

Am Rande des Weltalls

Bis vor einigen Jahren war es alleine den Raumfahrtorganisationen wie der NASA vorbehalten, Bilder der Erde aus dem Weltall zu erstellen. Heutzutage stehen aber immer mehr moderne Technologien wie Mobilfunk, GPS und hochauflösende Kameras jedermann zur Verfügung und dies zu erschwinglichen Preisen. Deshalb sind nun auch ambitionierte Hobby-Weltraumforscher in der Lage, mit geringem finanziellem Aufwand erstaunliche Bilder der Erde aus der Stratosphäre zu produzieren und Messdaten zu sammeln.

Marcus Hudritsch, Matthias Krebs, Martin Schindler | matthias.krebs@fhnw.ch

In den letzten zwei Jahren sind bei YouTube immer wieder aufs Neue spektakuläre Videos aufgetaucht, in denen Aufnahmen der Erde aus rund 30 km Höhe zu sehen sind. Das Grundkonzept ist dabei immer das Gleiche: An einem mit leichtem Gas, für gewöhnlich Helium, gefüllten Wetterballon wird eine Kapsel mit Messinstrumenten befestigt. Der Wetterballon und im Schlepptau die Messinstrumente, meistens Kameras und GPS-Peilsender, manchmal aber auch kleine Computer mit Messsensoren und Funkantennen, steigen in luftige und weniger luftige Höhen, bis der Gasdruck im Ballon bezüglich dem Aussen- druck so gross wird, dass der Ballon platzt und der schnelle Sinkflug beginnt. Dank eines kleinen Bremsfallschirms kann die Sinkgeschwindigkeit gebremst werden, so dass die Kapsel mit den Messinstrumenten nicht allzu hart auf dem Boden aufschlägt – sofern sie überhaupt auf dem Boden landet.

Beflügelt wurde diese Idee vor allem durch die Verfügbarkeit von Outdoor-Kameras wie den *GoPro*-Modellen, welche auch in rauen Umgebungen funktionieren und Videoaufnahmen in HD-Qualität ermöglichen. Dank GPS-Peilsendern und Mobilfunk kann die Box auch nach der Landung geortet und geborgen werden, vorausgesetzt die Messinstrumente haben die Landung überstanden.

Mit einem Wetterballon können Höhen von 30 bis 40 km erreicht werden. Damit befindet man sich mitten in der Stratosphäre. Strenggenommen darf man bei dieser Höhe noch nicht vom Weltall sprechen, denn dieses beginnt gemäss Definition erst bei ca. 100 km Höhe. Dennoch darf man getrost behaupten, so nahe am Weltall zu sein, wie es ohne den Einsatz von Raketen und damit grossem finanziellen Aufwand gerade noch möglich ist.

Aufbruch ins Unbekannte

Inspiziert durch verschiedene Wetterballonprojekte und YouTube-Videos haben wir Mitte 2011 das Projekt *M3 Space* ins Leben gerufen [M3Sp]. Am 16. Oktober 2011 starteten wir unseren ersten Versuch in der Nähe von Basel. Die Landung

war in etwa 50 km Entfernung in südöstlicher Richtung geplant. Mit an Bord waren eine *GoPro*-Kamera für HD-Videos, ein GPS-Tracker, welcher Positionsdaten via GPRS übermittelt und ein einfacher Funkpeilsender.

Aufgrund einer Fehlberechnung der Füllmenge stieg der Ballon viel langsamer als erwartet. Das Signal des GPS-Trackers brach in ca. 6000 m Höhe ab, da kein GSM-Empfang mehr möglich war. Erst vier Tage später stellte sich heraus, dass der Ballon über 1000 km in östlicher Richtung zurückgelegt hatte und in Rumänien gelandet war. Die Bitte einer Rücksendung der Kapsel blieb leider erfolglos, womit die Kapsel und damit auch die Daten verloren waren.

Nach den negativen Erfahrungen beim ersten Versuch wurde viel Zeit in die Verbesserung der Hard- und Software investiert, um einerseits neben Bildmaterial auch Messdaten zu sammeln und diese mit Hilfe einer Funkverbindung in Echtzeit zu übertragen.

Die Kapsel

Zur Unterbringung der Instrumente bedienen wir uns einer einfachen Box aus Styropor. Dieses Material ist leicht, isoliert sehr gut gegen die Kälte und bietet genügend Schutz vor einem Aufprall. Im Innern ist die Box zusätzlich mit Einlagen versehen, damit die Instrumente nicht verrutschen. Bei unserem zweiten Ballonstart haben wir folgende Messinstrumente in der Box untergebracht (Abb. 1):

- Mikrocontroller-Board als Steuereinheit
- GPS-Modul zur Lokalisierung
- Funkmodul zur Echtzeit-Datenübertragung
- Kameramodul zur Übertragung von Live-Bildern
- Temperatursensor innen und aussen
- *GoPro*-Kamera zur Aufzeichnung von HD-Videos
- GSM GPS-Tracker für die Lokalisierung nach der Landung

Als zentrale Steuereinheit verwenden wir ein *FEZ Panda II* Mikrocontroller-Board [FEZP]. Dieses ist mit einer ARM-CPU ausgestattet, besitzt 512 KBy-

te Flash-Speicher und 96 KByte RAM. Programmiert wird der Chip mit Hilfe des *.NET Micro Framework 4.0*, weshalb wie mit dem *.NET Framework* für Windows objektorientierte Programme entwickelt werden können, wenn auch mit einigen Einschränkungen. Dank vier RS232-Schnittstellen, I2C-Bus, A/D-Wandlern und vielen digitalen I/Os sind ausreichend Anschlussmöglichkeiten für Sensoren und Erweiterungsmodule vorhanden.

Während des Flugs werden die Telemetriedaten auf einer SD-Karte gespeichert. Damit die Daten auch in Echtzeit via Funk übertragen werden können, ist zusätzlich ein *XBee Pro 868* Funkmodul eingebaut [XBEE]. Es hat bei Sichtverbindung eine Reichweite von bis zu 40 km, was für einen Wetterballon in 30 km Höhe gerade ausreichend ist.

Die Videoaufnahmen werden mit einer *GoPro HD Hero* Kamera im 1080p-Format (Full-HD) produziert. Die Kamera ist horizontal ausgerichtet, damit der Horizont und damit die Erdkrümmung sichtbar werden. Als kleine Zugabe haben wir ein nach unten gerichtetes Kameramodul installiert, welches mit der Steuereinheit verbunden ist. Auf diese Weise werden alle fünf Minuten Live-Bilder via Funk übertragen.

Neben Bilddaten werden auch Messdaten aus der Atmosphäre gesammelt. Zwei analoge Temperatursensoren messen sowohl die Innen- als auch die Aussentemperatur und ein ebenfalls analoger Drucksensor ermittelt den Luftdruck.

Um die Position des Ballons vom Boden aus ermitteln zu können, sind zwei unabhängige GPS-Empfänger in der Kapsel installiert. Ein *uBlox* GPS-Modul ist an die Steuereinheit angeschlossen, damit die Positionsdaten via Funk an die Bodenstation übermittelt werden können. Für den Notfall ist zusätzlich ein GSM GPS-Tracker mit an Bord, damit die Position auch nach der Landung festgestellt werden kann, falls keine direkte Funkverbindung mehr möglich ist.



Abbildung 1: Die Instrumente der Kapsel

Ground Control

Für die Verfolgung des Ballonflugs haben wir ein Auto mit der notwendigen Elektronik ausgerüstet und damit zu einer mobilen Bodenstation umfunktioniert. Auf dem Dach des Autos haben wir einen Empfänger (*XBee Pro 868*) für die Telemetriedaten angebracht. Im Innern des Autos führen wir ein Notebook mit, welches via USB mit dem Empfänger auf dem Dach verbunden ist und dadurch die empfangenen Daten entgegennimmt. Mit Hilfe der eigens entwickelten C#-Software *GroundControl* werden die Daten grafisch angezeigt und aufgezeichnet. Damit der Flug auch im Internet live mitverfolgt werden kann, sendet *GroundControl* die Daten via UMTS-Modem an den Webserver von *M3 Space* [M3Sp].

In Abbildung 3 ist *GroundControl* ersichtlich. Das Log-Fenster protokolliert empfangene Datenpakete und Fehlermeldungen. Im Telemetrie-Fenster werden die aktuellen Messwerte als Text dargestellt. Das Map-Fenster zeigt eine Karte basierend auf Google Maps und stellt darin die Flugbahn des Ballons basierend auf den empfangenen GPS-Daten als Überlagerung dar. Dies wird mit Hilfe der Library *GMap.NET* realisiert [GMAP]. Im Live-Image-Fenster wird jeweils das zuletzt empfangene Live-Bild angezeigt. Das Graph-Fenster stellt schliesslich den zeitlichen Verlauf der Messwerte als Diagramme dar.

Im zweiten Versuch erfolgreich

Der zweite Startversuch mit der oben beschriebenen Hard- und Software fand am 13. August 2012 in der Nähe des Bielersees statt. Einige Tage zuvor wird die voraussichtliche Flugbahn des Ballons mit Hilfe eines *Online-Predictors* [CUSF] basierend auf meteorologischen Daten berechnet (Abb. 4). Die Winddaten sind sehr präzise, so dass mit den richtigen Parametern eine Vorhersage auf wenige Kilometer genau möglich ist. Der grüne Marker zeigt den Ort, an dem der Ballon voraus-



Abbildung 2: Startvorbereitungen der Kapsel

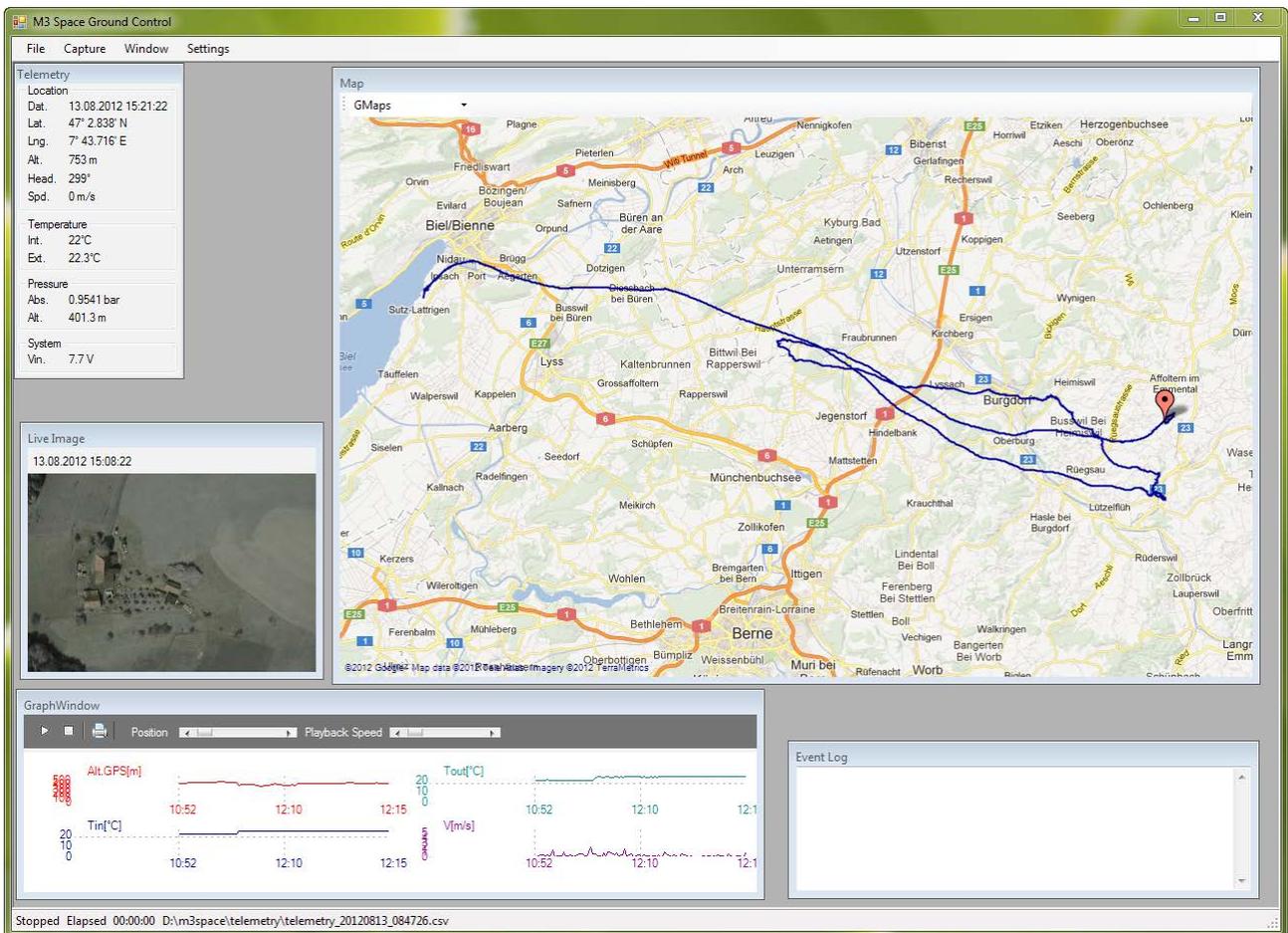


Abbildung 3: Die "GroundControl"-Software

sichtlich platzt, und der rote Marker zeigt den Landeort.

Bei den Startvorbereitungen (Abb. 2) ist die korrekte Füllung des Ballons mit Helium entscheidend. Um die gewünschte Steiggeschwindigkeit von 5 m/s mit einer Nutzlast von 600 g zu erreichen, wird ein vorausberechnetes Referenzgewicht von 1.3 kg am Ballon befestigt und so lange Helium eingefüllt, bis der Ballon das Referenzgewicht vom Boden zu heben vermag. Die während des Ballonaufstiegs übermittelte Steiggeschwindigkeit von 4 bis 5 m/s bestätigt unsere Berechnungen.

Nach über zwei Stunden Aufstieg erreicht der Ballon schliesslich die maximale Höhe von 33'166 m. Dann platzt er. Abbildung 5 und die Umschlagrückseite zeigen Aufnahmen der Erdoberfläche aus dieser Höhe. Die Erdkrümmung ist zwar noch nicht so ausgeprägt, aber dennoch deutlich sichtbar. In der Mitte ist der Genfersee

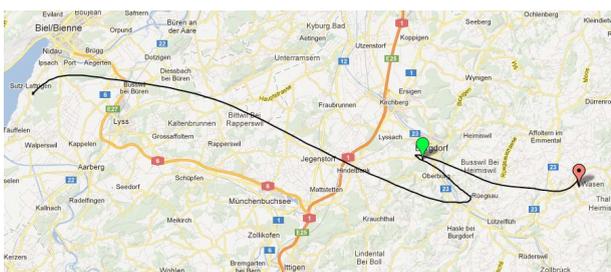


Abbildung 4: Die vorhergesagte Flugbahn des Ballons

zu erkennen. 40 Minuten später landet die Kapsel in einem kleinen Wäldchen im Emmental. Da sie sich in 30 m Höhe in einem Baum verfangt, kann sie erst zwei Tage später mit Hilfe kleiner Heliumballone, an denen eine Drachenschnur und Haken befestigt sind, geborgen werden.

Datenanalyse

Wie bereits erwähnt, werden während des Flugs verschiedene Messdaten gesammelt. In Abbildung 6 ist der zeitliche Verlauf der Flughöhe, der Innen- und Aussentemperatur ersichtlich. Weil sich der Ballon während des Steigflugs mit abnehmendem Luftdruck ausdehnt, bleibt der Auftrieb bis zum Platzen beinahe konstant. Nach dem Platzen erreicht die Kapsel eine maximale Geschwindigkeit von 230 km/h, bevor sie durch den Bremsfallschirm gebremst wird. Da der Luftdruck in



Abbildung 5: Die Erde aus 33 km Höhe

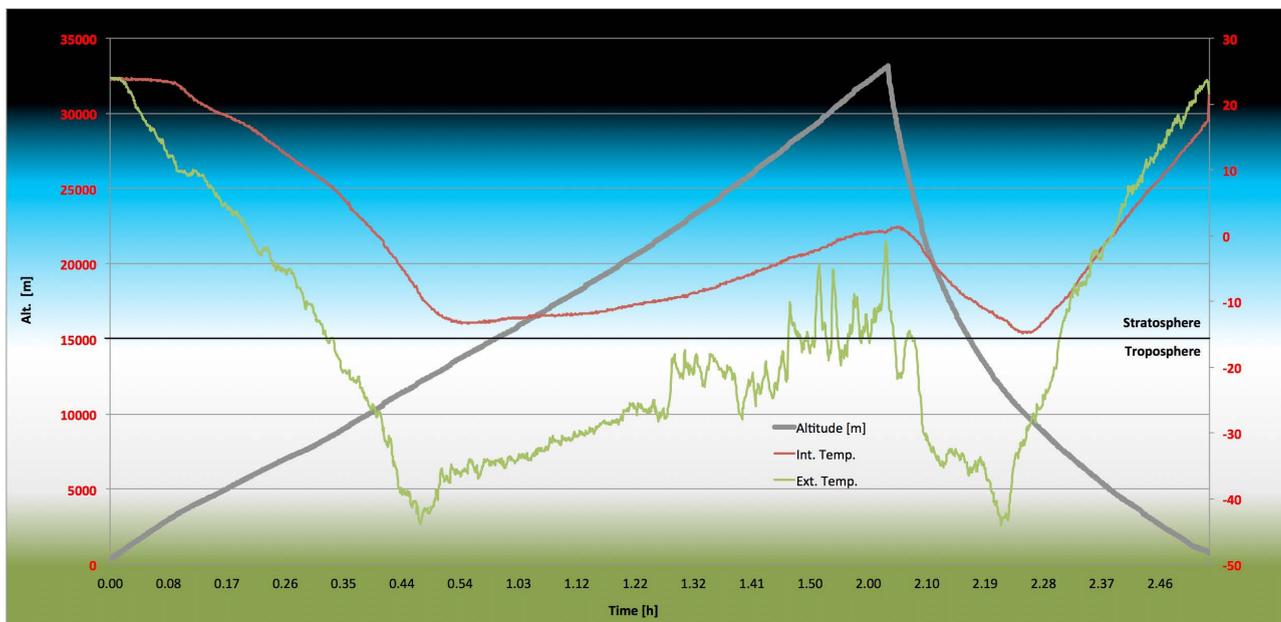


Abbildung 6: Die Messdaten im zeitlichen Verlauf

33 km Höhe weniger als 10 mbar beträgt, tritt eine Bremswirkung erst nach einiger Zeit ein.

Die Temperaturkurven zeigen einen interessanten Verlauf. Während der äussere Sensor jeweils sofort auf Änderungen anspricht, reagiert der innere Sensor stark verzögert. Das zeigt die hervorragende Isolationsfähigkeit der Styropor-Box. Ebenso interessant ist der Temperaturverlauf anhand der Höhe. Die minimale Umgebungstemperatur wird etwa auf 12'500 m Höhe erreicht, sie liegt dann bei ca. -45°C . In 33 km Höhe steigt sie dafür wieder auf Werte nahe dem Gefrierpunkt.

Die Luftdruckmessungen sind im Diagramm nicht angegeben, da die gemessenen Daten nicht brauchbar sind. Der Grund dafür liegt wohl darin, dass der verwendete Drucksensor für den Betrieb in grossen Höhen nicht geeignet ist.

Nächste Mission in Planung

Die Analyse der Daten und Bilder hat gezeigt, dass noch etliche Verbesserungen möglich sind. Das Wetter war am Flugtag zwar schön, aber etwas zu dunstig. Dadurch sind nur die Aufnahmen während der Startphase und diejenigen bei maximaler Flughöhe brauchbar. Zudem ermüden die starken Rotationen während des Aufstiegs den Betrachter des Videos. Die Konstruktion der Kapsel sollte deshalb verbessert werden, so dass sie im Wind nicht mehr so stark rotiert, wobei eine leichte Rotation nicht unerwünscht ist, weil dadurch eine Rundumsicht erreicht wird. Wie bereits erwähnt, hat der Drucksensor nicht wie gewünscht funktioniert und muss darum ersetzt werden.

Aus diesen Gründen ist bereits eine weitere Mission in Planung, in der zusätzliche Werte wie Luftdruck und Beschleunigungskräfte gemessen werden sollen. Das Kamera-Equipment soll zudem um eine weitere *GoPro*-Kamera ergänzt wer-

den, welche für hochauflösende Fotos der Erdoberfläche sorgen wird.

Referenzen

- [CUSF] CUSF Landing Predictor: <http://habhub.org/predict/>
- [FEZP] GHI Electronics: <http://www.ghielectronics.com/catalog/product/256>
- [GMAP] GMap.NET: <http://greatmaps.codeplex.com/>
- [M3Sp] M3 Space Website: <http://www.m3space.imvs.ch>
- [XBEE] Digi Corp.: <http://www.digi.com/products/wireless-wired-embedded-solutions/zigbee-rf-modules/point-multipoint-rfmodules/xbee-pro-868>