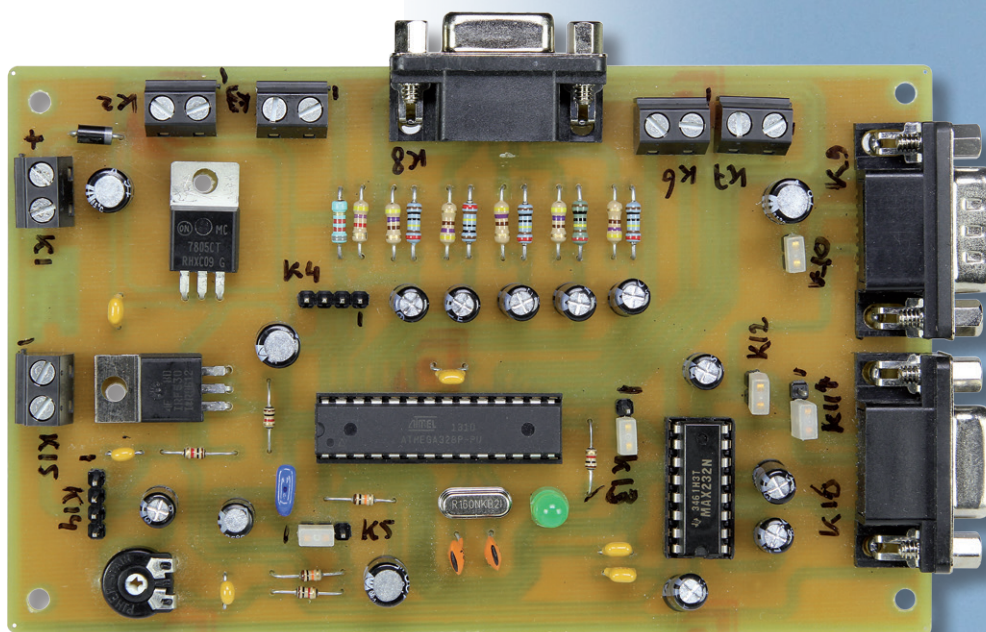


Hoch über Wolke 7

Universeller Datensammler im Wetterballon

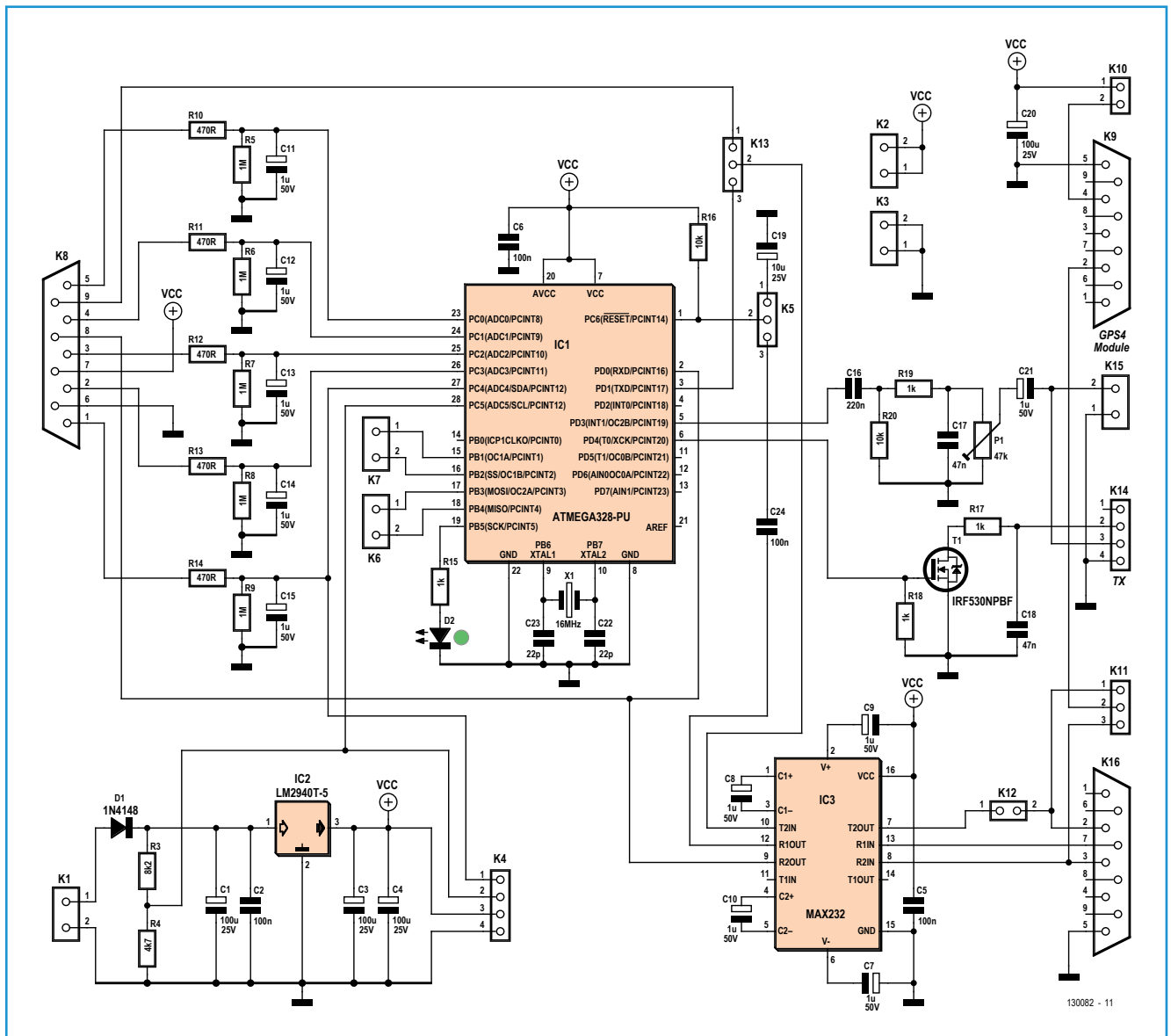
Die Übertragung von Daten aus einer Kapsel, die an einem Wetterballon baumelt, ist nicht einfach und benötigt meist hoch entwickeltes und deshalb teures Equipment. Zum Glück gibt es günstige Alternativen. Die hier beschriebene Schaltung kann in Zusammenarbeit mit einem Standard-Funkgerät und einem GPS-Empfänger bis zu sechs analoge Signale und Positionsdaten vom Ballon zu einer Bodenstation übertragen. Keine blanke Theorie - dieses Projekt war schon zweimal in der Luft!



Von **Anthony Le Cren**
(Frankreich)

Eigenschaften

- Arduino-basierte Software
- Fünf analoge Eingänge auf dem 9-poligen Sub-D-Verbinder (der sechste Eingang überwacht die Batteriespannung)
- 9-poliger Sub-D-Verbinder für GPS (NMEA0183A auf 4800 Baud)
- RS232-Port für In-circuit-Programmierung des Mikrocontrollers (mit Arduino Bootloader)
- AFSK- und PTT-Ausgang zum Funkgerät
- Benutzt APRS/AX25-Protokoll (Packet Radio)
- Vier freie Ein/Ausgänge
- 5 V geregelte Spannungsversorgung
- Kompatibel mit Byonics GPS4
- Kompatibel mit Baofeng UV-3R oder UV-5R Two-Way UHF/VHF Radio



Was ist an Board?

Das System in **Bild 1** ist mit einem Mikrocontroller ATmega328P aufgebaut, der mit 16 MHz getaktet wird. Die Software basiert auf dem Open-Source-Projekt Trackuino [1]. Auch wenn etliche Sensoren mit dem Board verbunden werden können, bleibt viel Platz für Erweiterungen. Zunächst betrachten wir die verschiedenen Teile des Projekts, mit Blick auf den Schaltplan in Bild 1 und den Prototyp des Autors, der in **Bild 2** und **Bild 3** dargestellt ist.

Analogeingänge

Der neunpolige Sub-D-Verbinder K8, der oben in Bild 2 zu erkennen ist, erlaubt den

Anschluss von fünf analogen Sensoren für Temperatur, Druck und so weiter. Die Signale durchlaufen Tiefpassfilter und werden dann vom Analog/Digital-Wandler (ADC) im Controller digitalisiert und an Port C zugänglich gemacht. Der sechste ADC-Eingang misst die 9 V-Batteriespannung, die von Spannungsteiler R3/R4 auf einen sicheren Wert für den Controller reduziert wird.

GPS

Das GPS-Gerät ist mit K9 verbunden (Bild 2, D-Sub-Verbinder oben rechts). Sein Ausgangssignal ist verfügbar an Pin 2 von K11. Da es RS232-kompatibel ist, muss es, bevor

Bild 1. Schaltung des Datensammlers für den Wetterballon.

es zur CPU gelangt, erst IC3 durchlaufen, einen klassischen MAX232. Sinn und Zweck von K11 ist es, das GPS-Signal an den Mikrocontroller (Position 2-3) oder zum TX-Pin K16 (Position 1-2) zu leiten. Dies macht es möglich, die NMEA0183A-„Sätze“ mit einem konventionellen seriellen Terminal zu lesen. In diesem Fall vergessen Sie nicht, Jumper K12 zu entfernen, damit das TX2-Ausgangssignal von IC3 nicht in Konflikt mit dem GPS-Signal geraten kann.

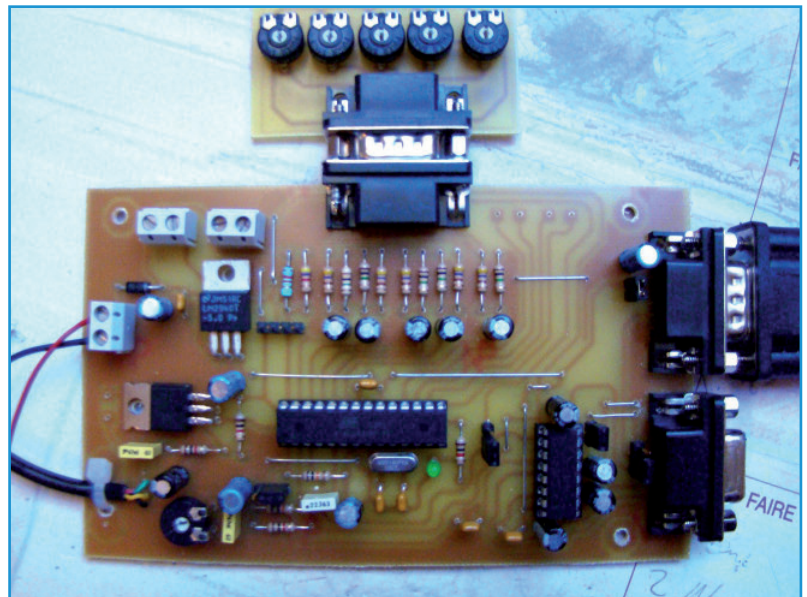
Das GPS-Gerät erhält seine Betriebsspannung von 5 V über Pin 4 von K9. Die Versorgungsspannung kann unterbrochen werden, wenn man Jumper K10 zieht, was nützlich ist, wenn ein PC mit einem Simulator wie SIM GPS anstelle eines echten GPS verwendet wird. Ein GPS-Simulator ermöglicht die Entwicklung des Programms, und Sie können den korrekten Betrieb des Systems vor dem ersten „heißen“ Start überprüfen. Board und PC werden mit einem Standard-Null-Modem-Kabel (Crossover-Kabel) verbunden.

UKW-Funkgerät

Kommen wir zum Packet Radio Interface. Der Autor schlägt ein Dual-Band-Amateurfunkgerät vom Typ Baofeng UV-5R (Bild 3, links) oder UV-3R vor. Beide besitzen einen speziellen doppelten Klinkenstecker (Bild 4), von dem nur drei Signale an K14 genutzt werden: PTT (Push to talk) (Pin 2), MIC+ (Pin 3) und GND (Pin 4).

Der Sender überträgt Daten in Frequency-Shift-Keying-Modulation (FSK). Dabei wird ein Audiosignal mit zwei abwechselnden Frequenzen (1200 Hz und 2200 Hz) gesendet, um einen binären Wert zu übertragen. Da der Controller keinen Digital/Analog-Wandler (DAC) besitzt, verwendet er stattdessen ein pulsweitenmoduliertes Signal (PWM). Ein Bandpass-Filter, bestehend aus einem Hochpass erster Ordnung und einem Tiefpass in Reihe, transformiert dieses PWM- in ein quasi-sinusförmiges Signal. Den Ausgangspegel des Signals kann man mit Poti P1 einstellen, bevor es dem MIC-Eingang des UKW-Senders zugeführt wird.

Der (virtuelle) PTT-Schalter aktiviert den Sendebetrieb. Da der PTT-Eingang zugänglich ist, kann der Mikrocontroller diesen Schalter leicht „betätigen“. Dies geschieht über Port PD4 und einen MOS-Transistor IRF530, der einen Open-Drain-Ausgang darstellt. Diese Anord-



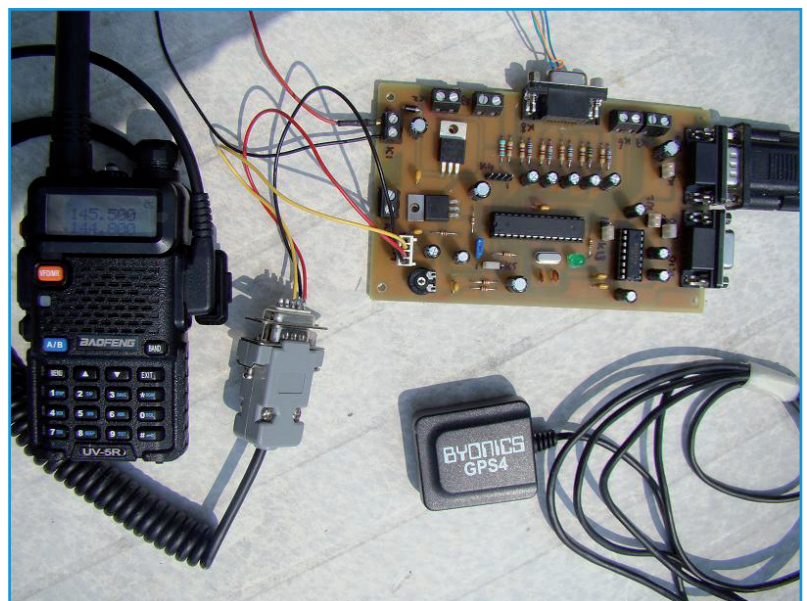
nung sollte mit den meisten UKW-Funkgeräten kompatibel sein. LED D2 leuchtet, wenn PTT High ist und zeigt damit, dass eine Übertragung stattfindet.

Bild 2. Die bestückte Platine, die vom Autor verwendet wurde.

Power Supply

Das Netzteil weist ein traditionelles Design auf. Allerdings ist der hier gezeigte 7805-Spannungsregler (IC2) wegen des hohen Spannungsverlusts von etwa 3 V nicht empfehlenswert. Zusammen mit dem Spannungsabfall an Diode D1 wäre dann eine

Bild 3. Kompletter Aufbau des Systems mit Datensammler-Elektronik, Amateurfunkgerät und GPS.



Versorgung von wenigstens 9 V erforderlich. Mit einem Low-Dropout-Regler (LDO) wie dem LM2940T-5 ist es möglich, das Board mit 6 V (Minimum) zu versorgen. Die Differenz scheint nicht so dramatisch, allerdings sollte man berücksichtigen, dass die Spannung des Batteriepacks bei den eisigen Temperaturen in großen Höhen deutlich absinken kann. Um sicher zu gehen, sollte für die Dauer des Fluges ein Batteriepack von mindestens 8...9 V verwendet werden. Dies kann zum Beispiel durch sechs 1,5 V-Batterien in Reihe geschehen. Der gesamte Stromverbrauch des Boards einschließlich der GPS-Einheit liegt bei unter 60 mA.

Programmierung des ATmega

Dank K16 kann der ATmega-Mikrocontroller programmiert werden, ohne ihn von der Platine holen zu müssen. Verbinden Sie das Board über ein Eins-zu-eins-RS232-Kabel (ungekreuzt) mit einer RS232-Buchse am PC (ihr PC hat doch noch eine, nicht wahr?). IC3, der Klassiker MAX232, passt die RS232-Signalpegel an die des Controllers an und umgekehrt. TX- und RX-Signale liegen an den Pins 2 und 3 des Controllers. An Pinheader K5 können Sie die Quelle des Reset-Signals für den Controller festlegen: Ein Jumper auf 2-3 führt den Reset vom PC über die RTS-Leitung über K16 zum Controller, so dass der Bootloader startet (man muss die Arduino-Entwicklungsumgebung verwenden). Die Firmware ist auf der Projekt-Seite bei Elektor.LABS [2] verfügbar, zusammen mit dem Rest der Dateien. Sobald der Controller programmiert ist, stecken Sie den Jumper auf die Pins 1-2, um ein versehentliches Reset zu vermeiden. Die GPS-Einheit, die die gleiche serielle Schnittstelle nutzt, muss zur Programmierung entfernt werden. Dies können Sie tatsächlich tun oder den zuständigen Jumper auf K11 ziehen. **Tabelle 1** zeigt alle möglichen Jumper-Einstellungen.

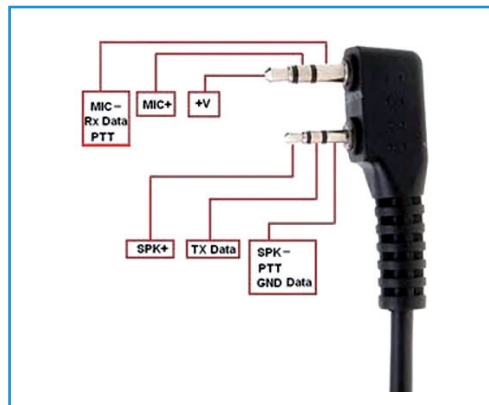


Bild 4. Doppelter Klinkenstecker des Funkgeräts Baofeng UV-5R VHF. Nur drei der sechs Signale werden benutzt.

Erweiterungen

Falls sich weitere Schaltungen an Bord der Kapsel befinden, können diese über K2 und K3 mit 5 V versorgt werden. Die Erweiterungs-Verbinders K6 und K7 können zum Schalten von irgendwelchen Dingen während des Fluges verwendet werden. Die Firmware muss natürlich angepasst werden, wenn Sie solche Erweiterungen einbauen möchten. Verbinders K4 ist für Sensoren gedacht, die über das I²C-Protokoll mit dem Mikrocontroller (Ports PC4 und PC5) kommunizieren möchten. Dies kostet Sie jedoch die beiden analogen Eingänge (Kanäle 4 und 5).

Schließlich gibt es noch Verbinders K13. Mit einem Jumper auf den Pins 1-2 realisieren Sie einen seriellen Ausgang auf Pin 9 des analogen Erweiterungsports K8. Ein serieller Eingang steht an Pin 8 an diesem Verbinders zur Verfügung. Sie können mit dem PC über K8 kommunizieren. Wenn Sie den Jumper dagegen auf die Pins 2-3 stecken, ist K8 direkt mit dem Mikrocontroller verbunden. Damit steht ein serieller Kanal zu einem externen Peripheriegerät zur Verfügung.

Zum Fliegen geboren

Die Herstellung und Bestückung des Boards sollte Ihnen keine ernsthaften Probleme

Tabelle 1. Jumper-Einstellungen

	Controllerprogrammierung mit Arduino IDE	Simulation starten	GPS4 Ausgang	Ballonstart
K5	2-3	1-2	1-2	1-2
K13	2-3	2-3	2-3	2-3
K12	geschlossen	geschlossen	offen	geschlossen
K11	offen	2-3	1-2	2-3
K10	unwichtig	offen	geschlossen	geschlossen

bereiten. Gerber-Dateien, PDFs und Design-Spark-CAD-Files sind bei Elektor.LABS verfügbar [2]. Wie üblich, löten Sie sorgfältig und bringen Sie die Komponenten in der Reihenfolge von klein nach groß auf die Platine. Alle Bauteile sind auf der Oberseite der Leiterplatte angebracht.

Die Platine wurde für ein GPS4-Modul von Byonics ausgelegt, wie es in Bild 3 unten rechts zu sehen ist. Wenn Sie eine andere GPS-Einheit verwenden möchten, müssen Sie eventuell die Anschlüsse anpassen. Stellen Sie sicher, dass das Ausgangssignal des GPS RS232-kompatibel ist und dass die Baudrate 4800 bit/s beträgt. Das gleiche gilt für den UKW-Sender. Wenn Sie ein anderes Modell als Baofeng UV-5R oder UV-3R einsetzen wollen, kann es nötig sein, die Verbindungen anzupassen. Es ist wichtig, dass Ihr Sender legal ist und einen Eingang zur PTT-Steuerung und einen Audio-Eingang (Mikrofon) für das modulierte Signal besitzt. Typischerweise sind dies Klinkenstecker/buchsen. Sie können den „Radio“-Ausgang des Boards mit einem einfachen Walkie-Talkie oder mit einem 433 MHz-Modul (mit Analogeingang) testen.

Analogensensoren

Die fünf Eingänge an Verbinder K8 sind analog und akzeptieren Spannungen im Bereich 0...5 V. Der ADC des Controllers ist im 8-bit-Modus konfiguriert und erzeugt daher Ausgangswerte im Bereich 0...255.

Drucksensor

Der Drucksensor ist einfach anzuschließen. Verbinden Sie die 5-V-Versorgungsspannung und den Ausgang des Sensors mit einem der analogen Eingänge auf K8. Dieser Sensor ist sehr einfach zu benutzen, aber ab einer bestimmten Höhe, wenn der Luftdruck unter 100 mbar fällt, ist er nicht mehr empfindlich genug. Sein Ausgangswert bleibt dann konstant anstatt zu sinken, während der Ballon weiter steigt.

Temperatursensor

Es ist immer interessant, die Außentemperatur und die Temperatur im Inneren der Kapsel zu messen (**Bild 5**). Dies kann leicht mit einem einfachen Spannungsteiler geschehen, wobei einer der beiden Widerstände ein NTC-Typ (Negative Temperature Coefficient) ist. Diese Widerstände werden auch als Thermistoren

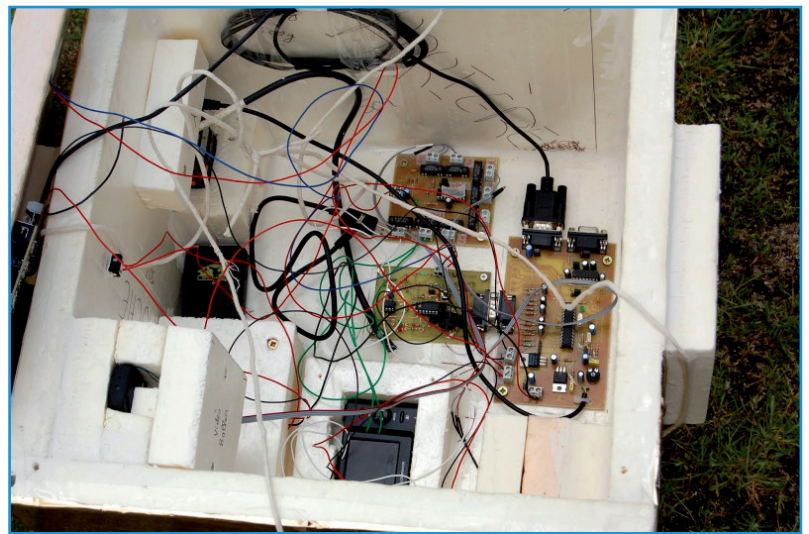


Bild 5.
Ein Blick ins Innere der Kapsel: ausreichend Raum für alles!

bezeichnet. Die Widerstandswerte sind nicht kritisch, solange der Teiler ein Signal liefert, das gut den interessanten Bereich abdeckt. Der Autor hat gute Ergebnisse mit einem 10-k Ω -NTC in Reihe mit einem 36-k Ω -Festwiderstand erzielt.

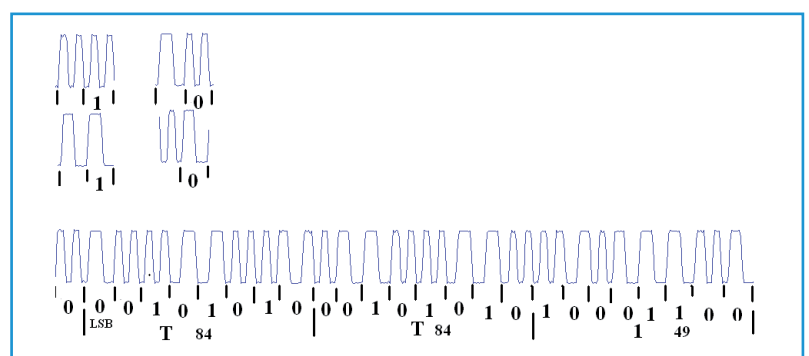
Software

Die Software der Wetterkapsel ist ähnlich dem siebenschichtigen OSI-Modell aufgebaut. Obwohl es viele Unterschiede gibt, unterscheiden wir mehrere Schichten: Applikation \rightarrow APRS \rightarrow AX25 \rightarrow AFSK-Modulation \rightarrow UKW-Übertragung.

Die Anwendungsschicht entspricht den analogen Eingängen, der Akquise und der Decodierung der GPS NMEA0183A-Daten. Die erhaltenen Daten sind in einen Rahmen zu setzen, in Übereinstimmung mit dem Automatic-Packet-Reporting-System-Protokoll (APRS) [3]. Als nächstes wird ein Header entsprechend dem AX25-Protokoll [4] dem APRS-Rahmen hinzugefügt.

Aber das ist noch nicht alles. Die Bits des

Bild 6.
Beispiel einer AFSK-Übertragung.



Datenblocks müssen auf einen Träger moduliert werden, um die Daten mit dem UKW-Sender übertragen zu können. Dies ist Aufgabe des Audio-Frequency-Shift-Keying-Modulators (AFSK). Er verwandelt die AX25-ASCII-Zeichenkette in eine Reihe von Ton-Bursts mit Frequenzen von 1200 Hz und 2200 Hz bei einer Geschwindigkeit von 1200 bits/s. Wenn sich die Frequenz zwischen zwei aufeinanderfolgenden Bursts ändert, wird eine logische Null übertragen. Bleibt im Gegenteil die Frequenz gleich, entspricht dies einer logischen Eins. **Bild 6** zeigt ein Beispiel, wie die Übertragung durchgeführt wird.

Die Software ist kompatibel mit der aktuellen Arduino-Version (1.0.5). Achten Sie darauf, das Rufzeichen des Ballons in der Datei „config.h“ einzutragen:

```
#define S_CALLSIGN "F6XXX"
```

Der einfachste Weg, um ein gültiges Rufzeichen zu erhalten, ist es, einen Amateurfunk-Club in Ihrer Nähe [5] zu kontaktieren. Der Code, der das AX25-Protokoll implementiert, ist in der Datei „aprs.cpp“ zu finden. Die Funktion `ax25_send_string` erlaubt es Ihnen, den AX25-Rahmen vorzubereiten, bevor sie über die Funktion `ax25_flush_frame` senden. Nach dem Senden des Rahmens können Sie Ihren eigenen Code einfügen, um die Geräte zu steuern, die an K6 und K7 angeschlossen sind.

Die Empfangskette

Der Empfang eines AX25-Frames aus dem Ballon erfolgt mit einem entsprechend abgestimmten VHF-UHF-Empfänger oder -Scanner. Verbindet man den Audio-Ausgang des Scanners mit dem Line-Audio-Eingang des PCs, kann die Decodierung des Rahmens vom Rechner vorgenommen werden.

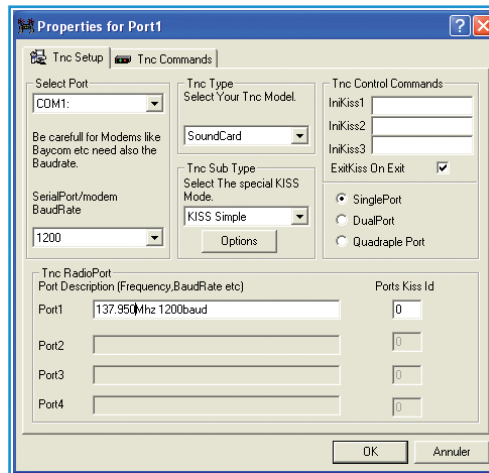


Bild 7. Port-Konfiguration in AGWPE.

Die folgende Software muss installiert werden:

- AGWPE: Framedekodierung;
- AGWTrackerXP: Frame-Anzeige und die grobe Lage des Ballons auf einer Karte;
- Packet Engine: Anzeige der Messdaten.

Diese drei Programme können kostenlos bei [6] heruntergeladen werden.

Nach der Installation von AGWPE starten Sie das Programm und konfigurieren Sie einen Kommunikations-Port wie in **Bild 7**. Jetzt installieren Sie AGWTrackerXP. Geben Sie das Rufzeichen als Empfangsstation ein. Eine TCP/IP-Verbindung sollte zwischen AGWPE und AGWTrackerXP automatisch erstellt werden. Die letzte zu installierende Software ist Packet Engine. Dieses Tool speichert die empfangenen Daten in einer Textdatei zur weiteren Analyse mit einem Tabellenkalkulationsprogramm. Ein Screenshot ist in **Bild 8** zu sehen. Werfen wir einen Blick auf einen dieser langen Strings. AX25-Header und APRS-Rahmen (mit den Angaben zur Stunde, Breite, Länge und so weiter) sind leicht zu identifizieren. Der AX25-Header endet mit einem vertikalen schwarzen Strich (|), der APRS-Frame direkt nach dem Wort „Ballon“ und zwei Strichen (||).

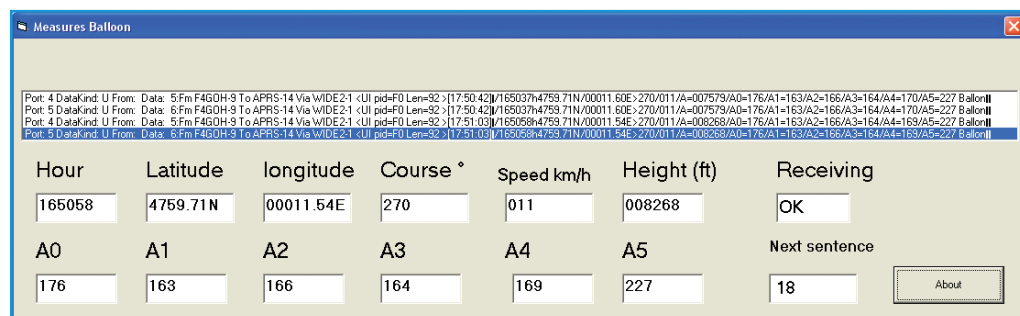
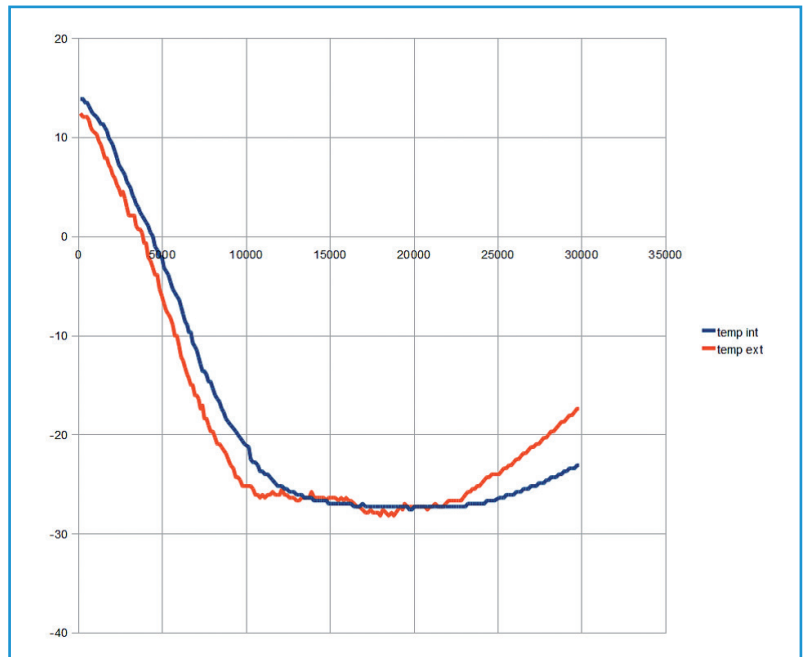


Bild 8. Screenshot der Packet Engine mit einigen empfangenen Daten.

I don't wanna lose you

Es sollte nicht allzu schwierig sein, den Ballon während des größten Teils des Fluges zu verfolgen. Allerdings passiert es häufig, dass man das Funksignal verliert, wenn der Ballon unterhalb von 2.000 m fällt.

Um die Kapsel so sicher wie möglich bergen zu können, ist es ratsam, ein GSM/GPRS/GPS-Tracker-Modul der Kapsel hinzuzufügen. Ein solches Gerät wiegt nur wenig, ist mit einer SIM-Karte ausgestattet und sendet Text-Nachrichten mit dem Breiten- und Längengrad zu einem vordefinierten Smartphone. GSM-Repeater-Antennen richten ihren Beam üblicherweise leicht abwärts zum Boden, so dass der Tracker das Netz in Höhen von mehr als etwa 700 m verliert. Glücklicherweise wacht es wieder auf, sobald es ein Netz detektiert, wenn die Kapsel in der Nähe wieder zu Boden sinkt und schließlich landet.



Auch das noch...

Nach der Luftverkehrsordnung §16a ist bei Inanspruchnahme des kontrollierten (deutschen) Luftraums von der zuständigen Flugverkehrskontrollstelle eine Flugverkehrskontrollfreigabe einzuholen, wenn es sich um

einen Aufstieg von unbemannten Freiballonen (insbesondere Wetterballonen) mit einer Gesamtmasse von Ballonhülle und Ballast von mehr als 0,5 kg handelt. Eine solche Genehmigung erhält man von der DFS (Deutsche

Bild 9. Die Temperaturwerte, die während des letzten Testflugs ermittelt wurden, lagen gut 30° C höher als erwartet. Der Messwert wurde offensichtlich von der „heißen“ Kapsel beeinflusst.

Checkliste

Vorbereitung

- Auf dem PC wird die Software gestartet in der Reihenfolge:
 - AGWPE
 - AGWTrackerXP
 - Packet Engine
- UKW-Empfänger einschalten und auf Sender abstimmen
- UKW-Empfänger jetzt NICHT mit dem PC verbinden

GPS-Simulation mit SimGPS

- Jumperstellungen auf der Platine überprüfen
- Verbinder K9 mit einem Nullmodemkabel (weiblicher Sub-D-Verbinder auf beiden Seiten) am PC anschließen
- NMEA-Simulator starten, Frames werden gesendet
- UKW-Funkgerät einschalten
- Stromversorgung des Boards 8...9 V einschalten
- LED D2 leuchtet auf, wenn ein Frame gesendet wird

Empfang

- Eintreffende Frames werden vom Receiver empfangen
- In diesem Fall Receiver mit dem PC verbinden
- Der Frame sollte im AGWTrackerXP erscheinen
- Um den Ballon auf der Karte zu sehen, rechts auf sein Rufzeichen klicken, danach auf „Locate“ und „Show on map“ klicken.

Flugsicherung [8]). Diese benötigt Angaben über den geplanten Starttermin, den Standort, geplante Dauer des Experiments, Höhe, Gewicht und Farbgebung des Gespanns. Der Antrag muss mindestens 14 Tage im Voraus gestellt werden. Es kann auch nicht schaden, wenn Sie das zuständige Ordnungsamt vorab informieren.

Helium ist sehr teuer, weshalb viele Enthusiasten Heißluft- oder Solar-Ballons verwenden. Im Gegensatz zu mit Helium gefüllten Modellen neigen sie aber nicht zur Explosion und können deshalb leicht Hunderte von Kilometern zurücklegen (Tschö, Elektronik...).

Es gibt natürlich viele Möglichkeiten, Videos zu machen und Schnapshots zu schießen. Der Autor verwendet zwei Arten von Kameras – eine HD-Kamera für Bilder sehr guter Qualität und eine billige kleine „Keychain spy“-Kamera, die brauchbare Ergebnisse bei moderaten Kosten liefert.

Ein Beispiel für „realistische“ Messergebnisse: Die minimal registrierte Außentemperatur lag bei etwa -28 °C in einer Höhe von 15.000 m , obwohl um die -56 °C bei 10.000 m Höhe erwartet wurden. Der Sensor muss durch die Wärme aus der Ballon-Kapsel beeinflusst worden sein. Wenn der Ballon in die Stratosphäre gelangt, steigt die Temperatur wieder. Die Temperatur im Inneren der Kapsel folgte dieser Tendenz. **Bild 9** zeigt ein Diagramm mit diesen Ergebnissen.

Nimmt man die gemessene Höhe der GPS-Einheit, kann man aus **Bild 10** einen Aufstieg des Ballons zuerst in einer sehr linear ersten Phase mit einer Geschwindigkeit von $4\text{...}6\text{ m/s}$ feststellen, abhängig vom Volumen des Heliums im Ballon. Der Ballon platzte bei etwa 30.000 m , was den sehr schnellen Abstieg erklärt.

Das in diesem Artikel beschriebene System wurde an einem College entwickelt. Der Autor hatte mit seinen Studenten viel Spaß beim Aufbau des Systems. Offensichtlich erhöhte sich der Druck auf alle Beteiligten, je näher der Starttermin rückte. Sehr hilfreich ist eine sorgfältig vorbereitete, mehrere Male zu durchlaufende Checkliste. Wir wollen ja keinen Ballon verlieren!

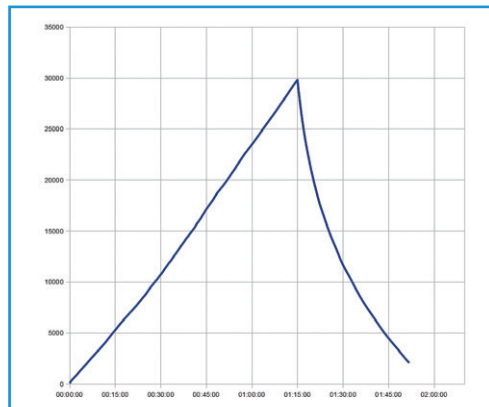


Bild 10. Die Höhe wird vom GPS registriert. Der Ballon platzte, wie man deutlich sehen kann, in einer Höhe von 30 km .

Sobald der Ballon gestartet ist, macht es viel Freude, seine Fahrt in Echtzeit zu beobachten und die nach unten gesendeten Daten es decodieren. Dann beginnt man (je nach Wettervorsage) allmählich, sich Gedanken über die Landeposition zu machen. Wenn der Ballon explodiert, beginnt die Jagd auf die Kapsel. Obwohl es leicht ist, die Kapsel mit einem Tracker lokalisieren, kann sie doch hoch in einem Baum oder auch im Wasser gelandet sein. Sobald die Kapsel sicher geborgen ist, ist es großartig, die Bilder und Videos vom Flug zu sehen. Eine herausragende Reihe von Bildern wurde bereits in Elektor.POST 20 vorgestellt. Falls Sie das verpasst haben, können Sie die Bilder unter [7] finden. Das letzte Bild zeigt die komplette Route des Ballons vom Start an in Le Mans (Frankreich).

(130082)

Weblinks

- [1] www.trackuino.org
- [2] www.elektor-labs.com/130082
- [3] http://en.wikipedia.org/wiki/Automatic_Packet_Reporting_System
- [4] www.tapr.org/pub_ax25.html
- [5] http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_amateur_radio_organizations
- [6] www.sv2agw.com/downloads/default.htm
- [7] <http://bit.ly/17x8dlm>
- [8] www.dfs.de/dfs_homepage/de/