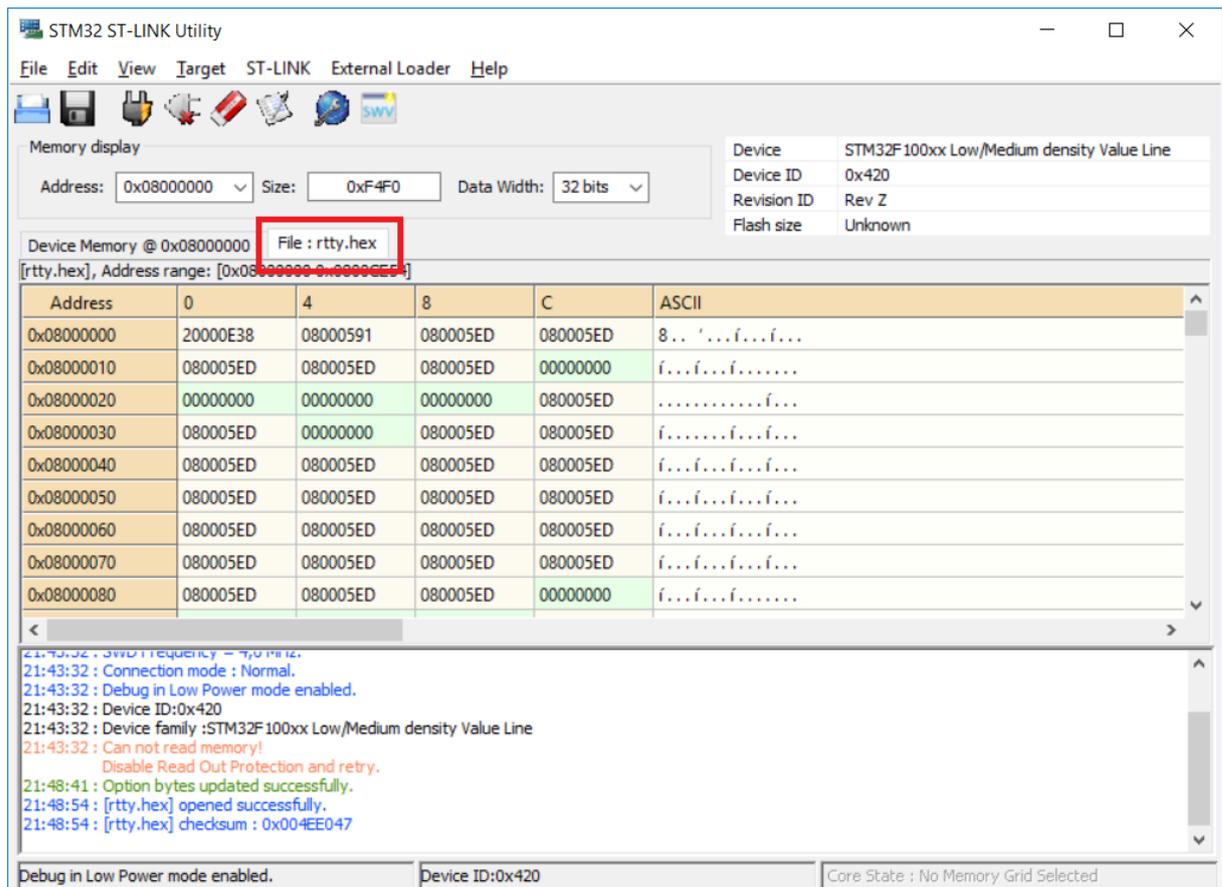


Abbildung 6: Reiter mit neuem OS

Nachfolgend wird mit TARGET > PROGRAM das neue Betriebssystem aufgespielt. Wenn man anstatt „Program“ „Program & Verify“ auswählt, wird die Installation automatisch nach Abschluss verifiziert. Während des Flashens leuchtet die rote LED an der Sonde.

Damit ist nun die RS41 auf OM3BC geflasht und man kann nun die Betriebsparameter einstellen.

Die Sonde wird nun durch Drücken des Einschaltknopfes, bis die grüne LED schnell blinkt, ausgeschaltet.

Einstellen der Sonde

Zum Einstellen der Sonde wird diese mit neuer Pinbelegung über den USB-TTL-Wandler an den PC angeschlossen (Abbildung 7).

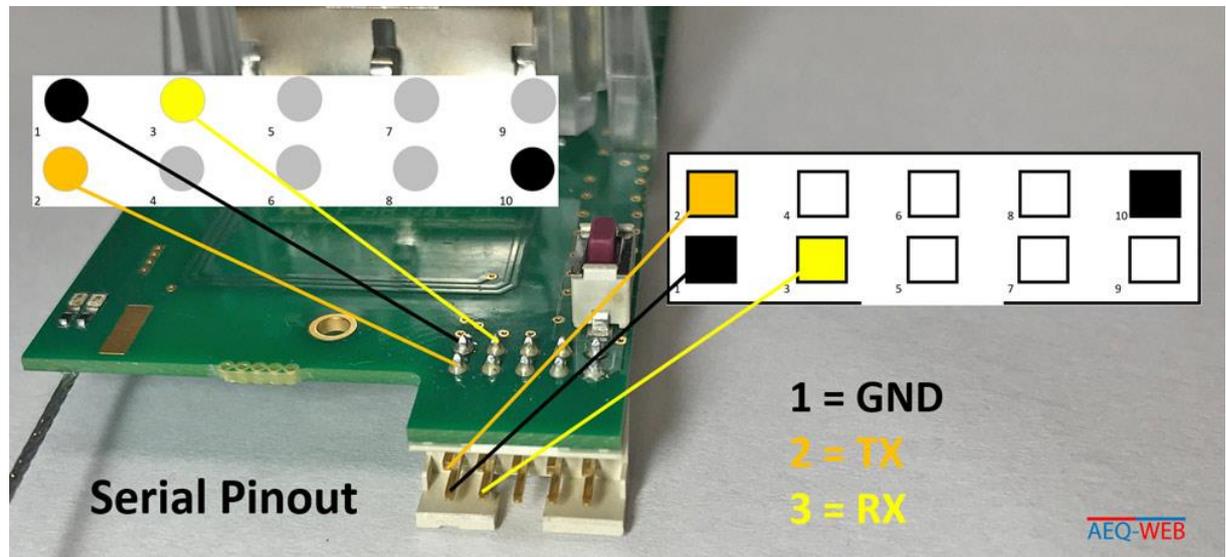


Abbildung 7: Pinout USB-TTL

Nachdem die Sonde über den USB-TTL-wandler an den PC angeschlossen ist, öffnet man PuTTY, wählt die Verbindungsart „SERIAL“ aus und gibt die Nummer des verwendeten COMPORTS an (Abbildung 8). Die Nummer des Comports lässt sich unter Windows über das Suchfenster > „Geräte manager“ > Anschlüsse (COM & LPT) ermitteln.

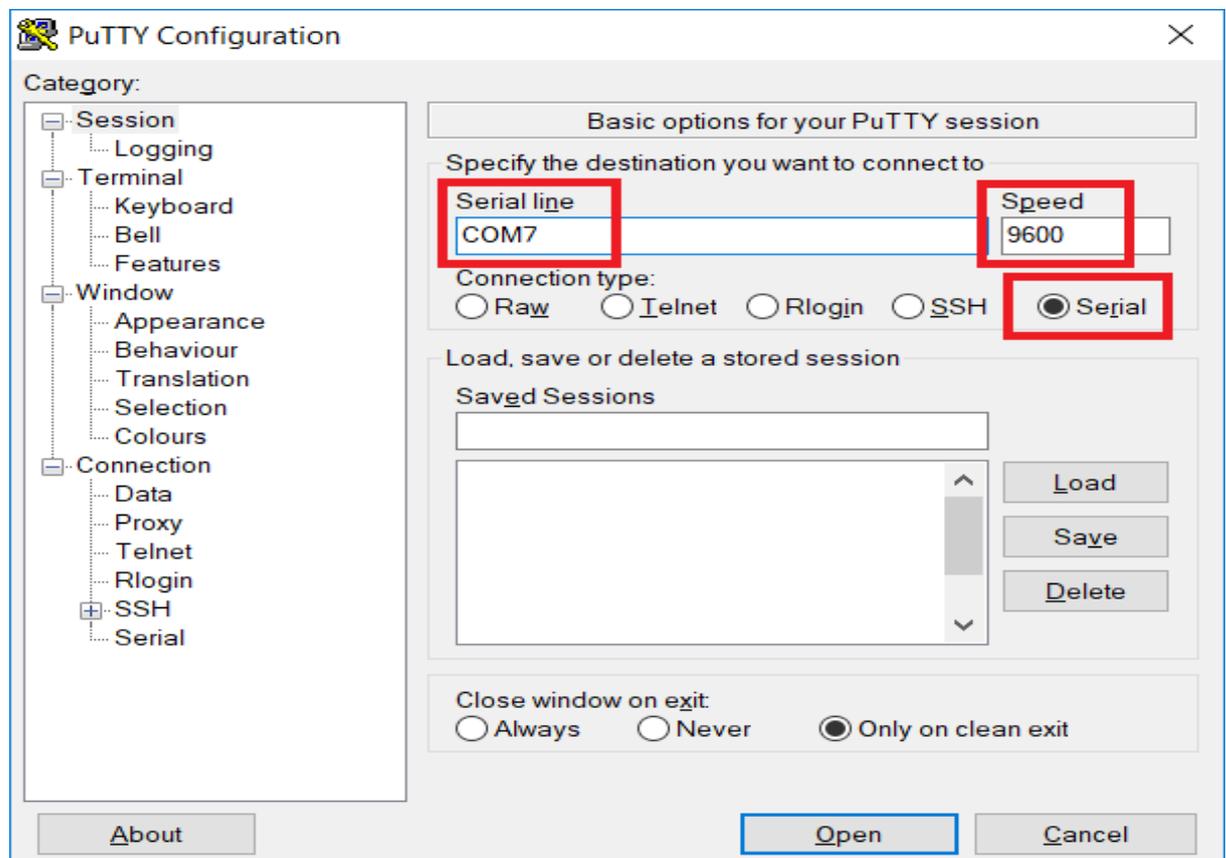
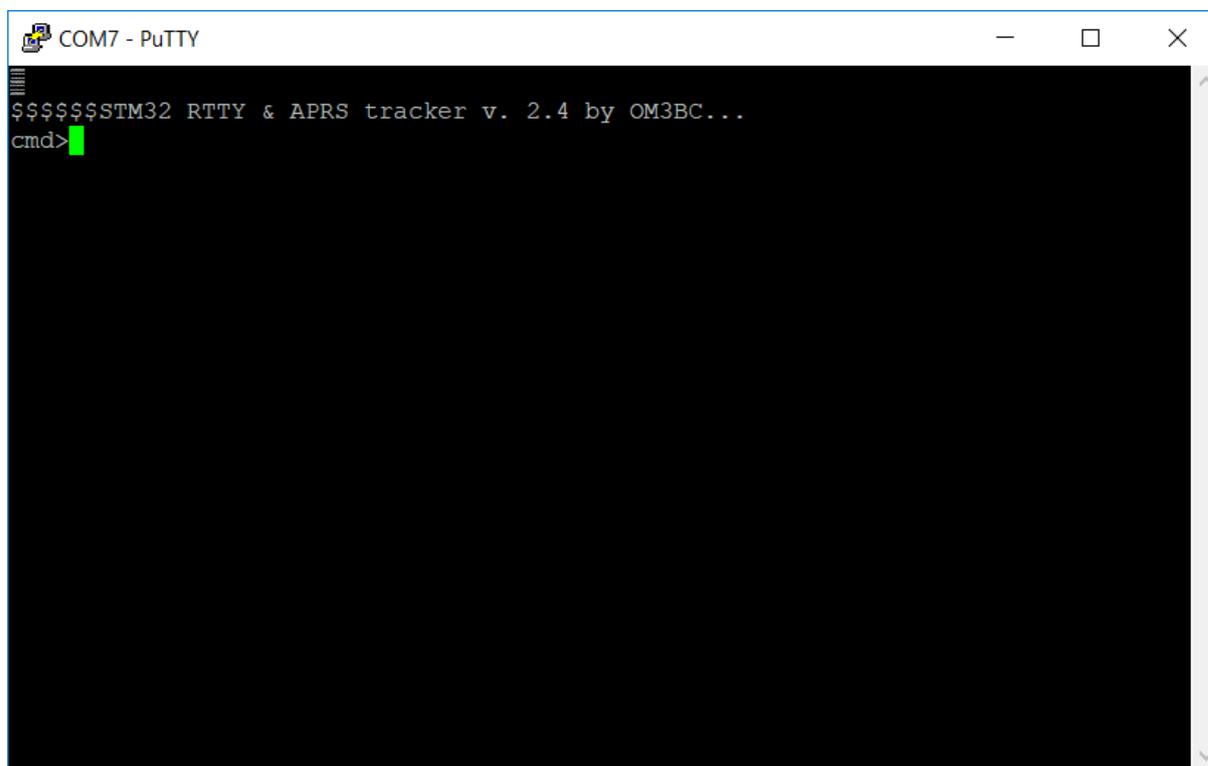


Abbildung 8: PuTTY Verbindung aufbauen

Danach klickt man auf „Open“ und es öffnet sich ein Konsolenfenster. Wenn man nun die Sonde einschaltet erscheint dort folgender Begrüßungstext (Abbildung 9).



```
COM7 - PuTTY
$$$$$$STM32 RTTY & APRS tracker v. 2.4 by OM3BC...
cmd>
```

Abbildung 9: PuTTY-Konsole

Der Befehl „help“ zeigt alle Verfügbaren Befehle mit englischsprachiger Erklärung an. Der Befehl „disp“ zeigt alle aktuellen Parameter an.

Die Liste mit allen Befehlen sieht wie folgt aus:

Allowed commands (not case sensitive):
BUTTON on/off – use button to turn off
LEDS on/off – use LEDs
POWER n – rf power n = 0 to 7 (7 is max.)
APRSFRQ n – n = aprs frequency in kHz
RTTYFRQ n – n = rtt frequency in kHz
APRSCALL string – aprs callsign (up to 6 characters)
RTTYCALL string – rtt callsign (up to 15 characters)
CWIDMESS string – cw message (up to 25 characters)
RTTY on/off – send rtt message
HOLDOFF n – n = time between two rtt messages in seconds
BAUD n – n = rtt baudrate (max. 300)
DBITS n – n = rtt databits (7 or 8)
SBITS n – n = rtt stop bits (1 or 2)
SHIFT n – n = 1,2,3,4 or 270,540,810,1080 Hz
TEMP (or TEMPERATURE) on/off – send temperature in rtt messages
ALT (or ALTITUDE) on/off – send altitude in rtt & aprs messages
SPEED on/off – send speed in rtt messages

COURSE on/off – send course in rtty messages
 UBAT on/off – send battery voltage in rtty messages
 USYS on/off – send system voltage in rtty messages
 SAT (or SATELLITES) on/off – send heard satellites in rtty messages
 APRS on/off – send aprs messages
 SPEEDCOURSE on/off – send speed and course in aprs messages
 SYMBOL string – symbol from aprs symbol table (2 characters)
 SSID n – aprs ssid n = 1 to 15
 RELAY string – aprs relays (WIDE1-1,WIDE2-1)
 TXD n – Tx delay n = 10 to 500 ms
 MICE on/off – send coded aprs messages in mic-e format
 TEL (or TELEMETRY) on/off – send telemetry data in aprs messages
 APRS_EVERY n – time between aprs messages is n x holdoff
 TAIL_EVERY n – time between tail text is n x aprs time
 TTEXT string – tail text (up to 100 characters)
 APRS_UBAT on/off – send battery voltage in aprs ttext
 WWL on/off – send wwlocator messages
 LWWL on/off – send long (10 char.) wwlocator messages
 CWID on/off – send cwid messages
 CWID_EVERY n – time between cw messages is n x holdoff
 CW_SPEED n n = cw speed in wpm
 IGATE on/off – monitoring aprs message via UART
 NMEA on/off – send MNEA GPGGA message via UART
 DISP – show parameters
 SERCOM n – speed of serial communication port (n = 300 to 115200)
 DEF – set default values
 SAVE – save parameters to flash

Jedes ändern der Einstellungen ist immer mit SAVE zu speichern. Hier empfiehlt es sich sofort im Anschluss mit DISP die neuen Werte anzuzeigen, für den Fall, dass diese nicht übernommen wurden. Sollte dies der Fall sein muss man sie erneut eingeben und mit SAVE speichern, bis sie angenommen werden. Bei Werten außerhalb des Funktionsbereiches generiert das Programm eine entsprechende Fehlermeldung. Weiterhin kann es zu Problemen kommen, wenn man versucht Funkrufzeichen mit weniger als sechs Stellen zu verwenden. Das APRS-Suffix „-11“, welches die Sonde als Ballon definiert muss nicht eingegeben werden. Der Parameter SYMBOL musste auch nicht geändert werden, da er schon auf „/O“ eingestellt war. Dies stellt die Sonde auf „aprs.fi“ mit dem Ballonsymbol dar.

Der Parameter BUTTONS sollte auf ON eingestellt sein. Wenn dies nicht der Fall ist sollte er entsprechend geändert werden, da die Sonde sonst nur durch Unterbrechen der Stromversorgung ausgeschaltet werden kann.

Der Parameter NMEA schickt GPS-Positionsdaten über den UART-Port. Hierbei ist zu beachten, dass die RS41 kein GPS-Signal bekommt, wenn sie über den USB-TTL-Wandler mit dem PC verbunden ist. Dies liegt daran, dass der UART-Port dann bereits durch den Wandler belegt ist und die NMEA-Ausgabe dann nicht stattfinden kann, bzw. nur fehlerhafte Werte ausgibt.

Die Sonde wird nun wie folgt eingestellt (die Frequenzen werden in kHz eingegeben):

BUTTON: ON
 LEADS: ON

POWER: 7
APRS FREQUENCY: 432500 kHz
RTTY FREQUENCY: 434500 kHz
RTTY: OFF
RTTY CALLSIGN: DN5FCG
HOLOFF: 20 s
RTTY BAUDRATE: 100 Bd
RTTY SHIFT: 540 Hz
RTTY DATA BITS: 7
RTTY STOP BITS: 2
TEMPERATURE: ON
ALTITUDE: ON
SPEED: ON
COURSE: ON
BATTERY VOLTAGE: ON
SYSTEM VOLTAGE: OFF
SATELLITES: ON
APRS: ON
APRS CALLSIGN: DN5FCG-11
RELAY: WIDE1-1
TX DELAY: 500
SYMBOL: /O
APRS EVERY: 3
SPEED and COURSE: ON
MIC-E: OFF
TELEMETRY: ON
TAIL TEXT EVERY: 2
TAIL TEXT: JLU Stratoballon – DN5FCG
APRS_UBAT: ON
WWL: ON
LWWL: OFF
CWID: OFF
CWID MESSAGE: JLU Stratoballon – DN5FCG
CW ID speed: 25 WPM
CW ID EVERY: 3
IGATE: OFF
NMEA: ON
UART: 9600 8-N-1

Mit diesen Einstellungen sendet die RS41 alle 60s ein APRS-Signal auf 432,500MHz aus, welches Position, Höhe, Geschwindigkeit, Temperatur und Batteriespannung beinhaltet. Zudem wird alle 2min der Tailtext „JLU Stratoballon – DN5FCG“ ausgesendet.

Die hier eingestellten APRS- und RTTY-Frequenzen sind auf die in Deutschland dafür vorgesehenen Werte eingestellt.

Bodentests

Vor dem Flug wurden mehrere Funktionstests mit der umprogrammierten Sonde durchgeführt. Über diese wurde ein Log mit den Betriebszeiten für die Amateurfunklizenz geführt.

Hierzu wurde die RS41 eingeschaltet und es wurde geprüft, ob diese ein GPS-Signal empfängt, welches für den Sendebetrieb Voraussetzung ist. Hierbei hat sich gezeigt, dass bei geringer Bebauung im Freien regelmäßig eine GPS-Verbindung aufgebaut werden konnte, während dies in Gebäuden nur selten der Fall war.

Im Freien wurde das GPS-Signal zudem nach wenigen Minuten aufgebaut.

Weiterhin darf die Sonde, wie bereits, erwähnt nicht über den UART-Port angeschlossen sein, da dies einen erfolgreichen Signalaufbau verhindert hat.

Weiterhin wurde mit Hilfe eines RTL-SDR-Dongles, sowie mit einem APRS-fähigen Funkgerät vom Typ YAESU FT-1DE jeweils geprüft, ob die RS41 APRS-Pakete aussendet, bzw. ob diese dekodiert werden können.

In diesen Versuchen konnte der Sendevorgang bestätigt werden, die Pakete wurden jedoch nicht dekodiert.

Einbau der RS41 in den Ballon

Die RS41 besitzt nur eine sehr kurze Antenne ($\lambda/4$), die nicht ausreicht hat um aus der Payloadbox herauszuschauen, deshalb wurde eine längere Antenne drangelötet. Diese wurde dann so angebracht, dass sie unten senkrecht zur Erde aus der Box geschaut hat. Hierbei ist zu beachten, dass das Löten den Innenwiderstand verändert.

Zudem hat die RS41, durch zwei Varta 6106 AA-Batterien eine eigene Stromversorgung gehabt, um als Trackingsystem unabhängig zu sein.

Die RS41 wurde, nachdem sie eingeschaltet wurde, als letztes in die Payloadbox gelegt.

Empfangene Sondendaten

Die Sondendatenpakete sind wie folgt aufgebaut:

time,lasttime,lat,lng,speed,course,altitude,comment

exemplarisch am Beispiel des Pakets von 03:00:29:

2022-05-19 01:00:29,2022-05-19 01:03:43,51.05117,3.72383,,,25803.15,"000/008/P971S9T-31V222 JLU Stratoballon – DN5FCG Ubat=2.22V temp=-31C"

Hinweis: Die Uhrzeit im Datenpaket ist Zuluzeit. Im folgenden wurde diese auf CET umgerechnet.

| Uhrzeit | v | alt[m] | "xxx | /xxx/ | P | S | T[C°] | Ubat[V]" |
|----------|----|--------|------|-------|-----|----|-------|----------|
| 01:20:38 | | 31910 | 000 | 022 | 860 | 9 | -15 | 2,43 |
| 01:34:57 | | 31228 | 000 | 017 | 875 | 9 | -20 | 2,41 |
| 01:46:31 | | 30812 | 000 | 028 | 888 | 8 | -18 | 2,39 |
| 01:47:54 | | 30655 | 000 | 027 | 890 | 8 | -19 | 2,39 |
| 02:06:50 | | 29542 | 000 | 017 | 910 | 9 | -21 | 2,34 |
| 02:21:38 | | 28444 | 000 | 009 | 926 | 10 | -23 | 2,31 |
| 02:23:01 | 43 | 28150 | 000 | 010 | 927 | 10 | -26 | 2,31 |
| 02:51:15 | | 26470 | 000 | 018 | 958 | 8 | -26 | 2,25 |

| | | | | | | | | |
|----------|-----|-------|-----|-----|------|----|-----|------|
| 03:00:29 | | 25803 | 000 | 008 | 971 | 9 | -31 | 2,22 |
| 03:13:25 | | 25102 | 000 | 007 | 984 | 9 | -29 | 2,19 |
| 03:17:06 | 44 | 24814 | 000 | 004 | 986 | 9 | -29 | 2,19 |
| 03:20:47 | 18 | 24535 | 000 | 005 | 990 | 9 | -30 | 2,17 |
| 03:28:10 | | 24384 | 000 | 014 | 998 | 9 | -30 | 2,15 |
| 03:31:24 | 42 | 24079 | 000 | 011 | 1001 | 9 | -34 | 2,14 |
| 03:33:15 | 22 | 23995 | 000 | 011 | 1003 | 9 | -34 | 2,13 |
| 03:35:06 | 11 | 23933 | 000 | 007 | 1005 | 9 | -34 | 2,13 |
| 03:39:16 | 19 | 23808 | 000 | 009 | 1010 | 9 | -31 | 2,11 |
| 03:42:30 | 3 | 23776 | 000 | 007 | 1013 | 10 | -35 | 2,10 |
| 03:44:49 | 26 | 23585 | 000 | 007 | 1016 | 10 | -32 | 2,09 |
| 03:46:13 | 20 | 23518 | 000 | 007 | 1017 | 10 | -35 | 2,09 |
| 03:48:32 | 23 | 23397 | 000 | 007 | 1020 | 10 | -32 | 2,08 |
| 03:55:29 | | 23389 | 000 | 013 | 1027 | 11 | -36 | 2,05 |
| 03:55:57 | 357 | 23229 | 000 | 012 | 1028 | 11 | -33 | 2,04 |
| 03:57:48 | 26 | 23189 | 000 | 014 | 1030 | 11 | -33 | 2,03 |
| 04:02:54 | | 23168 | 000 | 013 | 1035 | 11 | -36 | 2,01 |
| 04:04:45 | 31 | 23119 | 000 | 016 | 1037 | 11 | -37 | 2,00 |
| 04:07:05 | 31 | 23092 | 000 | 016 | 1040 | 11 | -33 | 1,99 |
| 04:21:54 | | 23920 | 000 | 001 | 1056 | 11 | -33 | 1,85 |

Tabelle 1: RS41 Daten von aprs.fi

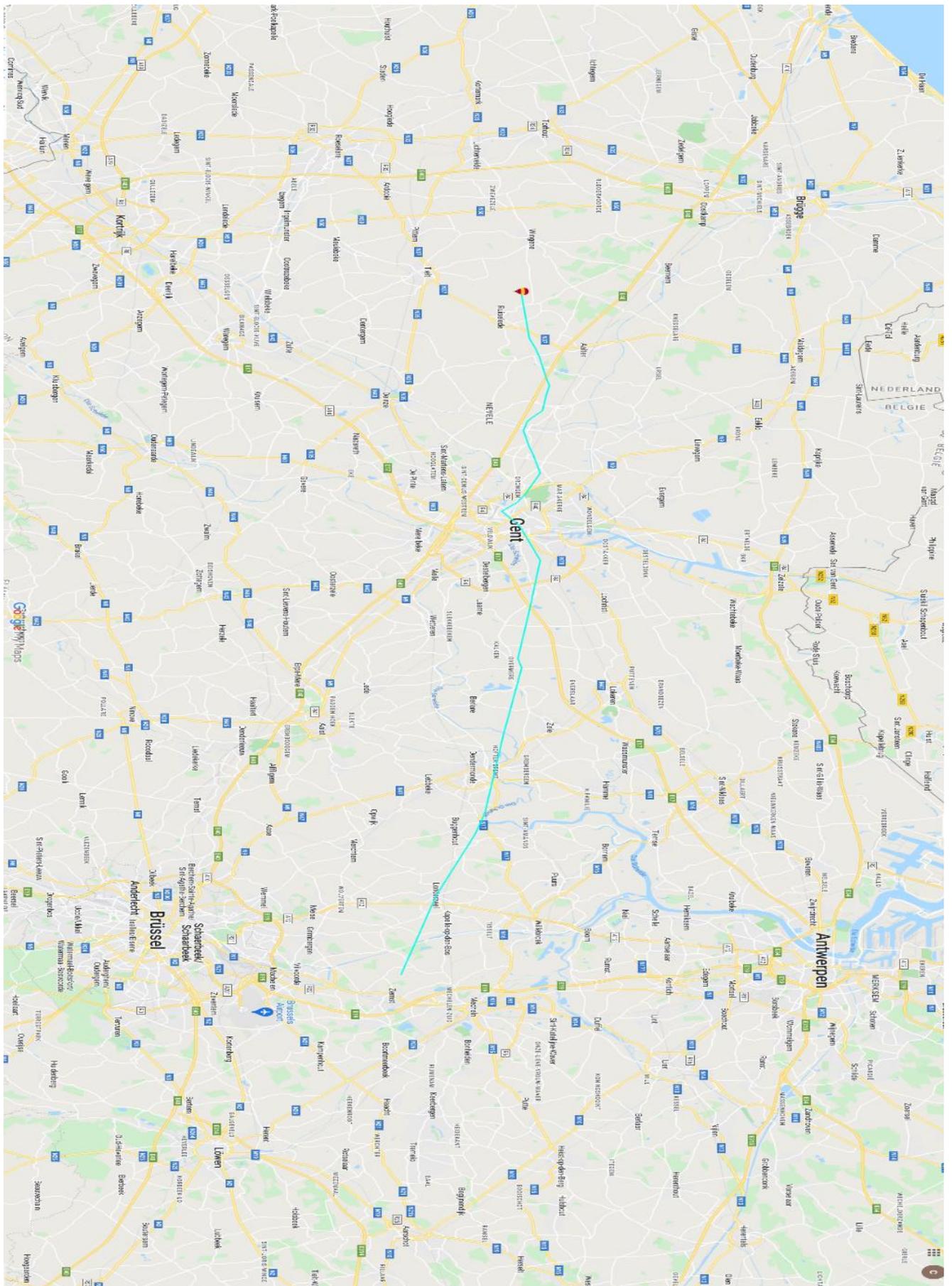


Abbildung 10: RS41-Flugverlauf

| 1 | time,lasttime,lat,lng,speed,course,altitude,comment |
|----|---|
| 2 | 2022-05-18 23:20:38,2022-05-18 23:20:38,50.98500,4.42650,,31910.73,"000/022/P860S9T-15V243" |
| 3 | 2022-05-18 23:34:57,2022-05-18 23:34:57,51.00467,4.30233,,31228.89,"000/017/P875S9T-20V241 JLU Stratoballon - DN5FCG Ubat=2.41V temp=-20C" |
| 4 | 2022-05-18 23:46:31,2022-05-18 23:46:31,51.02617,4.20800,,30812.84,"000/028/P888S8T-18V239" |
| 5 | 2022-05-18 23:47:54,2022-05-18 23:48:22,51.03200,4.17400,,30655.87,"000/027/P890S8T-19V239" |
| 6 | 2022-05-19 00:06:50,2022-05-19 00:06:50,51.04217,4.05217,,29542.44,"000/017/P910S9T-21V234" |
| 7 | 2022-05-19 00:21:38,2022-05-19 00:21:38,51.05250,3.94583,,28444.55,"000/009/P926S10T-23V231" |
| 8 | 2022-05-19 00:23:01,2022-05-19 00:23:01,51.05067,3.93200,43,,28150.72,"000/010/P927S10T-26V231 JLU Stratoballon - DN5FCG Ubat=2.31V temp=-26C" |
| 9 | 2022-05-19 00:51:15,2022-05-19 00:51:15,51.06317,3.77783,,26470.97,"000/018/P958S8T-26V225" |
| 10 | 2022-05-19 01:00:29,2022-05-19 01:03:43,51.05117,3.72383,,25803.15,"000/008/P971S9T-31V222 JLU Stratoballon - DN5FCG Ubat=2.22V temp=-31C" |
| 11 | 2022-05-19 01:13:25,2022-05-19 01:15:16,51.04133,3.70117,,25102.41,"000/007/P984S9T-29V219" |
| 12 | 2022-05-19 01:17:06,2022-05-19 01:17:06,51.05000,3.68750,44,,24814.38,"000/004/P986S9T-29V219" |
| 13 | 2022-05-19 01:20:47,2022-05-19 01:20:47,51.05467,3.67367,18,,24535.49,"000/005/P990S9T-30V217" |
| 14 | 2022-05-19 01:28:10,2022-05-19 01:28:10,51.06283,3.64133,,24383.70,"000/014/P998S9T-30V215" |
| 15 | 2022-05-19 01:31:24,2022-05-19 01:31:24,51.05850,3.60967,42,,24078.59,"000/011/P1001S9T-34V214 JLU Stratoballon - DN5FCG Ubat=2.14V temp=-34C" |
| 16 | 2022-05-19 01:33:15,2022-05-19 01:33:15,51.05683,3.60050,22,,23994.77,"000/011/P1003S9T-34V213 JLU Stratoballon - DN5FCG Ubat=2.13V temp=-34C" |
| 17 | 2022-05-19 01:35:06,2022-05-19 01:35:06,51.05633,3.59567,11,,23932.59,"000/007/P1005S9T-34V213 JLU Stratoballon - DN5FCG Ubat=2.13V temp=-34C" |
| 18 | 2022-05-19 01:39:16,2022-05-19 01:39:16,51.05383,3.57717,19,,23807.62,"000/009/P1010S9T-31V211" |
| 19 | 2022-05-19 01:42:30,2022-05-19 01:42:30,51.05333,3.57483,3,,23775.62,"000/007/P1013S10T-35V210 JLU Stratoballon - DN5FCG Ubat=2.10V temp=-35C" |
| 20 | 2022-05-19 01:44:49,2022-05-19 01:44:49,51.05550,3.56100,26,,23584.81,"000/007/P1016S10T-32V209" |
| 21 | 2022-05-19 01:46:13,2022-05-19 01:46:13,51.05783,3.55550,20,,23517.76,"000/007/P1017S10T-35V209 JLU Stratoballon - DN5FCG Ubat=2.09V temp=-35C" |
| 22 | 2022-05-19 01:48:32,2022-05-19 01:48:32,51.06300,3.54550,23,,23396.75,"000/007/P1020S10T-32V208" |
| 23 | 2022-05-19 01:55:29,2022-05-19 01:55:29,51.06417,3.54300,,23388.83,"000/013/P1027S11T-36V205 JLU Stratoballon - DN5FCG Ubat=2.05V temp=-36C" |
| 24 | 2022-05-19 01:55:57,2022-05-19 01:55:57,51.06800,3.50367,357,,23228.81,"000/012/P1028S11T-33V204" |
| 25 | 2022-05-19 01:57:48,2022-05-19 01:57:48,51.06633,3.49267,26,,23188.88,"000/014/P1030S11T-33V203" |
| 26 | 2022-05-19 02:02:54,2022-05-19 02:02:54,51.06267,3.45950,,23167.85,"000/013/P1035S11T-36V201 JLU Stratoballon - DN5FCG Ubat=2.01V temp=-36C" |
| 27 | 2022-05-19 02:04:45,2022-05-19 02:04:45,51.06050,3.44617,31,,23119.08,"000/016/P1037S11T-37V200 JLU Stratoballon - DN5FCG Ubat=2.00V temp=-37C" |
| 28 | 2022-05-19 02:07:05,2022-05-19 02:07:05,51.05683,3.43017,31,,23091.95,"000/016/P1040S11T-33V199" |
| 29 | 2022-05-19 02:21:54,2022-05-19 02:21:54,51.05217,3.35600,,23919.79,"000/001/P1056S11T-33V185" |

Abbildung 11: Sondendaten, roh

Auswertung der Sondendaten

Die von der RS41 gesendeten Daten geben im Zeitraum 01:20-04:20Uhr ein Bild über den Flugverlauf ab, da hier Position und Höhe dauerhaft bekannt sind. Die durchschnittliche Dauer zwischen 2 Paketen betrug in dieser Zeit 363 Sekunden.

Die Geschwindigkeit der Sonde ist in mehr als der Hälfte der Datensets gegeben. Der Kurs der Sonde wurde in keinem einzigen Datenpaket übermittelt.

Wie in Abbildung 10 zu sehen begann der Empfang der Datenpakete westlich von Zemst, BE. Danach flog die Sonde weiter in westlicher Richtung über Gent bis kurz nach Ruiselede, wo das Signal dann abgebrochen ist.

Zu Beginn des Fluges war die RS421 auf 31910m, ist dann im weiteren Verlauf auf 23092m abgesunken und, laut dem letzten Datenpaket dann aber wieder, auf 23920m gestiegen.

Die Geschwindigkeit der Sonde schwankte zwischen 3 bis 44km/h(357km/h).

Die Durchschnittsgeschwindigkeit nach

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \text{ Formel (1)}$$

belief sich auf $\bar{v}=25,64\text{km/h}$. Hierbei wurde der 357km/h Wert ausgelassen. Mit selbigem verändert sich die Durchschnittsgeschwindigkeit auf $\bar{v}=47,7\text{km/h}$.

Weiterhin wurde die Spannung der Batterien (U_{bat}) übermittelt. Diese ist im Aufzeichnungszeitraum von $2,43\text{V}$ auf $1,85\text{V}$ gefallen und hat sich über den Aufzeichnungszeitraum dauerhaft verringert.

Die Temperatur der RS41 hat im selben Zeitraum Werte zwischen -15° bis -37° angenommen. Die Durchschnittstemperatur nach Formel 1 waren $\bar{T}=-26^\circ$.

Die Struktur des Kommentars der übermittelten Datenpakete ist wie folgt:

"000/008/P971S9T-31V222 JLU Stratoballon – DN5FCG Ubat=2.22V temp=-31C"

Zum Beginn stehen die Rohdaten „000/008/P971S9T-31V222“.

Hierbei ist der Wert nach dem **V** die Batteriespannung, nach dem **T** die Temperatur, nach dem **S** folgt vermutlich die Anzahl der zum Sendezeitpunkt gesehenen GPS-Satelliten und nach dem **P** vermutlich um die Anzahl der Sendevorgänge.

Die Vermutung für den Zahlenwert hinter **P** beruht darauf, dass dieser sich ungefähr jede Minute um 1 erhöht, was mit der eingestellten Sendefrequenz der RS41 übereinstimmt. Wenn man nun diesen Wert durch 60s teilt müsste man die Zeitdauer seit Sendebeginn in Stunden erhalten.

Exemplarisch für den letzten Wert: $1056 \div 60\text{s} = 17,6\text{h} = 17\text{h}36\text{min}$.

Wenn man diesen nun vom letzten Sendezeitpunkt abzieht kommt man auf $10:46\text{Uhr}$. Dies ist ungefähr $45\text{min}-1\text{h}$ vor tatsächlichem Einschalten der Sonde vor den Flug.

Die Bedeutung der beiden dreistelligen, mit Schrägstrich getrennten, Werte ist unbekannt. Der erste von beiden ist zudem in allen Paketen unverändert 0.

Diskussion

Beim Sondenstart wurde weder von Herrn Senger mit einem Funkgerät, noch von mir, mit RTL-SDR-Dongle, ein Signal der Sonde empfangen. Über „aprs.fi“ konnte man diese zu diesem Zeitpunkt auch nicht verfolgen.

Erst ab ca. $1:20\text{Uhr}$ wurde das Signal der Sonde in Belgien empfangen und an „aprs.fi“ weitergeleitet. Hier haben die anderen Trackingsysteme bereits lange nicht mehr funktioniert. Um ca. $4:22\text{Uhr}$ brach dann auch diese Verbindung wieder ab.

Von der RS41 stammen somit die letzten Positionsdaten des Ballons.

Nichtsdestotrotz hat die RS41 außerhalb des o.g. Zeitraums keine nutzbaren Positionsdaten über den Ballonflug geliefert.

Dies ist vermutlich dem geschuldet, dass für APRS das 2m -Band ($144,800\text{MHz}$ in DE) deutlich weiterverbreitet ist, als das 70cm -Band. Dementsprechend gibt es nur wenige 70cm IGATES, die die von der Sonde gesendeten Daten ans Internet und somit an „aprs.fi“ weiterleiten können.

Weiterhin ist es aber auch nicht auszuschließen, dass die Sonde bis Belgien kein GPS-Signal hatte und deshalb nicht gesendet hat. Aufgrund von erfolgreichen Tests am Boden, ist dies aber unwahrscheinlich. Weiterhin wäre eine Fehlfunktion aufgrund des veränderten

Innenwiderstands der Antenne möglich, jedoch ist dies durch den erfolgreichen Sendevorgang in BE auch eher auszuschließen.

Zusammenfassend wurde die RS41 erfolgreich als APRS-Tracker umprogrammiert. Aufgrund der geringen Anzahl und Dauer an gelieferten Informationen ist sie aber nur bedingt geeignet als Tracker für einen Ballonflug zu dienen, zumindest wenn sie das einzige Trackingsystem ist.

Für zukünftige Versuche ist es zweckmäßig einen eigenen APRS-Tracker/IGATE zu bauen, bzw. dies mit Unterstützung von Amateurfunkern durchzuführen, da so potentiell die größte Schwäche der RS41, nämlich die geringe Verbreitung von 70-cm APRS, abgestellt werden kann.

Exkurs: versuchter Empfang und Dekodierung eines APRS-Signals mit RTL-SDR-Dongle und SDR#

Materialien

Für den Aufbau benötigt man einen USB-RTL-SDR-Dongle, ein SDR-Programm, sowie einen APRS-Dekodierer z.B. Direwolf, oder AFSK1200-Decoder und das Programm VBCable.

Theorie

Die Idee ist hier, dass mit dem Dongle das APRS-Signal empfangen und an das SDR weitergeleitet wird. Dieses leitet dann über die virtuellen Kabel von VBCable die empfangenen Signale zum Dekodierer, der diese dann dekodiert.

Installation

Zuerst wird der USB RTL-SDR-Dongle an den PC angeschlossen. Im Anschluss werden die nötigen Treiber installiert. Diese findet man, mit Installationsanleitungen, auf der Herstellerwebsite.

Daraufhin wird ein „Software-defined radio“ installiert. Hier wurde SDR# genutzt. Für die Installation ist auch hier wieder die Anleitung auf der Herstellerwebsite zu beachten.

Weiterhin installiert man einen APRS-Dekodierer und VBCable.

Nun wird SDR# gestartet und als Eingang der Dongle ausgewählt. Als Ausgang wählt man VBCable aus. Im Dekodierer wählt man nun VBCable als Eingang.

Tests

Das SONDENSIGNAL wurde empfangen und in SDR# angezeigt, keiner der verwendeten Dekodierer konnte das Signal jedoch dekodieren.

Daraufhin wurde ein Signalsample aus dem Internet in den Kreislauf Mediaplayer > VBCable > Dekodierer, bei gleichen Einstellungen eingespeist. Dieses wurde erfolgreich dekodiert.

Fazit

Aufgrund des erfolgreichen Sendevorgangs der RS41 während des Ballonfluges und der erfolgreichen Dekodierung des Samples, ist die Vermutung, dass die Einstellungen in SDR# ein Dekodieren verhindert haben, oder dass der RTL-SDR-Dongle die Fehlerquelle war.

Liste der verwendeten Adapter und dazugehöriger Treiber/Software

ST-Link V2 Adapter:

https://www.amazon.de/gp/product/B0722WMDFQ/ref=ppx_yo_dt_b_asin_title_o03_s00?ie=UTF8&psc=1

USB-TTL-Wandler:

https://www.amazon.de/gp/product/B07TFSZ3ZP/ref=ppx_yo_dt_b_asin_title_o03_s00?ie=UTF8&psc=1

ST-Link V2 Treiber: <https://www.st.com/en/development-tools/stsw-link009.html>

ST-Link-Utility Software: <https://www.st.com/en/development-tools/stsw-link004.html>

USB-TTL-Treiber (Typ CP2102): <https://www.silabs.com/developers/usb-to-uart-bridge-vcp-drivers>

PuTTY: <https://www.putty.org/>

OM3BC-OS: <http://www.om3bc.com/docs/rs41/rtty.hex>

RTL-SDR-Dongle:

https://www.amazon.de/gp/product/B009U7WZCA/ref=ppx_yo_dt_b_asin_title_o05_s00?ie=UTF8&psc=1

RTL-SDR-Dongle Treiber& Anleitung: <https://www.nooelec.com/store/sdr/sdr-receivers/nedr-mini-2.html>

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

Direwolf: <https://github.com/wb2osz/direwolf/releases>

AFSK1200: <https://sourceforge.net/projects/qtmm/>

[abgerufen am 11.06.2022].

Quellen- und Abbildungsverzeichnis

Quellen

Kocis, Attila (2018): Umbau einer Vaisala RS41 Wettersonde [online]

<https://www.dl1nux.de/umbau-einer-vaisala-rs41-wettersonde/> [abgerufen am 11.06.2022]

Wikipedia (2021): Automatic Packet Reporting System [online]

https://de.wikipedia.org/wiki/Automatic_Packet_Reporting_System [abgerufen am 11.06.2022]

Abbildungsquellen

Abbildung 1: RS41 GPS-Empfänger

Quelle: In Anlehnung an „Nun ein wenig Information zu der Sonde RS41-SG – QSL.net“ [online]

https://www.qsl.net/oe1ffs/Sondenpage/RS41/IMG_0007.JPG [abgerufen am 12.06.2022]

Abbildung 2: RS41 Senderchip und Antenne

Quelle: In Anlehnung an „Nun ein wenig Information zu der Sonde RS41-SG – QSL.net“ [online]
https://www.qsl.net/oe1ffs/Sondenpage/RS41/IMG_0008.JPG [abgerufen am 12.06.2022]

Abbildung 3: Pinout USB-TTL

Quelle: Egger, Alexander (2020): Radiosonde RS41 Firmware Flash [online] https://www.aeq-web.com/media/Vaisala_RS41_ST-Link_Pinout-030615.jpg [abgerufen am 12.06.2022]

Abbildung 4: Fehlermeldung ST-Link Utility

Quelle: Kocis, Attila (2018): Umbau einer Vaisala RS41 Wettersonde [online]
<https://www.dl1nux.de/wp-content/uploads/2018/12/utility1.png> [abgerufen am 12.06.2022]

Abbildung 5: Aufhebung Schreibschutz

Quelle: Kocis, Attila (2018): Umbau einer Vaisala RS41 Wettersonde [online]
<https://www.dl1nux.de/wp-content/uploads/2018/12/utility2b.png> [abgerufen am 12.06.2022]

Abbildung 6: Reiter mit neuem OS

Quelle: Kocis, Attila (2018): Umbau einer Vaisala RS41 Wettersonde [online]
<https://www.dl1nux.de/wp-content/uploads/2018/12/utility3b.png> [abgerufen am 12.06.2022]

Abbildung 7: Pinout USB-TTL

Quelle: Egger, Alexander (2020): Radiosonde RS41 Firmware Flash [online] https://www.aeq-web.com/media/Vaisala_RS41_Serial_Pinout-165209.jpg [abgerufen am 12.06.2022]

Abbildung 8: PuTTY Verbindung aufbauen

Quelle: Kocis, Attila (2018): Umbau einer Vaisala RS41 Wettersonde [online]
<https://www.dl1nux.de/wp-content/uploads/2018/12/putty1b.png> [abgerufen am 12.06.2022]

Abbildung 9: PuTTY-Konsole

Quelle: Kocis, Attila (2018): Umbau einer Vaisala RS41 Wettersonde [online]
<https://www.dl1nux.de/wp-content/uploads/2018/12/putty2.png> [abgerufen am 12.06.2022]

Abbildung 10: RS41-Flugverlauf

Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 11: Sondendaten, roh

Quelle: Eigene Darstellung