

AG Elektronik+Basteln

Abschließender Projektbericht Schuljahr 2012/2013



up, up and away...



Inhalt

Vorwort	3
Bau einer Morsetaste mit Tongenerator	4
Funkkontakt mit dem Liborius-Gymnasium in Dessau	4
Die Bodenstation	5
Die Ballon-Nutzlast	5
Kalibration	8
Auswertung	9
Ballon und Fallschirm	10
Bestimmungen	11
Der Start	12
Auswertung der Flugdaten	16
Verbleib der Nutzlast	18
Fazit	19
Ausblick auf zukünftige Projekte	20
Impressum	20

Vorwort

Liebe Eltern,
liebe Lehrer,
liebe Förderer,

im Herbst letzten Jahres startete das neue Projekt der AG Elektronik+Basteln.
Thema des Projektes für dieses Schuljahr war die drahtlose Kommunikation.
Trotz der zahlreichen Ausfälle wegen der Bauarbeiten am Antoniuskolleg, konnte das Projekt zum Abschluss gebracht werden.

Als „Abschlussarbeit“ wurde von den Schülern am 13. Juli 2013 ein Stratosphärenballon mit selbstgebauter Nutzlast gestartet, welcher Daten über Temperatur und Luftdruck aus großer Höhe zur Erde gesendet hat. Mittlerweile ist auch die Auswertung des Fluges abgeschlossen und in diesem Bericht dargestellt.

Unser Dank gilt den Förderern und Unterstützern ohne welche dieses Projekt nicht durchführbar gewesen wäre:

- Dem Antoniuskolleg Neunkirchen-Seelscheid, welches mit dem AK-Tec einen gut ausgestatteten "Hackspace" für die erforderlichen Arbeiten zur Verfügung gestellt hat.
- Den Eltern der Schüler, für die Hol- und Bringdienste, die finanzielle Unterstützung, Materialspenden und Näharbeiten (Fallschirm!).
- Der Fa. GEFA-Flug, Aachen, für die Materialspenden.
- Herrn Jens Home, Lehrer am Liborius-Gymnasium Dessau und Leiter der dortigen Amateurfunk-AG, für den interessanten Gedankenaustausch und die Ermöglichung des Funkkontakts.
- Der Fa. Stommel-Haus, Eischeid, welche Startplatz, Räumlichkeiten zur Befüllung des Ballons und die Stromversorgung der Empfangsanlagen zur Verfügung gestellt hat.
- Herrn Miltner von der Deutschen Flugsicherung (DFS) und Herrn Hofmeister von der Bundesnetzagentur (BNetzA) für die geduldige Beratung.
- Den engagierten Mitgliedern des Arbeitskreises Amateurfunk und Telekommunikation in der Schule (AATiS e. V.) für die tollen Projektideen und die Zusammenstellung der Morsetasten-Bausätze.
- Dem Deutschen Amateur Radioclub (DARC e. V.), Ortsverband Eitorf und Distrikt Köln Aachen, als Träger des Projektes für die ideelle, technische, personelle und finanzielle Unterstützung sowie die Übernahme des Versicherungsschutzes.

Werner Dreckmann, im August 2013

Dieses Projekt wurde durchgeführt von:

Nik Henselowski
Joshua Holfert
Timo Lange
Leon Rahman
Johannes Schumacher

Leitung: Werner Dreckmann

1. Bau einer Morsetaste mit Tongenerator

Um ein Gefühl für den Umgang mit Lötcolben und Elektronikbauteilen zu bekommen, wurde zunächst eine kleine Schaltung aufgebaut. Zum Thema „Funk“ passte der Aufbau einer Morsetaste mit eingebautem Tongenerator. Ein Bausatz des AATiS e.V., der schon in tausenden von Exemplaren von Schülern erfolgreich aufgebaut wurde. Die hierbei verwendete Schaltung soll in abgewandelter Form auch in der Sensorbaugruppe für den Wetterballon zum Einsatz kommen.

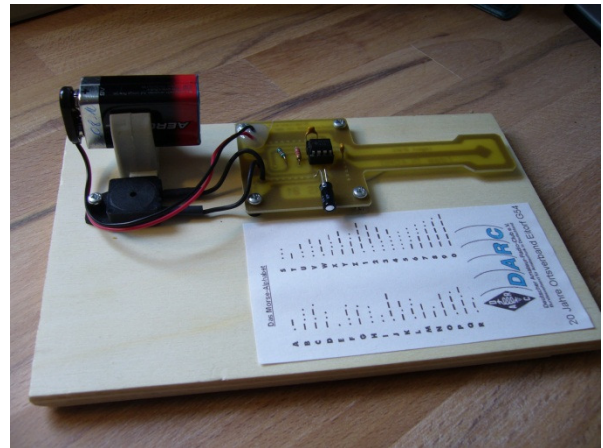


Abbildung 1: Die fertige Morsetaste

2. Funkkontakt mit dem Liborius-Gymnasium in Dessau

Das Liborius Gymnasium Dessau ist wie das AK ein Gymnasium in kirchlicher Trägerschaft, an dem es eine Arbeitsgemeinschaft „Amateurfunk“ gibt, die zurzeit an einem ähnlichen Projekt arbeitet. Mit den Mitteln des Amateurfunks sollte ein Funkkontakt hergestellt werden, bei dem beide Gruppen sich austauschen können. Zuvor jedoch mussten Grundlagen der Ausbreitung von Funkwellen und der Betriebstechnik vermittelt werden. Über ein von der Bundesnetzagentur zugeteiltes Ausbildungsrufzeichen war der Gruppe Amateurfunkbetrieb unter Aufsicht möglich. Da der Aufbau einer größeren Kurzwellen-antenne für einen direkten Kontaktnach Dessau nicht möglich war, wurde das Gespräch auf Ultrakurzwelle über verschiedene Relaisstationen u. a. in Siegen und Wolfen nach Dessau geführt.



Abbildung 2: Funkkontakt mit Schulstation DK0LG

Als Erinnerung an den Funkkontakt, wurden sogenannte QSL-Karten ausgetauscht. Die QSL-Karten sind sozusagen die „Visitenkarte“ der jeweiligen Amateurfunkstation.



Abbildung 3: QSL-Karte der Schulstation DK0LG

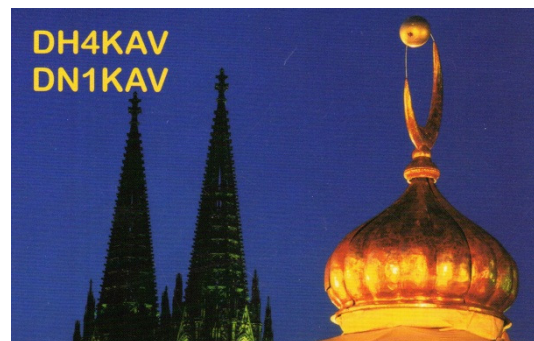


Abbildung 4: QSL-Karte der Ausbildungsstation DN1KAV

3. Die Bodenstation

Um den technischen Aufwand in Grenzen zu halten, musste für den Aufbau der Bodenstation zum Empfang der Signale des Wetterballons ein einfaches Konzept gefunden werden. Zwar verfügen Wetterdienste und Funkamateure über Stationen mit geeigneten Empfängern und Antennen, die aber für eine AG nicht erschwinglich sind.



Abbildung 6: Die parallele Ausrichtung der Antennenelemente wird geprüft



Abbildung 5: DAB-Stick als Funkempfänger

Mittlerweile verfügen aber viele Schüler über einen eigenen Computer und Empfänger in Form von USB-Sticks für den Empfang von digitalem Fernsehen (DVB-T) und digitalem Rundfunk (DAB) sind für weniger als 20 € erhältlich. Diese können mit spezieller Software als sogenanntes „Software Defined Radio“ (SDR) auch zum Empfang anderer Funkdienste verwendet werden, sofern man sich an die gesetzlichen Vorschriften hält.

Zum Empfang der schwachen Signale wird jedoch auch eine leistungsfähige Richtantenne benötigt, welche die AG-Teilnehmer aus Baumarkt-Materialien selbst aufgebaut haben.

Empfangsversuche haben ergeben, dass mit dieser Ausstattung der Sender der Ballonnutzlast (Sendeleistung ca. 10 mW) in der Ebene über eine Entfernung von 10 km empfangen werden kann. Im freien Luftraum sollte ein Mehrfaches möglich sein.

4. Die Ballon-Nutzlast

Da die Teilnehmer der AG aus Unter- und Mittelstufe stammen, wurde beim Aufbau der Nutzlast auf Digitaltechnik und Programmierkenntnisse verzichtet und eine analoge Schaltung gewählt wurde. Es wurde ein Funktionsprinzip gewählt, welches noch aus den Zeiten der ersten Sputnik-Satelliten stammt. Die Messwerte sollen als Reihe von Morse-Punkten ausgesendet werden. Die Abstände zwischen den Punkten ist ein Maß für die Temperatur bzw. den Luftdruck.

Anregungen für solche Schaltungen findet man auf <http://www.uvm.edu/~cricksat/>.

Der Punktabstand in Millisekunden kann mittels Oszilloskop oder geeigneter Software über ein Oszillogramm oder Sonagramm ausgemessen werden und dann anhand einer Kalibrierkurve in Temperatur bzw. Luftdruck umgerechnet werden.

Die Tests wurden mit einfachen 9V-Blockbatterien durchgeführt, für den Flug wurden aber Lithium-Batterien eingesetzt, die leichter sind und auch tiefe Temperaturen besser vertragen können.

Die Nutzlast besteht aus drei Baugruppen.

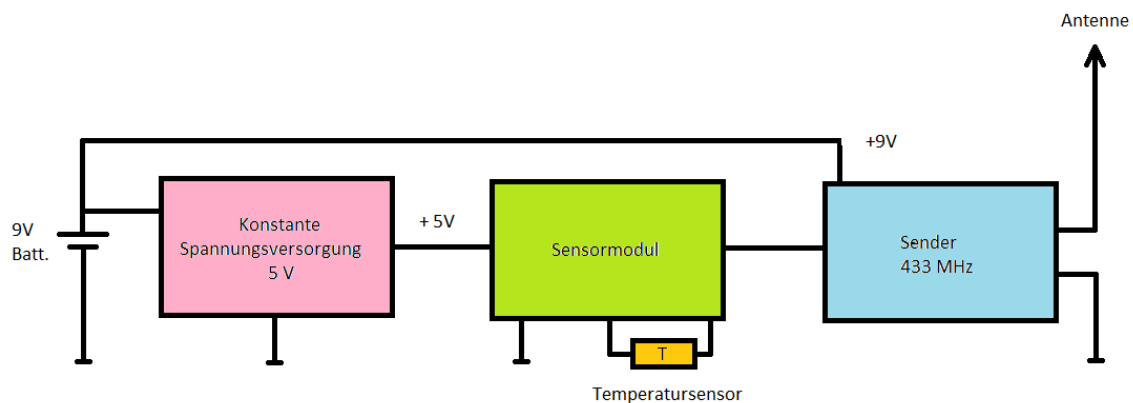


Abbildung 7: Blockschaltbild

Die drei Baugruppen wurden einzeln aufgebaut, getestet und miteinander verdrahtet. Das Ganze wurde zweimal aufgebaut. Die zweite Schaltung ist weitgehend identisch, trägt aber anstelle eines Temperatursensors einen Luftdrucksensor, der gleichzeitig als Höhenmesser dienen soll.

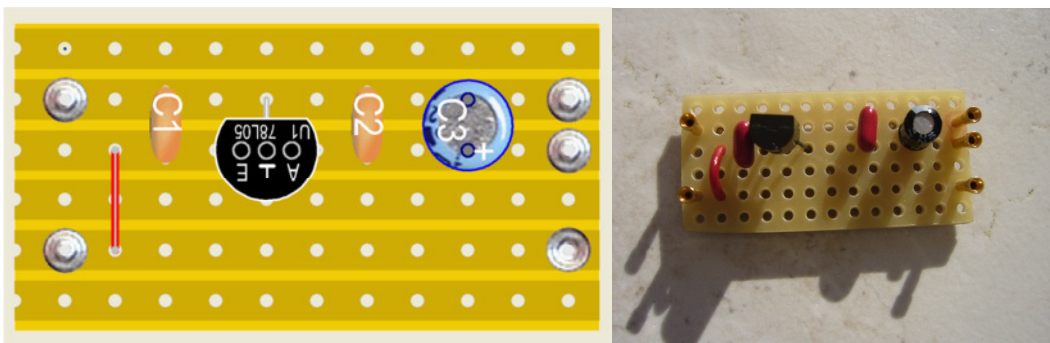


Abbildung 8: Entwurf Baugruppe 5V Konstanzspannung - und wie sie von den Schülern aufgebaut wurde

Um die Schaltung und insbesondere die Batterien vor dem Einfluss der Kälte in großer Höhe zu schützen, wurde die ganze Einheit in ein isolierendes aber auch leichtes Gehäuse eingebaut werden. Ideal eignen sich leichte Baustoffe wie Styropor oder Styrodur. Aber auch davon darf nicht zu viel verwendet werden um das Gewicht so gering wie möglich zu halten, weshalb das Team sich Gedanken um die Optimierung machen musste.

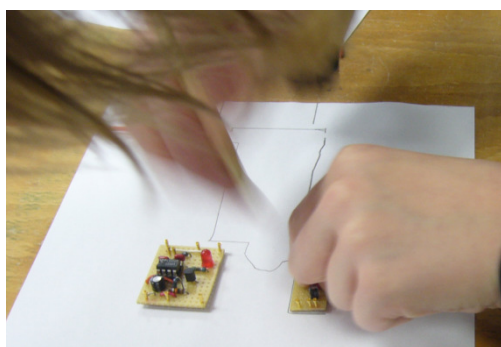


Abbildung 10: Optimierung der Anordnung im Gehäuse

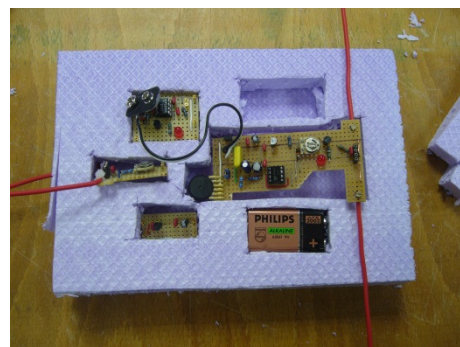


Abbildung 9: Die Baugruppen im isolierenden Gehäuse



Da das Potential an Gewichtseinsparung war aber noch nicht ausgeschöpft war, weshalb noch weitere Gehäuse getestet. Am geeignetsten erwies sich eine Styroporverpackung für Chemikalienflaschen.

Gerade beim Test der Baugruppen fielen noch Verbesserungsmöglichkeiten und kleinere Fehler auf. So wurden z. B. die Antennendrähte aus Kupfer gegen dünnere und flexiblere Drähte aus Federstahl ersetzt. Das Heraustrennen nicht genutzter Platinenteile und das Entfernen der Blechumhüllung der Batterien führten zu weiterer Gewichtsersparnis.

Abbildung 11: Baugruppe im Test, 9 -6V rein, konstante 5V raus

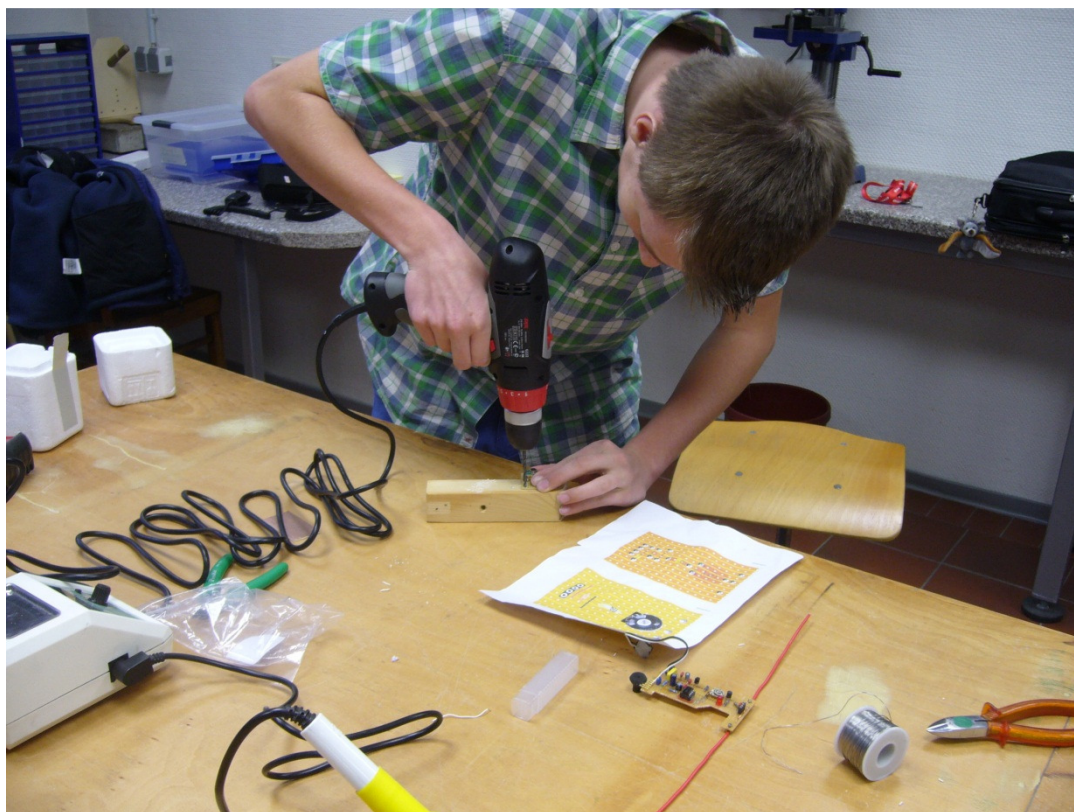


Abbildung 12: Optimieren, optimieren...

Ziel war ein Gewicht von unter 150 g. Insgesamt sollte das Gespann incl. Ballon und Fallschirm weniger als 300 g wiegen. Je weniger, desto besser. Es wurde auch ein 1:1 Modell der Ballonnutzlast als Anschauungsobjekt erstellt.

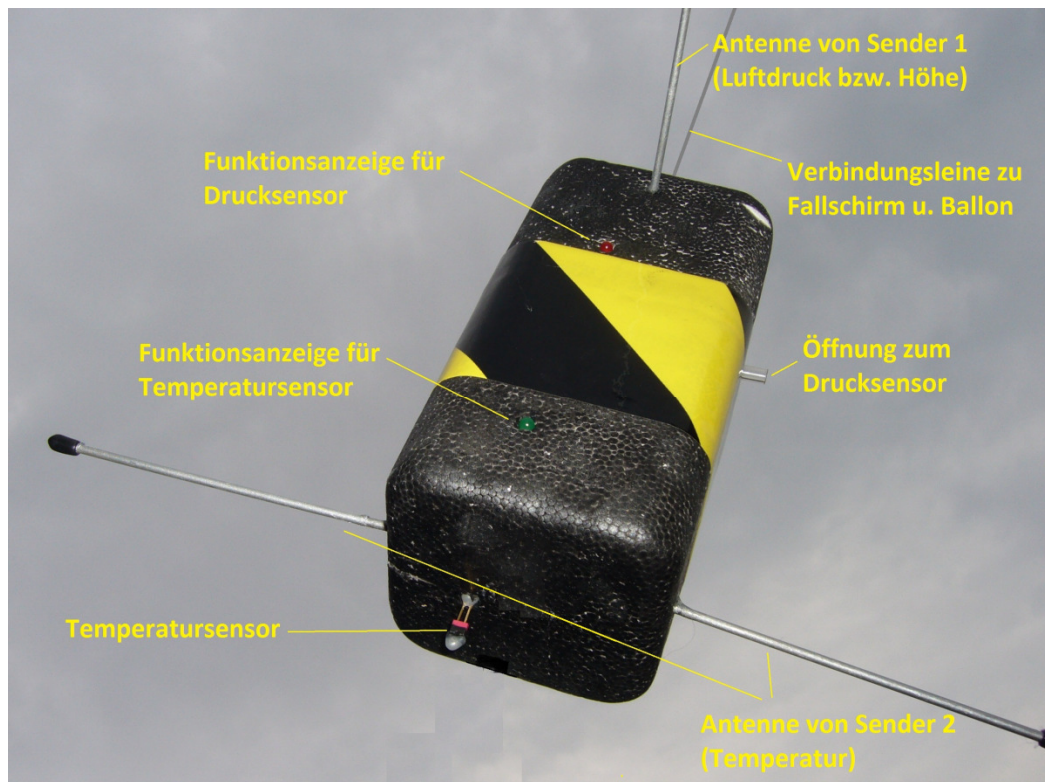


Abbildung 13: Modell der Ballonnutzlast

Technische Daten:

Messdaten:	Luftdruck, Temperatur
Datencodierung:	Impulsabstand
Sendeleistung:	2 x 10 mW im 70 cm-Band
Stromversorgung:	2 x 9V Li-Blockbatterie
Geschätzte Steighöhe:	15 – 20 km
Gewicht incl. Fallschirm:	220g
Antennenspannweite:	ca. 75 cm

5. Kalibration

Zur Erstellung von Kalibrationskurven und zur Auswertung der späteren Messungen wurden Excel-Modelle erstellt. Da in der Stratosphäre Temperaturen bis -60°C auftreten können, gestaltete sich die Kalibration schwierig. Um genügend Kalibrationspunkte in diesem Temperaturbereich zu bekommen, musste mit Trockeneis (gefrorenes Kohlendioxid) gearbeitet werden.

Bei der Kalibration des Luftdrucksensors mussten wir uns auf die mitgelieferten Kalibrationsdaten des Sensorherstellers verlassen, da wir keine Möglichkeit zur Simulation des Luftdrucks in große Höhe hatten.

Eine große Unwägbarkeit stellt das Gesamtverhalten der Baugruppen bei diesen niedrigen Temperaturen dar. Womöglich sind auch andere Bauteile temperaturempfindlich und können die Kalibration verfälschen. Ein solcher Test wäre jedoch nur in einer Tieftemperatur-Klimakammer möglich, die uns nicht zur Verfügung steht.

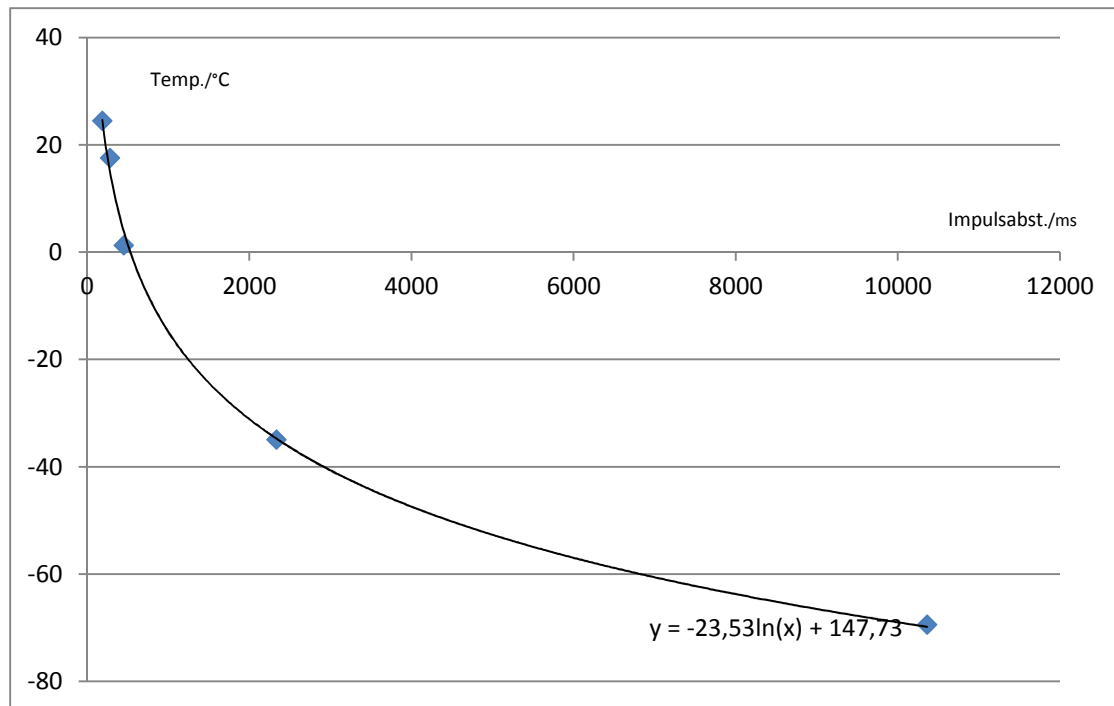


Abbildung 14a: Kalibrationskurve Temperatur

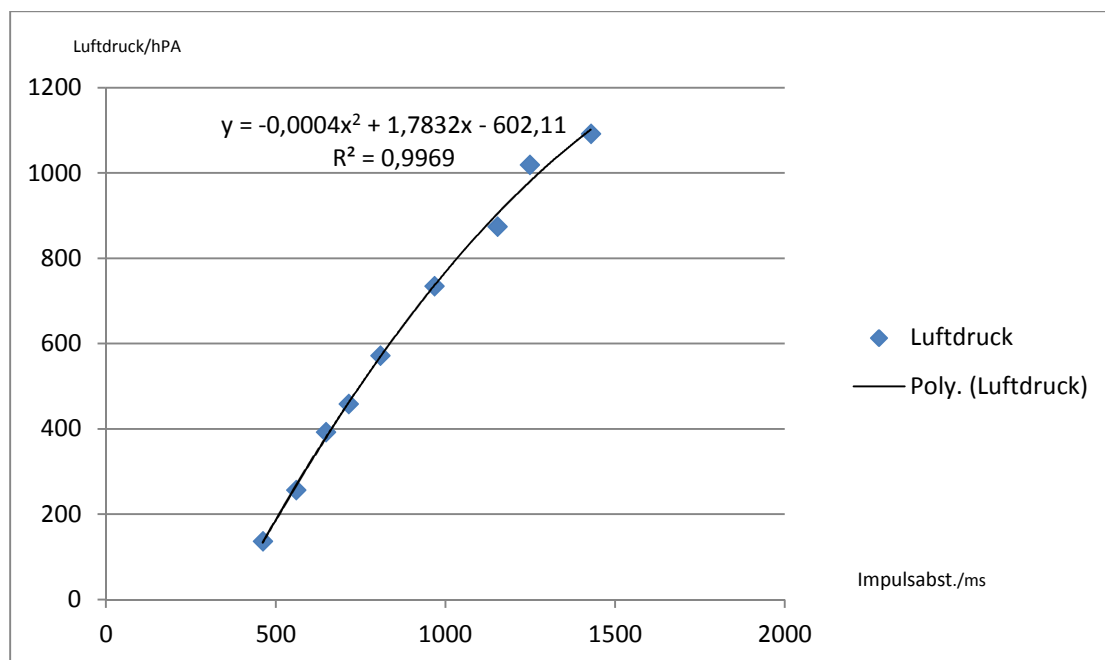


Abbildung 14b: Kalibrationskurve Luftdruck

6. Auswertung

Abbildung 15 zeigt, wie die Auswertung des Sendesignals geschieht. Der Abstand der Impulse beim Drucksignal (markiert durch gelbe Linien) verringert sich mit größerer Höhe, der Takt wird schneller. Das Temperatursignal, wird mit größerer Höhe langsamer werden (markiert durch rote Linien), da die Temperatur sinkt. Ursprünglich war angedacht, zwei Sender zu verwenden, die von der Frequenz so dicht beieinander liegen, dass beide Signale mit einem Empfänger erfasst werden können (Abb. 2). Es zeigte sich jedoch, dass sich aufgrund der Temperaturunterschiede auch die Frequenzen verschieben und die Frequenz des Empfängers während des Fluges nachgeregelt werden muss. Daher kamen zwei getrennte Empfänger zum Einsatz.

Mit dem Gehör lässt sich das Signal nicht auswerten, anhand Sonagramm und Oszillogramm lassen sich die Signale jedoch eindeutig zuordnen und die Abstände genau vermessen. Dies kann auch nachträglich aus einer Tonband- oder MP3-Aufnahme des Signals geschehen.

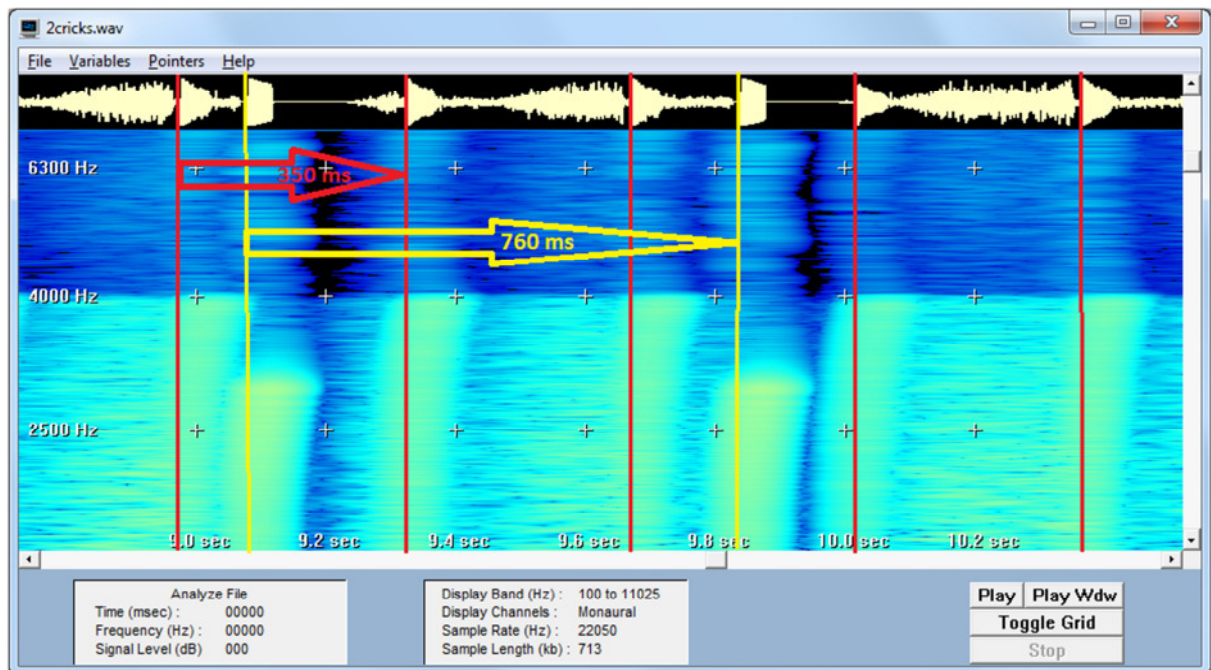


Abbildung 15: Sonagramm (unten) und Oszillogramm (oben)

7. Ballon und Fallschirm

Theoretisch wäre der Aufstieg auch mit einem größeren Partyballon möglich gewesen, jedoch gibt es für solche Ballons keine Angabe darüber, bei welchem Durchmesser er platzen wird und damit wissen wir nicht, welche Höhe er erreichen würde. Deshalb entschieden wir uns für einen professionellen Wetterballon aus Latex. Die Gasmenge muss so bemessen sein, dass der Auftrieb nicht nur die Gesamtlast in der Schwebelage hält, sondern es muss noch zusätzliche Auftriebskraft vorhanden sein, um den Ballon zu beschleunigen, damit er die benötigte Steiggeschwindigkeit erreicht. Diese Steiggeschwindigkeit wird das Resultat von Auftriebskraft und Luftwiderstand sein. Die Gasmenge wurde so gewählt, dass eine Steiggeschwindigkeit von ca. 300 m/min erreicht wird und der Ballon in ca. 20 km Höhe platzt.

Abbildung 16: Der Ballon im nicht aufgeblasenen Zustand



Da ein solcher Ballon auch für eine größere Nutzlast ausgelegt ist, musste nun lediglich beachtet werden, dass das Gewicht des gesamten Gespanns unter 500 g bleibt, damit keine Zulassung durch die Flugsicherungsbehörde notwendig wird. Inklusiv Fallschirm ergab sich ein Gesamtgewicht von 420 g, so dass mit dem Excel-Kalkulationsmodell des Ballonherstellers folgende Aufstiegsparameter vorausberechnet werden konnten:

Balloon Burst Calculator									
Gas	Chosen Gas Density(Kg/cu m)		Air density at 0C, 101 kPa		Air Density Model		Gas	density	
Helium	0,1786		1,205		7238,3		Hydrogen	0,0899 at 0C, 101 kPa	
							Helium	0,1786 at 0C, 101 kPa	
Launch Vol (cu m)	Launch Dia (m)	Area (sq m)	Balloon (g)	Payload (g)	Burst Dia (m)	Burst Volume (cu m)	Burst Volume Ratio	Burst height (m)	
0,8	1,151765	1,041879	200	220	3	14,137167	17,67146	20788	
Gross Lift(Kg)	Free Lift (Kg)	Free Lift (N)	Balloon Cd	Ascent Rate (m/sec)	Ascent rate (ft/min)	Neutral Lift Kg	Time to burst (min)	Burst Height (ft)	
0,82112	0,40112	3,934987	0,25	5,007424	985,4611	0,62112	69,19073	68185	
				300,4455 m/min					

(Quelle: www.nearspaceballooning.com/files/burst3.xls)

Nach dem Platzen soll die Nutzlast an einem Fallschirm zu Boden gehen. Das relativ langsame Fallen der Nutzlast erhöht die Chance, dass sie beim Abstieg beobachtet und gefunden werden kann. Andererseits wollen wir auch nicht, dass jemand verletzt wird oder sich ein Autofahrer erschreckt und panisch reagiert, wenn etwas Unbekanntes auf seiner Windschutzscheibe aufschlägt. Der Durchmesser des Fallschirms wurde so gewählt, dass eine Fallgeschwindigkeit zwischen 2 und 4 m/s erreicht wird. Der Fallschirm wurde von der Mutter eines AG-Teilnehmers aus Ballonseide genäht und hatte einen Durchmesser von 76 cm, woraus folgende Abstiegsdaten berechnet werden konnten:



Abbildung 17a: Fallschirm

Descent Rate Calculator Results

You entered:

- Rocket mass: 7.760258 ounces
- Parachute shape/type: circular
- Parachute size: 29.9212 inches measured by diameter

Calculation Results

Descent rate:

- 10.29 ft/sec
- 3.13 meters/sec
- 11.29 km/hr
- 7.01 mph

Estimated descent time, assuming ejection at 67913 feet: 6599 seconds

Recommended parachute diameter for a landing @ 15 ft/sec: 19.5000677434721 inches

[Do another calculation](#)

Parachute descent rate calculator version 3.3 by [Jordan Hillier](#).

Abbildung 17b: Screenshot Descent Rate Calculator
(<http://www.onlinetesting.net/cgi-bin/descent3.3.cgi>)

8. Bestimmungen

Für die Durchführung des Projektes müssen gesetzliche Bestimmungen im Bereich Luftfahrt-, Telekommunikations- und Haftungsrecht beachtet werden:

- Die verwendeten Frequenzen sind dem Amateurfunk- und ISM-Bereich zugeordnet, und können bei Vorliegen einer Teilnahmegenehmigung am Amateurfunkdienst („Amateurfunklizenz“) bzw. einer Allgemeinzuteilung für ISM-Short Range Devices unter Einhaltung der Betriebsparameter und ohne technische Eingriffe in das Sendemodul legal genutzt werden.
- Der Ballonstart muss zwei Tage vorher bei der Flugsicherung angezeigt werden, damit ein sog NOTAM (Notice für Airmen), ein Kurztelegramm mit Warnhinweisen an die Flugzeugführer, herausgegeben werden kann.
- Der DARC hat eine Versicherung für Schäden abgeschlossen, die durch einen solchen Ballon entstehen können, daher wird das Ballonprojekt offiziell in Trägerschaft des Ortsverband Eitorf des Deutschen Amateurradioclubs DARC e. V. durchgeführt.

9. Der Start

Am 13. Juli 2013 um 12:00 Uhr begannen die Startvorbereitungen. Unterstützt wurden wir dabei von Funkamateuren des Ortsverbandes Eitorf des Deutschen Amateur Radio Clubs e. V. (DARC), welcher aus versicherungsrechtlichen Gründen die Trägerschaft über das Projekt und zudem den größten Teil der Kosten übernommen hat. Startplatz war das Firmengelände der Fa. Stommel-Haus in Eischeid. Um den bei der Flugsicherung angemeldeten Startzeitpunkt von 14:00 Uhr einhalten zu können, musste nach einem genauen Ablaufplan gearbeitet werden, welches in der folgenden Fotoserie dokumentiert ist.



12:00 Uhr- Aufbau der Empfangsanlage und Funkstation



Die Antennen zur Verfolgung des Ballons werden aufgebaut während über die Funkstation schon Informationen über die Startvorbereitungen an andere Funkamateure weitergegeben werden, die ebenfalls mit ihren Stationen das Projekt mitverfolgen.



12:30 Uhr - Test von Empfangsstation und Nutzlast



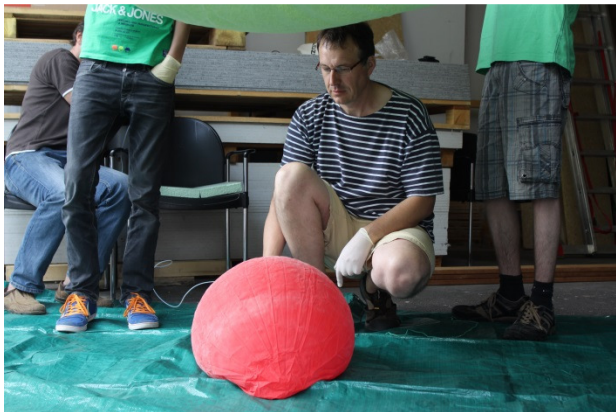
Die Sender der Ballonnutzlast werden kurzfristig eingeschaltet um Empfänger und Sender auf korrekte Funktion prüfen zu können. Zudem müssen vor dem Start noch einmal die korrekten Sendefrequenzen ermittelt werden um diese anderen zuhörenden Stationen mitteilen zu können.



13:00 Uhr – Vorbereitungen zur Befüllung



Der Hallenboden wird mit einer Plane abgedeckt, damit keine herumliegenden spitzen Gegenstände (Split, Holzspäne) den Ballon während des Befüllens zum Platzen bringen können. Das Ballon Team muss zudem Latexhandschuhe tragen und alle Gegenstände ablegen (Uhren, Gürtelschnallen etc.) die eine Gefahr für den Ballon darstellen.



13:30 – Befüllung des Ballons



Der Ballon wird mit $0,8 \text{ m}^3$ Helium befüllt und hat dann einen Durchmesser von $1,15 \text{ m}$. Platzen wird er bei 3 m Durchmesser. Solange der Ballon noch nicht verknotet und an einem Gegengewicht (hier: Kühlbox) befestigt ist, wird er mit einem Bettlaken vor dem Aufstieg zur Hallendecke gesichert.



13:45 – Der Ballon wird zum Startplatz gebracht, währenddessen die Nutzlast durch Verlöten der Kontakte zu den Batterien „scharfgeschaltet“ wird. (Foto links: Harald Metzen)



13:55 Uhr – Ballon, Fallschirm und Nutzlast sind nun miteinander verbunden. Ein letztes Gruppenfoto vor dem Start. Der Blick aufs Handy kontrolliert, ob die Flugsicherung keine Einwände hat.



14:00 Uhr – Start! (Foto links: Harald Metzen)

Nun wird die Datenaufzeichnung gestartet. Der spannendste Teil, gleichzeitig der langwierigste, beginnt. Es wurden 70 min für den Aufstieg und 110 min für den Abstieg berechnet. Werden wir den Funkkontakt 3 Stunden halten können?



14:01 Uhr – die Antennen werden nachgeführt.

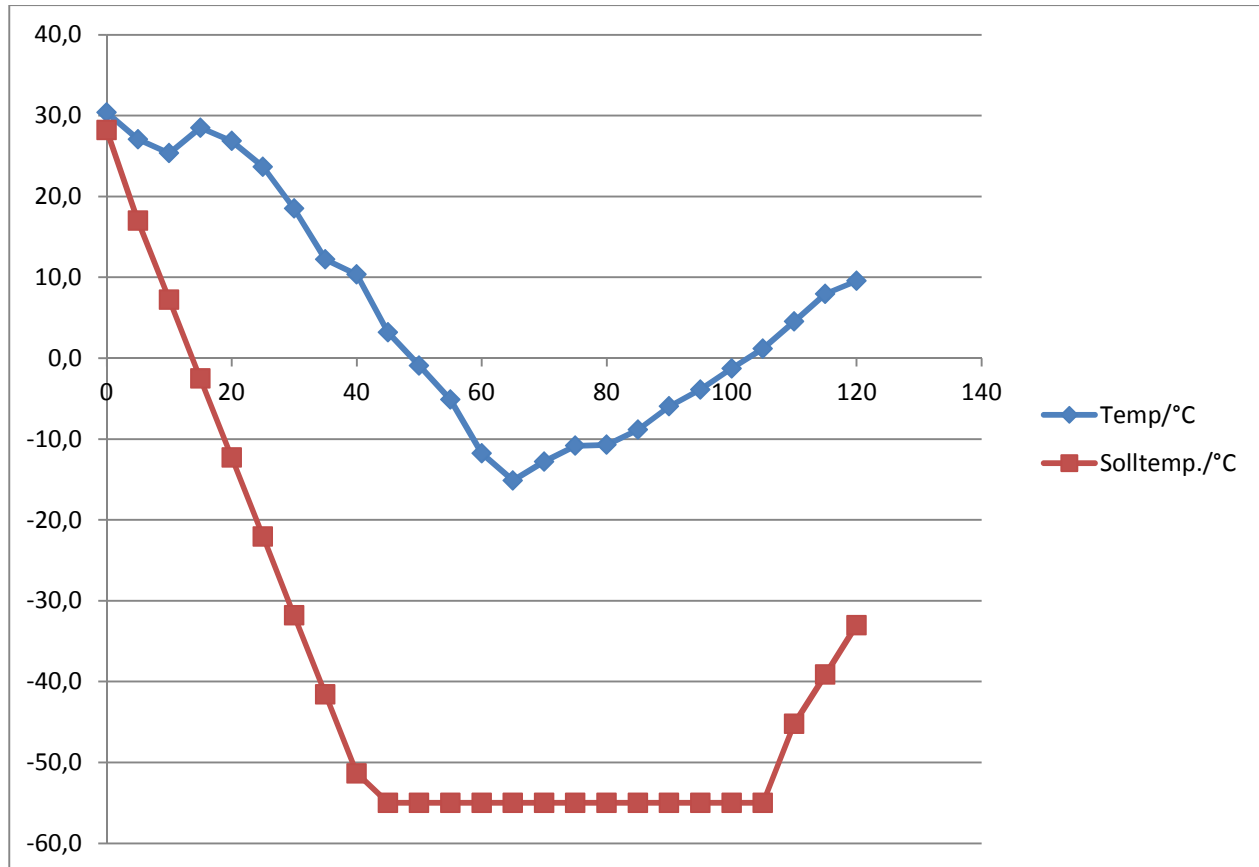


14:03 Uhr - ... und ward nie wieder gesehen.

10. Auswertung der Flugdaten

Während des gesamten Fluges wurde die Telemetrie als Audiodatei aufgezeichnet und konnte so für jeden Zeitpunkt des Fluges nachträglich ausgewertet werden.

Temperatur (x-Achse: Flugzeit)



Die Temperaturkurve zeigt eine starke Abweichung von den theoretisch zu erwartenden Werten. Normalerweise ist ab 10 km Höhe eine Temperatur von -55°C zu erwarten. Die niedrigste gemessene Temperatur betrug aber nur $-15,1^{\circ}\text{C}$.

Hat der Temperatursensor versagt oder hat der Ballon die vorgesehene Höhe gar nicht erreicht?
Die minimale Temperatur wurde nach 65 Minuten Flugzeit erreicht, danach steigt sie wieder an.
Ist der Ballon zu diesem Zeitpunkt geplatzt?

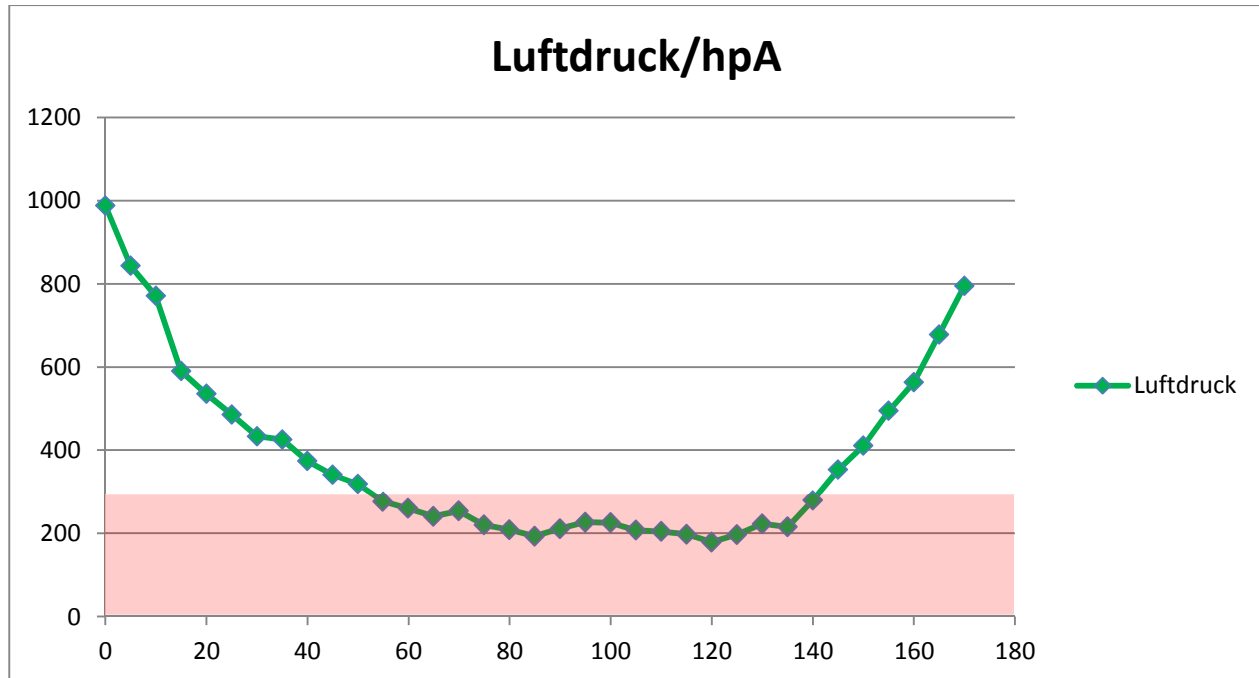
Nach 125 min lieferte der Sensor nur noch unsinnige Werte und nach 135 Minuten riss der Funkkontakt zu Temperatursensor ab. Da der Sensor aufgrund der zu hohen Temperaturwerte auch mit einer zu hohen Taktrate arbeitete, hatte sich die Batterie wohl vorzeitig erschöpft.

Bemerkenswert ist aber, dass der Tiefpunkt der Temperaturkurve bei 65 Minuten sehr gut mit dem berechneten Platzen des Ballons bei 69min zusammenpasst. Diese Abweichung liegt innerhalb der Fertigungstoleranzen des Herstellers bzw. der Füllgenauigkeit des Ballons. Zudem wissen wir nicht, wie träge der Sensor in dieser Kälte reagiert und wie genau der Zeitpunkt bestimmt werden kann.

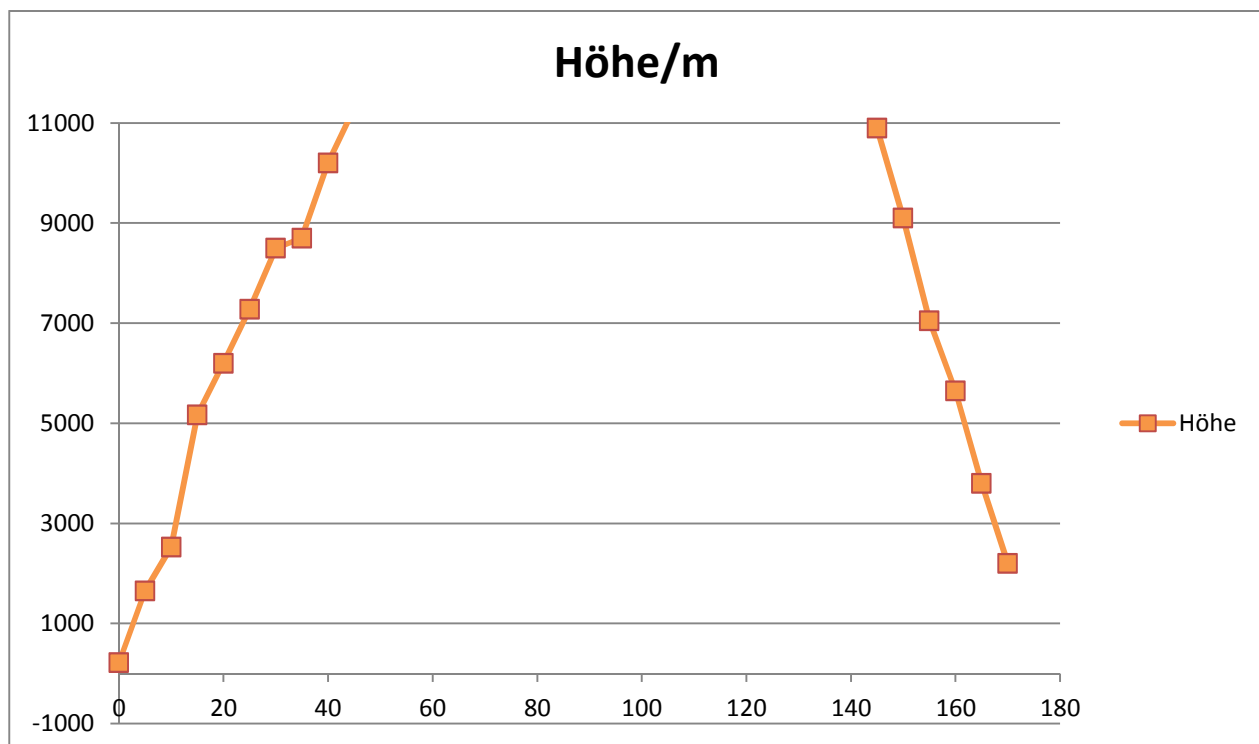
Luftdruck (x-Achse: Flugzeit)

Der zur Luftdruckmessung verwendete Sensor MPX4115 von Motorola hat einen Messbereich von 1150 bis 150 hPa. Da die Barometrische Höhenformel aber nur bis zu einer Höhe von 11 km gilt, lässt sich der gemessene Luftdruck ab ca. 330 hPa ohnehin nicht mehr in einen halbwegs genauen Höhenwert umrechnen.

Der rosa hinterlegten Werte liegen also außerhalb des Gültigkeitsbereichs.



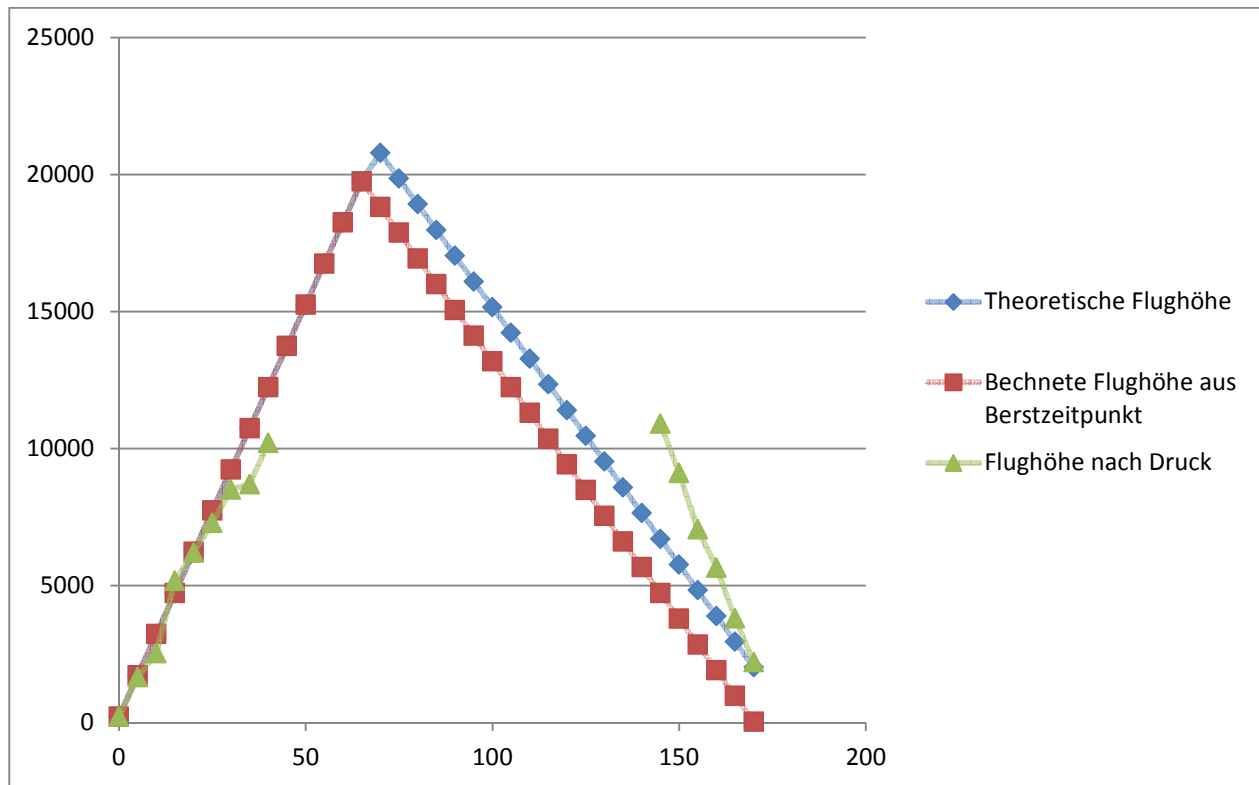
Rechnet man die gültigen Luftdruckwerte in Höhe um, ergibt sich folgendes Bild.



Da die barometrische Höhenformel nur bis 11 km Höhe gilt wurde die y-Achse auf 11km begrenzt

Der Telemetrie des Luftdrucksensors konnte 170 min lang aufgezeichnet werden, danach verschwand das Signal hinter dem Radiohorizont, der durch einen Wäldchen in wenigen hundert Metern Entfernung markiert wurde. Wenn die zuletzt gemessene Höhe von 2200 m stimmen sollte, dann blieben der Sonde ab diesem Zeitpunkt noch ca. 11 min bis zum Erreichen der Starthöhe von 200m. Also 181 Minuten gegenüber den berechneten 180 Minuten. Diese geringe Abweichung ist fast zu schön um wahr zu sein.

Hier noch einmal eine Gegenüberstellung der aus Flugzeit und der Temperaturmessung ermittelten Flugdaten, der theoretischen Daten und der Luftdruckmessung. (y-Achse Flughöhe in m, x-Achse Flugzeit in Minuten)



Während die aus dem gemessenen Luftdruck bestimmte Flughöhe bis in eine Höhe von ca. 8000m noch sehr gut mit den theoretischen Werten übereinstimmt, treten danach Abweichungen auf. Im Abstieg sind die Abweichungen noch größer. Der Luftdrucksensor befand sich im Inneren des Styroporgehäuses. Haben wir es auch hier mit einem Temperatureffekt zu tun, der sich im Abstieg wegen der guten Isolation des Gehäuses im Abstieg verzögert abbaut?

11. Verbleib der Nutzlast

Bisher hat sich kein Finder der Nutzlast gemeldet, obwohl ein Aufkleber mit Kontaktadresse angebracht war. Die letzte Peilung war bei 175°, also fast genau Richtung Süden. Wir vermuten, dass der Ballon im Raum Neuwied niedergegangen ist. Wenn die Nutzlast allerdings in irgendeinem Baumwipfel hängengeblieben ist, kann es noch Jahre dauern bis sie bei einem Sturm runterfällt.

12. Fazit

Negativ:

- Die Temperaturmessungen waren weitestgehend unbrauchbar. Offenbar gibt es weitere Bauteile auf dem Sensorboard, die ebenfalls temperaturempfindlich sind, und den Messwert beeinflussen. Unter Verdacht steht der Elektrolytkondensator, der für die Grundtaktung des NE555-Timerbausteins verantwortlich ist. Offenbar nimmt die Kapazität mit niedrigerer Temperatur ab, was zu einer schnelleren Taktung führt und höherer Temperaturwerte vorgaukelt. Gleichzeitig nimmt damit der Stromverbrauch zu. Leider fehlen uns die technischen Möglichkeiten solche Effekte vorher auszutesten.
- Die Luftdruckmessung zeigte beim Abstieg starke Abweichungen von den theoretischen Werten. Auch hier wird ein Temperatureffekt vermutet, da der impulsgebende Schaltkreis gleichartig aufgebaut ist. Der Drucksensor ist bis -40°C spezifiziert. Bei einem Versuch mit einem baugleichen Sensor stellte sich heraus, dass bei Temperaturen unter -40°C ein zu hoher Luftdruck und damit eine zu niedrige Höhe angezeigt werden. Dies könnte das Abknicken der Kurve ab 8000m Höhe erklären.
- Die preisgünstigen Sendemodule haben keine Temperaturkompensation, weshalb die Frequenz mit sinkender Innentemperatur ebenfalls sinkt und ständig am Empfänger nachgeführt werden muss. Dieser Effekt muss aber wegen Preis und Gewicht hingenommen werden.

Positiv:

- Flugdauer und Berstzeitpunkt stimmten sehr gut mit den theoretisch berechneten Werten überein. Der Start mit einem Partyballon hätte sicher noch mehr Unwägbarkeiten mit sich gebracht und keinen Vergleich von theoretischen und gemessenen Werten ermöglicht, daher ist die Verwendung eines professionellen Wetterballons auch für zukünftige Versuche empfehlenswert.
- Die Leistung der 10mW-ISM-Sendemodule und die verwendete Dipol-Antenne reichten für die Verfolgung während der gesamten Flugphase aus – damit haben wir nicht gerechnet. Bewährt hat sich auch die Verwendung von zwei unabhängigen Sendemodulen, da so auch die Weiterverfolgung nach dem Batterieausfall eines Moduls möglich war.
- Neben der Verwendung semiprofessionell Amateurfunkempfänger wurde auch die Verwendung von DAB-Plus-Empfängern in Form von USB-Sticks in Verbindung mit der Software SDR-Sharp (SDR#) getestet. Eingesetzt wurde ein „Noxon-DAB-Stick“ Dieser stand in der Empfindlichkeit nur wenig nach, von Nachteil war allerdings die geringe Einstrahlfestigkeit oder die geringe Selektivität der Eingangsstufe, d. h. bei benachbarten Funkbetrieb auf 2m wurde der Empfänger „zugestopft“.
- Die Verwendung horizontaler Polarisierung der Antenne hat sich ebenfalls bewährt. Obwohl ein Fading verursacht durch Drehung der Nutzlast und damit auch der Sendeantenne in der Horizontalebene feststellbar war führt dies nie zu einem Signalabriss. Eine vertikale Polarisierung der Empfangsantenne führte jedoch bei geringen Elevationswinkeln zu einer enormen Erhöhung des Rauschteppichs und extrem lauten Signalen von anderen ISM-Anwendungen, insbesondere von Heimwetterstationen.
- Der selbst gesetzte Kostenrahmen von max. 200 € für den Bau der Nutzlast und die benötigten Materialien für den Ballonstart konnte eingehalten werden. Damit konnte ein anspruchsvolles Schülerprojekt für einen relativ geringen Betrag umgesetzt werden.

13. Ausblick auf zukünftige Projekte

Dieser erste Ballonversuch zeigte die Schwächen einfacher analoger Technik, die zwar sehr robust ist, aber deren Fehlerquellen wiederum analog kompensiert werden müssen.

- Ein Nachfolgeprojekt sollte daher auf digitaler Technik basieren. Mittlerweile sind Microcontroller-Boards mit mehreren I/O-Ports und A/D Wandlern mit weniger als 3 g Gewicht für unter 10 € erhältlich. Diese Boards können nicht nur die Sensordaten erfassen, sondern diese auch über eine Kalibrationsfunktion umrechnen und in Signale kodieren. Viele Dinge, die in der analogen Technik über Schaltungsentwicklung gelöst werden müssen, lassen sich nun über eine geschickte Programmierung lösen, da die meiste Hardware schon „on board“ ist.
- Die Nutzlast sollte wiederverwendbar sein und mit neuen Sensoren für neue Experimente ausgestattet werden können. Um die Nutzlast wiederfinden zu können, muss Sie mit einem GPS-System ausgestattet sein, welches die Positionsdaten liefert.
- Im Internet sind online Bahnberechnungsmodelle verfügbar, welche anhand von Strömungsmodellen der Stratosphäre eine Vorausberechnung von Flugbahn und Landegebiet ermöglichen, die für die Planung in der Startphase genutzt werden können.

Am 17. August 2013 wird der Ortsverband Eitorf des DARC einen weiteren Ballonstart durchführen, bei dem das neue Konzept schon getestet wird. Die Erkenntnisse daraus werden in eventuelles Nachfolgeprojekt einfließen.

Gewichtsbestimmender Faktor wird also in erster Linie die Stromversorgung sein, denn aus Zulassungsgründen sind wir auf ein Gesamtgewicht von max. 500 g beschränkt, wovon ca. 250 g auf Ballon und Fallschirm entfallen.

- Die Nutzlast soll über einen Burst-Sensor verfügen, welcher das Platzen des Ballons direkt detektieren kann. Hierfür könnte ein Ideenwettbewerb im Rahmen von Freestyle-Physics ausgeschrieben werden. Die beste Lösung wird beim nächsten Start mitfliegen.
- Wenn dann noch eine Gewichtreserve übrig bleibt, könnte noch eine miniaturisierte Videokamera mit an Bord gehen, die spektakuläre Aufnahmen aus der Stratosphäre liefert.
- Für die eventuelle Weiterführung des Ballonprojektes innerhalb der AG Elektronik+Basteln wäre es wünschenswert, wenn sich auch Schüler höherer Jahrgangsstufen daran beteiligen würden, da die Programmieraufgaben auch schon Informatikkenntnisse voraussetzen.
- Ebenso wäre es wünschenswert, wenn solche Projekte mehr Beachtung in der Lehrerschaft finden würden. Gerade die MINT-Fächer könnten von solchen Projekten profitieren, indem sie als praktische Anwendungsfälle für den Unterrichtsstoff genutzt werden und somit mehr Interesse für naturwissenschaftliche Fächer wecken.

14. Impressum

Werner Dreckmann
Krokusweg 16B
53819 Neunkirchen-Seelscheid
Tel.: 02247/921693
E-Mail: dn1kav@darc.de

Bildnachweis: alle Fotos von Teresa und Werner Dreckmann (sofern nicht anders angegeben)