

Leonardo da Vinci Campus  
Alfred-Nobel-Straße 10  
14641 Nauen

Seminarkursarbeit  
Im Leistungskursfach Physik  
3. Semester  
2013 / 2014

Betreuender Lehrer: Herr Wohlfarth

## **Aufstieg eines Wetterballons**

Heiko Lenz  
Sören Lenz  
Georg Drechsler

Alfred-Nobel-Straße 10  
14641 Nauen

## Inhaltsverzeichnis

|                                                 |    |
|-------------------------------------------------|----|
| 1. Einführung .....                             | 3  |
| 1.1 Die Idee.....                               | 3  |
| 1.2 Vorgehensweise .....                        | 3  |
| 2. Realisierungsplanung.....                    | 4  |
| 2.1 Planung/ Organisation .....                 | 4  |
| 2.2 Finanzierung .....                          | 7  |
| 2.3 Internetseite.....                          | 9  |
| 3. Bedeutung der Messgrößen .....               | 10 |
| 3.1 Temperatur.....                             | 10 |
| 3.2 Luftdruck .....                             | 11 |
| 3.3 Luftfeuchte.....                            | 12 |
| 3.4 Strahlung.....                              | 15 |
| 3.5 GPS .....                                   | 16 |
| 4. Entwicklungsphase .....                      | 18 |
| 4.1 Bau des Strahlungssensors .....             | 18 |
| 4.2 Mikrocontroller.....                        | 21 |
| 4.3 Programmierung .....                        | 24 |
| 4.3.1 Temperatur und Luftdruck .....            | 24 |
| 4.3.2 Luftfeuchte (mit Quelltexterklärung)..... | 25 |
| 4.3.3 Strahlung .....                           | 28 |
| 4.3.4 GPS .....                                 | 30 |
| 4.4 Die Fertiggestellte Schaltung .....         | 33 |
| 4.5 Stromversorgung .....                       | 33 |
| 4.6 Kamera.....                                 | 34 |
| 4.7 Bau der Sonde.....                          | 35 |
| 4.8 Testphase .....                             | 36 |
| 4.8.1 Strahlungssensor .....                    | 36 |
| 4.8.2 Strahlungsdetektor .....                  | 38 |
| 4.8.3 Schaltung.....                            | 40 |
| 4.8.4 GPS .....                                 | 41 |
| 4.8.5 Kamera.....                               | 41 |
| 5. Flugvorbereitung .....                       | 42 |
| 5.1 Nutzlast.....                               | 42 |
| 5.2 Mengenermittlung des Ballongases.....       | 42 |
| 5.3 Fallschirm .....                            | 43 |
| 5.4 Flugantrag.....                             | 43 |
| 6. Der Ballonflug .....                         | 44 |
| 6.1 Ballonstart.....                            | 44 |
| 6.2 Ballonlandung.....                          | 45 |
| 7. Auswertung.....                              | 46 |
| 7.1 Temperatur.....                             | 47 |
| 7.2 Luftdruck .....                             | 50 |
| 7.3 Luftfeuchte.....                            | 51 |
| 7.4 Strahlung.....                              | 54 |

|                                       |    |
|---------------------------------------|----|
| 7.5 GPS .....                         | 55 |
| 8. Persönlicher Nutzen.....           | 58 |
| 9. Literaturverzeichnis .....         | 59 |
| 10. Bildnachweis .....                | 62 |
| 11. Selbstständigkeitserklärung ..... | 63 |
| 12. Danksagung .....                  | 64 |
| 13. Anhang.....                       | 65 |

# 1 Einführung

## 1.1 Die Idee

Auf die Idee, einen Wetterballon starten zu lassen, brachte uns die Leiterin des Nauener Jugendclubs *MIKADO e.V.*, Anke Bienwald. Zu dieser Zeit hatte noch keiner von uns ein Thema gefunden, da kam uns dieser Einfall gelegen. Georg engagiert sich ehrenamtlich im Jugendclub und informierte Heiko und Sören von der Idee. Ursprünglich war geplant, dass Jugendclubbesucher einen Wetterballon starten. Da aber Georg vorhatte, das gesamte Projekt mit der Seminararbeit zu verbinden, hat Frau Bienwald keinen weiteren Jugendlichen aus dem Jugendclub gefragt. Georg hat dann Heiko und Sören gebeten, am Projekt teilzunehmen.

Einen Wetterballon unter wissenschaftlichen Gesichtspunkten zu starten war sehr anspruchsvoll. Jedoch förderte es das wissenschaftliche Arbeiten und passte außerdem zu unserem Profil Luft- und Raumfahrt. So wurde das individuelle Arbeiten zu einer kollektiven Arbeit. Nach einigen Überlegungen entschieden wir uns dafür, Messungen der Temperatur, des Luftdrucks, der Luftfeuchte und der kosmischen Höhenstrahlung in Form von Gammastrahlung durchzuführen, da diese Größen auch von dem Deutschen Wetterdienst gemessen werden. Außerdem wollten wir das Wetter besser verstehen. Die Seminararbeit hat den Sinn, sich neues Wissen anzueignen. Dieses zeigte sich vor allem in dieser Arbeit.

## 1.2 Die Vorgehensweise

Im Januar 2013 trafen sich Anke Bienwald, Olaf Gründel, unser Schulleiter, Tilo Steinbach, zuständig für die Öffentlichkeitsarbeit unserer Schule, der Physik- und Astronomielehrer Erwin Wohlfarth und Steffen Glagow, ein Funkamateur aus Nauen und ehrenamtlicher Mitarbeiter im Jugendclub Nauen, mit Georg. Es wurde darüber diskutiert, wie wir den Wetterballonstart als ein gemeinsames Projekt zwischen unserer Schule, dem Jugendclub und dem *Deutschen Amateur-Radio-Club e.V. / Ortsverband Nauen (DARC)* durchführen können. Dabei hat Georg von der Idee gesprochen, dass wir das Projekt zu wissenschaftlichen Zwecken nutzen und eine Seminararbeit darüber schreiben können.

Im Februar 2013 wurde mit der Projektarbeit begonnen. Zunächst wurde überlegt, was der Zweck und das Ziel des Wetterballonfluges ist. Dann wurde überlegt, was benötigt wird, welche Anforderungen, rechtlich wie persönlich, an uns gestellt werden und was sonst noch möglich ist. Am Projekt mitgeholfen haben Dirk-Holger Lenz, von Beruf Software-Entwickler, Steffen Glagow und Erwin Wohlfarth. Wir trafen uns anfänglich zweimal im Monat, später wöchentlich. Mit jeder Sitzung wurde weiter- oder umgedacht, sodass ein Konzept schrittweise erkennbar wurde.

Den meisten Teil der Arbeit haben wir zusammen erarbeitet. Für ein schnelleres Ergebnis wurden die planerischen Aufgaben untereinander verteilt: Georg war für die Haftpflichtversicherung und Finanzierung verantwortlich. Heiko kümmerte sich um die Kamera und erstellte die Internetseite. Sören kümmerte sich um ein geeignetes Strahlungsmessgerät, den Flugantrag, die Startortsuche und verbleibende Fragen bezüglich der Luftfahrt.

## **2. Realisierungsplanung**

### **2.1 Planung und Organisation**

Zu Beginn musste geklärt werden, was überhaupt gebraucht wird. Dann sind Anfragen nötig. Wir planten, Temperatur, Luftfeuchte, Luftdruck, Strahlung und GPS zu messen. Die Messgeräte haben wir in einem Elektronikfachhandel in unserer Umgebung gekauft und einen Mikrocontroller konnte uns die Schule geben. Das waren die ersten Ansätze, weitere, wie Kamera, Ballonhülle, Fallschirm und Ballongas, ergaben sich während des Projekts. Wir begannen erst einmal mit der Programmierung des Mikrocontrollers.

#### **Der Strahlungssensor**

Für die Strahlungsmessung suchten wir nach einem Messgerät. Da wir im Februar 2013, vor Projektbeginn, das *DESY - Deutsches Elektronen-Synchrotron* in Zeuthen im Rahmen unseres Schulunterrichts besuchten, fragten wir dort auch nach einem geeigneten Messgerät nach. Das *DESY*, eines der weltweit führenden Beschleunigerzentren - forscht unter anderem in der Teilchen- und Astroteilchenphysik. Uns wurde jedoch nur eine alte Technik, Fotoemulsion, empfohlen. Ein Messgerät war auch nicht zu entleihen. Das *Max-Planck-Institut für Gravitationsphysik* empfahl uns Gammastrahlungsdetektoren, die auf Photodioden basieren. Eine passende Internetseite zeigte uns den leicht umzusetzenden Eigenbau. So war auch das Messgerät gefunden.

#### **Die Kamera**

Wir entschieden uns für eine Videoaufzeichnung, damit wir das entstandene Bildmaterial auch in einem Film zeigen können. Denkbar war auch, während des Videos Fotos festzuhalten, sogenanntes „Multi Recording“, damit die Fotos eine höhere Auflösung haben. Jedoch ist diese Funktion nur bei wenigen Kameras vorhanden und hat dementsprechend seinen Preis. Wir kauften die *GoPro Hero 3 Silver Edition*, eine bekannte Action-Kamera, beliebt bei Sportlern, vielseitig einsetzbar, doch sie verfügt nur über Videoaufzeichnung. Der österreichische Extremsportler Felix Baumgartner trug mehrere Kameras von *GoPro* bei seinem Rekordsprung aus dem All bei sich. Zum Vergleich: Ein Wetterballon steigt auf 30.000 m, Baumgartner sprang aus 39.000 m Höhe. Die Kamera kommt mit Zusatzakku auf eine Laufzeit von vier Stunden. Sie selbst hat 280 Euro gekostet, mit Zusatzakku und MicroSD-Card 380 Euro.

#### **Das Ballongas**

Damit der Wetterballon auf 30.000 m steigt, muss Ballongas in reinem Zustand (99,99 %) verwendet werden. Das Gas muss dazu eine geringere Dichte als Luft haben. Infrage kommen Helium und Wasserstoff. Bedenklich wird es beim Helium, da natürliches Helium nicht ewig auf unserem Planeten existiert und bald verbraucht ist, da es überwiegend aus Erdgas gewonnen wird.

Unsere Anfragen bei großen Gashändlern ergaben, dass ein weltweiter Heliummangel herrscht und Helium deshalb bevorzugt an die Industrie vertrieben wird. Außerdem ist Helium

entsprechend teuer. Infrage kam dann Wasserstoff, da heutzutage Wetterballone auch mit Wasserstoff befüllt werden. Jedoch stellt Wasserstoff ein großes Risiko dar, da der Kontakt mit Sauerstoff eine Knallgasreaktion zur Folge haben könnte. Wir haben letztendlich einen Heliumvertreiber gefunden.

## **Der Flugantrag**

Für den Start des Ballons muss spätestens 14 Tage vor Start ein Antrag bei der *DFS (Deutsche Flugsicherung GmbH)* gestellt werden. Dieser Antrag ist kostenlos und formlos. Wichtige Daten für den Flugantrag sind das Datum für den Aufstieg und der genaue Startort (inkl. Koordinaten) sowie zusätzlich Gespannlänge, -farbe, -gewicht, Steig- und Sinkgeschwindigkeit und Aufstiegshöhe des Ballons.

Gemäß § 1 Absatz 2 des Luftverkehrsgesetzes (LuftVG) zählen zu Luftfahrzeugen auch Ballone. Ein Wetterballon ist ein Freiballon.

Nach §16a der Luftverkehrsordnung (LuftVO) ist für die Nutzung des Luftraums eine Flugverkehrskontrollfreigabe einzuholen, wenn es sich um einen Aufstieg eines unbemannten Freiballons mit einer Gesamtmasse von mehr als 0,5 Kilogramm handelt.

Außerdem sind wir nach der Luftverkehrszulassungsordnung (LuftVZO) zum Abschluss einer Haftpflichtversicherung verpflichtet. Der § 33 des LuftVG besagt, dass wenn das Luftfahrzeug durch einen Unfall Personen- bzw. Sachschaden verursacht ist der Halter des Luftfahrzeugs dazu verpflichtet den Schaden zu ersetzen. Zusätzlich muss eine Einverständniserklärung des Grundstückseigentümers, von wo aus der Ballonstart erfolgt, vorliegen.

## **Der Startort**

Es war geplant, den Ballon im Havelland zu starten. Da im Havelland kein Ereignis in dieser Form zuvor stattfand, stellte unser Projekt eine Besonderheit dar. Wetterballone werden täglich vom Deutschen Wetterdienst auf dem Gelände des Museums für Meteorologie und Aerologie in Lindenberg bei Storkow gestartet. Ein Start nahe dieses Ortes kam für uns nicht in Frage, da er sich nicht in unserer näheren Umgebung befindet und somit eine wesentlich längere Anfahrt und die Folge wäre.

Ausschlaggebend für den Startort war die Lage bzw. Entfernung zu den Berliner Flughäfen. Bei der Startortwahl war uns die DFS Deutsche Flugsicherung GmbH behilflich.

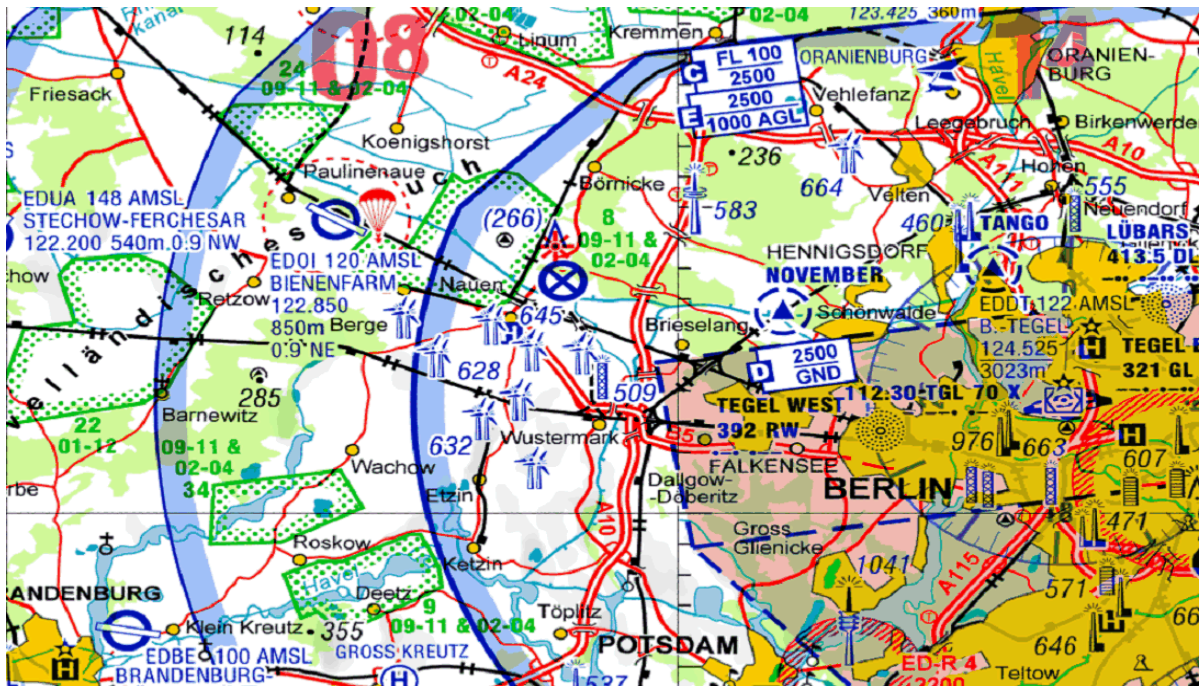


Abb. 1: Karte des Osthavellands nach der International Civil Aviation Organization (Internationale Zivilluftfahrt-Organisation)

Der Ballon treibt je nach Wetterlage weiter vom Startort ab. Meist herrscht in Mitteleuropa Westwind, wobei die Wetterlage im oberen Luftraum anders ist. Das bedeutet, der Ballon verändert seinen Kurs. Von der Flugsicherung wurde uns eine ICAO-Karte bereitgestellt, die das Osthavelland zeigt. ICAO-Karten werden in der allgemeinen Luftfahrt verwendet.

Danach befindet sich Nauen im Luftraum C. Ein Start von Nauen ist nicht optimal, da Nauen sich noch in der Flugschneise des Flughafen Berlin-Tegel befindet und ein Start abhängig vom Flugverkehrsaufkommen wäre. Darüber hinaus ist es wahrscheinlich, dass die Sonde in Berlin landen könnte und ein Aufspüren mühsam wäre. Von der Flugsicherung wurde uns deshalb ein Startort westlich von Nauen empfohlen.

Letztendlich kamen die Flugplätze Stechow-Ferchesar und Stölln/Rhinow (nicht mehr auf Karte) infrage. Von beiden erhielten wir die Zustimmung für einen Start. Wir haben uns rein aus historischen Gründen für den Flugplatz Stölln/Rhinow entschieden, dem ältesten Flugplatz der Welt. Dieser befindet sich am Gollenberg, westlich von Friesack, an dem Otto Lilienthal seine Flugversuche von 1894 bis zu seinem tödlichen Absturz am 9.08.1896 durchführte<sup>1</sup>. Der Flugplatz Stölln/Rhinow ist ein Sonderlandeplatz, auf dem der Flugsportverein „FSV „Otto Lilienthal“ Stölln/Rhinow e.V.“ aktiv der Segelfliegerei nachgeht.

<sup>1</sup> Vgl. FSV Stölln

## 2.2. Finanzierung

Bereits während der ersten Vorbereitungstreffen zu unserem Projekt stellten wir fest, dass wir für das Projekt einen – im Verhältnis zu unseren privaten Möglichkeiten - hohen Finanzbedarf haben werden. Um genauer über den Finanzrahmen und mögliche Finanzierungen sprechen zu können, entschieden wir uns, eine detaillierte Kalkulation zu erstellen. Bereits in dieser Projektphase involvierten wir sehr stark die Kooperationspartner, um deren Erfahrungen und Know-how im Bereich Projektmanagement nutzen zu können.

Am 7. Juni 2013 trafen wir uns mit Frau Bienwald und Herrn Glagow, um die Kalkulation zu erstellen und über mögliche Finanzierung zu sprechen. Nachdem wir einen ersten Überblick über die kalkulierten Kosten erarbeitet hatten, bot uns Herr Glagow an, verschiedene Positionen über den *Deutschen Amateur-Radio-Club e.V. / Ortsverband Nauen (DARC)* zu finanzieren. Darüber hinaus konnten wir einige Bauteile den Hobby-Beständen der Familie Lenz entnehmen, so dass sich die Finanzierungslücke auf die Posten Wetterballon, Gas, Kamera, Stromversorgung und Fahrkosten beschränkte. (siehe Tabelle 1)

| Was                                                                  | kalkulierte Kosten | finanziert durch ... |
|----------------------------------------------------------------------|--------------------|----------------------|
| Wetterballon                                                         | 100,00 €           |                      |
| Fallschirm                                                           | 50,00 €            | DARC                 |
| Gas                                                                  | 260,00 €           |                      |
| Versicherung                                                         | 100,00 €           | DARC                 |
| Kamera incl. Speicherkarte                                           | 300,00 €           |                      |
| Fahrkosten                                                           | 100,00 €           |                      |
| Sonde (Styropor)                                                     | 10,00 €            | DARC                 |
| Drucksensor                                                          | 10,00 €            | Eigenanteil          |
| Temperatursensor                                                     |                    |                      |
| ohne zusätzliche Funktionen                                          | 1,00 €             | Eigenanteil          |
| Luftfeuchtigkeitssensor                                              | 30,00 €            | Eigenanteil          |
| Photodiode                                                           | 5,00 €             | Eigenanteil          |
| Stromversorgung                                                      | 30,00 €            |                      |
| Kleinteile wie Widerstände, Dioden, Transistoren, Kondensatoren etc. | 20,00 €            | Eigenanteil          |
| <b>Gesamtkosten</b>                                                  | <b>966,00 €</b>    |                      |

**Tabelle 1: Kostenkalkulation für das Projekt**

Als zusätzliche Projektkosten planten wir die Finanzierung der Öffentlichkeitsarbeit ein. Da uns zu diesem Zeitpunkt allerdings der Umfang des Projektes noch nicht klar war (insbesondere zu welchem Zeitpunkt die Öffentlichkeit einbezogen werden soll), konnten wir

noch keine kalkulatorische Größe festlegen. Wir vereinbarten, dass wir diesbezüglich uns sehr stark mit den *DARC e.V. / Ortsverband Nauen*, *MIKADO e.V.* und dem *Leonardo da Vinci Campus* verknüpfen wollen, um deren Infrastruktur, z.B. Informationen auf deren Homepages etc., nutzen zu können.

Um die verbleibende Finanzierungslücke für unser Projekt von ca. 790 Euro zu schließen, bot uns Anke Bienwald, Jugendklub- und Projektleiterin im Jugendklub des *MIKADO e.V.*, an, uns bei der Suche nach einer Projektfinanzierung behilflich zu sein. Georg Drechsler erklärte sich bereit, die Suche einer möglichen Finanzierung und die Beantragung zu übernehmen.

### **Das Programm Think Big**

Anke Bienwald berichtete uns von dem Jugendprogramm *Think Big*, mit dessen Unterstützung Jugendliche aus dem Jugendclub Nauen bereits einige Jugendprojekte erfolgreich umsetzen konnten.

Das Jugendprogramm *Think Big* wurde von der Deutschen Kinder- und Jugendstiftung, der *Fundación Telefónica* und *O2* ins Leben gerufen. Ziel ist es, Jugendliche bei Projekten zu unterstützen und dabei deren Eigeninitiative und Engagement zu fördern. Außerdem wird den Jugendlichen durch die geförderten Projekte die Möglichkeit geboten, Jobperspektiven zu entwickeln.<sup>2</sup>

Unterstützt werden Projekte, die von Jugendlichen im Alter von 14 bis 25 durchgeführt werden und Projekte, die die Themen Umwelt, Kultur, Soziales und Gesellschaft, Sport oder Hochwasser beinhalten. Der Inhalt der Projekte ist dabei egal, es gibt Projektideen, wie einen Jugendclub verschönern und erneuern oder eine lokale Fernsehsendung von Jugendlichen für Jugendliche.<sup>3</sup> Diese Förderung beinhaltet ein Budget von bis zu 400 Euro und zahlreiche Coachings für die Jugendlichen.

Nach Absprache mit der gesamten Projektgruppe entschieden wir uns, einen Antrag an das Jugendprogramm *Think Big* für unser Projekt zu stellen.

Die Beantragung erfolgte über ein Online-Formular und ist sehr einfach und übersichtlich gestaltet. Nach ca. 1 Woche erhielten wir telefonisch eine Rückmeldung, dass die Programmkoordinatoren von *Think Big* Interesse an unserem Projekt haben und gerne weitere Informationen haben möchten.

Die gewünschten Informationen haben wir dann innerhalb weniger Wochen *Think Big* zukommen lassen, sie beinhalteten den Projektzeitraum, wie wir uns auf der Online-Plattform von *Think Big* präsentieren wollten, die Anzahl der Projektteilnehmer und der Unterstützer des Projekts.

Letztendlich wurde unser Projekt Anfang September genehmigt und am 9. September 2013 begann das Projekt, das von *Think Big* gefördert wurde, sodass wir das Gas, die Ballonhülle

---

<sup>2</sup> Kuntze, Think Big

<sup>3</sup> Kuntze, Projekte

und den Fallschirm kaufen konnten. Die Kosten, die wir durch *Think Big* abdecken umfassen das Gas, die Ballonhülle und die Akkus, die den Mikrocontroller mit Energie versorgen.

### **Der Leonardo-da-Vinci-Campus**

Da immer noch nicht genug finanzielle Mittel vorhanden waren, bot Herr Gründel, unser Schulleiter, uns an, dass die Schule einen Teil unserer Kosten übernimmt. Der betreffende Teil war die Kamera. Diese kann nun für spektakuläre Schulprojekte genutzt werden.

### **2.3 Internetseite**

Täglich steigen Wetterballons bzw. Höhenballons vom *Deutschen Wetterdienst*<sup>4</sup> in Deutschland auf. Dabei werden Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Windrichtung und Windgeschwindigkeit gemessen. Privatpersonen haben auch schon einen Wetterballon gestartet, wobei die meisten ihren Flug gefilmt haben und vereinzelt meteorologische Daten erfasst wurden.<sup>5</sup> Unser Projekt ist in dem Messumfang außergewöhnlich, weil wir mehrere Größen messen und umfangreich auswerten. Deshalb ist eine Internetseite in Bearbeitung. Interessenten können sich von unserer wissenschaftlichen Arbeit inspirieren lassen, die jedem Besucher kostenlos bereitgestellt wird. Diese Plattform dient darüber hinaus als Informationsquelle über die physikalischen Größen Luftdruck, Luftfeuchtigkeit, Strahlung, Temperatur und den Aufbau der Atmosphäre. Somit können sich auch junge Leser, insbesondere Schüler informieren. Die Internetplattform wird zusätzlich mit Fotos, Videos und Auswertungen der Projektarbeit gestaltet. Praktisch kann der Nutzer unser Projekt nachverfolgen.

Unser Partner *Think Big* hat zudem einen Blog für uns bereitgestellt, in dem wir über aktuelle Stände der Projektarbeit berichteten. Besucher können Kommentare abgeben und uns weiterempfehlen.

---

<sup>4</sup> Vgl. Deutscher Wetterdienst, 2007

<sup>5</sup> Vgl. Pirnay, Jens: „Projekt Stratosphäre“

### 3. Bedeutung der Messgrößen

#### 3.1 Temperatur

Unter der zu messenden Temperatur in der Erdatmosphäre ist die Lufttemperatur zu verstehen. Die Temperatur ändert sich in der Atmosphäre mit und in den verschiedenen Luftschichten. Je schneller sich die Luftmoleküle bewegen, desto höher ist der Luftdruck und damit die Temperatur. In den höhergelegenen Schichten, etwa ab der Mesosphäre, nimmt der Luftdruck ab, die Luft ist dünner und damit die Temperatur relativ niedrig. Die Lufttemperatur hängt zudem von der Strahlungsintensität und der Wettereinwirkung ab.

Wir messen die Temperatur auf unserem Ballonflug, weil sie Bedingung für die Wetterphänomene auf der Erde ist. Aus den gemessenen Temperaturwerten möchten wir u.a. die Temperaturänderung berechnen und die Ursachen dafür erschließen. Wir können so die Struktur der Atmosphäre beschreiben. Die Erfüllung unseres Projektziels, das Wetter besser zu verstehen, ist uns vorwiegend durch die Temperaturmessung gegeben. Die Auswertung geschieht in der Einheit Grad Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ).

Der Deutsche Wetterdienst startet täglich Radiosonden und misst ebenfalls die Lufttemperatur.<sup>6</sup> Aus solchen wissenschaftlichen Arbeiten lassen sich Temperaturverläufe in der Atmosphäre ablesen. Das nebenstehende Diagramm zeigt die zu erwartende Temperaturschwankung. Es half uns im Übrigen die Messgeräte richtig zu dimensionieren.

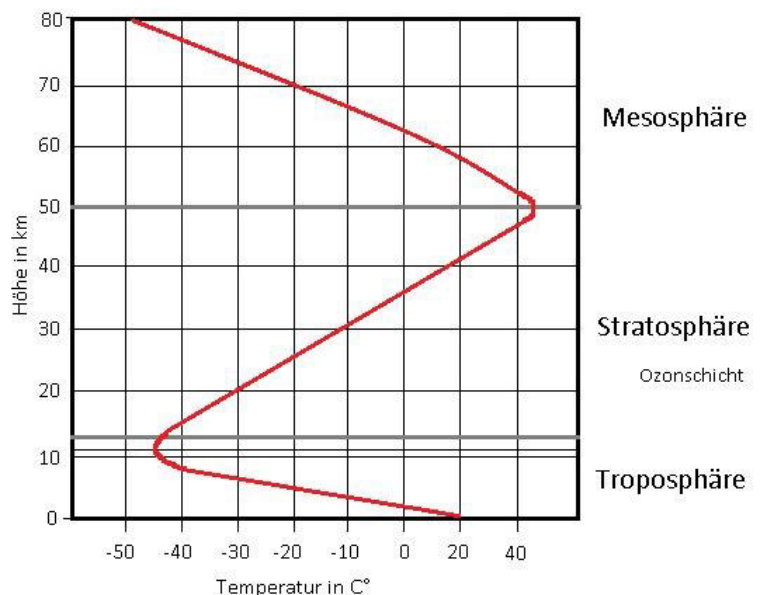


Diagramm 1: Verlauf der Temperatur in der Atmosphäre

Der Grafik ist zu entnehmen, dass die Temperatur stark sinkt. Deshalb benötigten wir einen Temperatursensor, der den niedrigen Temperaturen standhält. Wir nutzten den Temperatursensor KTY 81-110 von Philips, da er zwischen  $-55$  und  $+150$   $^{\circ}\text{C}$  mit einer geringen Toleranz von 0,5 % misst. Er ist ein Halbleiter bestehend aus Silizium. Bei  $-55$   $^{\circ}\text{C}$  weicht die Temperatur geringfügig um drei Prozent ab. Somit kann die Temperatur ideal in der Troposphäre gemessen werden.



Abb. 2: Der KTY 81-110

Der KTY 81-110 Sensor ist wie unsere anderen Sensoren ein Halbleitersensor.

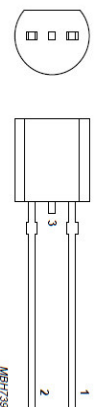


Abb. 3: Schema des Temperatursensors

<sup>6</sup> Vgl. Vömel, 2013

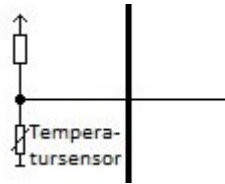


Abb. 4: Ausschnitt  
Schematischer Aufbau  
(siehe Anhang)

Der Sensor ist ein Kaltleiter (PTC- Positive Temperature Coefficient). Das heißt, er leitet bei niedrigen Temperaturen besser als bei hohen, weil sich sein elektrischer Widerstand bei sinkender Temperatur verkleinert, bei steigender Temperatur vergrößert er sich. Die Messung erfolgt anhand des Widerstandwertes. Der Sensor wird dazu mit einem Widerstand in Reihe geschaltet, sodass wir einen Spannungsteiler haben und der Spannungsabfall gemessen wird (Abb. 4). Zur Realisierung nutzen wir einen A/D-Wandler vom Mikrocontroller.

### 3.2. Luftdruck

Der Luftdruck gibt an, wie viel Kraft die Luftsäule auf eine bestimmte Fläche ausübt. Dabei wird die übliche Einheit  $1 Pa$  (Pascal) folgendermaßen berechnet:

$$1 Pa = \frac{1N}{1m^2}$$

Die genannte Luftsäule verkürzt sich mit zunehmender Höhe, sodass sich die ausgeübte Kraft verringert. Dadurch verringert sich auch der Luftdruck. Aufgrund dessen, dass die Gravitationskraft der Erde mit zunehmender Höhe und somit auch die Dichte der Luft abnimmt, nimmt auch der Luftdruck exponentiell, sich der Null annähernd, ab.

Wir planen den Luftdruck während des Fluges zu messen, weil wir die Absicht hatten, dass unser Wetterballon ähnlich bestückt ist, wie ein Wetterballon von dem Deutschen Wetterdienst. Außerdem wollten wir anhand des Luftdrucks die reale Höhe ausrechnen, falls mal das GPS-System ausfällt. Dies könnten wir dann mit der barometrischen Höhenformel:

$$p = p_0 \cdot e^{\left(-\frac{\rho_0 \cdot g}{p_0} \cdot h\right)}$$

Um den Minimalwert des Luftdrucks Bei gerundeten  $1000 hPa$  auf Meeresspiegelhöhe und einem voraussichtlichen Höchstpunkt von  $18000 m$  über dem Meeresspiegel zu berechnen muss man folgenden Weg gehen, wobei diese Rechnung nur im Optimalfall mit trockner Luft und exakt  $1000 hPa$  auf Meeresspiegelniveau:

$$\begin{aligned} p &= 10^5 Pa \cdot e^{\left(-\frac{1,29 \frac{kg}{m^3} \cdot 9,81 \frac{m}{s^2}}{10^5 Pa} \cdot 18000m\right)} \\ p &= 10^5 Pa \cdot e^{-2,28} \\ p &= 10^5 Pa \cdot 0,10228 \\ p &= 10228 Pa \\ p &= 102,28 hPa \end{aligned}$$

Vorausgesetzt, die Luft ist trocken, was nie sein kann wo Leben ist, dann messen wir bei einer Höhe von  $18000 m$  ungefähr ein Zehntel von dem, was wir auf dem Boden messen.

## Die Messtechnik

Der Sensor, den wir zur Messung des Luftdrucks genutzt haben, ist der Luftdrucksensor MPX5100D, er hat einen spezifizierten Messbereich von 150 bis 1150 hPa und hat einen Fehlerbereich von 25 hPa, der bei extremen Temperaturen von -40 °C verdreifacht wird.<sup>7</sup>

In diesem Luftdrucksensor befindet sich eine kleine Kammer mit niedrigem Innendruck, umgeben von einer Membran. Je nachdem, wie stark die Membran in diese Kammer gedrückt wird, kann die Elektronik des Sensors den Druck berechnen.



Abb. 5: Der MPX5100A

### 3.3 Luftfeuchte

Die Luftfeuchte ergibt sich aus der in der Luft vorhandenen durch Wasserdampf verursachten Feuchtigkeit. Die Luft ist ein Gemisch verschiedener Gase, worunter der Wasserdampf gehört. Das Prinzip ist schnell erklärt:

Warme Luft kann mehr Wasser aufnehmen als kalte Luft (sie ist noch nicht gesättigt). Das bedeutet, sie enthält mehr Wasser und die Feuchtigkeit verdampft schneller – die Luft fühlt sich trocken an. Die Luftfeuchte hängt also mit der Temperatur zusammen. Ein Blick auf das nebenstehende Diagramm zeigt: Bei null Grad Celsius kann der Wassergehalt in der Luft maximal vier Gramm pro Kubikmeter betragen, bei 100 Grad Celsius schon 600 Gramm pro Kubikmeter. Diese Form der Angabe entspricht der „absoluten Feuchte“.

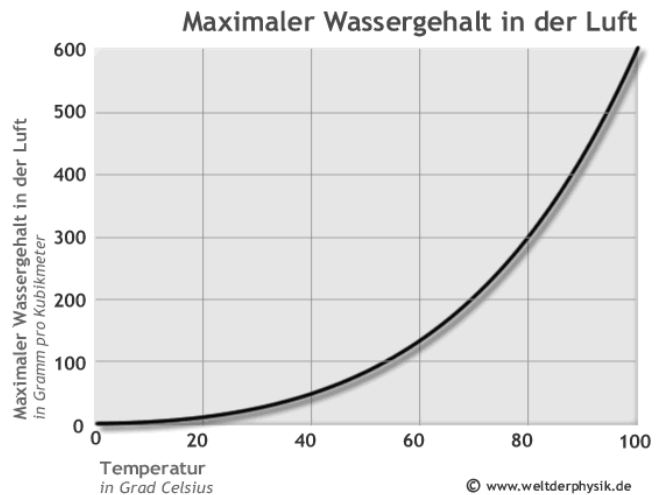


Diagramm 2: Maximaler Wassergehalt in der Luft

### Relative Luftfeuchte

Einen Unterschied zur absoluten Feuchtigkeit bildet die relative Feuchtigkeit. In der Meteorologie wird diese am häufigsten verwendet. Sie wird prozentual angegeben, indem die absolute Feuchtigkeit mit der Sättigungsfeuchte ins Verhältnis gesetzt wird. Bei Nebel beträgt die relative Feuchte 100 Prozent. Dabei ist die Temperatur nicht sehr hoch und die Luft hat einen erhöhten Wasserdampfgehalt. Sie kann den Wasserdampf nicht aufnehmen und es bilden sich Wassertröpfchen<sup>8</sup>. Die relative Luftfeuchte nimmt mit steigender Temperatur ab. Bei absoluter Trockenheit beträgt sie null Prozent.

<sup>7</sup> Vgl. Motorola

<sup>8</sup> Vgl. Titz 2006

Eine besondere Stellung nimmt die relative Luftfeuchte bei der Nebelbildung ein. Der Nebel bildet sich nicht aufgrund niedriger Temperaturen, wobei anzumerken ist, dass es mehrere Nebelarten gibt.

„Wird mit Wasserdampf gesättigte Luft unter einen Temperaturwert, dem Taupunkt, abgekühlt, dann scheidet sie flüssiges Wasser durch Kondensation aus.“ (Deutscher Wetterdienst 2013).<sup>9</sup> Diese sogenannte Taupunkttemperatur ist eine von der aktuellen Temperatur unabhängige Größe.

## Nutzung

Übertragen auf den Wetterballonflug muss verstanden werden, wie sich die Luftfeuchte in den Luftschichten verhält. Zunächst wird der Wasserkreislauf betrachtet. Dieser kommt durch laufende Verdunstung und Kondensation zustande. Die Verdunstung bezeichnet den Übergang des Wassers vom flüssigen in den gasförmigen Aggregatzustand. Dabei wird dem Wasser an der Oberfläche Wärme entzogen (Verdunstungskälte)<sup>10</sup>. Der Atmosphäre wird dadurch ständig Wasserdampf zugeführt. Die meiste Verdunstung passiert über den Weltmeeren. Sobald der Sättigungsdampfdruck der Luft erreicht ist, entstehen Tröpfchen, die Wolken, Nebel oder Tau bilden. Dabei wird Wärme frei, die sogenannte „latente Wärmeenergie“<sup>11</sup>, die beim Verdunsten dem Wasser entzogen wurde. Der Wasserdampf kondensiert, wird flüssig. Die Kondensation des Wasserkreislaufs passiert in der Troposphäre.



Abb. 6: Kreislauf des Wassers

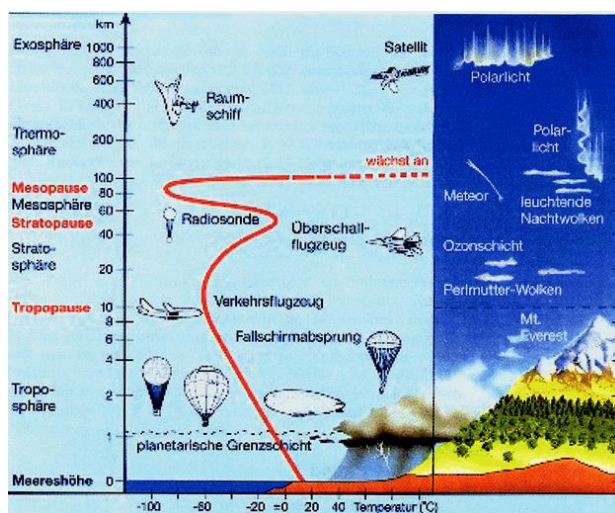


Abb. 7: Temperaturverlauf in den Luftschichten

Demzufolge müsste sich aus den Messungen der Luftfeuchte ein Anstieg der relativen Luftfeuchte bis zur Troposphäre und ab dann ein Rückgang bis zur Stratosphäre (30.000 m liegen in dieser Schicht) ergeben, da der Wasserstoff in den Luftschichten schon weitestgehend aufgenommen wurde (99 % des Wasserdampfes<sup>12</sup>) und somit ein Sättigungsdampfdruck nie erreicht werden kann. Außerdem bilden sich in den höheren Luftschichten keine Wolken mehr. Verglichen mit dem Temperaturverlauf ist das nachvollziehbar. Ab der Tropopause steigt die Temperatur wieder, die Luft erwärmt sich. In dieser Luftschicht befindet sich die Ozonschicht. Diese absorbiert die UV-Strahlung der Sonne und wandelt sie in Wärmeenergie um. Deshalb steigt die Temperatur.

<sup>9</sup> Vgl. Deutscher Wetterdienst 2013

<sup>10</sup> Ebd.

<sup>11</sup> Ebd.

<sup>12</sup> Vgl. Schedler 2001

Wir maßen die Luftfeuchte, da sie zum Wettergeschehen beiträgt und sich damit Überlegungen anstellen lassen.

## Die Messtechnik

Die Luftfeuchte wird mit einem kapazitiven (Polymer) Feuchtesensor gemessen. Solch ein Bauteil ist recht klein und platzsparend. Wie aus der Bezeichnung zu entnehmen ist, arbeiten kapazitive Feuchtesensoren wie Kondensatoren, genauer gesagt wie Plattenkondensatoren. Die zwei Platten stehen sich als Elektroden gegenüber. Eine Platte trägt auf einem keramischen Material den Polymerfilm. Polymere sind Moleküle aus langen, sich wiederholenden Ketten.<sup>13</sup>

Die zweite Platte wird als wasserdampfdurchlässige Elektrode genutzt. Zwischen diesen beiden Kondensatorplatten wird ein Dielektrikum geschoben, dessen Dielektrizitätszahl sich in Abhängigkeit von der aufgenommenen Feuchtigkeit ändert<sup>14</sup>. Die Änderung der Kapazität wird als Messgröße verwendet. Wenn die Dielektrizitätszahl steigt, erhöht sich die Kapazität.

Mit einer vom Hersteller angegebenen Formel lässt sich aus den Kapazitätsänderungen die Luftfeuchte berechnen. Andere kapazitive Feuchtesensoren haben außerdem einen Temperatursensor integriert, womit die absolute Luftfeuchte berechnet werden kann, doch können diese nur bis zu einem Temperaturwert von -40 °C arbeiten.

Wir verwendeten den kapazitiven Feuchtesensor KFS 140-FA von HYGROSENS Instruments der die relative Luftfeuchtigkeit misst. Er wurde speziell für den Einsatz in Radiosonden und Wetterballons entwickelt und hat dadurch bei extrem niedrigen Temperaturen (-60 – 150 °C) einen kleinen Fehlerbereich.<sup>15</sup>



Abb. 8: Der KFS 140-FA

---

<sup>13</sup> Vgl. Subramanyam et al 2010: 97

<sup>14</sup> Vgl. Michell Instruments 2013

<sup>15</sup> Vgl. Reichelt Elektronik 2013

### 3.4 Strahlung

Wir maßen Gammastrahlung, weil sie in der Atmosphäre gut zu messen ist und wir die Strahlungsintensität in der Atmosphäre erfahren wollten. Gammastrahlung auf der Erde stammt überwiegend aus der Sonne, sonst aus anderen Bereichen des Weltalls. Auf der Erde ist die Gammastrahlung nicht so stark zu detektieren wie Alpha- und Betastrahlung, da sie größtenteils von der Ozonschicht, aber auch anderen Luftschichten absorbiert und abgebremst wird. Das lebenswichtige Ozon ( $\text{O}_3$ ) entsteht durch den Aufprall kurzweiliger UV-Strahlung auf Sauerstoffmoleküle.<sup>16</sup> Dieses zerfällt jedoch sehr schnell in Sauerstoffmoleküle ( $\text{O}_2$ ). Somit kommt es zu einem Gleichgewicht zwischen Auf- und Abbau von Ozon.<sup>17</sup> Wetterballone fliegen in der Regel in eine Höhe von 25 bis 30 km. Mit etwas Glück erreicht der Ballon sogar 35 km Höhe, sodass der Ballon über der Ozonschicht<sup>18</sup> schwebt und mehr Gammateilchen auf die Photodiode treffen.

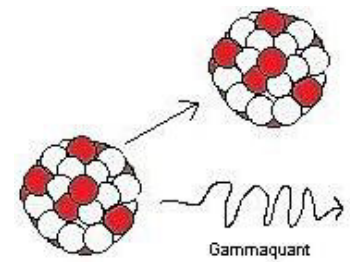


Abb. 9: Die Entstehung von Gammastrahlung

Gammastrahlung entsteht sowohl bei Zerfallsprozessen zwischen Materie und Antimaterie, als auch bei radioaktiven Prozessen zwischen entsprechenden Elementen. Auf der Erde entsteht Gammastrahlung durch Alpha- oder Beta-Zerfällen. Nach einem Zerfall hat der Atomkern sehr viel Energie, d.h. er ist überladen und außerhalb seines Grundzustandes. Er hat überschüssige Energie. Folglich sendet er Gammastrahlen aus, welche die Energiedifferenz der Zerfallselemente annimmt.<sup>19</sup> Gammastrahlung hat ein weitaus größeres Durchdringungsvermögen als Beta- und Alphastrahlung aufgrund der kleinen Wellenlänge von  $< 0,5 \text{ nm}$ . Ein weiterer Unterschied besteht darin, dass Alphastrahlung in kurzer Zeit die Materie ionisiert, Betastrahlung hat eine größere Reichweite, welche von der Protonenanzahl in der Materie abhängt.<sup>20</sup> In der Erdatmosphäre tauchen u.a. deshalb Alpha- und Betateilchen nicht auf, weswegen wir diese bei der Strahlungsmessung ausschließen konnten.

Es ist bekannt, dass die Ozonschicht ein sogenanntes Ozonloch hat. Damit wird ein Bereich in der Atmosphäre über den Polen gemeint, der durch Treibhausgase und Umwelteinflüsse entstanden ist und dessen Schichtdicke klein ist. Durch diese Schicht gelangt der größte Anteil der Strahlungsarten. Das zeigt, dass die Ozonschicht für das Klimageschehen ausschlaggebend ist. Davon abgesehen, versprochen wir uns auffällige Strahlungsmesswerte in der Ozonschicht.<sup>21</sup>

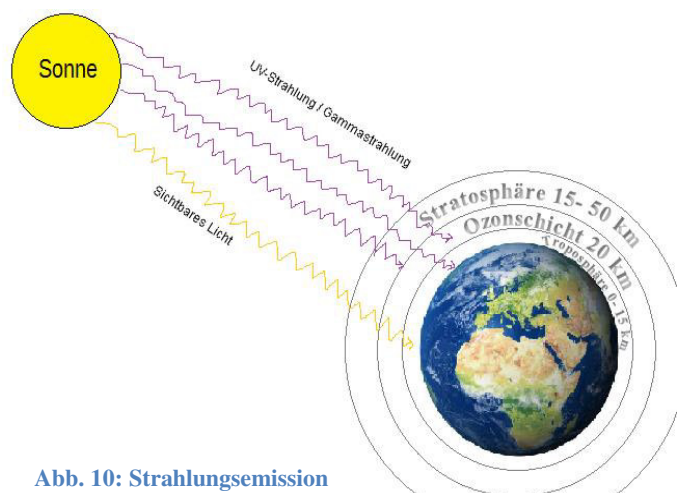


Abb. 10: Strahlungsemission der Sonne

<sup>16</sup> Vgl. Franck 2012

<sup>17</sup> Vgl. Meyers Grosses Taschenlexikon 2001

<sup>18</sup> Vgl. Franck 2012

<sup>19</sup> Vgl. Volkmer 2002

<sup>20</sup> Ebd.

<sup>21</sup> Vgl. Franck, 2012

### 3.5 GPS

GPS, das ist die Abkürzung für Global Positioning System, ist ein für die Positionsbestimmung entwickeltes System des amerikanischen Verteidigungsministeriums. Ordnungsgemäß wird von *NAVSTAR* (Navigation System for Timing and Ranging) gesprochen. Neben diesem amerikanischen System gibt es noch das russische *GLONASS* (Global Navigation Satellite System), das ähnlich funktioniert aber sich nicht global durchgesetzt hat. Das GPS steht jedem frei zur Verfügung. Grundlage bilden die auf der Erdumlaufbahn kreisenden, geosynchronen Navigationssatelliten. Über 30 Satelliten sind für das System ausgelegt, wobei 24 davon aktiv sein müssen. Unterteilt ist das System in Weltraumsegment (Space Segment), Kontrollsegment (Control Segment) und Empfängersegment (User Segment). Dabei bilden die Satelliten das Weltraumsegment, Kontrollstationen das Kontrollsegment und der GPS-Empfänger das Empfängersegment. Die Satelliten senden regelmäßig Signale in Form von Radiowellen an den GPS-Empfänger, der dann aus diesen Signalen seine genaue Position, Geschwindigkeit und Zeit bestimmen kann.<sup>22</sup>

#### Positionsbestimmung

Für die Positionsbestimmung sind Signale von mindestens drei Satelliten notwendig, da der GPS-Empfänger seine Position sonst nur auf der Erdoberfläche bestimmen kann. Es handle sich dann um eine zweidimensionale Positionsbestimmung (2D position fix).<sup>23</sup>

Der GPS-Empfänger vergleicht die Zeit der Signalausendung mit dem Signalempfang und bestimmt aus der Zeitdifferenz die Entfernung zum Satelliten. Ein Signal wird normalerweise innerhalb von 0,067 Sekunden<sup>24</sup> empfangen. Zunächst wird eine einzelne Signalübertragung betrachtet: Damit lässt sich lediglich die Entfernung beider Segmente bestimmen. Man stelle sich einen Blitzeinschlag vor und zähle die Sekunden zum Donner.<sup>25</sup> Nun ist die Entfernung aus Zeitdifferenz und Schallgeschwindigkeit (bei 20 °C 344 m/s) zu berechnen. Übertragen auf das GPS nehme man die 0,067 m/s als Geschwindigkeit. Die Geschwindigkeit des GPS-Empfängers und die Bewegungsrichtung können dann nach mehreren Positionsdaten auch bestimmt werden. Der 3D-Position-Fix hat eine genauere Ortsbestimmung zur Folge. Ein einzelnes Signal legt beispielsweise genau 300 km zum Empfänger zurück, dann ist die Positionsbestimmung höchstens auf diese Distanz korrekt. Vergleicht man drei Satelliten miteinander, so lässt sich der Durchschnitt bzw. Schnittpunkt ihrer Daten berechnen, wobei nun auch die Höhe enthalten ist (3D position fix). Diese sogenannte Pseudoentfernung (pseudo range) ist auf einen Radius von 15 Metern genau.

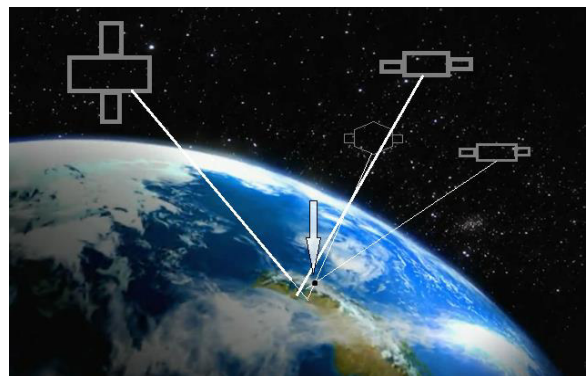


Abb. 11: Positionsbestimmung anhand von Satelliten

<sup>22</sup> Vgl. Köhne/Wößner 2008 (1)

<sup>23</sup> Vgl. Köhne/Wößner 2008 (2)

<sup>24</sup> Vgl. Wassermann 2011

<sup>25</sup> Ebd.

Die Kontrollstationen haben lediglich die Aufgabe der Kontrolle der Satelliten. Befindet sich ein Satellit genau über einer Kontrollstation, werden empfangene Signale auf korrekte Angabe der Position und Uhrzeit geprüft.<sup>26</sup> Stimmen diese beispielsweise nicht mit der Position der Kontrollstation überein, werden neue Navigationsmitteilungen an den Satelliten gesendet. Eine falsche Angabe der Uhrzeit passiert selten, da Satelliten mit Atomuhren ausgestattet sind.

## Nutzung

Wir verwendeten das GPS zur Messung der Höhe und des Längen- und Breitengrads. Das GPS war für unseren Wetterballonflug wichtig, damit wir unsere eingebauten Geräte wiederfinden und die Daten auswerten konnten. Außerdem lässt sich später aus den GPS-Daten die Flugbahn dreidimensional in Google Earth veranschaulichen.



Der verwendete GPS-Empfänger gibt die Daten der Auswertung in Form von Datenpaketen aus. Für uns interessant ist der GPGGA-Datensatz. Dieser enthält die Zeit, Position und Höhe. Mehr dazu in Kapitel 4.4.

Abb. 12: Der GPS-Empfänger

Wir haben die empfangenen GPS-Navigationsdaten auch für die Funkfernübertragung genutzt, damit wir den Ballon verfolgen konnten. Dafür wird das APRS (Automatic Packet Reporting System) genutzt. Herr Glasgow nutzte sein Auto als

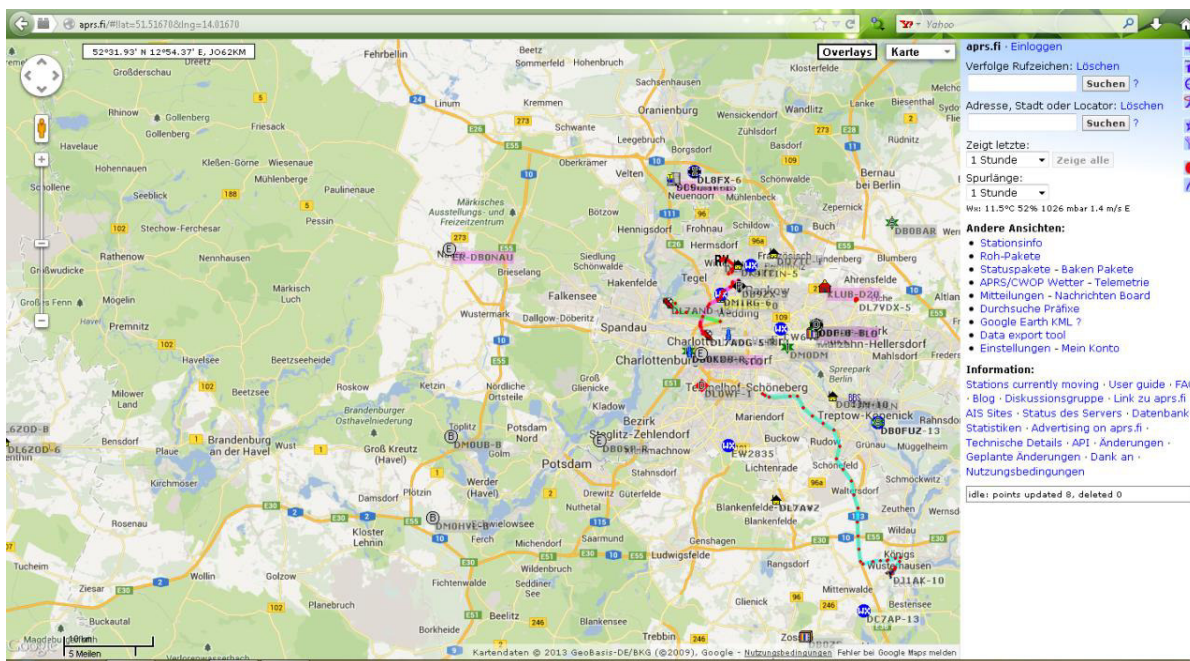


Abb. 13: Die von vielen Amateurfunkern genutzte Internetseite [aprs.fi](http://aprs.fi)

Amateurfunkstation. Der GPS-Empfänger wertet die von den Satelliten empfangenen Daten aus und gibt die berechneten Positionsdaten in Form der oben beschriebenen GPGGA-Datensätze aus. Ein Funkmodem sendet sie über Funk im 1-Minuten-Takt weiter. Die Amateurfunkstation empfängt diese und spielt sie ins APRS-Netz ein. Mit den empfangenen Funksignalen ist es möglich, auf einer digitalisierten Landkarte die Position zu verfolgen.

<sup>26</sup> Vgl. DomainLoc.com GmbH

Dazu benutzten wir die Internetseite *aprs.fi*. Die GPS-Ausrüstung wurde uns von Herrn Glasgow bereitgestellt.

## 4. Entwicklungsphase

### 4.1 Bau des Strahlungssensors

Die Photodiode BPW-34 ist eine Halbleiterdiode mit pin-Übergang. Sie kann zwischen -40 und +85 Grad Celsius betrieben werden. Befindet sie sich außerhalb dieser Reichweite kommt es zu einer größeren Abweichung der Werte. Dazu kann sie Strahlung bis zu einer Wellenlänge von 850 nm auf einer Fläche von 2,65 x 2,65 mm messen. Ihre Kapazität beträgt 73 pF. Sie besteht aus Silizium, das in der Natur häufig vorkommt, z.B. im Sand. Das Kristallgitter von reinem kristallinem Silizium enthält keine freien Elektronen. Das bedeutet, dass es in diesem Zustand kaum Strom leiten kann. Durch gezieltes Verunreinigen (Dotieren) oder hohe Feldstärken können Ladungsträger frei werden. Eine normale Diode (pn-Diode) besteht aus einer p (positive) und einer n (negative) dotierten Siliziumschicht. Zwischen diesen beiden Schichten baut sich die Sperrschicht auf.



Abb. 14: Die Photodiode BPW-34

Pin-Dioden haben zusätzlich die i-Schicht. Das „i“ steht für intrinsisch= eigenleitend. Wenn sie in *Sperrrichtung* betrieben werden, werden die Ladungsträger an dieser Schicht vom Durchlaufen abgehalten, dadurch bildet sich eine größere Sperrschicht als bei pn-Dioden aus. Sie wirkt in diesem Fall als Sperrschicht. Die Abkürzung „pin“ steht für *positive intrinsic negative*.

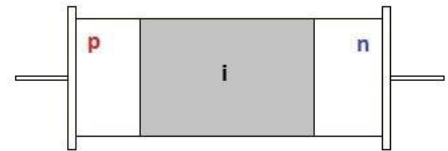


Abb. 15: Aufbau einer Pin-Diode

Trifft Licht auf die Photodiode werden einfallende Photonen absorbiert, indem sie ihre Energie an Elektronen abgeben. Wird Wärme zugeführt, leitet die Diode, weil das Silizium aufgrund der entsprechend hohen Energiezufuhr zu schwingen beginnt und daraufhin die Bindung aufbricht.<sup>27</sup> Daher sind sie wegen der Wärmezufuhr eigenleitend.

Pin-Dioden sind aufgrund ihrer i-Schicht und größeren Sperrschicht rauschärmer als pn-Dioden. Wird die Diode vor Photonen abgeschirmt, etwa durch Alu-Folie, kann sie als Strahlendetektor eingesetzt werden.

### Die Messtechnik

Trifft ein hochenergetisches Gammaquant auf die empfindliche Fläche, entstehen dort freie Ladungsträger und bewirken einen Stromfluss. Dieser Stromfluss bewirkt eine Spannungsänderung an dem in Reihe geschalteten Widerstand. Das Eintreffen eines Gammaquants können wir an der Spannungsänderung erkennen.

Die Anzahl dieser Spannungsänderungen ist

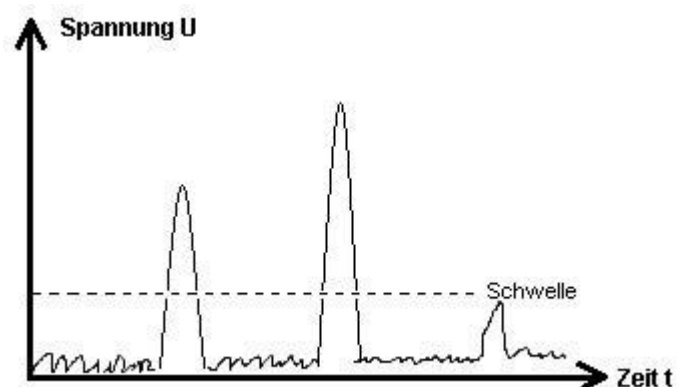


Diagramm 3: Prinzip der Impulsmessung

<sup>27</sup> Vgl. Danielak, 2006

dann ein Maß für die Stärke der Strahlung. Die Schwierigkeit besteht darin, diese kleinen Spannungsänderungen gegenüber dem Rauschen, das durch Wärme und Störstrahlung entsteht, zu erkennen. Die Messschaltung muss sorgfältig aufgebaut werden, um nur wenige Störungen zu verursachen und es muss die Schwelle ermittelt werden, sodass keine Störungen oberhalb der Schwelle liegen, aber die Spannungsänderungen aufgrund der Gammaquanten erkannt werden. Kommt es zu einer hohen Amplitude über dem eingestellten Bereich, also einer Spannungsänderung, lässt sich ein Gammaquant vermuten. Es kommt graphisch zu einem Ausschlag, der als Messimpuls zu verstehen ist. Durch die eingestellte Schwelle vermeiden wir, Rauschpulse zu messen.

Das geschriebene Programm auf dem Mikrocontroller stellt die Schwelle so ein, dass sie 100 mV über dem Rauschen liegt. Die Impulse der Gammateilchen werden gezählt und abgespeichert.

## Umsetzung

Die Photodiode ist eine Alternative zum Geiger-Müller-Zählrohr. Vom Max-Planck-Institut

wurden wir auf die Internetseite:

<http://www.elektronik-labor.de/Projekte/Alpha.html> hingewiesen. Dort gibt es einen

Schaltplan, den wir etwas abgewandelt haben. Einerseits waren andere Widerstände bereits vorhanden, andererseits wollten wir die Empfindlichkeit der Schaltung erhöhen, sodass wir in den Schaltplan drei Transistoren zur Verstärkung der elektrischen Signale einbauten.

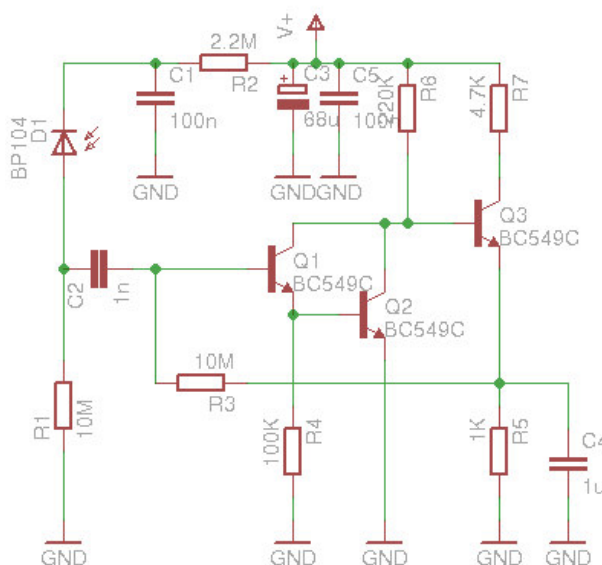


Abb. 16: Schaltplan des Strahlungssensors

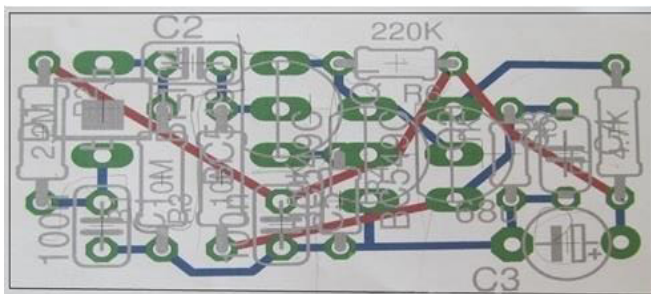
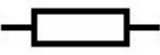
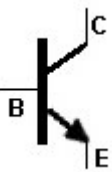
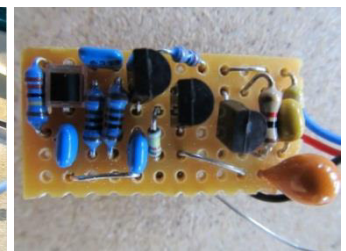
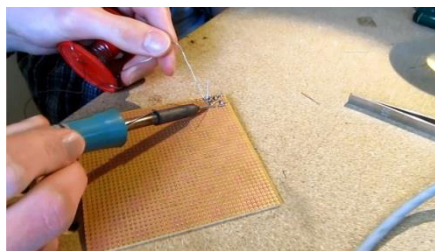
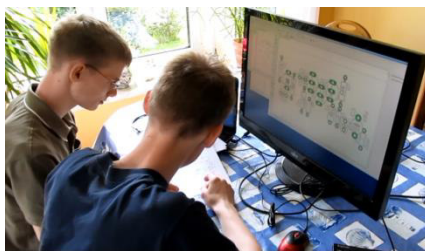


Abb. 17: Layout-Plan des Strahlungssensors

Anschließend wurde aus dem Schaltplan mit dem Programm *CadSoft Eagle PCB* unter Linux ein Layout-Plan erstellt, um das Löten der Schaltung zu vereinfachen. Die Schaltung wurde auf einer Lochrasterplatine aufgebaut.

## Die Schaltzeichen

|                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    | <p>Der <b>Widerstand</b> ist ein ohmscher Widerstand und begrenzt die Stromstärke. Er lässt Spannungsänderungen aufrechterhalten. Der Widerstand R1 mit 10 Megaohm ist ein großer Widerstand um die Spannungsänderung groß zu haben.</p> <p>[Beispiel: <math>U = I * R \rightarrow 30 \text{ A} * 10^6 \Omega = 3 * 10^8 \text{ V}</math>]</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|    | <p>Die BPW-34 <b>Photodiode</b> wird in Sperrrichtung betrieben. Über die Sperrschicht fließt ein kleiner Strom, deshalb nutzen wir z.B. den 10 Megaohm-Widerstand R1.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|    | <p>Ein <b>Transistor</b> hat drei Anschlüsse: Basis (B), Kollektor (C) und Emitter (E). Am Anschluss B fließt der Basisstrom in den Transistor, bei Anschluss C ebenso, und der verstärkte Strom aus dem Emitter E.</p> <p>Die verwendeten drei Transistoren haben den Verstärkungsfaktor 600. Die Transistoren Q1 und Q2 sind hintereinander geschaltet, um doppelt zu verstärken; d.h. die Verstärkungsfaktoren multiplizieren sich. Man spricht hier von der Darlingtonstufe. Dabei wird der Basisstrom Q1 verstärkt und durch Transistor Q2 nochmals verstärkt. Dadurch können sich kleinste Ströme verstärken.</p> <div style="border-left: 1px solid black; border-right: 1px solid black; padding: 0 10px;"> <p>Rechenweise: <math>\text{Strom (B)} * \text{Verstärkungsfaktor} = \text{Basisstrom}</math><br/> <math>\text{Basisstrom(B)} + \text{Kollektorstrom(C)} = \text{Emitterstrom(E)}</math><br/>         Transistor 2: <math>\text{Basis Q1} * \text{Verstärkungsfaktor Q2} = \text{Gesamtstrom}</math></p> </div> |
|  | <p>Ein <b>Kondensator</b> wirkt Spannungsänderungen entgegen.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|  | <p><b>Elektrolytkondensatoren</b> sind gepolt und haben eine höhere Kapazität als klassische Kondensatoren und eine bessere Stabilisierung. Der Elektrolyt bildet die Kathode. Daher dürfen sie nur bei Gleichspannung eingesetzt werden.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|  | <p>Versorgungsspannung <b>V+</b>.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|  | <p><b>GND</b> steht für Ground/ Masse. Damit ist der Minuspol gemeint.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |



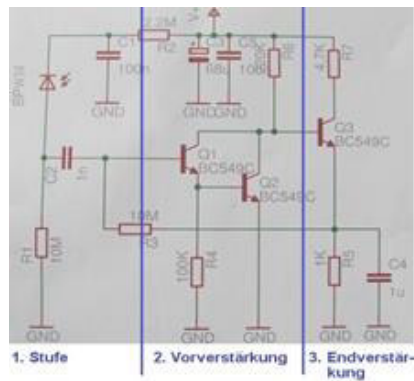


Abb. 18: Stufeneinteilung des Schaltplans

Die Schaltung lässt sich in drei Stufen der Verstärkung einteilen. In der ersten Stufe treffen die Gammateilchen auf die Photodiode, es kommt zu einer Spannungsänderung. Dieses Signal muss verstärkt werden. Dazu wird in der zweiten Stufe, als Vorverstärkerstufe, das Signal durch zwei Transistoren verstärkt. Als nächste Stufe folgt die Endverstärkung, die den Ausgangswiderstand verringert, um Störungen zu reduzieren.

## 4.2 Der Mikrocontroller

Der 8-bit Mikrocontroller ATxmega128A3U ist von der Firma *Atmel*. Er verbraucht wenig Strom trotz hoher Performance. Wir speicherten die Messungen im EEPROM mit 2 KByte (2048 Bytes) Größe. Damit die Daten darauf passen, ließen wir auf den Mikrocontroller viermal pro Minute bzw. Temperatur, Luftdruck, Luftfeuchte und Höhe speichern. Strahlung, Längen- und Breitengrad werden einmal pro Minute gespeichert, weil bei einem längeren Messintervall mehr Messimpulse aufgrund von Gamma-Quanten entstehen und damit einen besseren Wert darstellen, und die Speicherung von Längen- und Breitengrad reicht aus, um die Position des Ballons auszumachen. Leider reicht der Speicherplatz für diese gewünschte Aufzeichnungszyklusdauer nicht aus, um die Daten in voller Auflösung zu speichern. Deshalb komprimierten wir sie, d.h. wir speicherten die Differenzen zwischen zwei aufeinander folgenden Differenzen von Messwerten (Differenz der Differenz), sodass wir diese nur noch addieren müssen, um den wahren Wert zu erhalten. Das verlangt jeweils einen Anfangsmesswert, der ein paar Bits verbraucht. Bei guter Dimensionierung der Komprimierung geht keine oder wenig Genauigkeit verloren. Ein möglicher Genauigkeitsverlust betrifft nur den Einzelwert, da der Fehler für den darauffolgenden Messwert korrigiert wird.

### Berechnung

3,5 Stunden Flugzeit  $\triangleq$  210 Minuten = 210 Datensätze

#### Differenz der Differenz

Beispiel Temperatur (Erstwert 12 Bits)

| Zeit in min | 00:20 | 00:40 | 01:00 | 01:20 | 01:40 |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Temperatur  | 25°   | 24°   | 23°   | 22,1° | 21°   |
| Differenz   | 0     | -1    | -1    | -0,9  | -1,1  |
| DiffDiff    | -1    | 0     | 0,1   | -0,2  |       |

#### Zum Erstwert (Startbits)

Temperatur= 12 Bits; Luftdruck= 12 Bits;

Luftfeuchte= 10 Bits; Strahlung= 0 Bits;

Höhe= 6 Bits; Längen- und Breitengrad= 20 Bits

Zusammenfassung  $\rightarrow 12+12+10+6+20+20 = 80 \text{ Bits} = 10 \text{ Bytes}$

Abb. 19: Berechnung der Differenz der Differenz

Verteilung: 4 Messdatensätze/min + 1 Datensatz (Strahlungs- und Positionsdaten)/min

$$\frac{2048 \text{ Bytes} - 10 \text{ Bytes}}{2 \text{ Bytes}} = 1019 \text{ Datensätze} \quad // \quad 2 \text{ Bytes pro Datensatz}$$

## Aufbau

Der Mikrocontroller hat einen Spannungsregler aufgelötet und einen Temperatursensor integriert. Die Temperatur haben wir trotzdem extern gemessen. Der Spannungsregler auf dem Mikrocontroller-Board wandelt die einkommende Versorgungsspannung von 5V in 3.3 V um, da der verwendete Mikrocontroller nur mit 3.3V betrieben werden kann (→ 4.5 Stromversorgung).



Der Mikrocontroller muss außerdem die Daten für Breitengrad/Längengrad und Höhe von dem GPS-Empfänger einlesen, wozu wir eine von sieben USART-Schnittstellen (Universal Synchronous/Asynchronous Receiver Transmitter) verwendeten. Diese Schnittstelle kann zwischen sich und einem Empfänger Daten senden und erhalten, in unserem Fall ist nur das Empfangen notwendig. Der Empfang geschieht asynchron, das heißt Daten bzw. Zeichen werden ohne extra Taktsignal übertragen. Der GPS-Empfänger sendet zyklisch Datenblöcke mit unterschiedlichen Informationen. Wir waren an den Daten des Datenblocks GPGLA interessiert, pro Zeichen werden 8 Bit übertragen (→ 4.8.4 GPS).

## Software

Die Applikation des Mikrocontrollers unterscheidet vier Modi der Arbeitsweise:

|                        |                                                                                                            |
|------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>MODUS_ONLINE</i>    | bezeichnet den Modus, wenn die Messdaten während der Messung über die USB-Schnittstelle ausgegeben werden. |
| <i>MODUS_SPEICHERN</i> | bezeichnet den Modus, wenn Messungen bevorstehen und im EEPROM abgespeichert werden                        |
| <i>MODUS_AUSLESEN</i>  | bezeichnet den Modus, wenn die gespeicherten Daten abgerufen werden.                                       |
| <i>MODUS_LOESCHEN</i>  | bezeichnet den Modus, wenn das EEPROM gelöscht wird.                                                       |

Der gewünschte Modus wird manuell über Steckbrücken eingestellt. Dazu dienen Stiftleisten, die durch höchstens zwei metallische Brücken beeinflusst werden. Wenn Strom fließt, zeigt die LED-Lampe den über Brücken gesteckten Modus an. Folgendermaßen sieht die Steck- und Blinkweise aus:

|                        |                                                                                                      |
|------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>MODUS_ONLINE</i>    | Es wird keine Brücke gesetzt. Die LED leuchtet dauernd.                                              |
| <i>MODUS_SPEICHERN</i> | Die linke Brücke wird gesetzt. Die LED blinkt nach dem Bestätigen periodisch zweimal hintereinander. |
| <i>MODUS_AUSLESEN</i>  | Es wird die rechte Brücke gesetzt. Die LED leuchtet nicht.                                           |
| <i>MODUS_LOESCHEN</i>  | Es werden beide Brücken gesetzt. Die LED blinkt periodisch dreimal hintereinander.                   |

Wenn der gewünschte Modus angezeigt wird, ist er mit dem Taster zu bestätigen. Ist bereits eine Messung durchgeführt und auf dem EEPROM gespeichert, können noch Daten ausgelesen werden. Erst wenn das EEPROM gelöscht ist, kann wie vorher verfahren werden. Die Datenverarbeitung funktioniert so als Zustandsmaschine.

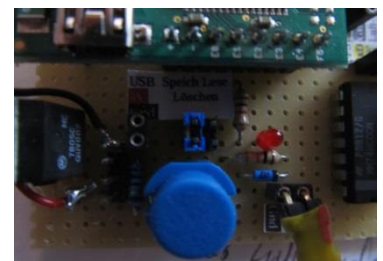


Abb. 21: Die Steckleisten für die Modi

## Verarbeitung der Messdaten

Die Daten werden so, wie sie aus dem A/D-Wandler oder aus den Zählern kommen, direkt gespeichert bzw. werden sie direkt komprimiert und dann gespeichert. Es wird also keine Umwandlung in die Einheiten, wie etwa °C oder hPa, vorab auf dem Mikrocontroller vorgenommen. Die Umwandlung geschieht erst durch das nachverarbeitende Programm (→ 7. Auswertung). Durch diese Vorgehensweise geht keine Genauigkeit durch die Vorverarbeitung verloren. Werden Kalibrierungsfehler später festgestellt, können die Daten jederzeit neu konvertiert werden.

### 4.3 Programmierung

Das Programm wurde modular implementiert, sodass die einzelnen Module spezifische Aufgaben erfüllen und die Summe der Module das Programm bildet. Die Entwicklungsumgebung setzt die Module zusammen, die dann auf dem Mikrocontroller das Programm ermöglichen.

Die Programmdateien wurden unterteilt in Header-Dateien und die eigentlichen Quelldateien. Die Header-Dateien beinhalten die Spezifikationen der Variablen, der Konstanten und der verschiedenen Funktionen. Die Funktionen werden dann in den Quelldateien implementiert. Die Verwendung von Header-Dateien ermöglicht es, die entsprechende Spezifikation in mehreren Quelldateien zu nutzen und damit sicher zu stellen, dass die Quelldateien der Module dieselben Spezifikationen verwenden.

Die Quelldateien verwenden das '#include'-Schlüsselwort um Header-Dateien einzubinden. Im Anhang befindet sich eine schematische Darstellung über die Programmierweise.

#### 4.3.1 Temperatur und Luftdruck

Um die Temperatur und den Luftdruck im Mikrocontroller zu speichern, haben wir ein Programm für beide Größen zusammengeschrieben, da deren Speicherung durch dasselbe Prinzip arbeitet.

In regelmäßigen Abständen misst der Temperatur- bzw Luftdrucksensor und sendet die Werte jeweils an einen analog-digital-Converter (ADC). Dieser ADC wandelt die vom Sensor analog ausgegebene Spannung in eine Zahl um, die der Mikrocontroller speichern kann. Diese Zahl ist eine ganze Zahl im Intervall von 0 bis 4095, was daran liegt, dass der Mikrocontroller in einem 12-Bitsystem arbeitet und ein Bit aus 1 oder 0 besteht. Das heißt, dass es pro Bit zwei Zustände gibt. Daraus ergibt sich, ähnlich wie bei der Variation mit Wiederholung, folgende Gleichung:

$$2^{12} = 4096$$

Dennoch ist die höchste digitale Zahl 4095, da die kleinste 0 ist und dadurch 4096 Zahlen vorhanden sind.

Anschließend werden die digitalen Zahlen addiert und alle 20 Sekunden gemittelt und im EEPROM gespeichert. Danach wird dasselbe Prinzip fortgesetzt.

Analoge Zahlen sind alle Zahlen die gemessen werden. Digitale Zahlen verändern sich dagegen stufenweise, sodass eine digitale Zahl aus mehreren analogen Zahlen konvertiert werden kann.

#### 4.3.2 Luftfeuchte (mit Quelltexterklärung)

Die Kapazität wird durch Zählen der Ladedauer des Kondensators über einen Widerstand nach dem Einschalten einer Spannung bestimmt. Widerstand und Kondensator (Luftfeuchtesensor) sind in Reihe geschaltet. Der Ladevorgang ist beendet, wenn eine Vergleichsspannung (voreingestellt) erreicht wurde.

##### Im Detail:

Die Reihenschaltung Widerstand-Sensor (Gleichspannung) wird an PortE0 geschaltet. Dieser Port ist verbunden mit dem Zähler (Timer/Counter) TCE0, der ein periodisches Rechtecksignal generiert. Das Rechtecksignal hat eine Periodendauer von 10ms, die Einschaltdauer beträgt 0,5ms.

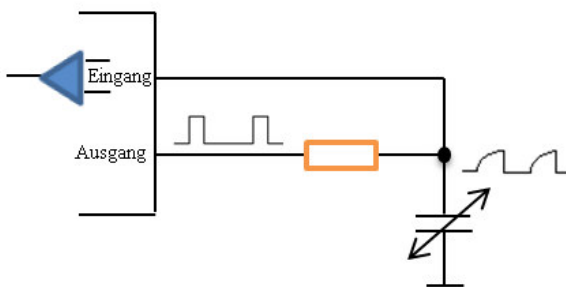


Abb. 22: Reihenschaltung von Widerstand - Sensor

Ein Rechtecksignal hat einen sprunghaften Anstieg und Abfall, im Gegensatz zu einem sinusförmigen Verlauf. Es wird erreicht, indem die Versorgungsspannung mit einer festen Frequenz zwischen LOW und HIGH umgeschaltet wird.

Die Spannung am Luftfeuchtesensor wird an den Eingang „+“ des Analog-Komparators geleitet. Am Eingang „-“ liegt der Voltage-

Scaler. Dieser gibt den „Spannungsmaßstab“ an, es ist die Vergleichsspannung. Der Komparator vergleicht die Spannungen an seinen Eingängen (Inputs) miteinander und gibt an, welche größer ist. Er kann vom Mikrocontroller dazu verwendet werden, Interrupts zu erzeugen, die für das Einleiten einer Änderung wichtig sind. Der Ausgang schaltet dazu entweder von null auf eins (steigende Flanke/ rising edge) oder umgekehrt (fallende Flanke/ falling edge). Wir stellen den Komparator so ein, dass er bei steigender Flanke schaltet.

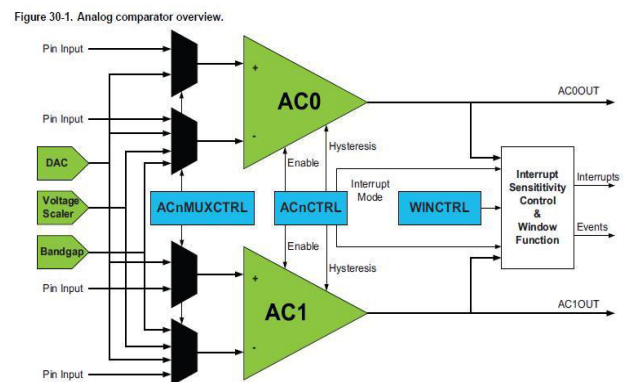


Abb. 23: Schema des Analog Komparators

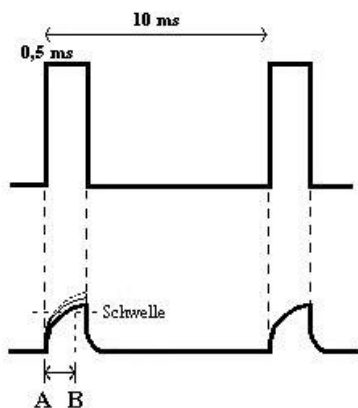


Abb. 24: Die Rechteckspannung

Ein zweiter Zähler TCE1 wird mit zwei Capture-Registern (Capture Channels; Capture = Registratur) dazu verwendet, die **Ladezeit des Sensors** zu zählen, da Capture-Register auch verwendet werden können, um externe Ereignisse zu erfassen und ihnen einen Zeitstempel zu verpassen. Capture A wird über Event-Channel1 an den Analog-Komparator und Capture B über Event-Channel2 an den Ausgang geschaltet. Capture B wird gesetzt, sobald das Rechtecksignal einschaltet

(Einschaltphase), Capture A wird gesetzt, wenn die Ladespannung (Referenzspannung) die Vergleichsspannung erreicht hat. Die Differenz der Capture-Register entspricht der Ladezeit/Kapazität. Sie wird immer auf den letzten Wert addiert. Zuletzt wird die Ladezeit durch die Anzahl der in 20 Sekunden passierten Messungen geteilt (Mittelwertbildung).

Nach dem Einschalten des Rechtecksignals wird ein Interrupt (Unterbrechungsanforderung) ausgelöst und der Prozessor für 10ms in den Schlafmodus (Sleep Mode) versetzt. Im Sleep Mode können beispielsweise Timer und USART deaktiviert werden. Das ist wichtig, um Strom zu sparen und für eine längere Laufzeit zu sorgen. In unserem Fall wird nur der Prozessor „schlafen gelegt“.

Programmtechnisch umgesetzt sieht das folgendermaßen aus:

```
void luftfeuchte_init()
{
    /* fuer die Nutzung der USB-Schnittstelle programmiert die Atmel-Software den internen
       32MHz Takt um, so dass ein Systemtakt von 24MHz zur Verfuegung steht */
    sysclk_enable_module(SYSCLK_PORT_E, SYSCLK_TCO);
    sysclk_enable_module(SYSCLK_PORT_E, SYSCLK_TC1);
    /* Initialisierung fuer den Komparator */
    ACB_AC1MUXCTRL = 0x17; // "+" Eingang auf PortB2, "-" auf den Voltage-Scaler
    ACB_CTRLB      = 45;   // Scaler auf 70% der Versorgungs-Spannung 0.7*64
    ACB_AC1CTRL    = 0xcb; // Event bei steigender Flanke,
                          // High-Speed-Mode, kleine Hysterese, AC aktivieren

    /* Initialisierung fuer den Timer/Counter TCE0 (Rechteck) */
    TCE0.CTRLA     = 0x04; // Zaehlereingang auf Vorteiler 1/8 stellen -> 3MHz
    TCE0.CTRLB     = 0x13; // Zaehler auf "PWM"-Modus, Capture-Register A
    TCE0.CTRLD     = 0x00; // Eingangs-Events deaktivieren
    TCE0.CTRLE     = 0x00; // auf "Type0" stellen = 16-Bit-Zaehler
    TCE0.PER       = 29999; // 5000; // Periodendauer auf 10ms (30000 / 3MHz)
    TCE0.PERBUF    = 29999; // 5000;
    TCE0.CCA       = 1500; // Einschaltphase 0,5ms (250 / 500kHz)
    TCE0.INTCTRLB  = 0x03; // schalte den Compare A Interrupt auf hohe Prioritaet

    /* Initialisierung fuer den Timer/Counter TCE1 (Lade-Messung) */
    TCE1.CTRLA     = 0x01; // Zaehlereingang auf Vorteiler 1/1 stellen -> 24MHz
    TCE1.CTRLB     = 0x30; // Zaehler auf "Normal"-Modus, Capture-Register A + B
    TCE1.CTRLD     = 0x29; // Eingangs-Capture, Eventkanal 1..
    TCE1.CTRLE     = 0x00; // auf "Type0" stellen = 16-Bit-Zaehler

    /* schalte Komparator 1 auf EventChannel 1 */
    EVSYS_CH1MUX   = EVSYS_CHMUX_ACB_CH1_gc;
    EVSYS_CH2MUX   = EVSYS_CHMUX_TCE0_OVF_gc;

    /* Mittelwertbildung initialisieren */
    Anzahl        = 0;
    SummeZaehler  = 0;
}
```

Abb. 25: Auszug aus dem Quelltext

Zuerst werden die benötigten Einstellungen am Controller vorgenommen bzw. die Module werden initialisiert. Wichtig ist, dass die USB-Schnittstelle (Universal Serial Bus Interface), über die die Messwerte am Computer ausgelesen werden, nutzbar gemacht wird. Der Hersteller Atmel hat eingestellt, dass die Schnittstelle mit 24 MHz betrieben wird statt mit dem internen Takt von 32 MHz. Um das zu erreichen, wird der kalibrierte 32 MHz Oszillator verstimmt und auf ungefähr 24 MHz gesetzt. Dadurch ist der Systemtakt, den die Messgeräte nutzen, zeitlich ungenau. In dem Mikrocontroller ist ein Oszillator auf Halbleiterbasis mit 32 MHz eingebaut,

nicht ein Quarz-Oszillator, wie in PCs eingebaut mit genauer Zeitangabe. Die zeitliche Ungenauigkeit stellte sich bei der Auswertung und dem Vergleich mit dem Video heraus und konnte leicht korrigiert werden (→ 7.3 Luftfeuchte). Bei dem Komparator wird die steigende Flanke eingestellt, die Zähler werden mit den Ports verbunden. Hier ist zu beachten, dass die 16-Bit-Zähler verwendet werden. Die Zähler könnten auch als 8-Bit-Zähler programmiert werden, was uns aber keinen Vorteil bringt.

Der Zähler TCE0, der das Rechtecksignal generiert, gibt einen Takt von 3 MHz vor, da so die 10ms Periodendauer erreicht werden.

Zum Nachvollziehen:

$$f = \frac{1}{T} \quad \text{Einheit: } \frac{1}{s} = \text{Hz}$$

$$T = \frac{1}{f} \quad \rightarrow \quad 0,33\mu s = \frac{1}{3\text{MHz}}$$

$$10\text{ms} = 0,33\mu s * 30.000$$

```
void luftfeuchte()
{ /* diese Funktion wird am Ende der Einschaltphase aufgerufen und liest die
   Zählerstände von den Capture-Registern A und B aus und summiert die
   Differenz zwischen Capture B und Capture A */
  uint16_t Zaehler_Start;
  uint16_t Zaehler_Ende;
  uint16_t Differenz;

  // die Schlaffunktion, die dafür sorgt, dass die Programmhauptschleife
  // alle 10ms laeuft.
  set_sleep_mode(SLEEP_MODE_IDLE); // Modus "lasse nur den Prozessor schlafen"
  cli();                          // sperre Interrupts
  // damit die Interrupt-Routine nicht gleich-
  // zeitig die "Perioden"-Variable aendert
  Perioden = 0;

  while (Perioden == 0)
  { // wenn keine Perioden abgelaufen sind, kann der Prozessor weiter schlafen
    sleep_enable();
    sei();
    sleep_cpu(); // jetzt schlaeft der Prozessor, solange 0
    sleep_disable();
    cli();
  }

  Zaehler_Start = TCE1.CCB;
  Zaehler_Ende = TCE1.CCA;

  Differenz = Zaehler_Ende - Zaehler_Start; //entspricht Kapazitaet

  SummeZaehler += Differenz;
  Anzahl      += 1;

  Perioden--; // eine Periode ist abgelaufen
  sei();     // gebe Interrupts wieder frei
}
```

Abb. 26: Auszug aus dem Quelltext

Nun wird der Luftfeuchtesensor integriert. Die Änderung der Kapazität wird registriert, indem der Spannungsverlauf des Kondensators mit der Rechteckspannung verglichen wird und die Differenz der Zählerstände, die durch Capture-Register zustande kommen, summiert werden.

Die Summe der Zählerstände in 20 Sekunden wird errechnet, indem die Differenzen auf den letzten Zählerständen addiert werden:  $SummeZähler += Differenz$ .

```
void luftfeuchte_messen(uint16_t *luftfeuchte)
{
    if (Anzahl > 0)
    {
        #if 0
        usb_zeile_schreiben("luftfeuchte: ");
        usb_int16_schreiben(Anzahl);
        usb_zeile_schreiben(", ");
        usb_int32_schreiben(SummeZaehler);
        usb_zeile_schreiben("\n\r");
        #endif
        *luftfeuchte = SummeZaehler / Anzahl;
        SummeZaehler = 0;
        Anzahl = 0;
    }
}

ISR(TCEO_CCA_vect)
{
    Perioden = 1;
}
```

Der Sleep Mode wird eingestellt. Er versetzt den Prozessor für 10ms außer Kraft. Ein Interrupt weckt ihn, der Interrupt wird ausgeführt und der Prozessor kehrt in die Hauptschleife zurück. Dazu wird eine While-Schleife benutzt: Wenn die Periode bei 0 anfängt, wird der Sleep Mode aktiviert. Zuletzt wird der Mittelwert gebildet, indem die Summe der Zählerstände in 20 Sekunden durch die Anzahl der gebildeten Differenzen geteilt wird.

#### 4.3.3 Strahlung

Die Strahlungspulse aus der Photodiode werden im Mikrocontroller durch einen Zähler verarbeitet und abgespeichert. Dazu ist unser Strahlungssensor am Port B0 angeschlossen, an dem im Mikrocontroller ein Analog-Komparator liegt. Der Komparator vergleicht die Pulse mit einer Spannung, die mit dem Digital-Analog-Wandler DACB0 eingestellt wird. Wenn die Pulse die eingestellte Spannung übersteigen, leitet der Komparator Zählpulse über den Event-Channel 0 an den Zähler (Counter). Die Pulse, die durch den Komparator gelangen, gelten als Strahlungspulse und somit entspricht ihre Anzahl pro Zeitintervall der Strahlung.

```

#include <asf.h>

#include "strahlung.h"

void strahlung_init(void)
{
    /* Strom fuer das Event-System, die Timer, den AC und den DAC einschalten */
    sysclk_enable_module(SYSCLK_PORT_GEN, SYSCLK_EVSYS);
    sysclk_enable_module(SYSCLK_PORT_B, SYSCLK_AC);
    sysclk_enable_module(SYSCLK_PORT_B, SYSCLK_DAC);
    sysclk_enable_module(SYSCLK_PORT_C, SYSCLK_TCO);

    /* Initialisierung fuer den Timer/Counter */
    TCC0.CTRLA = 0x08; // Event-Kanal 0 als Zaehlereingang TC_CLKSEL_EVCH0_gc;
    TCC0.CTRLB = 0x00; // Zaehler auf "Normal"-Modus, keine Capture-Register
    TCC0.CTRLD = 0x00; // Events deaktivieren
    TCC0.CTRLE = 0x00; // auf "Type0" stellen = 16-Bit-Zaehler

    /* Initialisierung fuer den Komparator */
    ACB_ACOMUXCTRL = 0x05; // Port B0 auf "+" Eingang, DAC-Ausgang auf "-" Eingang
    ACB_ACOCTRL = 0x0b; // Event bei steigender Flanke, kleine Hysterese (sorgt dafür, dass Komparator erst ab bestimmten Differenz der
    // Eingangsspannungen seinen Ausgang umschaltet.)
    // High Speed Mode, Komparator aktivieren

    /* schalte Komparator 0 auf Event-Kanal 0 */
    EVSYS_CHOMUX = EVSYS_CHMUX_ACB_CH0_gc;

    /* Initialisierung fuer den D/A-Konverter */
    DACB_CTRLA = 0x08; // 3,3V Versorgung als Referenz, Rechtsausrichtung
    DACB_CTRLB = 0x00; // verwende nur DAC0, keine Event-Synchronisierung
    DACB_CTRLA = 0x11; // verwende internen Analog-Ausgang, DAC aktivieren
    DACB_CHODATA = 2234;
    /*12 Bit = 2^12 = 4096
    Halbe Spannung von 3,3V entsprechen also ca. 2048.
    Bei 3,3V und 4096 Stufen entspricht eine Stufe ca. 0,806mV. (3,3/4096)
    Annahme: ein Strahlungspuls hat ca. 150mV (Messung Oszilloskop)
    Also 150mV / 0,806mV = ca. 186, 2048 + 186 = 2234 */

}

void strahlung(void)
{
}

void strahlung_messen(uint16_t *strahlung)
{
    uint16_t Zaehler;

    /* aktueller Zaehlerstand wird ausgelesen */
    #if 0
    Zaehler = TCC0.CNTL;
    Zaehler = Zaehler | (TCC0.CNTH << 8);

    /* Zaehlerstand zurueckliefern */
    *strahlung = Zaehler;
    #else
    *strahlung = TCC0.CNT;
    #endif
}

```

Abb. 27: Der Quelltext für die Strahlungsmessung

#### 4.3.4 GPS

Der GPS-Empfänger empfängt regelmäßig Signale, die er in Datensätze packt und über die serielle Schnittstelle überträgt. Dafür wurde das NMEA-0183-Datenformat (Protokoll) von der *National Marine Electronics Association* (NMEA) entwickelt. Es ist zum Übertragungsstandard geworden.<sup>29</sup> Der GPS-Empfänger enthält die RS-232-Schnittstelle (Interface), die die Daten nach dem NMEA-Format ausgibt.

Ein Datensatz beginnt mit \$. Dann folgt die Sendeerkennung<sup>30</sup>, bestehend aus meist zwei Zeichen. Diese Zeichen geben an, an welches Gerät der Datensatz gerichtet ist (Geräte-ID). Darauf folgt die Satzerkennung<sup>31</sup>, bestehend aus meist drei Zeichen (Datensatz-ID). Hinter dieser eben genannten Zeichenkette folgen Datensätze, die durch Kommas unterteilt werden. Die Daten werden im ASCII-Code übertragen.

Der ASCII-Code - **A**merican **S**tandard **C**ode for **I**nformation **I**nterchange - ist ein standardisierter, 7-Bit-Code (8 Bit bei Umlauten) zum Datenaustausch für Hard- und Softwaresysteme. Er wandelt Ziffern, Buchstaben und Sonderzeichen in Datenworte um, die sich aus Werten von 0 bis 255 (128 Bitmuster; zwei Werte pro Bit) zusammensetzen.

#### Datensatz

Der für uns wichtige Datensatz lautet GPGGA.

**\$GPGGA,065500.00,2447.65027,N,12100.78318,E,2,12,0.91,69.8,M,16.3,M,,\*65**

|                           |          |           |          |
|---------------------------|----------|-----------|----------|
|                           |          |           |          |
| Global Positioning System | Latitude | Longitude | Altitude |

Global positioning system fixed data

In anderer Form:

\$GPGGA, <time>,<**latitude**>,<north/south>,<**longitude**>,<east/west>,<pos-indicator>,<satellites>,<hdop>,<**altitude**>,<unit>,<geoidal-separation>,<unit>,<age>,<station-id>,<checksum>,<cr><lf>

| Contents     | Example    | Unit   | Explanation                                  |
|--------------|------------|--------|----------------------------------------------|
| Latitude     | 244.65027  |        | ddmm.mmmmm<br>dd: degree; mm.mmmmm: minute   |
| Longitude    | 1200.78318 |        | dddmm.mmmmm<br>ddd: degree, mm.mmmmm: minute |
| MSL Altitude | 69.8       | meters |                                              |

**Tabelle 2:**  
**Die GPS-**  
**Daten und**  
**deren**  
**Übersetzung**

32

<sup>29</sup> Vgl. Nmea.de

<sup>30</sup> Vgl. Köhne/ Michael 2008

<sup>31</sup> Ebd.

<sup>32</sup> aus Data Sheet - GP-635

Unsere Aufgabe war es, den Breitengrad, Längengrad und die Höhe aus dem Datensatz heraus zu extrahieren und zu speichern. Auch dazu muss ein Programm geschrieben werden. Die Daten werden dann einmal alle zwei Minuten in das EEPROM gespeichert.

Wie der Tabelle zu entnehmen ist, werden die Daten in Grad und Minute angegeben. Diese Art der Darstellung ist für die Verarbeitung durch den Mikrocontroller unpraktisch, da das Rechnen mit Grad-Minuten-Werten nicht direkt unterstützt wird. Wir haben uns entschieden die Daten in Werte umzurechnen, die in 100stel Minuten ausgedrückt werden und dann in eine „normale“ Integer-Variable des Programms gespeichert werden kann. Für die Speicherung in das EEPROM wird dann die Differenz zwischen der letzten und der vorletzten Positionsänderung genommen und mit 5 Bits kodiert.

```
case LESEN_BREIT:
    // der Breitengrad wird in 100stel Minuten verarbeitet
    switch (datenbyte)
    {
        case '0': // es werden Zeichen '0'...'9' erwartet
        case '1':
        case '2':
        case '3':
        case '4':
        case '5':
        case '6':
        case '7':
        case '8':
        case '9':
            switch (Dataindex) // Lati = Breitengrad
            {
                case 0:
                    LatiData = (datenbyte - '0') * 60 * 10 * 100; // 10er-Stelle der Grade in 100stel Minuten umrechnen
                    break;
                case 1:
                    LatiData += (datenbyte - '0') * 60 * 1 * 100; // += wird auf vorherigen Wert addiert
                    break;
                case 2:
                    LatiData += (datenbyte - '0') * 10 * 100;
                    break;
                case 3:
                    LatiData += (datenbyte - '0') * 1 * 100;
                    break;
                case 4:
                    LatiData += (datenbyte - '0') * 1 * 10;
                    break;
                case 5:
                    LatiData += (datenbyte - '0') * 1 * 1;
                    break;
            }
            Dataindex += 1; // nun geht es zur nächsten Datenziffer
            break;
        case '.': // Nachkommastellen beginnen jetzt
            break;
    }
}
```

Abb. 28: Auszug aus dem Quelltext

Die Daten werden über die serielle Schnittstelle USART (asynchroner Modus) des GPS-Empfängers ausgegeben, in 8 Datenbits und einem Stoppbit, und dann von unserem Programm wie oben beschrieben interpretiert.

Aus dem Datensatz muss der Breitengrad, Längengrad und die Höhe herausgefiltert werden. Das geschieht in der Reihenfolge:

```

#define SUCHEN          0    /* es wird nach dem Startbyte '$' gesucht */
#define LESEN_TYPE      1    /* es werden die fuenf Type-Bytes gelesen */
#define LESEN_IGNO_BREIT 2    /* das aktuelle Datenfeld wird ignoriert */
#define LESEN_BREIT     3    /* das aktuelle Datenfeld <latitude> wird verwendet */
#define LESEN_IGNO_LAENG 4    /* das aktuelle Datenfeld wird ignoriert */
#define LESEN_LAENG     5    /* das aktuelle Datenfeld <longitude> wird verwendet */
#define LESEN_IGNO_HOEHE 6    /* das aktuelle Datenfeld wird ignoriert */
#define LESEN_HOEHE     7    /* das aktuelle Datenfeld <altitude> wird verwendet */

#define START_BYTE      '$'  /* das erste Byte des Datenblocks */
#define TYPE_LAENGE     6    /* Laenge des Typ-Feldes */
#define IGNORIEREN_LAENGE 4  /* es werden 4 Datenfelder ignoriert (longitude bis altitude) */

```

Abb. 29: Auszug aus dem Quelltext

Da das GPS-Gerät Datensätze verschiedener Art sendet, mussten wir so programmieren um, den GPGGA-Datensatz zu finden und die gewünschten Daten zu extrahieren. Dazu wird eine „Zustandsmaschine“ (State Machine) programmiert. Diese Zustandsmaschine bekommt die Daten der seriellen Schnittstelle als einzelne 8-Bit-Worte (ASCII-Worte). Aus den Zustandsvariablen liest die Zustandsmaschine, was mit welchem Datenwort zu tun ist. Sie sucht ständig nach dem verlangten Datensatztyp. Sie ist ein Programmteil mit vielen if-Abfragen beziehungsweise einer Switch-Anweisung, die nacheinander abgearbeitet werden müssen. Der Mikrocontroller kann das Eintreffen eines Datenwortes über die serielle Schnittstelle mit einem 'Interrupt' dem Programm melden. Das Interrupt ist eine Methode, schnell auf Ereignisse, die in der Hardware registriert wurden zu reagieren. Wenn dieses Ereignis auftritt, unterbricht der Controller das aktuell laufende Programm und ruft die Interrupt-Routine -also unsere Zustandsmaschine- auf. Das Programm wird dann weiter ausgeführt, wenn die Interrupt-Routine beendet wurde. Um das Programm nicht zu stören muss die Interrupt-Route also sehr kurz implementiert sein.

```

// die Zustandsmaschine fuer das Interpretieren der Datenbytes
switch (Zustand)
{
    case SUCHEN:
        if (datenbyte == START_BYTE)
        { // der Datenblock beginnt
            Zustand = LESEN_TYPE;
            Typeindex = 0;
        }
        break;
    case LESEN_TYPE:
        if (datenbyte == Type[Typeindex])
        { // das erwartete Datenbyte im Typ-Feld
            Typeindex++;
            if (Typeindex == TYPE_LAENGE)
            { // das komplette Typ-Feld ist eingelesen und passt
                Zustand = LESEN_IGNO_BREIT; // wenn das Datenfeld gefunden ist, wechselt Programm zum naechsten Fall(case)
            }
        }
        else
        { // das Typ-Feld passt nicht
            if (datenbyte == START_BYTE)
            { // der Datenblock beginnt (?????ein Fehler ist passiert?????)
                Zustand = LESEN_TYPE;
                Typeindex = 0;
            }
            else
            { // das empfangene Zeichen ist weder das erwartete Zeichen noch ein Startbyte
                Zustand = SUCHEN; // wieder in den Zustand 'suchen' und nach einem Startbyte suchen
            }
        }
        break; //Interrupt wird gebrochen -> erneuter Zustand
}

```

Abb. 30: Auszug aus dem Quelltext

## 4.4 Fertiggestellte Schaltung

Die von uns fertiggestellte Schaltung besteht aus neun Steckleisten (JP), sechs Widerständen (R), einer Leuchtdiode (LED), einer Diode (D), einem Spannungsregler (IC2) einem Taster (DT), einem Keramikkondensator (C1), einem Elektrolytkondensator (C2) und einem integrierten Schaltkreis (IC).

Diese Bauelemente sind entsprechend der Abbildung mit den Sensoren und dem Mikrocontroller verbunden. Der Mikrocontroller steckt auf den Steckleisten JP1 und JP2. Von JP3 aus geht das USB-Kabel zu dem Mikrocontroller. Auf den Steckleisten

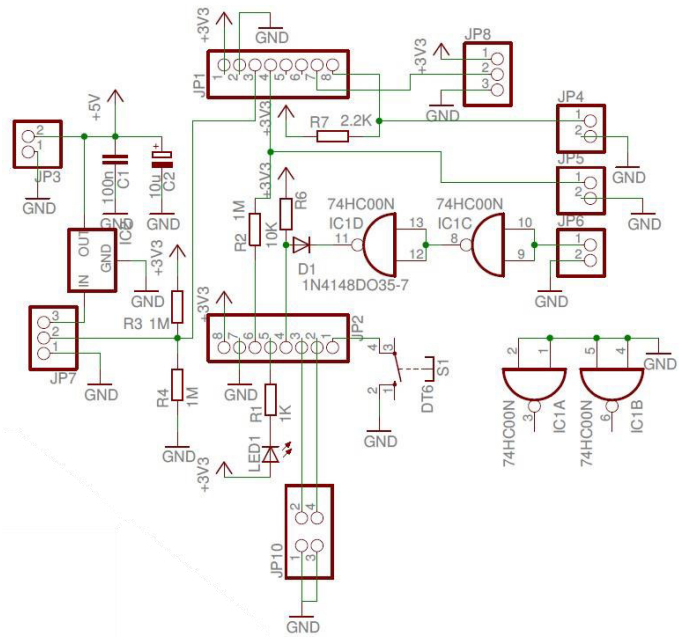


Abb. 31: Schaltplan der fertiggestellten Schaltung

JP4 bis JP6 stecken der Reihe nach der Temperatursensor, der Luftfeuchtesensor und der GPS-Empfänger. Auf JP7 ist die Photodiode angeschlossen. JP8 ist mit dem Luftdrucksensor verbunden und auf JP10 werden die Brücken zum Einstellen der Modi gesteckt.

Ein Keramikkondensator funktioniert wie die meisten anderen Kondensatoren auch, in beiden Kondensatorplatten kann es zu einem Elektronenüberschuss kommen, wodurch dann ein elektrisches Feld entsteht. Der Elektrolytkondensator dagegen ist gepolt und es kann dadurch nur auf einer Seite zu einem Elektronenüberschuss kommen. Der Unterschied des Keramikkondensators zu dem Elektrolytkondensator ist, dass die Kapazität geringer ist.

## 4.5 Stromversorgung

Wir benötigen zum Versorgen der Schaltung eine 9-Volt Spannungsquelle, damit der Strahlungssensor, den wir zuerst gebaut haben, optimal funktionieren kann. Der Mikrocontroller jedoch, der seine Energie über ein USB-Kabel bezieht, arbeitet mit 3,3 V. Auf Grund dieser drei Spannungswerte sind auf der gesamten Schaltung zwei Spannungsregler. Der erste ist zwischen der Spannungsquelle und dem USB-Anschluss und der zweite ist bereits auf dem Mikrocontroller-Board vorhanden.

Während der Testphase haben wir für die Stromversorgung eine 9-Volt-Batterie genutzt. Erst für die letzten Tests und für den Flug haben wir drei 3-Volt-Lithium-Batterien genutzt

## 4.6 Kamera

Die GoPro Hero 3 Silver Edition bringt einen 1050 mAh Lithium-Ion Akku mit integrierter Akkuheizung mit. Mit dem Akku wiegt die Kamera 74 Gramm. Auf unserem Ballonflug wünschten wir beste Qualität zu einer möglichst langen Laufzeit. Mit der HD-Auflösung 16:9 (1920x 1080 Pixel) und 60 Bildern pro Sekunde (60 fps)<sup>33</sup> kommt die Kamera auf eine Laufzeit von zwei Stunden. Wir schalteten außerdem die Nebenfunktionen Wi-Fi und Wi-Fi – Remote ab, sodass die Kamera auf eine Akkulaufzeit von 2,15 h kam. Aus dem Datenblatt ist zu entnehmen, dass sie bei 30 fps sogar drei Stunden Videos aufzeichnen kann, was uns aber nicht überzeugt.<sup>34</sup> Um die Akkulaufzeit zu verdoppeln, haben wir uns zusätzlich ein Battery-BacPac besorgt.



Abb. 32: Kameraausstattung



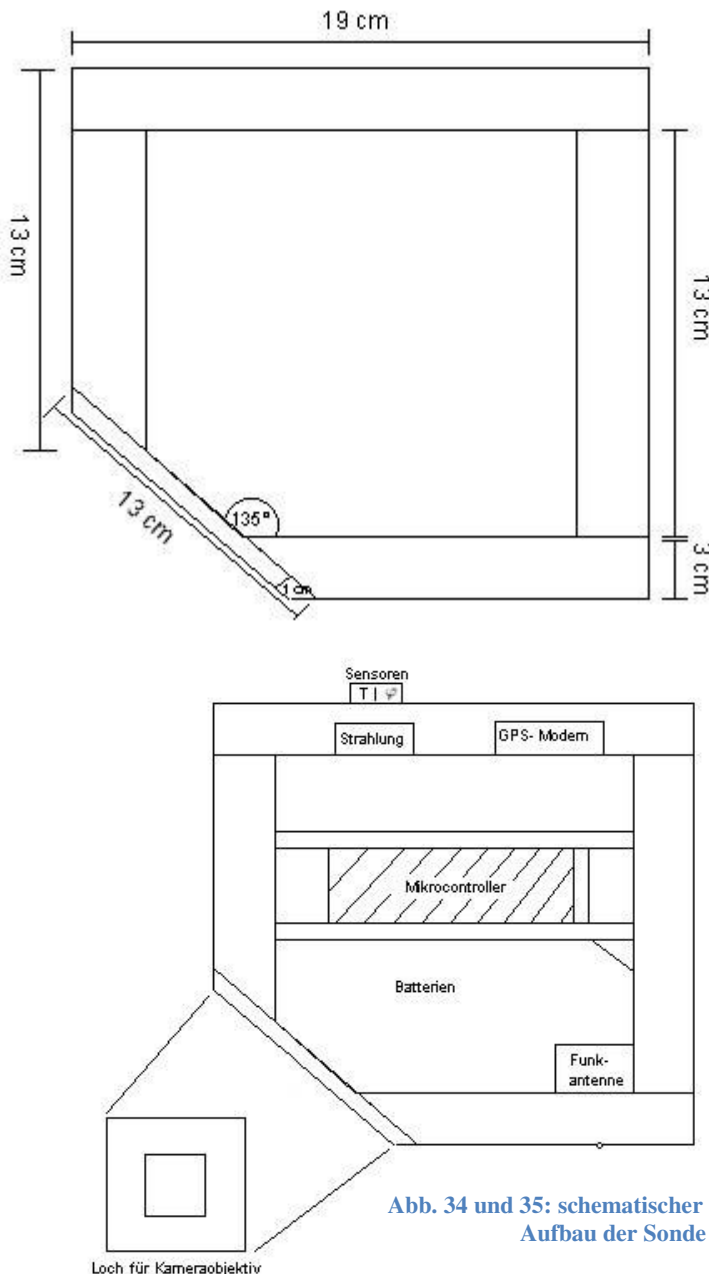
Abb. 33: Speichermedium

Für die Videospeicherung verwenden wir eine 64 Gigabyte Micro-SDXC (Klasse 10) Karte vom Hersteller *SanDisk*. So ist eine optimale Speicherkapazität gewährleistet.

<sup>33</sup> Vgl. GoPro Benutzerhandbuch S.22

<sup>34</sup> Vgl. GoPro 2013

## 4.7 Bau der Sonde



Wir verwendeten für den Bau unserer Sonde eine mittelporige Dämmplatte aus Polystyrol-Hartschaum in 3 cm Dicke. Solche Platten sind besonders stabil.

Unsere Sonde sollte nicht zu groß sein, sondern den Gerätschaften gut angepasst, um Gewicht zu sparen. Wir entschieden uns für eine quadratische Grundfläche von 19 x 19 cm. Schließlich schrägten wir eine Ecke zu 45° ab, da die Kamera mit einem 150° Weitwinkel Videos aufzeichnet und wir so nahezu perfekt Horizont, Erdboden und Himmel filmen.

Die abgeschrägte Seite besteht aus einer 1 cm dicken Styroporplatte mit einem rechteckigen Loch. Sie ist dünner, damit die Sicht für das Weitwinkelobjektiv der Kamera nicht gestört wird. Daran montierten wir die Kamera mit einem Gummiband.

In der oberen Wandseite sind eingeschnittene Fächer für GPS-Modem und Strahlungssensor. Aus der Sonde sind Luftfeuchtesensor und Temperatursensor nach außen geführt (Abb. 36). Der Luftdrucksensor wurde in der Sonde betrieben, da der Druckwert innen und außen gleich ist. Den Kern bildet der Mikrocontroller in der Mitte der Sonde.



Abb. 36: Sensoren



Abb. 37: Funkantenne

An ihm wurden drei Batterien per USB- Anschluss angeschlossen, die sich am Boden der Box befanden. Ein weiteres Fach ist für den Funkempfänger vorgesehen, woran sich die Funkantenne befand, die die Zeitdaten der Satelliten empfing. Sie ragte aus der Sonde (Abb. 37).

In der Sonde waren die Geräte eng beieinander, Störungen treten deshalb schnell auf. Daher schirmten wir diese durch Alufolie in der Box ab (Abb. 38). Vor allem die Photodiode und die Verstärkerschaltung reagierten auf Störungen sehr empfindlich. Durchgeführte Tests beweisen, dass die Funksignale am störendsten sind. Weitere Alufolie war an der Funkantenne angeklebt, damit eine Gegenmasse zu den Funksignalen existiert (Abb. 37).

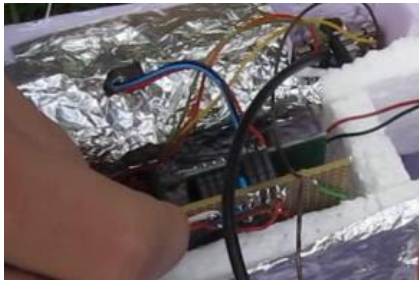


Abb. 38: Der Mikrocontroller in der Sonde



Abb. 39: Sonde mit Schnur



Abb. 40: Inneneinrichtung

## 4.8 Testphase

### 4.8.1 Strahlungssensor

#### Test 1

Um die Funktion der Photodiode zu testen, schließen wir sie noch unverpackt an ein Stromversorgungsgerät mit 9 Volt Spannung. Dazu schließen wir ein Oszilloskop an die Masse (Abb. 42). Wir haben uns für 9 V entschieden, weil sie ein handelsüblicher Batterieblock liefert. Der Mikrocontroller wird mit 3,3 Volt betrieben, wobei diese Spannung für den Betrieb der Photodiode zu gering ist. Mit den 9 Volt reagiert die Photodiode empfindlicher. Bei Tageslicht sehen wir bloß Störungen bzw. können Impulse durch den Lichteinfall nicht von dem Rauschen trennen (Abb. 41). Schalten wir dagegen eine Lichtquelle in nächster Nähe ein, kommt ein anderes Resultat zum Vorschein. Die Lampe funktioniert mit Wechselstrom und schaltet sich nicht sichtbar 50mal pro Sekunde ein und aus. Der Graph ändert sich deshalb periodisch (Abb. 43), weil die Photodiode die Helligkeitsänderung aus dem Wechselstrom misst. Wir können dadurch von der Skala des Oszilloskops ablesen, in welcher periodischen Zeit die Lampe Licht aussendet. Das Testergebnis beweist die Funktionalität unserer Schaltung: Alle 10ms ist ein Ausschlag abzulesen, d.h. alle 10ms misst die Photodiode bei 50 Hz Netzspannung (positive + negative Halbwelle des Stroms) einen Impuls, welche beim Einschalten, sowie Ausschalten der Lampe am Oszilloskop indirekt abzulesen sind, da die Photodiode nicht zwischen den Schaltvorgängen unterscheidet. Die Kapazität des Kondensators im Verstärker ist zu klein, um die komplette sinusförmige Halbwelle Spannungskurve am Oszilloskop zu sehen (Abb. 44).

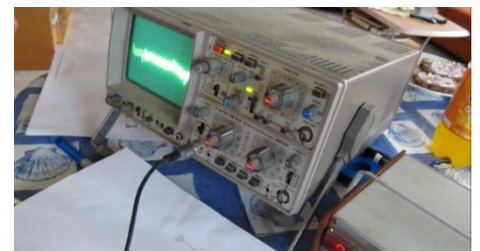


Abb. 41: Test ohne Abschirmung 1



Abb. 42: Versuchsaufbau

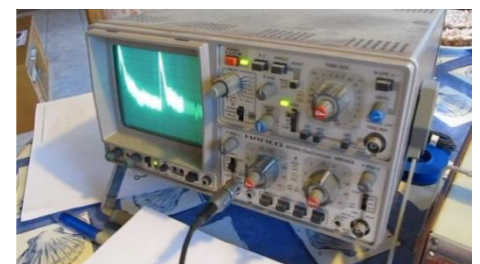


Abb. 43: Test ohne Abschirmung 2

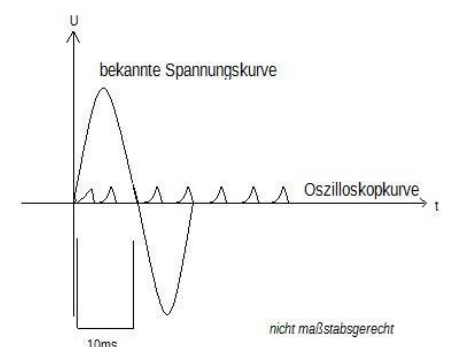


Abb. 44: Vergleich der Kurven

## Test 2



Abb. 45: Glühstrumpf

Thoriumnitrat besitzt eine spezifische Aktivität von 3.93 kBq/g. 1 Becquerel (Bq) entspricht einem radioaktiven Zerfall pro Sekunde, also dem Atomkernzerfall/s.<sup>35</sup> Der Glühstrumpf emittiert vorrangig Betastrahlung, geringer ist Alphastrahlung, wie aus unseren Messungen hervorgeht.

Die Photodiode betreiben wir mit einer Spannung von 9 V, da sie so empfindlich reagiert und besser Strahlung detektiert. Für die ersten Tests



Abb. 46: Versuchsaufbau

verwenden wir zusätzlich ein Stromversorgungsgerät und Oszilloskop. Das Messgerät in Alufolie verpackt, legen wir auf den Glühstrumpf (Abb. 46). Die Impulse werden uns am Oszilloskop angezeigt (Abb. 47). Pro Bildschirmeinheit sind 50 mV eingestellt, d.h. in der Abbildung ist der Hochpunkt bei etwa 120 mV abzulesen. Dieser starke Ausschlag zeigt das Aufschlagen eines Betateilchens auf die empfindliche Fläche der Photodiode an.

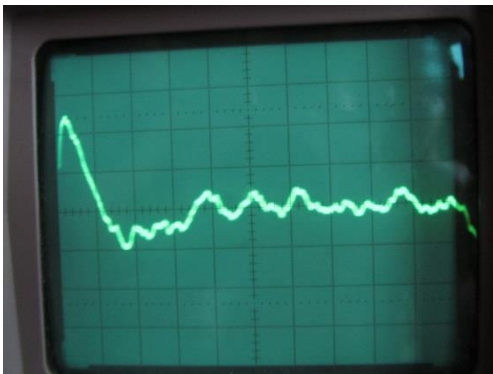


Abb. 47: Impuls der Alphastrahlung

Da beim Betazerfall die Betateilchen unterschiedliche Energien annehmen können, haben wir auch Alphastrahlung gemessen; ein grafischer Unterschied hat sich hierbei herausgestellt. Wird der Messversuch, anstatt im Gebäude, im Freien durchgeführt, können mit etwas Glück auch Gammateilchen detektiert werden, wobei die meisten von der Erdatmosphäre absorbiert werden. Bei den angezeigten Impulsen handelt es sich um Betastrahlung, möglicherweise auch Alphastrahlung, die durch die dünne Folie abgeschwächt werden. Somit kommt es nur alle paar

Sekunden, neben Störungsimpulsen zu einem Ausschlag. Die vorgenommenen Einstellungen am Oszilloskop werden mit unserer Software automatisch vorgenommen.

<sup>35</sup> Vgl. Seilnacht (o.J.)

<sup>36</sup> Meyers Grosses Taschenlexikon: B- Becquerel. Mannheim 2001

## 4.8.2 Strahlungsdetektor

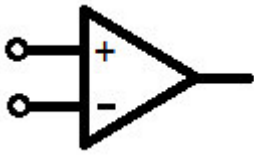


Abb. 48: Operationsverstärker

$$U_D = U_P - U_N$$

(pos. Spannung – neg. Spannung)

$$U_A = V_D * U_D$$

Zuerst hatten wir die Idee, eine Schaltung mit Operationsverstärkern zu bauen, um die Impulse zu verstärken. Mit einem Operationsverstärker können wir die kleinen Signale der Strahlungsmessung elektrisch verstärken. Ein Operationsverstärker hat drei Anschlüsse: einmal den nichtinvertierenden (+) und den invertierenden (-) Eingang, und den Ausgang (Abb. 48). Zwischen positivem und negativem Eingang liegt die Differenzspannung  $U_D$ , welche um einen vorgegebenen Wert verstärkt wird. Man spricht hier von der Differenzverstärkung  $V_D$ , die vom Typ abhängt. Wir verwendeten zwei Operationsverstärker linear.

Ein weiteres wichtiges Bauteil, das wir einbauten, ist der Trimpotentiometer 3386 vom Hersteller *Bourns* (Abb. 49). Ein Potentiometer, kurz Poti, ist ein regelbarer Widerstand, ein bekanntes Bauteil z.B. als Lautstärkeregler in Radios. Unser Trimpotentiometer hat einen Schraubendreherschlitz, um den Spannungsabgleich per Hand einzustellen. Der Vorteil dieses Typs ist, dass sich die Einstellung nicht ändern kann, da der Widerstand fest eingestellt wird.



Abb. 49: Trimpotentiometer

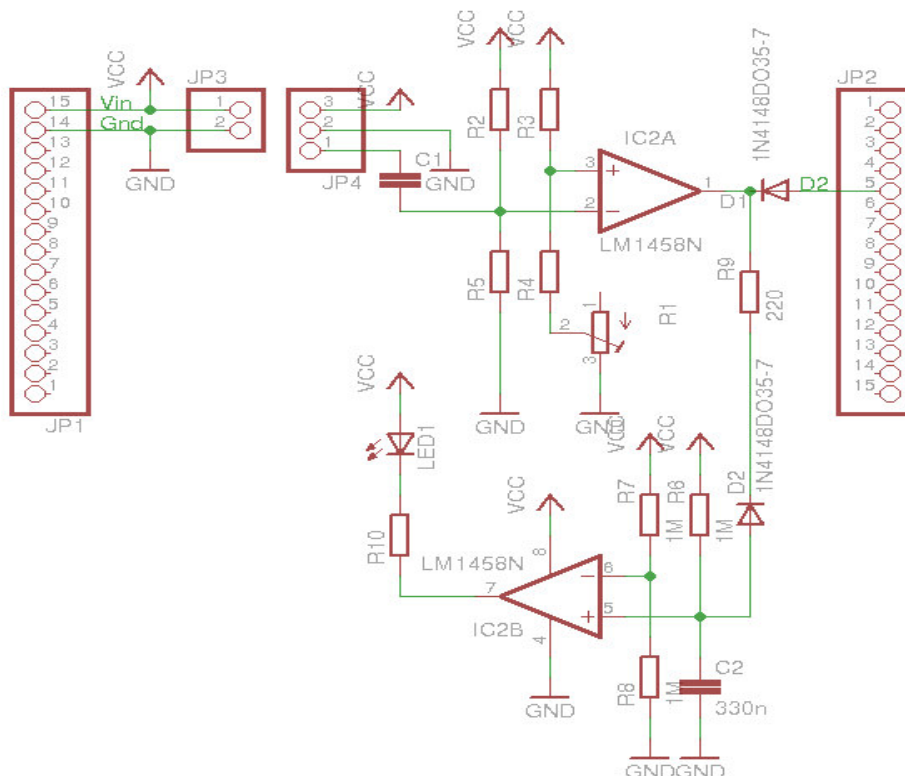


Abb. 50: Schaltplan des Strahlungsdetektors

Auf die Bauelemente JP1 und JP2 wird der Mikrocontroller gesetzt. An JP3 wird die 9 Volt-Batterie zur Spannungsversorgung angeschlossen und an JP4 der Strahlungssensor. Die LED1 blinkt bei Impulsveränderungen auf.

## Funktionsweise

Wenn ein Alphateilchen auf die Photodiode trifft, sendet sie einen Impuls aus, welcher auf den Kondensator JP4 trifft. Der Impuls sorgt für eine Spannungsverschiebung, sodass aus dem Kondensator eine höhere Spannung gelangt. Wenn dagegen kein Puls durch den Kondensator kommt, ändert sich die Spannung nicht.



Zwei Widerstände in Reihe geschaltet, wirken als Spannungsteiler, d.h. die Gesamtspannung teilt sich entsprechend der Widerstandswerte auf die Widerstände auf (2. Kirchhoffsche Regel). Der Teilwiderstand aus R2 und R5 bewirkt, dass am Minus-Pol des Komparators die halbe Versorgungsspannung liegt, genauso wie am Plus-Pol durch die Widerstände R3 und die Kombination aus R4 und dem Potentiometer eine Spannung eingestellt wird. Das Vorgehen sorgt dafür, dass am positiven Eingang eine höhere Spannung anliegt: Dadurch, dass der Poti regelbar ist, sind Widerstand R4 und Poti in Summe  $> R3$ .



Die Diode D2 wird in Sperrrichtung betrieben. Wird kein Impuls empfangen, verhindert die Diode, dass die Spannung in den Mikrocontroller gelangt. Die Spannung darf nicht über 3,3V Betriebsspannung liegen. Wird ein Impuls ausgesendet, gelangt dieser an den Controllereingang JP2-5, der dann im Mikrocontroller gezählt und abgespeichert wird.



Ein Impuls, den der Detektor vom Strahlungssensor erhält ist so kurz, dass ein Aufleuchten der LED für uns nicht sichtbar wäre. Um bei Eintreffen eines Strahlungspulses ein sichtbares Blinken zu erzeugen, haben wir eine Schaltung entwickelt, die das Leuchten der LED verlängert. Hierzu wird die Lade- und Entladezeit des Kondensators C2 verwendet, danach wird der zweite Komparator des Chips dazu verwendet die LED zu schalten.

Das ist der Strahlungsdetektor:

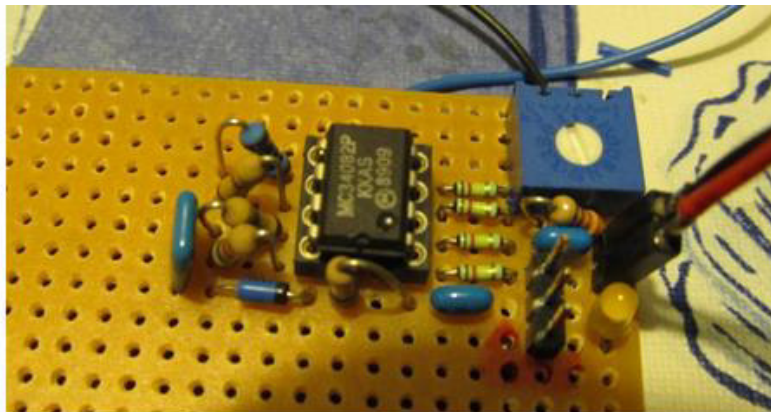
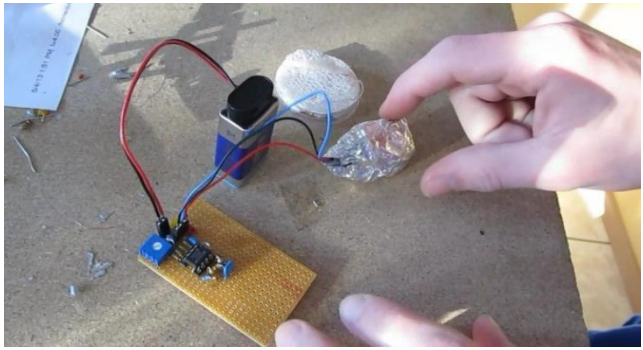


Abb. 51: Foto des Strahlungsdetektors

Die Bauteile JP1 und JP2 haben wir vernachlässigt. Ursprünglich sollte diese Schaltung Strahlung auf dem Ballonflug messen, doch wir wendeten uns von dieser ab, weil wir von der Schule einen Mikrocontroller gestellt bekommen haben, der die Funktionalität dieser Schaltung dann ersetzen konnte. Wir hatten vorher an einen einfacheren Mikrocontroller gedacht.

## Prüfung

Wir testen das Detektieren von Strahlungsimpulsen mit der Photodiode. Dazu verwenden wir neben dem Strahlungssensor und Strahlungsdetektor den Glühstrumpf und eine 9V- Batterie (Abb. 52). Den in Alufolie verpackten Strahlungssensor schließen wir an die Steckverbindung des Strahlungsdetektors,



der Akku wird zum Betrieb der Mess-

Abb. 52: Versuchsaufbau



Abb. 53: Stiftleiste

schaltung an die Stiftleiste (Abb. 53) geschlossen. Mit einem Schraubendreher stellen wir das Potentiometer ein. Zunächst legen wir den Strahlungssensor auf den Glühstrumpf und sehen die LED aufblinken. Sie blinkt auf, wenn ein Puls von der Photodiode ausgesendet wird. Wenn der Potentiometer zu weit aufgedreht ist, also der Widerstandswert zu hoch ist, blinkt die LED nicht, weil keine Impulse durch die Schaltung gelangen.

Wenn der Widerstand zu klein eingestellt ist, leuchtet die LED durchweg, weil der Spannungsabgleich zu gering ist und auch die Rauschpulse gemessen werden.

Dieser Versuch beweist wiederum, dass auch Alpha- bzw. Betastrahlung, wenn auch im geringeren Maße, durch dünne Alufolie gelangt.

Der Strahlungsdetektor diente lediglich zur Prüfung der Photodiode auf ihre Funktionalität. Die Strahlungsmessung regelte unsere Software auf dem Ballonflug.

### 4.8.3 Die Schaltung

Die Schaltung haben wir mit mehreren Verfahren getestet und kalibriert. Unter anderem haben wir die Temperatur, den Luftdruck und die Luftfeuchte im Kühlschrank bei ungefähr 8 °C, in der Tiefkühltruhe bei ungefähr -30 °C und bei einer Zimmertemperatur von ungefähr 22 °C gemessen und auf dem Mikrocontroller gespeichert. Wir haben auch extra die Schaltung mit dem Luftdrucksensor in die Vakuumpumpe gelegt, um dort den Luftdrucksensor zu kalibrieren.

Die Methode, die wir dabei nutzten ist, dass wir die gemessenen Daten in der Bitschreibweise gespeichert und diese Werte in das Programm übertragen haben, welches nach dem Flug die gespeicherten Werte, die zwischen 0 und 4095 liegen, in die für die jeweilige physikalische Größe typische Einheit übersetzt. Ein weiterer Zweck dieser Tests war, herauszufinden, ob wir die Quelltexte ohne Fehler geschrieben und die Schaltung richtig aufgebaut haben.

In einem weiteren Test haben wir die Langzeittätigkeit der Schaltung getestet, dabei haben wir alle Sensoren, das Funkgerät und den GPS-Empfänger an die dafür vorgesehene Position in der Schaltung gesteckt, dazu eine Stromquelle genutzt, die vergleichbar mit der Stromquelle, die wir für den Flug nutzten, war. Wir führten den Test bei einer Fahrradtour in der Region Brieselang durch, die länger als zwei Stunden gedauert hat. In dieser Zeit ist

keines der Geräte ausgefallen und alle Werte waren zufriedenstellend, weshalb wir schlussfolgerten, dass der gesamte Flug ohne Probleme aufgezeichnet werden kann.

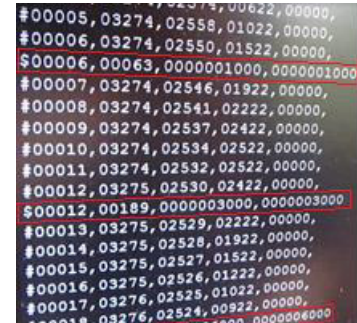
#### 4.8.4 GPS

Das GPS-System wurde von uns mehrmals getestet. Wir haben geprüft, ob die Daten richtigerweise im EEPROM gespeichert wurden und auch beim Auslesen angezeigt werden. Das Auslesen gelang beim ersten Test nicht. Dieses Problem haben wir durch das Ändern im Quelltext behoben.



Abb. 54: Das von uns genutzte Funkgerät

Mithilfe eines Walkie-Talkies haben wir geprüft, ob Daten vom Funkgerät der Sonde gesendet wurde. Alle zwei Minuten, bei Empfangen eines Datenpakets, meldete sich das Walkie-Talkie mit einem akustischen Signal.



```
#00005,03274,02558,01022,00000,
#00006,03274,02550,01522,00000,
$00006,00063,0000001000,0000001000
#00007,03274,02546,01922,00000,
#00008,03274,02541,02222,00000,
#00009,03274,02537,02422,00000,
#00010,03274,02534,02522,00000,
#00011,03274,02532,02522,00000,
#00012,03275,02530,02422,00000,
$00012,00189,0000003000,0000003000
#00013,03275,02529,02222,00000,
#00014,03275,02528,01922,00000,
#00015,03275,02527,01522,00000,
#00016,03275,02526,01222,00000,
#00017,03276,02525,01022,00000,
#00018,03276,02524,00922,00000,
```

Abb. 55: Die GPS-Daten werden nicht korrekt ausgegeben

#### 4.8.5 Kamera

##### Test 1

Wir haben die Kamera, samt Battery-BacPac und Micro-SD Karte eingeschaltet. Dabei haben wir den gewünschten Modus (filmen) eingestellt und die Kamera laufen lassen. Wir kamen hier auf eine Laufzeit von rund vier Stunden.

##### Test 2

Die Kamera musste den niedrigen Temperaturen in großer Höhe standhalten, da ihr Objektiv aus der Sonde herausragte. Im wasserdichten Gehäuse konnte es während des Ballonauf- und abstiegs zu Kondensation kommen. Um ein reales Szenario nachzubilden, legten wir die Kamera im Gehäuse mit Battery-BacPac und SD-Karte eingeschaltet, in den Kühlschrank. Hier erreichte die Kamera eine Laufzeit von 4 h 54 min.

## 5. Flugvorbereitung

### 5.1 Nutzlast

Die Nutzlast, die letztendlich von dem Wetterballon getragen wurde, bestand aus der Sonde, die die Sensoren für Temperatur, Luftdruck, Luftfeuchte und Strahlung gemeinsam mit dem Mikrocontroller, dem GPS-Empfänger, der Kamera, dem Funkgerät, um uns die Position des Wetterballons zu übermitteln und der Stromversorgung beinhaltete. Dabei war die Sonde mit 200 Gramm am schwersten, gefolgt von der Kamera, die 170 Gramm mit wasserdichter Hülle wog. Die Sensoren und der Mikrocontroller zusammen wogen weniger als 50 Gramm, sodass wir weniger Masse in die Atmosphäre brachten, als die vom Hersteller des Wetterballons garantierten 1000 Gramm.

### 5.2 Mengenberechnung des Ballongases

Vorerst musste die zu benötigende Menge an Helium berechnet werden. Der Ballon sollte nicht mit zu wenig Helium gefüllt werden, da so der Flug länger dauern würde. Es ist zu beachten, dass unsere Geräte maximal vier Stunden durchhalten. Fest steht, der Ballon muss Auftrieb haben. Auftrieb entsteht, wenn das Ballongas dasselbe Volumen wie Luft, aber eine geringere Dichte hat. Dadurch sinkt die Gewichtskraft. Der Auftrieb ist das Gewicht der verdrängten Luft.

Es wird zuerst einmal das zu benötigende Volumen berechnet, damit der Ballon schwebt. Die Gewichtskraft muss mit der Auftriebskraft im Gleichgewicht stehen. Dazu wird die Auftriebskraft mit der Gewichtskraft gleichgesetzt.

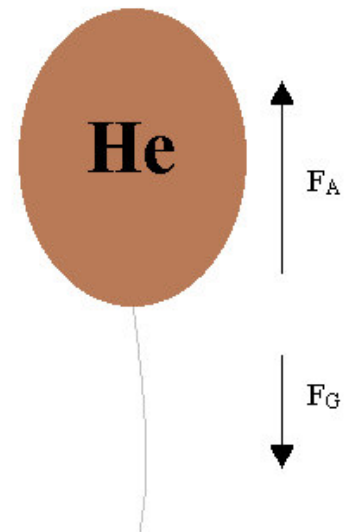


Abb. 56: Schema des Kräfteungleichnis

Die Formel der Auftriebskraft:  $F_A = \rho \cdot V \cdot g$

Die Formel der Gewichtskraft:  $F_G = m \cdot g = (m_N + m_H) \cdot g = (m_N + \rho_H \cdot V) \cdot g$

Es wird die Gesamtmasse eingesetzt, d.h. Masse der Nutzlast  $m_N$  und Masse des Gases  $m_H$

Gleichgesetzt:

$$\begin{aligned} F_A &= F_G \\ \rho_L \cdot V \cdot g &= (m_N + \rho_H \cdot V) \cdot g \\ \rho_L \cdot V &= m_N + \rho_H \cdot V \\ \rho_L \cdot V - \rho_H \cdot V &= m_N \\ V(\rho_L - \rho_H) &= m_N \\ \longrightarrow V &= \frac{m_N}{\rho_L - \rho_H} \end{aligned}$$

Da wir den Ballon vom Erdboden starten, wird die Dichte der Gase bei 0°C und 1013 hPa eingesetzt (Anfangsdichte). Wir nehmen an, dass die Nutzlast 1,5 kg beträgt (darin auch Fallschirm).

Werte eingesetzt:

$$V_H = \frac{1,5kg}{1,29\frac{kg}{m^3} - 0,178\frac{kg}{m^3}}$$

$$V_H = 1,3489m^3 = 1348,9L$$

Unsere Heliumflaschen haben einen Druck von 100 bar. Das bedeutet, die 1348,9 Liter sind 100-fach „zusammengepresst“ und in den Heliumflaschen zu 13,489 Liter komprimiert. Uns sagt dieses Ergebnis, dass wir zwei Heliumflaschen á 10 Liter benötigen, da wir noch nicht den Auftrieb berechnet haben. Die Menge für den Auftrieb legten wir dann beim Start vor Ort fest, da auch die Wetterverhältnisse zu berücksichtigen sind.

### 5.3 Fallschirm



Wir verwendeten einen Fallschirm der Bundeswehr. Er hat den Vorteil, dass er sich durch ein fest angenähtes Netz nicht verheddern kann. Wir schlussfolgerten, dass seine Wirkung in der dünnen Luft noch gering sein wird. Fehler, die dann durch den schnellen Fall und die komprimierte Speicherung nach dem Platzen entstehen, können toleriert werden, da bereits aus der Steigphase gute Messwerte vorliegen sollten.



Wir haben festgestellt, dass sich der Fallschirm relativ schnell öffnet und auch seine Breite hat uns auf Tragfähigkeit überzeugt.

### 5.4 Flugantrag

Wir haben drei mögliche Termine festgelegt, an denen wir starten können, den 13.09., 20.09. und 27.09.2013. Der Flugantrag wurde am 1. September 2013 geschickt. Die Genehmigung kam fünf Tage danach. (siehe Anhang)

## 6. Der Ballonflug

Wir haben den Ballon am 27.09.2013 um 12:40 Uhr gestartet. In den zwei Stunden Flugzeit legte er eine Strecke von 150 km zurück. Nach einer Stunde und 25 Minuten platzte die Ballonhülle in einer Höhe von 20077 Metern. In den zwei Stunden Flugzeit erreichte der Ballon Höchstgeschwindigkeiten von über 130 km/h

Die Position des Wetterballons erhielten wir von dem Funkgerät, das in die Sonde eingebaut wurde und die GPS-Datensätze aussendete. Die Datensätze wurden an das Auto, mit dem wir den Wetterballon verfolgt haben, gesendet, dort verarbeitet und auf die Seite *aprs.fi* gestellt.

### 6.1 Ballonstart

Der erste Termin erschien uns zu knapp, da wir mit den Testläufen noch nicht fertig waren. Der Tag des zweiten Termins war verregnet und bot wenig Sicht über die Wolken. So war der dritte Termin unbedingt wahrzunehmen. Trotz schlechter Wettervorhersagen ergaben sich beste Flugbedingungen: Ein fast wolkenfreier Himmel zur Startzeit und ein böiger Nordwestwind.



Abb. 59: Das Equipment am Startplatz

anderen Ende der befüllte Ballon. Mithilfe einer bereitgestellten Tabelle wurde die Kraft gemessen. Geplant war, dass der Ballon mit 1,3 Kubikmeter Helium gefüllt wird, doch aufgrund des recht starken Windes befüllten wir ihn mit mehr Helium. Denn je weniger Helium im Ballon ist, desto langsamer steigt er und legt einen weiteren Weg zurück, und desto später würde er platzen, da er sich weiter ausdehnen kann, würde dementsprechend auch höher steigen.

In der Zwischenzeit wurde die Messeinrichtung vorbereitet, die Stromversorgung verbunden, der Mikrocontroller gestartet, der dann schon die Messdaten aufnahm, und die Kamera präpariert. Die Sonde verschlossen wir mit genügend Klebeband fest, damit der Wind nicht in die Box weht. Anschließend schrieben wir die Nachricht „Schulprojekt, Bitte anrufen! Mobiltelefonnummer“ auf die Sonde.

Wir trafen uns mit Herrn Glagow, Herrn Lenz, und Frau Drosedow, morgens um 10 Uhr in der Schule, um die Heliumflaschen abzuholen. In zwei Fahrzeugen fuhren wir zum Flugplatz am Gollenberg. Um circa 11:15 Uhr kamen wir an. Der Himmel lockerte auf, der Start konnte sofort stattfinden. Wir befüllten die Ballonhülle mit dem Helium unter Verwendung eines Federkraftmessers. An einem Ende des Federkraftmessers hing die Masse der Nutzlast, am vom Hersteller der Ballonhülle



Abb. 60: Die letzten Startvorbereitungen

Als der Ballon befüllt war, befestigten wir die Sonde in einer Distanz von zehn Metern zum Ballon an einer Drachenschnur. Die Sonde ist so weit vom Ballon entfernt angebracht, damit sie leichter zu finden und zu befreien ist, wenn sie zum Beispiel in einem Waldgebiet landet und zwischen die Bäume hindurch fällt. Der Fallschirm befand sich nah am Ballon.



Abb. 61: Der Start

Kurz vor 13:00 Uhr standen wir bereit, mit der Sonde in der Hand.

Wir warteten erst, dass sich der Wind legt, da dieser den Ballon zum Erdboden drückte. So würde die Sonde auf dem Boden mitgeschliffen. Wir merkten, dass wir mit dem Wind mitlaufen mussten, und so erfolgte der Start. Schon beim Halten des Ballons war die Zugkraft zu spüren, nun stieg er sehr schnell auf. Gleich nach dem Start packten wir unsere Ausrüstung zusammen und stiegen in die Autos, um den Ballon zu verfolgen.

## 6.2 Ballonlandung

Der Ballon landete um 14:40 Uhr, knappe 1,3 km nördlich von Leipe im Spreewald. Zehn Minuten zuvor haben wir den Kontakt zu dem Funkgerät verloren. Als wir um 16 Uhr in Leipe ankamen waren wir für kurze Zeit nah genug am Landepunkt, dass wir ein Signal empfangen konnten. Wir haben gleich Wege gesucht, zu dem Wetterballon zu gelangen. 18:30 Uhr haben wir den Ballon in einer Baumreihe an einem Kanal gefunden. Dabei stellten wir fest, dass der Fallschirm während des Fluges verloren gegangen ist.

## 7. Auswertung

Auf dem Mikrocontroller befanden sich die Messwerte im EEPROM, dem Speicher. Die Werte sind dort analog gespeichert, d.h. sie sind in einem begrenzten Wertebereich abgespeichert. Wie im Kapitel 4.2. Mikrocontroller beschrieben, haben wir die Software so geschrieben, dass die Zehnerpotenzen bzw. die Kommastellen so verschoben werden, dass die Datenmenge auf dem Speicher von 2048 KByte passen. Damit gibt der Mikrocontroller umgewandelte Zahlen aus, die zurück umgewandelt werden müssen. Die Ausgabe im online-Modus sieht folgendermaßen aus:

| 83:  | druck     | 2603       | [260.3hPa]       | temp | 2542      | [43.5C]             | feucht | 1510 | [68.4%] | hoehe | 1919 |           |     |     |            |             |
|------|-----------|------------|------------------|------|-----------|---------------------|--------|------|---------|-------|------|-----------|-----|-----|------------|-------------|
| 84:  | druck     | 2500       | [250.0hPa]       | temp | 2538      | [43.2C]             | feucht | 1509 | [68.3%] | hoehe | 1991 | strahlung | -92 | gps | 5243.16000 | 01225.67000 |
| 85:  | druck     | 2557       | [255.7hPa]       | temp | 2535      | [43.0C]             | feucht | 1509 | [68.3%] | hoehe | 2058 |           |     |     |            |             |
| 86:  | druck     | 2533       | [253.3hPa]       | temp | 2531      | [42.7C]             | feucht | 1509 | [68.3%] | hoehe | 2127 |           |     |     |            |             |
| 87:  | druck     | 2510       | [251.0hPa]       | temp | 2527      | [42.5C]             | feucht | 1508 | [68.3%] | hoehe | 2200 |           |     |     |            |             |
| 88:  | druck     | 2488       | [248.8hPa]       | temp | 2523      | [42.2C]             | feucht | 1507 | [68.3%] | hoehe | 2271 |           |     |     |            |             |
| 89:  | druck     | 2466       | [246.6hPa]       | temp | 2516      | [41.8C]             | feucht | 1506 | [68.2%] | hoehe | 2341 |           |     |     |            |             |
| 90:  | druck     | 2445       | [244.5hPa]       | temp | 2513      | [41.6C]             | feucht | 1506 | [68.2%] | hoehe | 2409 | strahlung | 9   | gps | 5242.76000 | 01226.05000 |
| 91:  | druck     | 2423       | [242.3hPa]       | temp | 2512      | [41.5C]             | feucht | 1506 | [68.2%] | hoehe | 2481 |           |     |     |            |             |
| 92:  | druck     | 2401       | [240.1hPa]       | temp | 2510      | [41.4C]             | feucht | 1505 | [68.2%] | hoehe | 2554 |           |     |     |            |             |
| 93:  | druck     | 2379       | [237.9hPa]       | temp | 2508      | [41.3C]             | feucht | 1505 | [68.2%] | hoehe | 2622 |           |     |     |            |             |
| 94:  | druck     | 2359       | [235.9hPa]       | temp | 2505      | [41.1C]             | feucht | 1504 | [68.2%] | hoehe | 2689 |           |     |     |            |             |
| 95:  | druck     | 2339       | [233.9hPa]       | temp | 2503      | [40.9C]             | feucht | 1503 | [68.2%] | hoehe | 2753 |           |     |     |            |             |
| 96:  | druck     | 2319       | [231.9hPa]       | temp | 2498      | [40.6C]             | feucht | 1503 | [68.2%] | hoehe | 2821 | strahlung | 110 | gps | 5242.44000 | 01226.73000 |
| 97:  | druck     | 2301       | [230.1hPa]       | temp | 2497      | [40.5C]             | feucht | 1502 | [68.1%] | hoehe | 2887 |           |     |     |            |             |
| 98:  | druck     | 2282       | [228.2hPa]       | temp | 2500      | [40.7C]             | feucht | 1502 | [68.1%] | hoehe | 2952 |           |     |     |            |             |
| 99:  | druck     | 2262       | [226.2hPa]       | temp | 2498      | [40.6C]             | feucht | 1502 | [68.1%] | hoehe | 3021 |           |     |     |            |             |
| 100: | druck     | 2242       | [224.2hPa]       | temp | 2498      | [40.6C]             | feucht | 1502 | [68.1%] | hoehe | 3089 |           |     |     |            |             |
| 101: | druck     | 2223       | [222.3hPa]       | temp | 2500      | [40.7C]             | feucht | 1502 | [68.1%] | hoehe | 3159 |           |     |     |            |             |
| 102: | druck     | 2204       | [220.4hPa]       | temp | 2502      | [40.9C]             | feucht | 1503 | [68.2%] | hoehe | 3229 | strahlung | 211 | gps | 5241.92000 | 01227.71000 |
| 103: | druck     | 2184       | [218.4hPa]       | temp | 2502      | [40.9C]             | feucht | 1503 | [68.2%] | hoehe | 3303 |           |     |     |            |             |
| 104: | druck     | 2163       | [216.3hPa]       | temp | 2501      | [40.8C]             | feucht | 1504 | [68.2%] | hoehe | 3378 |           |     |     |            |             |
| 105: | druck     | 2142       | [214.2hPa]       | temp | 2499      | [40.7C]             | feucht | 1504 | [68.2%] | hoehe | 3452 |           |     |     |            |             |
| 106: | druck     | 2120       | [212.0hPa]       | temp | 2494      | [40.3C]             | feucht | 1506 | [68.2%] | hoehe | 3530 |           |     |     |            |             |
| 107: | druck     | 2099       | [209.9hPa]       | temp | 2490      | [40.1C]             | feucht | 1507 | [68.3%] | hoehe | 3609 |           |     |     |            |             |
| 108: | druck     | 2078       | [207.8hPa]       | temp | 2490      | [40.1C]             | feucht | 1506 | [68.2%] | hoehe | 3690 | strahlung | 110 | gps | 5241.25000 | 01228.87000 |
| 109: | druck     | 2058       | [205.8hPa]       | temp | 2487      | [39.9C]             | feucht | 1506 | [68.2%] | hoehe | 3766 |           |     |     |            |             |
| 110: | druck     | 2036       | [203.6hPa]       | temp | 2482      | [39.6C]             | feucht | 1506 | [68.2%] | hoehe | 3843 |           |     |     |            |             |
| 111: | druck     | 2015       | [201.5hPa]       | temp | 2481      | [39.5C]             | feucht | 1506 | [68.2%] | hoehe | 3924 |           |     |     |            |             |
| Zeit | Luftdruck | Temperatur | Luftfeuchtigkeit | Höhe | Strahlung | Längen- Breitengrad |        |      |         |       |      |           |     |     |            |             |

Tabelle 3: Ausgabe der Messwerte

Die Werte in den eckigen Klammern entstammen von unseren Tests der Sensoren unter verschiedenen Klimabedingungen. Sie sind aus einem von uns vorgegebenen Wertebereich mit den hier gemessenen analogen Zahlen errechnet worden.

Wir haben zwei weitere Programme mit der Programmiersprache Python geschrieben. Das erste Programm speichert die Werte in einer Datei ab, das zweite wandelt sie in Werte mit den richtigen Einheiten um. Die konvertierten Daten sind in einer Excel-Tabelle im Anhang dargestellt. In den nächsten Abschnitten beziehen wir uns darauf.

### Zur Tabelle

Die Tabelle weist nicht den kompletten Flug auf, weil die Spannungsversorgung für den Mikrocontroller kurz vor dem Aufprall abbricht und somit die letzte Speicherung auf einer Höhe von ungefähr 200 Metern erfolgte. Dadurch sind einige Daten am Landeort nicht aufgezeichnet worden.

Wir beschreiben aus den gemessenen Werten das Wettergeschehen. Es ist anzumerken, dass eine exakte Wetterbestimmung ausgeschlossen ist und sie erst durch ein Studium der Meteorologie gewährleistet ist. So wirken mehrere Faktoren ein, wie Strömung, die selbst von der Feuchtigkeit abhängig ist und Windgeschwindigkeit. Zudem wirkt das Gelände mit seinen Höhenmetern ein. Deshalb orientieren wir uns am Meeresspiegel.

## 7.1 Temperatur

Die Temperaturmessung zeigt aussagekräftige Werte an, die mit der Höhe in einem Diagramm dargestellt sind.

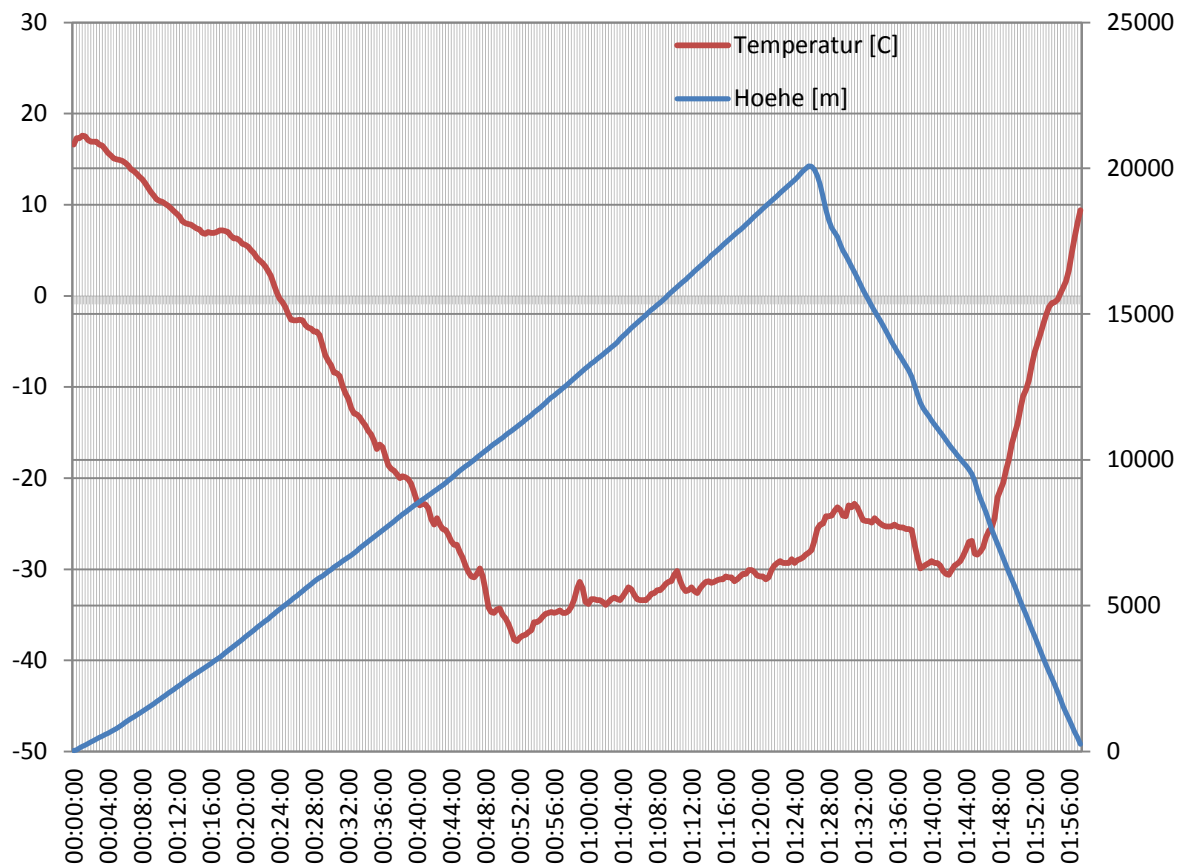


Diagramm 4: Temperatur (links) und Höhe im Verlauf des Fluges

Der Ballonstart begann bei 16,6 °C. Auf einer Höhe von 274 Metern erreichte der Sensor seinen Temperaturhöchststand von 17,1 °C. Bei -37,9 °C ist ein Tiefstand abzulesen, am Landeort 9,4 °C.

### Einteilung der Atmosphäre

Wenige Planeten besitzen eine Atmosphäre, die auf ihm das Leben ermöglicht. Die Erde besitzt auch wegen ihrer großen Masse eine Atmosphäre. Sie wird durch die Erdanziehungskraft ermöglicht, wodurch die Gase Stickstoff, Sauerstoff, Edelgase (He, Ar,...) und Spurengase (CO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>,...) <sup>37</sup> in Erdnähe bleiben und den Menschen die Atmung ermöglichen und vor tödlicher Strahlung schützen.

Die Erdatmosphäre kann nach verschiedenen Gesichtspunkten eingeteilt werden. So teilen und beurteilen wir sie nach dem Temperaturverlauf. Darunter zählen in aufsteigender Reihenfolge Troposphäre, Stratosphäre, Mesosphäre, Thermosphäre und Exosphäre. Die für uns relevanten (thermischen) Luftschichten sind Troposphäre und Stratosphäre (bis 50 km Höhe <sup>38</sup>).

<sup>37</sup> Vgl. Schönwiese, 2003, S. 23

<sup>38</sup> Vgl. Deutscher Wetterdienst, 2013

In der Atmosphäre kommt es zu horizontalen Bewegungen durch die Einwirkung der Sonnenstrahlung und ihre Wechselwirkung. Die Schwerkraft gleicht dieses System aus, sodass die Massen in der Atmosphäre in ein *hydrostatisches Gleichgewicht* gebracht werden. Dieser Effekt lässt sich an den Wolken beobachten, die häufig eine glatte Fläche bilden und sich auf gleicher Höhe befinden. Somit lässt die gesamte Erdatmosphäre einen horizontalen Schichtenaufbau zu.<sup>39</sup>

Die Breite der Luftschichten hängt von der Jahreszeit und dem Standort ab. Zwischen 0 bis etwa 12 km ist die Troposphäre und in ihr, oberhalb des Übergangs in die Stratosphäre, die Tropopause. In einer Höhe zwischen 12 bis 50 km befindet sich die Stratosphäre mit der Ozonschicht, die sich durch einen hohen Ozongehalt bildet. Das Ozon absorbiert einen Großteil der kurzwelligen Sonnenstrahlung.<sup>40</sup>

## Zusammenhang

Unsere Messung ergibt, dass nach 100 Metern die Temperatur um ca. 1 Grad zunimmt. Die Erdoberfläche wird durch die Sonnenstrahlung erwärmt. Die Wärme steigt in Luftströmen vom Erdboden wieder auf und erwärmt die ersten Höhenmeter, doch dieses Phänomen hält nicht lange an, denn es kommt zu einer Vermischung in der Luftschicht<sup>41</sup> und die Temperatur sinkt: Bei einer Höhe von 326 Metern ist die Temperatur um 0,2 Grad gesunken und bildet den Anfang für den Temperaturabstieg. Die Temperatur fällt in einer Höhe von 11140 Metern nahezu linear auf -37,9 °C ab. Die Erklärung dafür ist, dass der Luftdruck in der Troposphäre abnimmt und aufsteigende erwärmte Luft aufgrund ihrer abnehmenden Dichte einen Auftrieb erfährt. In der großen Höhe nimmt die Dichte ab, die aufsteigende Luft dehnt sich aus und kühlt ab.

Der Wetterballon erreicht damit sein Temperaturminimum, danach steigt die Temperatur langsam an. Hierbei hat der Ballon die Troposphäre verlassen und steigt in der Stratosphäre weiter auf. Während des weiteren Aufstiegs steigt die Temperatur an, weil sich die Ozonschicht nähert. Das Ozon wandelt die Sonnenstrahlung in Wärme um, so kommt es zu einem Wärmeaustausch. Die Temperatur nimmt mit zunehmender Höhe zu, sodass der Ballon einen stetigen Temperaturanstieg misst. Die Temperatur steigt hierbei um 9,5 Grad. Der Graph kehrt sich bei rund 20.000 Metern um, als die Ballonhülle geplatzt ist. Zu diesem Zeitpunkt steigt die gemessene Temperatur ins Schwanke gerät und aufgrund der Trägheit des Sensors die Temperaturmessung etwas nachhängt. Mit dem Abstieg in der Stratosphäre sinkt sie wieder ab. Der Graph hat zum Ende hin einen starken Temperaturanstieg, da einerseits die Sinkgeschwindigkeit der Sonde in den letzten 15 Minuten zunimmt und andererseits andere Temperaturen im Spreewaldgebiet herrschten. Eine weitere Ursache sind die Wolken, die über dem Spreewald verbreitet sind, denn sie halten die Wärmeeinwirkung der Sonne ab.

---

<sup>39</sup> Vgl. Ribow, Mirko, 2009 S.2

<sup>40</sup> Vgl. Bayerischer Rundfunk, 2013

<sup>41</sup> Vgl. Deutscher Wetterdienst, 2013

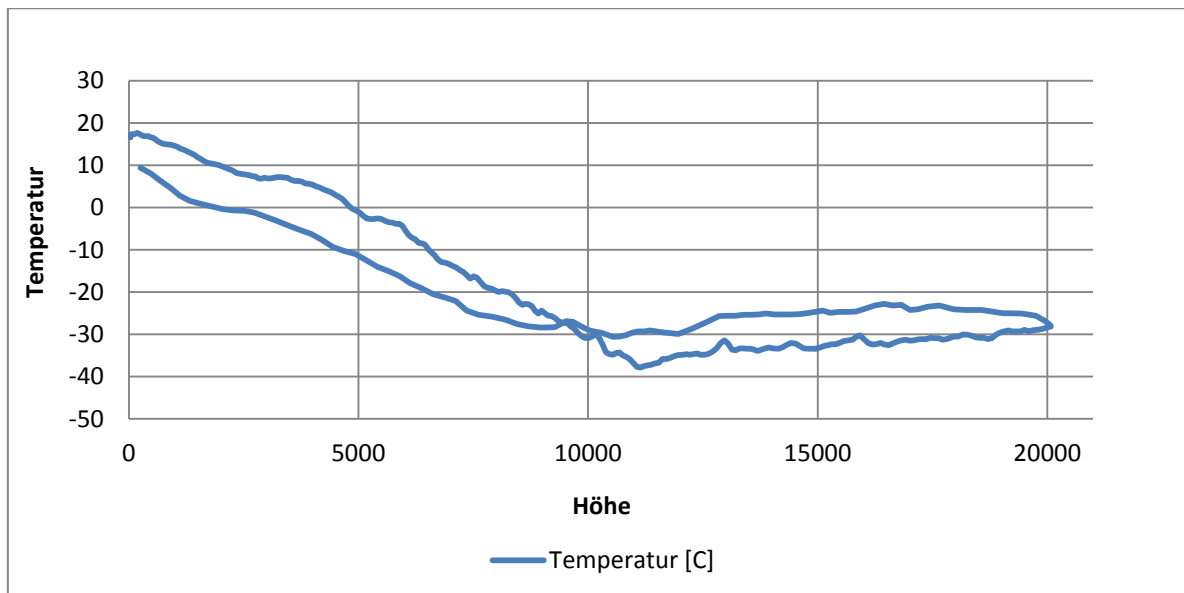


Diagramm 5: Temperatur im Vergleich zur Höhe

Die Temperaturschwankungen sind technisch bedingt. Es treten üblicherweise während der Messung elektromagnetische Störungen auf. In unserem Fall treten Fehler durch Elektronenbewegung und der damit verbunden Wärme, Stromrauschen, elektromagnetische Strahlung sowie durch die Digitalisierung auf. Möglicherweise liegt es u.a. daran, dass an der Sonde Temperatur- und Luftfeuchtesensor nebeneinander liegen.

## Berechnung

Die Temperatur ändert sich nahezu linear, sodass wir leicht die Temperaturänderung berechnen können. Sie ist aus der Anfangs- und Endtemperatur berechenbar. Trotzdem sind die Luftschichten zu beachten, in denen sich markant der Temperaturverlauf unterscheidet. Aus den Werten lässt sich die Troposphäre und Stratosphäre festlegen.

### Temperaturabkühlung in der Troposphäre:

$$\Delta\vartheta = \vartheta_E - \vartheta_A \rightarrow (-)16,6^\circ\text{C} - 37,9^\circ\text{C} = -21,3^\circ\text{C}$$

### Temperaturerwärmung von Anfang Stratosphäre (11140m) bis Hochpunkt (20077m):

$$\Delta\vartheta = \vartheta_E - \vartheta_A \rightarrow (-)37,9^\circ\text{C} - 28,2^\circ\text{C} = 9,7^\circ\text{C}$$

### Temperaturerwärmung zwischen 10958m und Landung:

$$\Delta\vartheta = \vartheta_E - \vartheta_A \rightarrow 9,4^\circ\text{C} - 29,6^\circ\text{C} = -20,2^\circ\text{C} \triangleq 20,2^\circ\text{C}$$

In einer Höhe von 2508 m änderte sich der Temperaturanstieg langsamer als zuvor. Das liegt unter anderem daran, dass der Wetterballon zu dieser Zeit (01h 54min) durch eine Wolke sank. Die Tabellenmarkierung zeigt auch, dass der Temperaturanstieg mit sinkender Höhe schwächer wird.

| Satz       | Zeit            | Temperatur  | Höhe        |
|------------|-----------------|-------------|-------------|
| 339        | 01:52:20        | -4,2        | 3455        |
| 340        | 01:52:40        | -3,1        | 3208        |
| 341        | 01:53:20        | -2,1        | 2962        |
| 342        | 01:53:40        | -1,2        | 2734        |
| <b>343</b> | <b>01:54:00</b> | <b>-0,8</b> | <b>2508</b> |
| <b>344</b> | <b>01:54:20</b> | <b>-0,7</b> | <b>2281</b> |
| <b>345</b> | <b>01:54:40</b> | <b>-0,4</b> | <b>2044</b> |

## 7.2 Luftdruck

Wenn wir uns die gemessenen Werte des Luftdrucks anschauen, dann sind dort zwei Auffälligkeiten. Die erste ist die, dass oberhalb von 15000 m der gemessene Luftdruck stagnierte. Die andere Auffälligkeit ist, dass der Bodenluftdruck am Landeort ungefähr 16 hPa niedriger ist, als am Startpunkt.

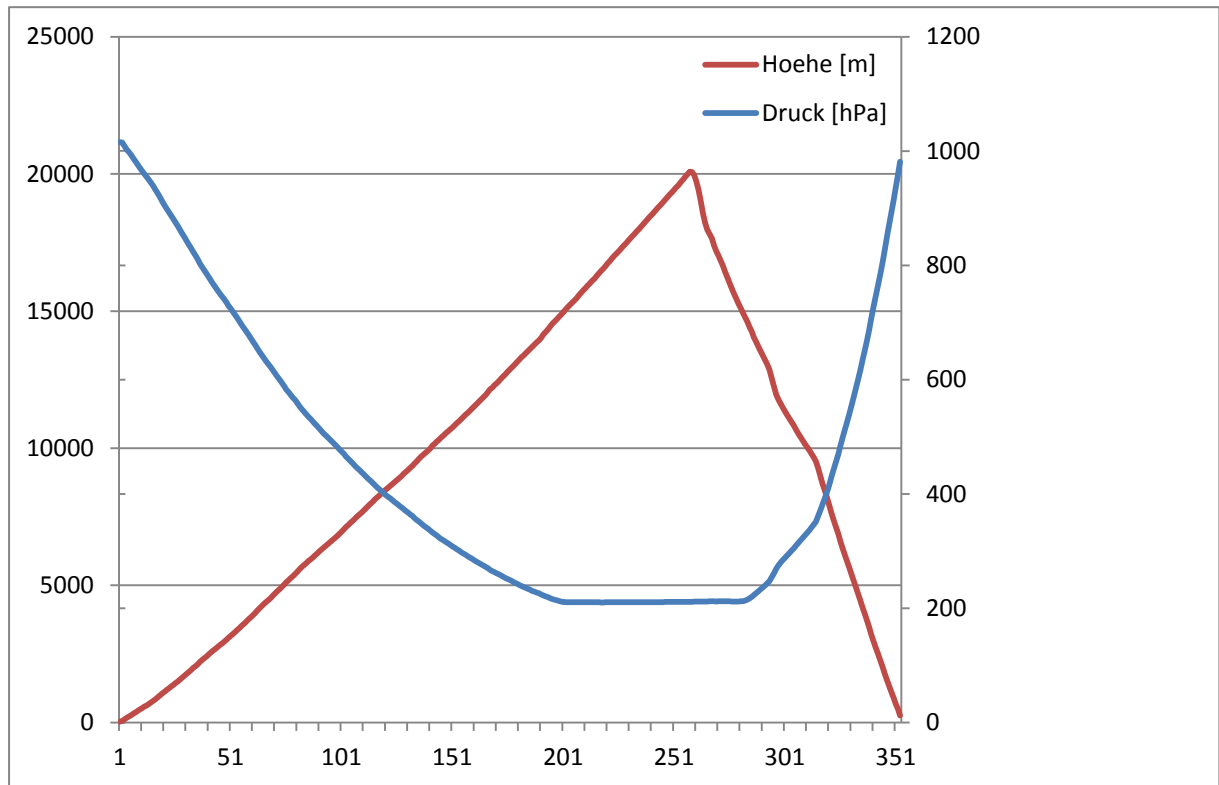


Diagramm 6: Die Höhe (links) und der Luftdruck (rechts) im Verlauf des Fluges (x-Achse: Datensatznummer)

Für die zweite Auffälligkeit kann es mehrere Gründe geben. Der erste Grund ist, dass der Landeort Leipe 18 m höher liegt, als der Startort Stölln. Ein anderer Grund könnte sein, dass Leipe am 27. September 2013 womöglich unter Tiefdruckeinfluss stand, im Gegensatz zu dem ungefähr 150 km entfernten Stölln, was auch die Wolken erklären würde.

Für die erste Auffälligkeit gibt es folgende vier mögliche Fehlerquellen:

1. Der genutzte Luftdrucksensor hat (wie bereits im Kapitel 3.2 erklärt) bei Temperaturen von bis zu  $-40\text{ °C}$  einen maximalen Fehlerbereich von 75 hPa beträgt.
2. Der Sensor kann nur Werte oberhalb von 150 hPa messen.
3. Der A/D-Wandler arbeitet bei kleinen Spannungen, die aus kleinen Messwerten resultieren, ungenauer.
4. Der aus der barometrischen Höhenformel errechnete Luftdruck hängt von der Dichte der Luft am Boden ab, die von der Luftfeuchtigkeit abhängt.

Wenn wir nur mit dem Fehlerbereich und einer veränderlichen Dichte von 0,2p Differenz rechnen, sieht die Berechnung des Luftdrucks folgendermaßen aus:

$$p = 101600Pa \cdot e^{\left( -\frac{1,29 \pm 0,2 \frac{kg}{m^3} \cdot 9,81 \frac{m}{s^2}}{101600Pa} \cdot 20000m \right)} \pm 7500Pa$$

$$p = 101600Pa \cdot e^{(-2,49) \pm 0,39} \pm 7500Pa$$

$$p = [5703,29Pa; 12317,77Pa] \pm 7500Pa$$

$$p_{max} = 19817,77Pa$$

$$p_{max} = 198,18hPa$$

Der errechnete Wert ist in etwa vergleichbar mit dem, den wir gemessen haben.

### 7.3 Luftfeuchte

Der Luftfeuchtesensor hat den Flug unbeschadet überstanden. Wie schon im Kapitel 4.2. Mikrocontroller erklärt, wurden die Messdaten alle 20 Sekunden gespeichert. Der jeweilige Messwert ist der Mittelwert aller in 20 Sekunden errechneten und addierten Werte. Die Messwerte sind mit dieser Methode sehr genau. Wir haben aus den Messwerten ein Diagramm erstellt, das den Luftfeuchteverlauf in Abhängigkeit von der Zeit und Höhe zeigt.

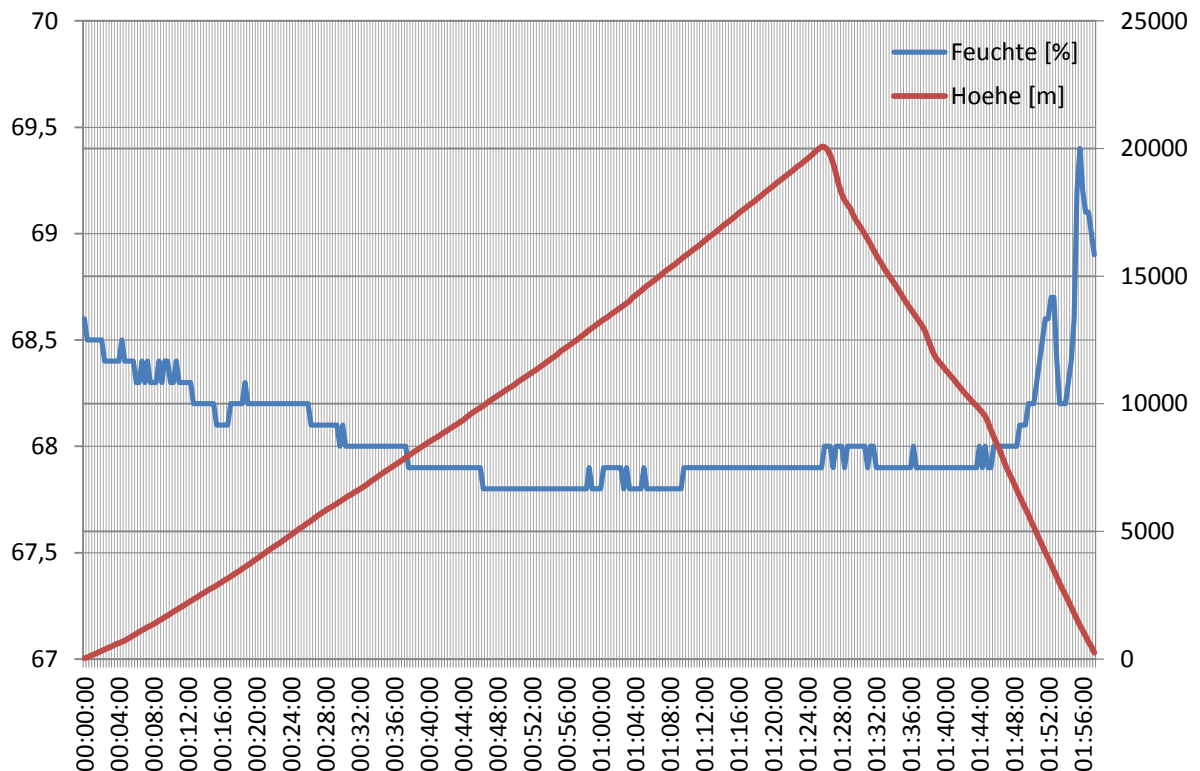


Diagramm 7: Luftfeuchtigkeit (links) und Höhe (rechts) im Verlauf der Zeit

Die Zeitachse (x-Achse) hat eine Längeneinheit von vier Minuten. Die Höhe (rechte y-Achse) hat eine Längeneinheit von 5000 Meter, die relative Luftfeuchte (linke y-Achse) hat eine Einheit von 0,5 Prozent. Wir haben versucht, den Zusammenhang zwischen Höhe und Luftfeuchtigkeit zu verdeutlichen.

Wie dem Diagramm zu entnehmen ist, hat sich die Luftfeuchte relativ gleichbleibend verhalten. Sie bleibt zwischen 67,5 und 69,5 %. Das entspricht so gar nicht unseren Erwartungen. Wir gingen davon aus, dass die relative Luftfeuchte zunächst bis 10.000m

steigt, da bis dahin die Temperatur abnimmt, und dann bis zum Höchstpunkt sinkt. Als der Ballon gestartet ist, betrug die Luftfeuchte 68,6 %. Dann sinkt sie bis 16:40 Minuten auf 68,1 %, wobei kurze Anstiege zwischen 05:40 und 10:40 Minuten zu verzeichnen sind (Schwankungen zwischen 68,4 auf 68,3 %). Bei 16:40 Minuten hat der Ballon eine Höhe von 3159m erreicht. 3159 Meter befinden sich in der Troposphäre, in der sich das Wettergeschehen, also die Wolkenbildung, abspielt.

Bis 10.000 Meter sinkt die relative Luftfeuchte stufenförmig auf 67,8 %, ihrem Tiefstwert. Dieser Wert wurde, bis auf kleine Änderungen, durchweg bis 15.700 Metern, bei 1:09 Stunden, gemessen. Ab dann steigt die Luftfeuchte bis zur Landung.

Als der Ballon geplatzt ist, wurden 67,9 % Luftfeuchte gemessen.

Ab 1:44:40 h steigt die Luftfeuchte stark an, erreicht ihren Höchstwert bei 69,4 %, die Sonde ist fast schon gelandet. Die letzte Messung beträgt 68,9 %.

Die Messdauer hat verglichen mit dem aufgezeichneten Video (der tatsächlichen Zeit) einen Zeitunterschied von + 4:02 min, weshalb die Messwerte nicht exakt sind (→ 4.3.2 Luftfeuchte).

Nun stellen sich die Fragen: War die Luft zu trocken? Sind die Temperaturen frühzeitig gestiegen?

Die Temperaturen haben sich wie erwartet verhalten. Das Konfuse: Die Temperatur und die Luftfeuchte sind gesunken und auch wieder gemeinsam gestiegen. Das ist widersprüchlich und unverständlich. Der Luftfeuchtesensor hat bei den Testläufen stets korrekte Werte gemessen. Doch selbst die geringe Änderung der Luftfeuchtwerte ist beträchtlich. Es handelt sich bei den Messwerten nur um Änderungen in der Nachkommastelle.



Abb. 63: Ab hier beginnt die relative Luftfeuchte wieder zu steigen

Der letzte Teil der Messungen, bei dem die Luftfeuchte steigt, ist verständlich. Die Sonde erreicht die Wolkenschicht, die 99 % des Wasserstoffs enthält, und die Luftfeuchte steigt, wenn auch nur um wenige Prozente. Die Sonde befand sich 47 Sekunden in einer Wolke, wir haben also mindestens zwei Messwerte, mit den Mittelwerten der Feuchtigkeit in

der Wolke. Als sich die Sonde in der Wolke befand, wurden 69,2 % und 69,4 % Luftfeuchte gemessen. Nach der Wolke dauerte der Flug nur noch 1:55 min.

In die Messwerte müssen andere Faktoren als die Temperatur hineingespielt haben. Bei Hinzunahme einer Bodenwetterkarte vom 27.09., dem Tag des Wetterballonflugs, des Deutschen Wetterdienstes, lassen sich Überlegungen bezüglich Hoch- und Tiefdruckgebieten

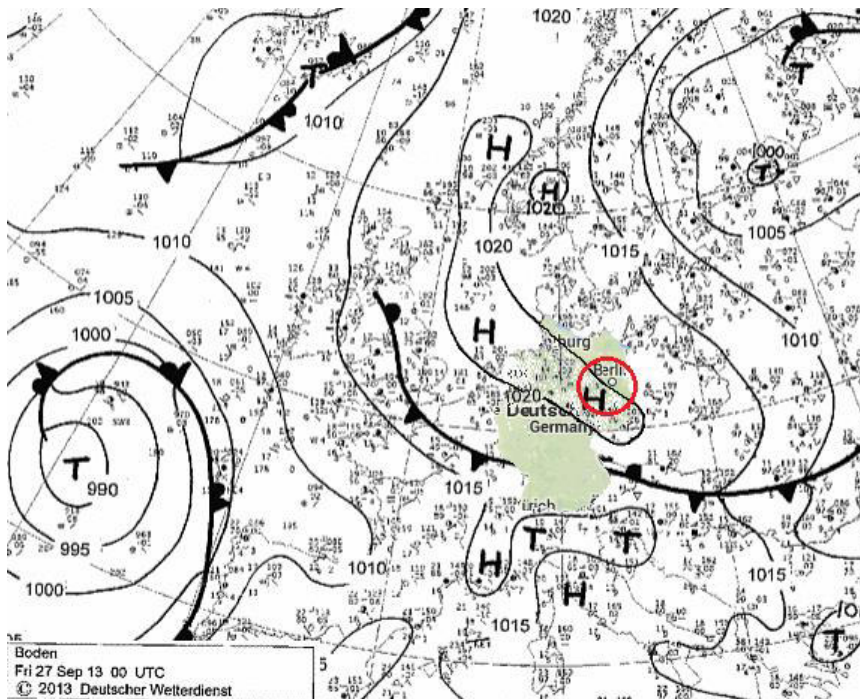


Abb. 64: Karte Europas mit den Isobaren

anstellen. An dem Tag des Ballonstarts lag über Deutschland ein Hochdruckgebiet. Der Ballon hat sich in diesem befunden. Wir hatten Nordwestwind, weshalb das Hochdruckgebiet den Ballon, auch wegen des starken Windes zum Startzeitpunkt, sicher erreicht hat. Die gezeigte Karte zeigt das Wettergeschehen um 13:00 Uhr Ortszeit. Wir starteten zu diesem Zeitpunkt. Was nun das Hochdruckgebiet

mit den Messwerten zu tun hat, wird im Folgenden erklärt.

Ein Hochdruckgebiet ist ein Gebiet, dessen Luftdruck im Vergleich zur Umgebung erhöht ist. Es wird auch als Antizyklon bezeichnet. Ein Tiefdruckgebiet, auch Zyklon genannt, weist dagegen einen niedrigeren Luftdruck als seine Umgebung auf. Treffen Hochdruck- und Tiefdruckgebiete aufeinander beziehungsweise strömen die Luftteilchen zwischen den Gebieten, entsteht Wind.<sup>42</sup>

Das Hochdruckgebiet entsteht, wenn kältere, also schwerere, Luft absinkt. Das großflächige Absinken der Luftmassen führt zu einem Druckanstieg. Die Luft trocknet aus und erwärmt sich. Dieser Ablauf basiert auf thermodynamischen Prozessen.

Um wieder zu einem ausgeglichenen Druck zu kommen, strömt Luft aus den Bereichen höheren Drucks, also aus dem Zentrum des Hochdruckgebiets heraus, in die Bereiche geringeren Drucks.<sup>43</sup> Es kommt in der Höhe zu einer Luftmassenkonvergenz. Die Luft erwärmt sich, die relative Luftfeuchte sinkt entsprechend.

Das ist eine Erklärung für den Luftfeuchteverlauf. Hochdruckgebiete können in unseren Breiten bis in Höhen von 11 bis 12 Kilometer reichen.<sup>44</sup> Die Luftfeuchte unserer Messung sinkt auch nicht mehr bei 10.000 Metern, ist gleichbleibend bis 15.000 Meter. Hier könnte das Hochdruckgebiet zu Ende gewesen sein.

<sup>42</sup> Vgl. Goruma o.J.

<sup>43</sup> Ebd.

<sup>44</sup> Ebd.

## 7.4 Strahlung

Die Strahlungspulse wurden während des Ballonflugs gezählt und abgespeichert. So sollten alle zwanzig Sekunden Impulse auf den vorigen Wert addiert werden. Aus den Messwerten ist unglücklicherweise zu entnehmen, dass Fehler aufgetreten sind.

In der siebten Minute springt der Wert von 602 auf 154 gezählten Pulsen. Weitere Fehler sehen genauso aus. Die Datensätze 342- 372 geben sogar eine 0 aus.

Wenn wir die obere Hälfte der Tabelle betrachten, fällt auf, dass es alle sechs Datensätze bzw. alle zwei Minuten zu einer Änderung kommt. Unter der Annahme, dass es jeweils zu kurzen Störphasen gekommen ist, haben wir versucht, die Zähleränderungen, die durch diese kurzen Störungen aufgetreten sind, mit einem Programm herauszurechnen, das entspricht dann der Bezeichnung 'Strahlung adaptiv'.

Wir führen die Messfehler auf weitere Störungen zurück. Bedauerlicherweise waren wohl Strahlungssensor und Funkempfänger nicht ausreichend voneinander geschützt, sodass die Funksignale die empfindliche Photodiode beeinträchtigten. Entsprechende Störungen haben wir bei unseren vorher durchgeführten Tests bereits beobachtet und konnten die Störungen durch die Abschirmung mit Alufolien verhindern. Offensichtlich sind trotzdem wieder Störungen aufgetreten. Physikalisch lässt sich die fehlerbehaftete Messung durch den Nulleffekt erklären, welcher eine unerklärliche Strahlungseinwirkung auf den Detektor beschreibt.

Eine weitere Einwirkung ist wohl bei der Startvorbereitung aufgetreten, als wir die Sonde mit Klebeband schlossen. Es ist nicht auszuschließen, dass es dabei zu einer elektrostatischen Aufladung kam. In anderen Worten, wir haben mit dem Finger das Klebeband an der Styroporwand festgerieben,

| Datensatz | Zeit     | Höhe [m] | Strahlung total | Strahlung adaptiv |                     |
|-----------|----------|----------|-----------------|-------------------|---------------------|
| 1         | 00:00:00 | 36       | 3610            | 0                 |                     |
| 5         | 00:01:20 | 217      | 3510            | 0                 |                     |
| 10        | 00:03:00 | 479      | 3511            | 1                 |                     |
| 16        | 00:05:00 | 789      | 4113            | 602               | sechs gleiche Werte |
| 17        | 00:05:20 | 856      | 4113            | 602               |                     |
| 18        | 00:05:40 | 923      | 4113            | 602               |                     |
| 19        | 00:06:00 | 994      | 4113            | 602               |                     |
| 20        | 00:06:20 | 1062     | 4113            | 602               |                     |
| 21        | 00:06:40 | 1125     | 4113            | 602               |                     |
| 22        | 00:07:00 | 1188     | 4614            | 154               |                     |
| 28        | 00:09:00 | 1568     | 4514            | 77                |                     |
| 33        | 00:11:40 | 2127     | 4422            | 78                |                     |
| 40        | 00:13:00 | 2409     | 4431            | 9                 |                     |
| 46        | 00:15:00 | 2821     | 4541            | 110               |                     |
| 52        | 00:17:00 | 3229     | 4752            | 211               |                     |
| 58        | 00:19:00 | 3690     | 4862            | 110               |                     |
| 64        | 00:21:00 | 4163     | 4871            | 9                 |                     |
| 70        | 00:23:00 | 4630     | 4898            | 27                |                     |
| 76        | 00:25:00 | 5108     | 5026            | 128               |                     |
| 82        | 00:27:00 | 5588     | 5054            | 28                |                     |
| 88        | 00:29:00 | 6016     | 5183            | 129               |                     |
| 94        | 00:31:00 | 6448     | 5330            | 147               |                     |
| 100       | 00:33:00 | 6880     | 5495            | 165               |                     |
| 106       | 00:35:00 | 7353     | 5705            | 210               |                     |
| 112       | 00:37:00 | 7816     | 5870            | 165               |                     |
| 118       | 00:39:00 | 8275     | 5990            | 120               |                     |
| 124       | 00:41:00 | 8703     | 6107            | 117               |                     |
| 130       | 00:43:00 | 9136     | 6324            | 217               |                     |
| 136       | 00:45:00 | 9623     | 6496            | 172               |                     |
| 142       | 00:47:00 | 10088    | 6567            | 71                |                     |
| 148       | 00:49:00 | 10543    | 6683            | 116               |                     |
| 154       | 00:51:00 | 10991    | 6844            | 161               |                     |
| 160       | 00:53:00 | 11457    | 7013            | 169               |                     |
| 166       | 00:55:00 | 11951    | 7082            | 69                |                     |
| 172       | 00:57:00 | 12455    | 7196            | 114               |                     |
| 178       | 00:59:00 | 12966    | 7355            | 159               |                     |
| 184       | 01:01:00 | 13455    | 7494            | 139               |                     |
| 190       | 01:03:00 | 13937    | 7588            | 94                |                     |
| 196       | 01:05:00 | 14522    | 7679            | 91                |                     |
| 202       | 01:07:00 | 15056    | 7750            | 71                |                     |
| 208       | 01:09:00 | 15569    | 7839            | 39                |                     |
| 220       | 01:13:00 | 16644    | 7862            | 34                |                     |
| 226       | 01:15:00 | 17180    | 7996            | 50                |                     |
| 232       | 01:17:00 | 17719    | 8029            | 25                |                     |
| 244       | 01:21:00 | 18794    | 7996            | 34                |                     |
| 250       | 01:23:00 | 19329    | 8048            | 52                |                     |
| 256       | 01:25:00 | 19899    | 8099            | 51                |                     |
| 262       | 01:27:00 | 19437    | 8130            | 8                 |                     |
| 268       | 01:29:00 | 17649    | 8116            | 9                 |                     |
| 274       | 01:31:00 | 16445    | 8120            | 4                 |                     |
| 280       | 01:33:00 | 15276    | 8128            | 8                 |                     |
| 286       | 01:35:00 | 14244    | 8131            | 3                 |                     |
| 292       | 01:37:00 | 13222    | 8131            | 0                 |                     |
| 322       | 01:47:00 | 7615     | 8176            | 20                |                     |
| 328       | 01:49:00 | 6125     | 8176            | 10                |                     |
| 340       | 01:53:00 | 3208     | 8267            | 96                |                     |
| 346       | 01:55:00 | 1787     | 10464           | 2197              |                     |
| 352       | 01:57:00 | 483      | 14762           | 4298              |                     |
| 353       | 01:57:20 | 251      | 14762           | 4298              |                     |

Tabelle 4: Messwerte der Strahlungsmessung

die Photodiode reagierte darauf mit einer Pulsmessung. Im Flugvideo hört man, u.a. wegen des starken Windes (bis zu 135 km/h), Geräusche aus der Sonde, die darauf schließen, dass Geräte verrutschten. Dadurch kommt es möglicherweise ebenfalls zu einer elektrostatischen Aufladung am Styropor, auch kann es sein, dass Funksignale, durch das Verrutschen der Alufolie, den Strahlungssensor beeinträchtigten. Die Software kann nicht fehlerbehaftet sein, weil alle Testmessungen dies widerlegen.

## 7.5 GPS

Dass das GPS funktioniert hat, ist schon beim Schreiben dieser Auswertung ersichtlich. Wir haben unsere Sonde mit der Messapparatur gefunden, und das auf eine sehr genaue Position. Der Höhenverlauf ist schon in den vorherigen Diagrammen nachvollziehbar, nicht aber der Flugverlauf. Während des Ballonflugs nutzten wir die Internetseite [aprs.fi](https://www.aprs.fi/), in die die GPS-Daten eingespielt wurden. Anders hätten wir gar nicht den Ballon verfolgen können.

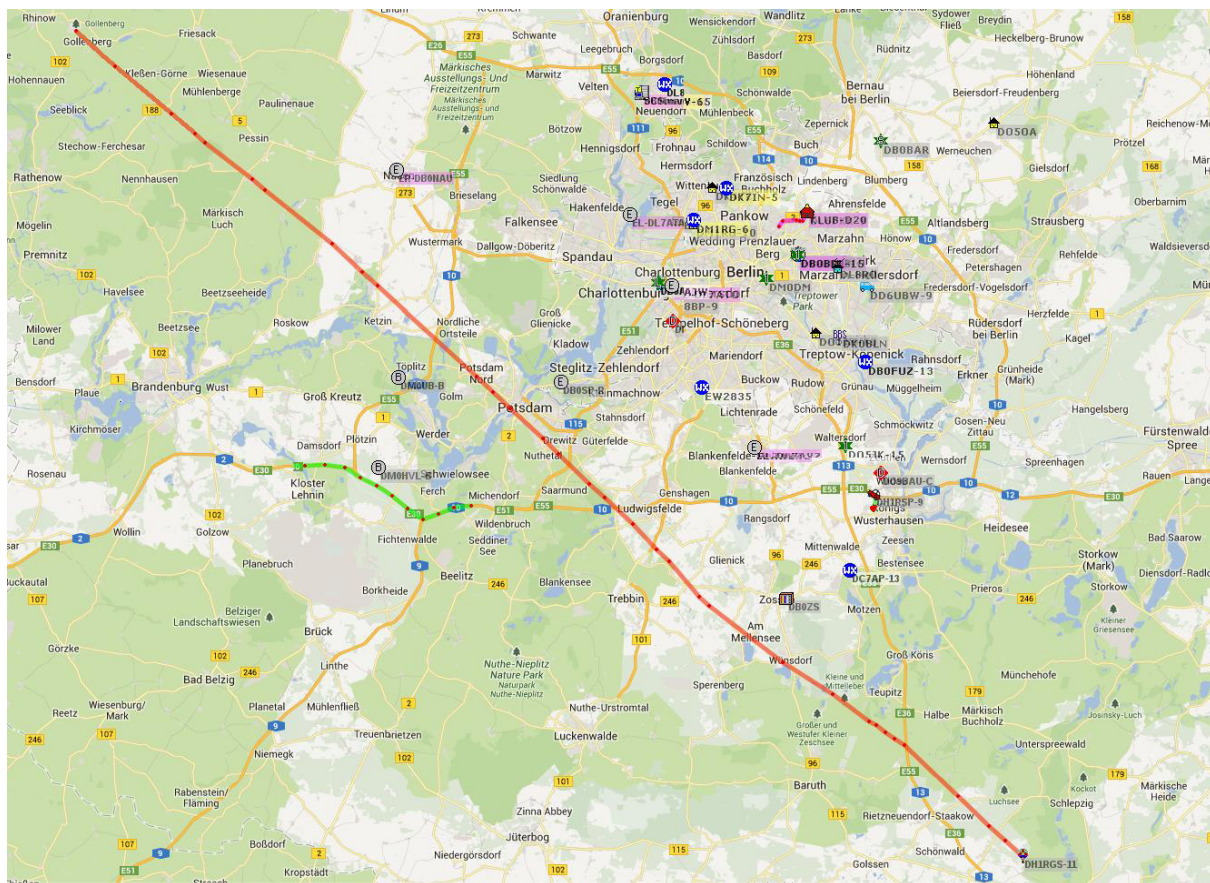


Abb. 65: Der Flugverlauf auf der Internetseite [aprs.fi](https://www.aprs.fi/), der Ballon kurz vor dem Spreewald

Damit wir unsere Flugbahn dreidimensional darstellen können, werden die GPS-Daten in Google Earth importiert. Dafür wird eine GPX-Datei (.gpx) erstellt.

Diese muss nur noch in Google Earth hochgeladen werden. Der Nutzer kann nun den gesamten Routenverlauf verfolgen.<sup>45</sup>

<sup>45</sup> Die Karte befindet sich aufgrund der Größe im Anhang

Aus den Positionsdaten Breiten- und Längengrad, Höhe und der Zeit lassen sich Steig- und Sinkgeschwindigkeit (vertikale Geschwindigkeit) sowie die horizontale Fluggeschwindigkeit des Ballons berechnen. Das ist so zu verstehen: Der Ballon hat keinen Antrieb, er lässt sich vom Wind und Auftrieb bewegen. Er steigt langsam durch Auftrieb, wird aber schnell zur Seite getrieben (Drift), legt also einen Weg, zweidimensional, wie auf der obigen Karte, zurück. Die vertikale Geschwindigkeit errechnet sich, indem die Höhe durch die Zeit geteilt wird. Das Ergebnis mal 3,6 ( $\frac{60 \cdot 60}{1000}$ ) und die Geschwindigkeit ist in Kilometer pro Stunde angegeben. Die horizontale Geschwindigkeit dagegen ist nicht auf Anhieb zu berechnen, denn der zurückgelegte Weg in horizontaler Richtung ist uns nicht bekannt. Wie sich die horizontale Geschwindigkeit errechnet, wird im Folgenden erklärt.

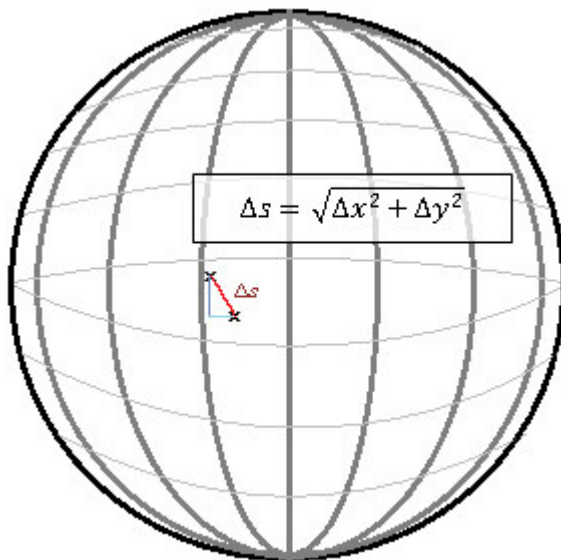


Abb. 66: Berechnung des zurückgelegten Weges aus Längen- und Breitengrad

Aus dem Breiten- und Längengrad wird ein Positionspunkt bestimmt. Die Erdkugel wird in Längengrade und Breitengrade eingeteilt. Der Umfang vom Breitengrad hat immer die gleiche Länge, der Umfang des Längengrads dagegen nimmt vom Äquator zu den Polkappen hin ab.

Der zu einem Winkel gehörende Teilumfang (Kreissektor) wird errechnet mit der Formel

$$b = \frac{\alpha}{360} \cdot u = \frac{2\pi r \cdot \alpha}{360}$$

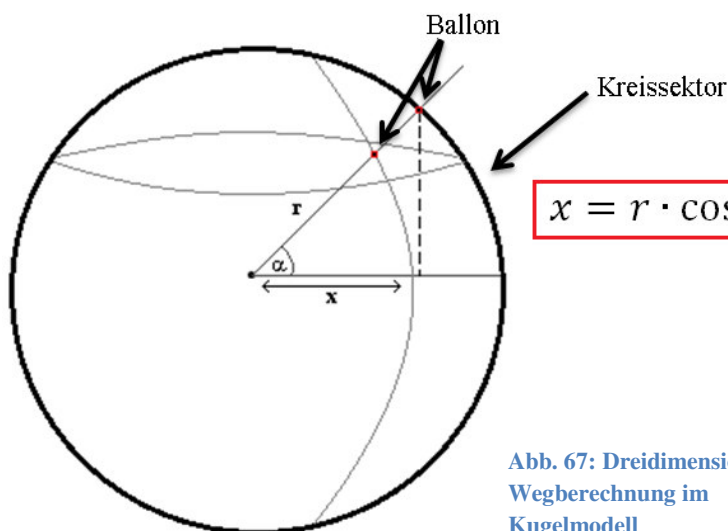


Abb. 67: Dreidimensionale Wegberechnung im Kugelmodell

Es ermöglicht die Bestimmung der Position auf dem Breitengrad. Für r wird der Erdradius eingesetzt. Für u entsprechend der Erdumfang. Er beträgt ungefähr 40.030 km ( $2\pi r$ ). Das b steht für das Bogenmaß. Dieser Teilumfang gibt nur die Länge des Breitengrads an.

Die Position auf dem Längengrad wird über den Kosinussatz berechnet. Der

Umfang in Längsrichtung ist nicht gleichbleibend. Das Szenario muss sich dreidimensional vorgestellt werden. Dabei ist r der Erdradius und x der Weg.

Aus der Differenz der Wegpunkte ergibt sich der zurückgelegte Weg, jeweils des Breitengrads (y) und des Längengrads (x). So kann ein rechtwinkliges Dreieck gebildet

werden. Über den Satz des Pythagoras wird nun der Weg berechnet. Dieser ist nun dreidimensional. Nun kann auch die horizontale Geschwindigkeit berechnet werden durch:

$$\vec{v} = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

Da die GPS-Daten alle zwei Minuten gespeichert wurden, wurden die Daten im Nachhinein interpoliert, dass auch alle 20 Sekunden ein Wert vorhanden ist.

Der Ballon hatte eine Durchschnittsgeschwindigkeit von 76,341 km/h während des gesamten Fluges. Davon bis zum Erreichen des Hochpunktes 74,947 km/h. Dabei erreichte der Ballon eine Höchstgeschwindigkeit von 134,1 km/h. Beim Sinken betrug die durchschnittliche Geschwindigkeit 80,127 km/h. Dabei erreichte die Sonde eine Höchstgeschwindigkeit von 140,7 km/h. Diese Werte geben die horizontale Geschwindigkeit an.

Der Ballon hatte eine durchschnittliche Steiggeschwindigkeit von 13,98 km/h. Die Sinkgeschwindigkeit betrug durchschnittlich 37,56 km/h. Die zuletzt gemessene Steiggeschwindigkeit vor Erreichen des Hochpunkts betrug 16,2 km/h.

## 8. Persönlicher Nutzen

„Der größte Nutzen für mich war der technische Teil. Vor allem die vielen Stunden, die Georg, Heiko und ich am Löten, Programmieren und Testen verbrachten, haben mir persönlich genutzt. Ich habe viel Neues dazu gelernt, was in der Schule nicht möglich gewesen wäre. In der Schule wird beispielsweise die Elektrotechnik nur kurz behandelt. Das Projekt hat uns in die E-Technik geführt und genügend Wissen gebracht. Auch haben wir uns mit der Programmiersprache beschäftigt. Es ist doch wichtig, zu wissen, wie das System Computer funktioniert. Das Schreiben der Seminararbeit hat mir geholfen, die Zusammenhänge noch besser zu verstehen.“ *Sören*

„Der Aufwand, ein Wetterballonprojekt durchzuführen, wurde uns erst zum Projektende richtig klar. Viele Stunden investierten wir darin und sammelten individuelle Erfahrungen. Ich fand nicht nur am Bau der Gerätschaften Begeisterung, sondern auch an der Programmierung, die uns praktisch gut vermittelt wurde. Mit dem Schreiben der Seminararbeit vertiefte ich die Erkenntnisse des Projektzeitraums. Im Ganzen hat mir das Projekt einen interessanten Einblick in die Elektrotechnik gegeben.“ *Heiko*

„Ich habe während des Projekts und an den vielen Wochenenden, an denen wir uns getroffen haben, vor allem gelernt, dass ich bei praktischer Naturwissenschaft auch Spaß haben kann. Außerdem habe ich aus dem Projekt eine etwas bessere Kenntnis der Programmiersprache „C“ und des Lötens mitgenommen. Es war spannend, die Ferien und Wochenenden für das technische und wissenschaftliche Arbeiten genutzt zu haben. Am spannendsten fand ich jedoch das Finale des Projekts mit abheben des Ballons.“ *Georg*

## 9. Literaturverzeichnis

ADH Technology Co. Ltd. (2009): "Data Sheet / GP-635 T". Online im Internet unter <http://www.adh-tech.com.tw/files/GP-635T-121130.pdf> (07.10.2013)

Atmel Corporations (2013): "XMEGA A MANUAL". Online im Internet unter <http://www.atmel.com/Images/doc8077.pdf> (11.10.2013)

Bayerischer Rundfunk (2013): „Atmosphären-Aufbau in fünf Schichten“. Online im Internet unter <http://www.br.de/themen/wissen/meteorologie-wetter-atmosphaere100.html> (17.10.2013)

Bernard, Thomas (2010): "Die Realisierung von Schaltern in der Hochfrequenztechnik mittels PIN-Dioden". Online im Internet unter [http://www.heuermann.fh-aachen.de/files/knowledge/komponenten\\_der\\_hf-technik/HF-Schalter%20mit%20PIN-Dioden.pdf](http://www.heuermann.fh-aachen.de/files/knowledge/komponenten_der_hf-technik/HF-Schalter%20mit%20PIN-Dioden.pdf) (29.08.2013)

Bernard, Thomas (2002): „Heuermann FH Aachen“. Online im Internet unter [http://www.heuermann.fh-aachen.de/files/knowledge/komponenten\\_der\\_hf-technik/HF-Schalter%20mit%20PIN-Dioden.pdf](http://www.heuermann.fh-aachen.de/files/knowledge/komponenten_der_hf-technik/HF-Schalter%20mit%20PIN-Dioden.pdf) (05.09.2013)

Bundesministerium der Justiz (2013): „Luftverkehrsgesetz“. Online im Internet unter <http://www.gesetze-im-internet.de/luftvg/index.html> (08.09.2013)

Bundesministerium der Justiz (2013): „Luftverkehrs-Ordnung“. Online im Internet unter <http://www.gesetze-im-internet.de/luftvo/index.html> (08.09.2013)

Burgdorf, H (2004): „Analoge Systeme 1 (ELA4)“. Online im Internet unter <http://www.krucker.ch/skripten-uebungen/AnSys/ELA4-D.pdf> (06.09.2013)

Corporations, A. (2013): „8-bit Atmel XMEGA A Microcontroller“. Online im Internet unter <http://www.atmel.com/Images/doc8077.pdf> (11.10.2013)

Danielak, G. (2006): „Halbleiterphysik“- Tutorium. Online im Internet unter [http://www.gdanielak.de/Tutorium/ET\\_II/1\\_Halbleiter/Halbleiter.pdf](http://www.gdanielak.de/Tutorium/ET_II/1_Halbleiter/Halbleiter.pdf) (05.09.2013)

Danielak, Gregor (2006): „Tutorium Elektrotechnik“. Online im Internet unter [http://www.gdanielak.de/Tutorium/ET\\_II/1\\_Halbleiter/Halbleiter.pdf](http://www.gdanielak.de/Tutorium/ET_II/1_Halbleiter/Halbleiter.pdf) (05.09.2013)

Deutscher Wetterdienst. (2013): „Stratosphäre“. Online im Internet unter <http://www.deutscher-wetterdienst.de/lexikon/index.htm?ID=F&DAT=Stratosphaere> (17.10.2013)

Deutscher Wetterdienst. (2013): „Troposphäre“. Online im Internet unter <http://www.deutscher-wetterdienst.de/lexikon/index.htm?ID=F&DAT=Troposphaere> (17.10.2013)

Deutscher Wetterdienst. (2007): „Vorgehen bei Auffindung eines Radiosondengespanns“. Online im Internet unter <http://www.deutscher-wetterdienst.de/lexikon/download.php?file=Radiosonde.pdf> (29.09.2013)

Deutscher Wetterdienst (2013): „Wetterlexikon“. Online im Internet unter <http://www.deutscher-wetterdienst.de/lexikon/index.htm> (04.10.2013)

DomainLoc.com GmbH (o.J.): „Global Positioning System (GPS) Geodätische Anwendung: Vermessung des Maindreiecks“. Online im Internet unter [http://www.globalpositioningsystem.de/globalpositioningsystem\\_1.html](http://www.globalpositioningsystem.de/globalpositioningsystem_1.html) (21.09.2013)

Franck, Annika (2012): „Planet Wissen“. Online im Internet unter [http://www.planet-wissen.de/natur\\_technik/klima/klimawandel/ozon.jsp](http://www.planet-wissen.de/natur_technik/klima/klimawandel/ozon.jsp) (01.10.2013)

FSV "Otto Lilienthal" Stölln/Rhinow e.V. (2012): „Die Geschichte unseres Vereins“. Online im Internet unter <http://edor.org/index.php?id=flugplatz&sub=historie> (8.09.2013)

GoPro (2013): „HERO3 + Silver Edition“. Online im Internet unter <http://de.gopro.com/cameras/hd-hero3-silver-edition> (02.10.2013)

Goruma (o.J.): „Hoch- und Tiefdruckgebiete“. Online im Internet unter [http://www.goruma.de/Wissen/Naturwissenschaft/Meteorologie/hoch\\_und\\_tiefdruckgebiete.html](http://www.goruma.de/Wissen/Naturwissenschaft/Meteorologie/hoch_und_tiefdruckgebiete.html) (25.10.2013)

HTI Burgdorf (2004): „Analoge Systeme1- Halbleiterdioden“. Online im Internet unter <http://www.krucker.ch/skripten-uebungen/AnSys/ELA4-D.pdf> (06.09.2013)

Köhne, Dr. Anja/ Wößner, Dr. Michael (2008): „NMEA-0183 Daten“. Online im Internet unter <http://www.kowoma.de/gps/zusatzerklaerungen/NMEA.htm> (07.10.2013)

Köhne, Dr. Anja/ Wößner, Dr. Michael (2008): „Positionsbestimmung“. Online im Internet unter <http://www.kowoma.de/gps/Positionsbestimmung.htm> (21.09.2013)

Kuntze; Think Big: Think Big / Think Big. Online im Internet unter: [http://www.think-big.org/think\\_big](http://www.think-big.org/think_big)

Kuntze; Projekte: Think Big / Projekte. Online im Internet unter: <http://www.think-big.org/projekte>

Laquai, Bernd (o.J.): „Herstellung eines Alpha- Beta- Gamma-empfindlichen Strahlungsdetektors auf Basis einer kostengünstigen PIN-Diode“. Online im Internet unter <http://www.opengeiger.de/ABGDetektor.pdf> (29.08.2013)

Meyers Lexikon Redaktion (2001): Meyers Grosses Taschenlexikon: „Lexikon in 25 Bänden“ 8., überarb. Aufl., Mannheim, S.285/86, Bibliographisches Institut & F.A. Brockhaus AG.

Michell GmbH Instruments (2013): „Kapazitive Feuchtesensoren“. Online im Internet unter <http://www.michell.com/de/technologie/kapazitive-feuchtesensoren.htm> (04.10.2013)

Motorola: Motorola; SEMICONDUCTOR TECHNICAL DATA

Nmea.de (2011): „NMEA 0813“. Online im Internet unter <http://www.nmea.de/index.html> (07.10.2013)

Pirnay, Jens (o.J.): „Projekt Stratosphäre- What goes up must come down“ Online im Internet unter <http://pirnay.com/index.php/de/> (29.08.2013)

Reichelt elektronik (2013): „Feuchtesensor KFS 140-FA“. Online im Internet unter <http://www.reichelt.com/Sensoren/KFS-140FA/3/index.html?&ACTION=3&LA=446&ARTICLE=82301&GROUPID=3190&artnr=KFS+140-FA> (04.10.2013)

Ribow, Mirko (2009): „Druck und Temperaturschichtung in der Atmosphäre“ (Ausbildungsseminar Klima und Wetter im WS 09/10)“ 2009, S.2

Rosenberg, Martin (2010): „Planet Wissen“. Online im Internet unter [http://www.planet-wissen.de/alltag\\_gesundheit/werkstoffe/glas/silizium.jsp](http://www.planet-wissen.de/alltag_gesundheit/werkstoffe/glas/silizium.jsp) (05.09.2013)

Rosenberg, Martin (2010): „Silizium: Grundlage für die Glasproduktion“. Online im Internet unter [http://www.planet-wissen.de/alltag\\_gesundheit/werkstoffe/glas/silizium.jsp](http://www.planet-wissen.de/alltag_gesundheit/werkstoffe/glas/silizium.jsp) (05.09.2013)

Schedler, Karl (2001): „Temperatur: Schichtung“. Online im Internet unter <http://wwwex.physik.uni-ulm.de/marti/Zawiw/Texte/MetElem/wetterelemente2.htm> (04.10.2013)

Schönwiese, Christian-Dietrich (2003): „Klimatologie“. Stuttgart: Ulmer.

Seilnacht, Thomas (o.J.): „Thorium- Verwendung“ Online im Internet unter <http://www.seilnacht.com/Lexikon/90Thori.html> (26.10.2013)

Subramanyam, R.R./ Mahajan, Shobhit/ Madhukar, Archana/ Sahay, Suman/ Roonwal, G.S. (2010): Geschichte der Naturwissenschaften von der Antike bis heute, Potsdam: Tandem Verlag, S. 97.

Titz, Sven (2006): „Warum sind beheizte Räume im Winter so trocken?“. Online im Internet unter <http://www.weltderphysik.de/thema/hinter-den-dingen/winterphaenomene/trockene-raeume/> (03.10.2013)

Wassermann, Eberhard F. (2011): „Navigieren mit Satellit: GPS“. Online im Internet unter <http://www.weltderphysik.de/gebiet/planeten/erde/gps/> (02.10.2013)

Wikimedia Foundation Inc. (2013): „Thoriumnitrat“. Online im Internet unter <http://de.wikipedia.org/wiki/Thoriumnitrat> (16.09.2013)

Woodman Labs (2013): „GoPro Hero 3 Silver Edition – Akkulaufzeit“. Online im Internet unter <http://de.gopro.com/cameras/hd-hero3-silver-edition#/technical-specs> (02.10.2013)

Woodman Labs: “GoPro Hero 3 Silver Edition- Benutzerhandbuch” 2013, S.22

Volkmer, Martin (2002): „Kernenergie Basiswissen“. Informationskreis Kernenergie, Bonn.

Vömel, Dr. Holger. (2007). *Deutscher Wetterdienst (DWD)*. Abgerufen am 7. Oktober 2013 von [http://www.dwd.de/sid\\_bXQ9SSTDmJ17SyZQDQ3yp0dYJM1pYLPxCB30VL0PpcG43m7vr2fM!-323405799!1745512398!1381142115218/bvbw/appmanager/bvbw/dwdwwwDesktop?\\_nfpb=true&\\_pageLabel=\\_dwdwww\\_spezielle\\_nutzer\\_forschung\\_physik&T14608849251144917050626gsbDocumentPath=Navig](http://www.dwd.de/sid_bXQ9SSTDmJ17SyZQDQ3yp0dYJM1pYLPxCB30VL0PpcG43m7vr2fM!-323405799!1745512398!1381142115218/bvbw/appmanager/bvbw/dwdwwwDesktop?_nfpb=true&_pageLabel=_dwdwww_spezielle_nutzer_forschung_physik&T14608849251144917050626gsbDocumentPath=Navig)

## **Bildnachweis**

Abb. 6: Kreislauf des Wassers (Fotalia.com)

Abb. 7: Temperaturverlauf in den Luftschichten  
(<http://wwwex.physik.uni-ulm.de/marti/Zawiw/Texte/MetElem/wetterelemente>)

Abb. 8: KFS 140-FA (Reichelt.com)

Abb. 14: Photodiode BPW-34 (<http://www.conrad.de/de/de/product/153005/Sehr-schnelle-PIN-Fotodiode-Osram-Components-BPW-34-Gehaeuseart-DIL-Abstrahlwinkel-60-400-1100-nm?queryFromSuggest=true>)

Abb. 49: Trimpotentiometer (<http://www.tme.eu/de/details/3386f-1-202lf/tht-potentiometer-1-umdrehung/bourns/>)

## Selbstständigkeitserklärung

Hiermit erklären wir an Eides statt, die vorliegende Arbeit selbstständig und nur unter Verwendung der angegebenen Quellen erstellt zu haben.



Georg Drechsler



Heiko Lenz



Sören Lenz

Nauen, 25.11.2013

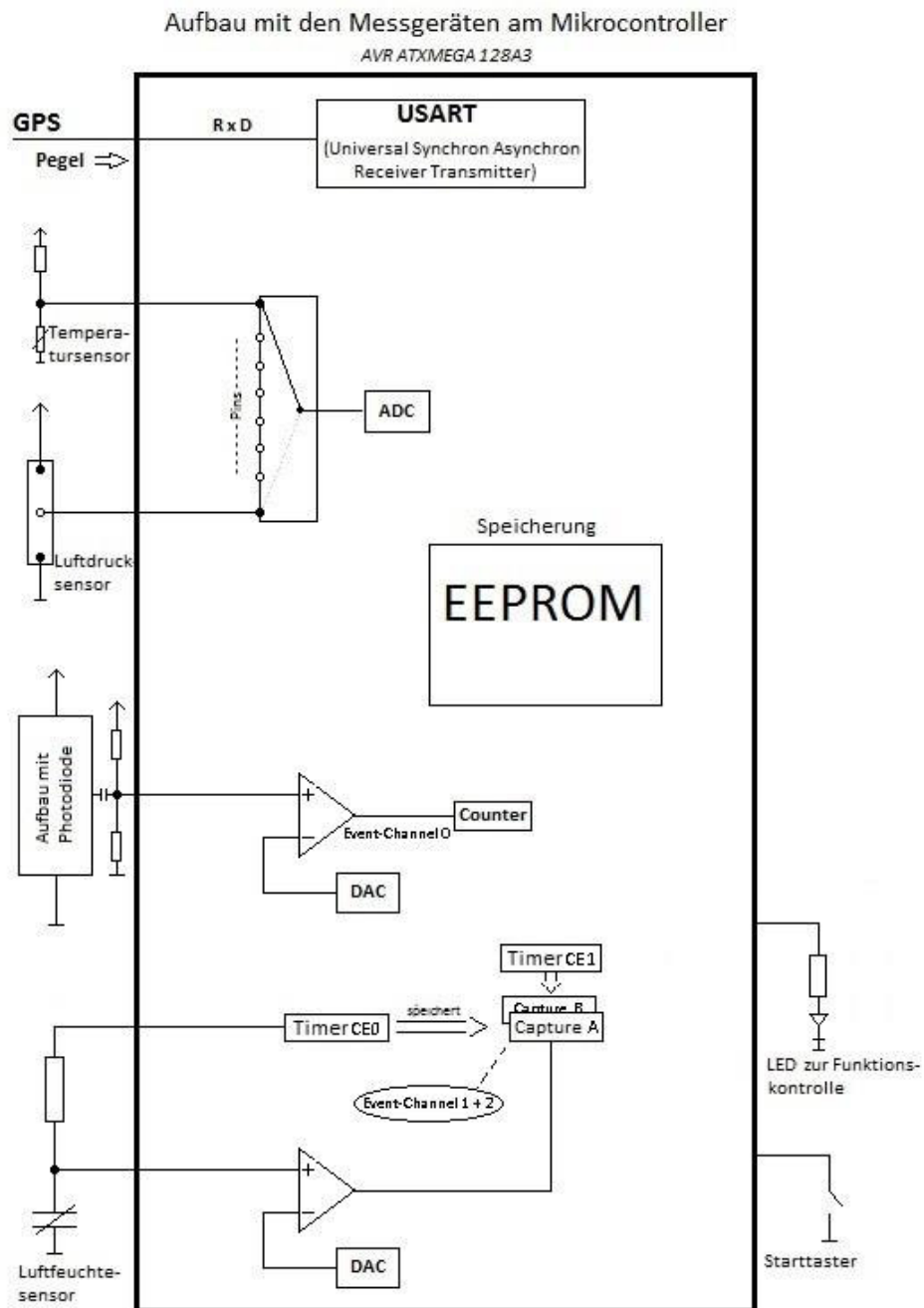
## **Danksagung**

Ein großer Dank geht an Dirk-Holger Lenz, der uns beim Programmieren und Bauen der Schaltungen unterstützt hat. Ein herzlicher Dank an Steffen Glagow, der sich als Funkamateur bestens in der Funktechnik auskennt, uns diesseits sehr geholfen hat und uns die Funkgeräte zur Verfügung gestellt hat, und auch für allgemeine Fragen zum Wetterballonflug bereit stand. Ein weiterer Dank geht an den Nauener Jugendclub des *MIKADO e.v.*, der uns auf diese Projektidee bzw. dieses Thema der Seminarfacharbeit brachte.

Ein großer Dank geht auch an Herrn Wohlfarth, der leider krankheitsbedingt am Ballonstart nicht dabei sein konnte. Wir danken ihm für seine großzügige Unterstützung während des Projekts und seine Aufgeschlossenheit. Ein Dank geht auch an Herrn Henkler und an die Schule.

## Anhang

### Schematische Darstellung der Messeinrichtung



## **Das Schreiben für den Flugantrag**

### **DFS Deutsche Flugsicherung GmbH**

Niederlassung Bremen

Flughafendamm 45

D-28199 Bremen

### **Flugantrag für einen Wetterballonstart**

Sehr geehrte Damen und Herren,

zwei Klassenkameraden und ich vom Leonardo-da-Vinci Campus Nauen haben vor, im Rahmen einer Seminararbeit einen Wetterballon im Havelland, Brandenburg zu starten.

Der Start ist am 13.08, 20.08. oder 27.08.2013 um 13:00 Uhr vorgesehen, je nachdem welchen Termin Sie freigeben, und erfolgt vom Flugplatz EDOR Stölln/Rhinow, Koordinaten N 52° 44 30 | O 12° 23 30.

Der Ballon mit Nutzlast hat eine Gespannlänge von 10m, der Ballon ist hellbraun (ungefärbt) und hat einen Durchmesser von 2m. Die Nutzlast beträgt inklusive Fallschirm 900g. Es ist von einer Steiggeschwindigkeit von 5m/s und einer Sinkgeschwindigkeit von 4m/s auszugehen. Der Ballon erreicht eine Höhe von 30.000 – 35.000m.

Versichert ist der Ballon über den Deutschen Amateurradioclub:

Deutscher Amateur-Radio-Club e. V.

Lindenallee 4

34225 Baunatal

Ich bitte um Ihre Freigabe. Bei einer kurzfristigen telefonischen Freigabe an einem der vorgesehenen Starttermine bin ich mobil erreichbar.

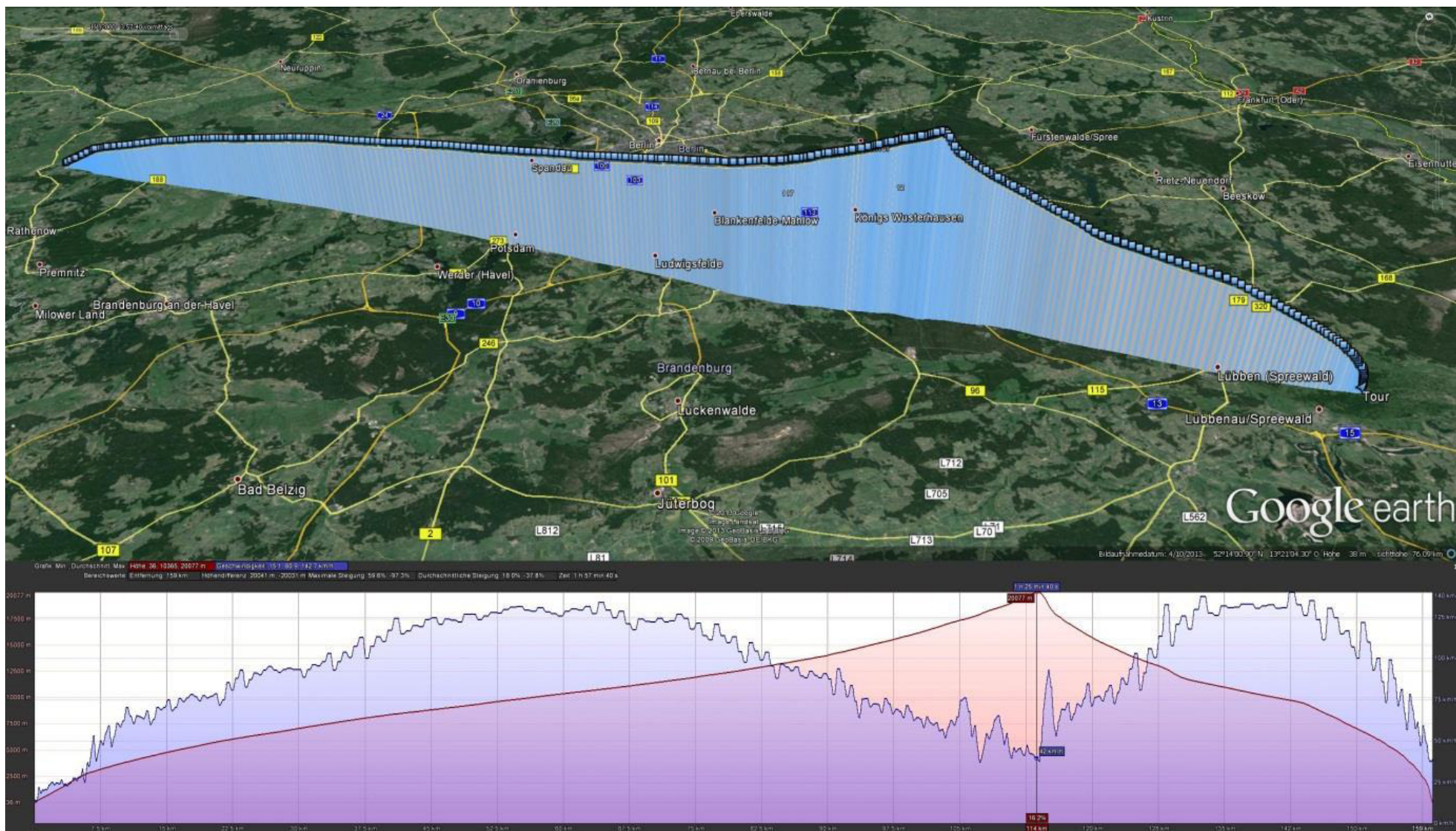
### **Auflassen von Radiosonden in Stölln Rhinow, EDOR am 13. / 20. oder 27. September 2013**

Sehr geehrter Herr Lenz,

für den Aufstieg der Radiosonde in Stölln Rhinow wird hiermit die Flugverkehrskontrollfreigabe gemäß LuftVO § 16a(4) unter folgenden Auflagen erteilt.

|                   |                                                              |
|-------------------|--------------------------------------------------------------|
| Vorhaben:         | Auflassen einer Radiosonde                                   |
| Auflassort:       | Stölln Rhinow (EDOR), PSN 52°44'28"N 012°23'24"E             |
| Datum / Ortszeit: | 13. / 20. oder 27. September 2013, jeweils 1300 Uhr Ortszeit |
| Gesamtgewicht:    | ca. 1 kg                                                     |
| Länge:            | 10 m                                                         |
| Flugdauer:        | ca. 2,5 h                                                    |
| Steigrate:        | ca. 1000ft/min                                               |
| Sinkrate:         | ca. 800ft/min                                                |
| Farbe:            | hellbraun                                                    |

Das Vorhaben wird durch eine Navigationswarnung (NOTAM) der allgemeinen Luftfahrt bekannt gemacht.



Flugbahn von Stölln nach Leipe

| Satz | Zeit     | Druck A/D | Druck [hPa] | Temperatur A/D | Temperatur [C°] | Feuchte A/D | Feuchte [%] | Hoehe [m] | Steig-<br>geschwindigkeit | Strahlung<br>total | Strahlung<br>adaptiv | Breitengrad<br>[100000stel] | Breitengrad | Längengrad<br>[100000stel] | Längengrad  | Geschwindigkeit<br>[km/h] |
|------|----------|-----------|-------------|----------------|-----------------|-------------|-------------|-----------|---------------------------|--------------------|----------------------|-----------------------------|-------------|----------------------------|-------------|---------------------------|
| 1    | 00:00:00 | 3271      | 1015,6      | 2628           | 16,6            | 1517        | 68,6        | 36        | 0                         | 3610               | 0                    | 316441                      | 52 44.41000 | 74295                      | 12 22.95000 | 0                         |
| 2    | 00:00:20 | 3269      | 1015        | 2638           | 17,3            | 1516        | 68,5        | 55        | 3,4                       | 3610               | 0                    | 316441                      | 52 44.39444 | 74295                      | 12 23.04333 | 19,5                      |
| 3    | 00:00:40 | 3247      | 1008,9      | 2638           | 17,3            | 1514        | 68,5        | 119       | 11,5                      | 3610               | 0                    | 316441                      | 52 44.38778 | 74295                      | 12 23.07500 | 6,8                       |
| 4    | 00:01:00 | 3224      | 1002,5      | 2642           | 17,6            | 1514        | 68,5        | 178       | 10,6                      | 3510               | 0                    | 316437                      | 52 44.37000 | 74314                      | 12 23.14000 | 14,4                      |
| 5    | 00:01:20 | 3209      | 998,3       | 2641           | 17,5            | 1514        | 68,5        | 217       | 7                         | 3510               | 0                    | 316437                      | 52 44.35777 | 74314                      | 12 23.18832 | 10,6                      |
| 6    | 00:01:40 | 3189      | 992,8       | 2635           | 17,1            | 1514        | 68,5        | 274       | 10,3                      | 3510               | 0                    | 316437                      | 52 44.33444 | 74314                      | 12 23.26999 | 18,2                      |
| 7    | 00:02:00 | 3167      | 986,7       | 2633           | 16,9            | 1514        | 68,5        | 326       | 9,4                       | 3510               | 0                    | 316437                      | 52 44.30000 | 74314                      | 12 23.38500 | 25,9                      |
| 8    | 00:02:20 | 3147      | 981,1       | 2633           | 16,9            | 1513        | 68,4        | 376       | 9                         | 3510               | 0                    | 316437                      | 52 44.28777 | 74314                      | 12 23.46777 | 17,2                      |
| 9    | 00:02:40 | 3128      | 975,8       | 2632           | 16,9            | 1513        | 68,4        | 430       | 9,7                       | 3510               | 0                    | 316437                      | 52 44.26444 | 74314                      | 12 23.54944 | 18,2                      |
| 10   | 00:03:00 | 3109      | 970,6       | 2629           | 16,6            | 1513        | 68,4        | 479       | 8,8                       | 3511               | 1                    | 316423                      | 52 44.23000 | 74363                      | 12 23.63000 | 19,9                      |
| 11   | 00:03:20 | 3090      | 965,3       | 2627           | 16,5            | 1513        | 68,4        | 528       | 8,8                       | 3511               | 1                    | 316423                      | 52 44.20110 | 74363                      | 12 23.71110 | 19                        |
| 12   | 00:03:40 | 3071      | 960         | 2622           | 16,1            | 1513        | 68,4        | 581       | 9,5                       | 3511               | 1                    | 316423                      | 52 44.16111 | 74363                      | 12 23.79111 | 21                        |
| 13   | 00:04:00 | 3052      | 954,7       | 2617           | 15,7            | 1513        | 68,4        | 624       | 7,7                       | 3511               | 1                    | 316423                      | 52 44.11000 | 74363                      | 12 23.87000 | 23,3                      |
| 14   | 00:04:20 | 3035      | 950         | 2613           | 15,4            | 1514        | 68,5        | 675       | 9,2                       | 3511               | 1                    | 316423                      | 52 44.07111 | 74363                      | 12 23.94111 | 19,4                      |
| 15   | 00:04:40 | 3015      | 944,4       | 2609           | 15,1            | 1512        | 68,4        | 730       | 9,9                       | 3511               | 1                    | 316423                      | 52 44.03111 | 74363                      | 12 24.02111 | 21                        |
| 16   | 00:05:00 | 2994      | 938,6       | 2607           | 15              | 1510        | 68,4        | 789       | 10,6                      | 4113               | 602                  | 316399                      | 52 43.99000 | 74411                      | 12 24.11000 | 22,6                      |
| 17   | 00:05:20 | 2971      | 932,2       | 2606           | 14,9            | 1510        | 68,4        | 856       | 12,1                      | 4113               | 602                  | 316399                      | 52 43.94944 | 74411                      | 12 24.19444 | 21,8                      |
| 18   | 00:05:40 | 2947      | 925,6       | 2604           | 14,8            | 1510        | 68,4        | 923       | 12,1                      | 4113               | 602                  | 316399                      | 52 43.90777 | 74411                      | 12 24.28777 | 23,4                      |
| 19   | 00:06:00 | 2923      | 918,9       | 2602           | 14,6            | 1509        | 68,3        | 994       | 12,8                      | 4113               | 602                  | 316399                      | 52 43.86500 | 74411                      | 12 24.39000 | 25,1                      |
| 20   | 00:06:20 | 2898      | 911,9       | 2597           | 14,3            | 1509        | 68,3        | 1062      | 12,2                      | 4113               | 602                  | 316399                      | 52 43.82666 | 74411                      | 12 24.48444 | 23                        |
| 21   | 00:06:40 | 2874      | 905,3       | 2592           | 13,9            | 1510        | 68,4        | 1125      | 11,3                      | 4113               | 602                  | 316399                      | 52 43.78500 | 74411                      | 12 24.57778 | 23,4                      |
| 22   | 00:07:00 | 2852      | 899,2       | 2589           | 13,7            | 1509        | 68,3        | 1188      | 11,3                      | 4614               | 154                  | 316374                      | 52 43.74000 | 74467                      | 12 24.67000 | 23,9                      |
| 23   | 00:07:20 | 2830      | 893         | 2585           | 13,4            | 1510        | 68,4        | 1248      | 10,8                      | 4614               | 154                  | 316374                      | 52 43.69666 | 74467                      | 12 24.76277 | 23,7                      |
| 24   | 00:07:40 | 2810      | 887,5       | 2582           | 13,1            | 1509        | 68,3        | 1308      | 10,8                      | 4614               | 154                  | 316374                      | 52 43.64999 | 74467                      | 12 24.85444 | 24,2                      |
| 25   | 00:08:00 | 2789      | 881,6       | 2577           | 12,8            | 1509        | 68,3        | 1369      | 11                        | 4614               | 154                  | 316374                      | 52 43.60000 | 74467                      | 12 24.94500 | 24,8                      |
| 26   | 00:08:20 | 2767      | 875,5       | 2572           | 12,4            | 1509        | 68,3        | 1432      | 11,3                      | 4614               | 154                  | 316374                      | 52 43.55555 | 74467                      | 12 25.04777 | 25,5                      |
| 27   | 00:08:40 | 2744      | 869,1       | 2566           | 11,9            | 1510        | 68,4        | 1499      | 12,1                      | 4614               | 154                  | 316374                      | 52 43.50888 | 74467                      | 12 25.13944 | 24,2                      |
| 28   | 00:09:00 | 2720      | 862,4       | 2559           | 11,4            | 1509        | 68,3        | 1568      | 12,4                      | 4514               | 77                   | 316346                      | 52 43.46000 | 74522                      | 12 25.22000 | 23                        |
| 29   | 00:09:20 | 2697      | 856         | 2554           | 11              | 1510        | 68,4        | 1639      | 12,8                      | 4514               | 77                   | 316346                      | 52 43.41222 | 74522                      | 12 25.30610 | 23,6                      |
| 30   | 00:09:40 | 2674      | 849,6       | 2548           | 10,6            | 1510        | 68,4        | 1707      | 12,2                      | 4514               | 77                   | 316346                      | 52 43.36222 | 74522                      | 12 25.38111 | 22,5                      |
| 31   | 00:10:00 | 2650      | 842,9       | 2546           | 10,4            | 1509        | 68,3        | 1776      | 12,4                      | 4514               | 77                   | 316346                      | 52 43.31000 | 74522                      | 12 25.44500 | 21,7                      |
| 32   | 00:10:20 | 2627      | 836,5       | 2544           | 10,3            | 1509        | 68,3        | 1849      | 13,1                      | 4514               | 77                   | 316346                      | 52 43.27111 | 74522                      | 12 25.52778 | 21,2                      |
| 33   | 00:10:40 | 2603      | 829,8       | 2542           | 10,1            | 1510        | 68,4        | 1919      | 12,6                      | 4514               | 77                   | 316346                      | 52 43.22111 | 74522                      | 12 25.60278 | 22,5                      |
| 34   | 00:11:00 | 2580      | 823,4       | 2538           | 9,9             | 1509        | 68,3        | 1991      | 13                        | 4422               | 78                   | 316316                      | 52 43.16000 | 74567                      | 12 25.67000 | 24,5                      |
| 35   | 00:11:20 | 2557      | 817         | 2535           | 9,6             | 1509        | 68,3        | 2058      | 12,1                      | 4422               | 78                   | 316316                      | 52 43.10444 | 74567                      | 12 25.74111 | 23,5                      |
| 36   | 00:11:40 | 2533      | 810,3       | 2531           | 9,3             | 1509        | 68,3        | 2127      | 12,4                      | 4422               | 78                   | 316316                      | 52 43.03777 | 74567                      | 12 25.80444 | 25,7                      |
| 37   | 00:12:00 | 2510      | 803,9       | 2527           | 9               | 1508        | 68,3        | 2200      | 13,1                      | 4422               | 78                   | 316316                      | 52 42.96000 | 74567                      | 12 25.86000 | 28,3                      |
| 38   | 00:12:20 | 2488      | 797,8       | 2523           | 8,7             | 1507        | 68,3        | 2271      | 12,8                      | 4422               | 78                   | 316316                      | 52 42.88444 | 74567                      | 12 25.89000 | 25,9                      |
| 39   | 00:12:40 | 2466      | 791,6       | 2516           | 8,2             | 1506        | 68,2        | 2341      | 12,6                      | 4422               | 78                   | 316316                      | 52 42.81778 | 74567                      | 12 25.95333 | 25,7                      |
| 40   | 00:13:00 | 2445      | 785,8       | 2513           | 8               | 1506        | 68,2        | 2409      | 12,2                      | 4431               | 9                    | 316276                      | 52 42.76000 | 74605                      | 12 26.05000 | 27,4                      |
| 41   | 00:13:20 | 2423      | 779,7       | 2512           | 7,9             | 1506        | 68,2        | 2481      | 13                        | 4431               | 9                    | 316276                      | 52 42.69777 | 74605                      | 12 26.12999 | 26,3                      |
| 42   | 00:13:40 | 2401      | 773,5       | 2510           | 7,8             | 1505        | 68,2        | 2554      | 13,1                      | 4431               | 9                    | 316276                      | 52 42.64444 | 74605                      | 12 26.24332 | 29                        |
| 43   | 00:14:00 | 2379      | 767,4       | 2508           | 7,6             | 1505        | 68,2        | 2622      | 12,2                      | 4431               | 9                    | 316276                      | 52 42.60000 | 74605                      | 12 26.39000 | 33,2                      |
| 44   | 00:14:20 | 2359      | 761,8       | 2505           | 7,4             | 1504        | 68,2        | 2689      | 12,1                      | 4431               | 9                    | 316276                      | 52 42.56888 | 74605                      | 12 26.47000 | 19,2                      |
| 45   | 00:14:40 | 2339      | 756,3       | 2503           | 7,3             | 1503        | 68,2        | 2753      | 11,5                      | 4431               | 9                    | 316276                      | 52 42.51555 | 74605                      | 12 26.58333 | 29                        |
| 46   | 00:15:00 | 2319      | 750,7       | 2498           | 6,9             | 1503        | 68,2        | 2821      | 12,2                      | 4541               | 110                  | 316244                      | 52 42.44000 | 74673                      | 12 26.73000 | 38,9                      |

| Satz | Zeit     | Druck A/D | Druck [hPa] | Temperatur A/D | Temperatur [C°] | Feuchte A/D | Feuchte [%] | Hoehe [m] | Steig-<br>geschwindigkeit | Strahlung<br>total | Strahlung<br>adaptiv | Breitengrad<br>[100000stel] | Breitengrad | Längengrad<br>[100000stel] | Längengrad  | Geschwindigkeit<br>[km/h] |
|------|----------|-----------|-------------|----------------|-----------------|-------------|-------------|-----------|---------------------------|--------------------|----------------------|-----------------------------|-------------|----------------------------|-------------|---------------------------|
| 47   | 00:15:20 | 2301      | 745,7       | 2497           | 6,8             | 1502        | 68,1        | 2887      | 11,9                      | 4541               | 110                  | 316244                      | 52 42.37555 | 74673                      | 12 26.85999 | 34                        |
| 48   | 00:15:40 | 2282      | 740,4       | 2500           | 7               | 1502        | 68,1        | 2952      | 11,7                      | 4541               | 110                  | 316244                      | 52 42.28888 | 74673                      | 12 27.02332 | 43,9                      |
| 49   | 00:16:00 | 2262      | 734,8       | 2498           | 6,9             | 1502        | 68,1        | 3021      | 12,4                      | 4541               | 110                  | 316244                      | 52 42.18000 | 74673                      | 12 27.22000 | 53,9                      |
| 50   | 00:16:20 | 2242      | 729,2       | 2498           | 6,9             | 1502        | 68,1        | 3089      | 12,2                      | 4541               | 110                  | 316244                      | 52 42.11000 | 74673                      | 12 27.36333 | 37,2                      |
| 51   | 00:16:40 | 2223      | 724         | 2500           | 7               | 1502        | 68,1        | 3159      | 12,6                      | 4541               | 110                  | 316244                      | 52 42.02333 | 74673                      | 12 27.52666 | 43,9                      |
| 52   | 00:17:00 | 2204      | 718,7       | 2502           | 7,2             | 1503        | 68,2        | 3229      | 12,6                      | 4752               | 211                  | 316192                      | 52 41.92000 | 74771                      | 12 27.71000 | 50,6                      |
| 53   | 00:17:20 | 2184      | 713,1       | 2502           | 7,2             | 1503        | 68,2        | 3303      | 13,3                      | 4752               | 211                  | 316192                      | 52 41.82499 | 74771                      | 12 27.88333 | 47,3                      |
| 54   | 00:17:40 | 2163      | 707,2       | 2501           | 7,1             | 1504        | 68,2        | 3378      | 13,5                      | 4752               | 211                  | 316192                      | 52 41.71332 | 74771                      | 12 28.07666 | 54                        |
| 55   | 00:18:00 | 2142      | 701,4       | 2499           | 7               | 1504        | 68,2        | 3452      | 13,3                      | 4752               | 211                  | 316192                      | 52 41.58500 | 74771                      | 12 28.29000 | 60,8                      |
| 56   | 00:18:20 | 2120      | 695,3       | 2494           | 6,6             | 1506        | 68,2        | 3530      | 14                        | 4752               | 211                  | 316192                      | 52 41.48111 | 74771                      | 12 28.45000 | 47,4                      |
| 57   | 00:18:40 | 2099      | 689,4       | 2490           | 6,3             | 1507        | 68,3        | 3609      | 14,2                      | 4752               | 211                  | 316192                      | 52 41.36944 | 74771                      | 12 28.64333 | 54                        |
| 58   | 00:19:00 | 2078      | 683,6       | 2490           | 6,3             | 1506        | 68,2        | 3690      | 14,6                      | 4862               | 110                  | 316125                      | 52 41.25000 | 74887                      | 12 28.87000 | 60,8                      |
| 59   | 00:19:20 | 2058      | 678         | 2487           | 6,1             | 1506        | 68,2        | 3766      | 13,7                      | 4862               | 110                  | 316125                      | 52 41.13444 | 74887                      | 12 29.07999 | 57,4                      |
| 60   | 00:19:40 | 2036      | 671,9       | 2482           | 5,7             | 1506        | 68,2        | 3843      | 13,9                      | 4862               | 110                  | 316125                      | 52 41.01110 | 74887                      | 12 29.32332 | 64,2                      |
| 61   | 00:20:00 | 2015      | 666,1       | 2481           | 5,6             | 1506        | 68,2        | 3924      | 14,6                      | 4862               | 110                  | 316125                      | 52 40.88000 | 74887                      | 12 29.60000 | 71                        |
| 62   | 00:20:20 | 1995      | 660,5       | 2478           | 5,4             | 1506        | 68,2        | 4002      | 14                        | 4862               | 110                  | 316125                      | 52 40.75110 | 74887                      | 12 29.83000 | 63,4                      |
| 63   | 00:20:40 | 1974      | 654,7       | 2473           | 5               | 1506        | 68,2        | 4084      | 14,8                      | 4862               | 110                  | 316125                      | 52 40.62777 | 74887                      | 12 30.07333 | 64,2                      |
| 64   | 00:21:00 | 1953      | 648,8       | 2468           | 4,7             | 1506        | 68,2        | 4163      | 14,2                      | 4871               | 9                    | 316051                      | 52 40.51000 | 75033                      | 12 30.33000 | 65,1                      |
| 65   | 00:21:20 | 1932      | 643         | 2462           | 4,2             | 1506        | 68,2        | 4246      | 14,9                      | 4871               | 9                    | 316051                      | 52 40.38944 | 75033                      | 12 30.57999 | 64,6                      |
| 66   | 00:21:40 | 1912      | 637,4       | 2457           | 3,9             | 1505        | 68,2        | 4324      | 14                        | 4871               | 9                    | 316051                      | 52 40.27444 | 75033                      | 12 30.84332 | 65,7                      |
| 67   | 00:22:00 | 1892      | 631,8       | 2454           | 3,6             | 1505        | 68,2        | 4400      | 13,7                      | 4871               | 9                    | 316051                      | 52 40.16500 | 75033                      | 12 31.12000 | 66,9                      |
| 68   | 00:22:20 | 1873      | 626,6       | 2448           | 3,2             | 1505        | 68,2        | 4474      | 13,3                      | 4871               | 9                    | 316051                      | 52 40.05555 | 75033                      | 12 31.36333 | 61,3                      |
| 69   | 00:22:40 | 1855      | 621,6       | 2442           | 2,7             | 1504        | 68,2        | 4543      | 12,4                      | 4871               | 9                    | 316051                      | 52 39.94056 | 75033                      | 12 31.62666 | 65,7                      |
| 70   | 00:23:00 | 1836      | 616,3       | 2435           | 2,2             | 1504        | 68,2        | 4630      | 15,7                      | 4898               | 27                   | 315982                      | 52 39.82000 | 75191                      | 12 31.91000 | 70,1                      |
| 71   | 00:23:20 | 1815      | 610,4       | 2423           | 1,3             | 1504        | 68,2        | 4712      | 14,8                      | 4898               | 27                   | 315982                      | 52 39.70222 | 75191                      | 12 32.18333 | 67,9                      |
| 72   | 00:23:40 | 1795      | 604,9       | 2410           | 0,4             | 1504        | 68,2        | 4792      | 14,4                      | 4898               | 27                   | 315982                      | 52 39.57888 | 75191                      | 12 32.47666 | 72,3                      |
| 73   | 00:24:00 | 1776      | 599,6       | 2401           | -0,3            | 1503        | 68,2        | 4869      | 13,9                      | 4898               | 27                   | 315982                      | 52 39.45000 | 75191                      | 12 32.79000 | 76,7                      |
| 74   | 00:24:20 | 1756      | 594         | 2396           | -0,7            | 1503        | 68,2        | 4945      | 13,7                      | 4898               | 27                   | 315982                      | 52 39.34333 | 75191                      | 12 33.08444 | 69,4                      |
| 75   | 00:24:40 | 1737      | 588,7       | 2388           | -1,2            | 1503        | 68,2        | 5029      | 15,1                      | 4898               | 27                   | 315982                      | 52 39.22000 | 75191                      | 12 33.37778 | 72,3                      |
| 76   | 00:25:00 | 1717      | 583,2       | 2378           | -2              | 1503        | 68,2        | 5108      | 14,2                      | 5026               | 128                  | 315908                      | 52 39.08000 | 75367                      | 12 33.67000 | 75,4                      |
| 77   | 00:25:20 | 1701      | 578,7       | 2369           | -2,6            | 1504        | 68,2        | 5182      | 13,3                      | 5026               | 128                  | 315908                      | 52 38.94832 | 75367                      | 12 33.96277 | 73,8                      |
| 78   | 00:25:40 | 1682      | 573,4       | 2368           | -2,7            | 1503        | 68,2        | 5264      | 14,8                      | 5026               | 128                  | 315908                      | 52 38.79999 | 75367                      | 12 34.25444 | 77,1                      |
| 79   | 00:26:00 | 1665      | 568,7       | 2368           | -2,7            | 1503        | 68,2        | 5336      | 13                        | 5026               | 128                  | 315908                      | 52 38.63500 | 75367                      | 12 34.54500 | 80,6                      |
| 80   | 00:26:20 | 1649      | 564,3       | 2369           | -2,6            | 1502        | 68,1        | 5416      | 14,4                      | 5026               | 128                  | 315908                      | 52 38.48110 | 75367                      | 12 34.82333 | 76,3                      |
| 81   | 00:26:40 | 1630      | 559         | 2368           | -2,7            | 1501        | 68,1        | 5500      | 15,1                      | 5026               | 128                  | 315908                      | 52 38.33277 | 75367                      | 12 35.11500 | 77,1                      |
| 82   | 00:27:00 | 1610      | 553,4       | 2362           | -3,2            | 1501        | 68,1        | 5588      | 15,8                      | 5054               | 28                   | 315819                      | 52 38.19000 | 75542                      | 12 35.42000 | 78                        |
| 83   | 00:27:20 | 1592      | 548,4       | 2358           | -3,5            | 1501        | 68,1        | 5666      | 14                        | 5054               | 28                   | 315819                      | 52 38.04444 | 75542                      | 12 35.71832 | 77,6                      |
| 84   | 00:27:40 | 1576      | 543,9       | 2356           | -3,6            | 1501        | 68,1        | 5739      | 13,1                      | 5054               | 28                   | 315819                      | 52 37.90444 | 75542                      | 12 36.02999 | 78,6                      |
| 85   | 00:28:00 | 1560      | 539,5       | 2352           | -3,9            | 1500        | 68,1        | 5816      | 13,9                      | 5054               | 28                   | 315819                      | 52 37.77000 | 75542                      | 12 36.35500 | 79,7                      |
| 86   | 00:28:20 | 1544      | 535         | 2352           | -3,9            | 1500        | 68,1        | 5890      | 13,3                      | 5054               | 28                   | 315819                      | 52 37.64666 | 75542                      | 12 36.64666 | 72                        |
| 87   | 00:28:40 | 1530      | 531,2       | 2347           | -4,3            | 1500        | 68,1        | 5954      | 11,5                      | 5054               | 28                   | 315819                      | 52 37.50666 | 75542                      | 12 36.95833 | 78,6                      |
| 88   | 00:29:00 | 1514      | 526,7       | 2332           | -5,4            | 1500        | 68,1        | 6016      | 11,2                      | 5183               | 129                  | 315735                      | 52 37.35000 | 75729                      | 12 37.29000 | 85,2                      |
| 89   | 00:29:20 | 1498      | 522,3       | 2316           | -6,5            | 1500        | 68,1        | 6096      | 14,4                      | 5183               | 129                  | 315735                      | 52 37.20166 | 75729                      | 12 37.61166 | 81,9                      |
| 90   | 00:29:40 | 1484      | 518,4       | 2308           | -7,1            | 1499        | 68          | 6166      | 12,6                      | 5183               | 129                  | 315735                      | 52 37.03666 | 75729                      | 12 37.95333 | 88,5                      |
| 91   | 00:30:00 | 1469      | 514,2       | 2301           | -7,6            | 1500        | 68,1        | 6238      | 13                        | 5183               | 129                  | 315735                      | 52 36.85500 | 75729                      | 12 38.31500 | 95,1                      |
| 92   | 00:30:20 | 1452      | 509,5       | 2291           | -8,4            | 1499        | 68          | 6318      | 14,4                      | 5183               | 129                  | 315735                      | 52 36.70111 | 75729                      | 12 38.64777 | 84,8                      |

| Satz | Zeit     | Druck A/D | Druck [hPa] | Temperatur A/D | Temperatur [C°] | Feuchte A/D | Feuchte [%] | Hoehe [m] | Steig-<br>geschwindigkeit | Strahlung<br>total | Strahlung<br>adaptiv | Breitengrad<br>[100000stel] | Breitengrad | Längengrad<br>[100000stel] | Längengrad  | Geschwindigkeit<br>[km/h] |
|------|----------|-----------|-------------|----------------|-----------------|-------------|-------------|-----------|---------------------------|--------------------|----------------------|-----------------------------|-------------|----------------------------|-------------|---------------------------|
| 93   | 00:30:40 | 1437      | 505,3       | 2289           | -8,5            | 1498        | 68          | 6388      | 12,6                      | 5183               | 129                  | 315735                      | 52 36.53611 | 75729                      | 12 38.98944 | 88,5                      |
| 94   | 00:31:00 | 1424      | 501,7       | 2285           | -8,8            | 1498        | 68          | 6448      | 10,8                      | 5330               | 147                  | 315636                      | 52 36.36000 | 75934                      | 12 39.34000 | 92,2                      |
| 95   | 00:31:20 | 1411      | 498,1       | 2271           | -9,9            | 1498        | 68          | 6526      | 14                        | 5330               | 147                  | 315636                      | 52 36.18944 | 75934                      | 12 39.68610 | 90,4                      |
| 96   | 00:31:40 | 1396      | 493,9       | 2259           | -10,7           | 1498        | 68          | 6594      | 12,2                      | 5330               | 147                  | 315636                      | 52 36.00777 | 75934                      | 12 40.04111 | 94,1                      |
| 97   | 00:32:00 | 1383      | 490,3       | 2251           | -11,3           | 1498        | 68          | 6659      | 11,7                      | 5330               | 147                  | 315636                      | 52 35.81500 | 75934                      | 12 40.40500 | 97,9                      |
| 98   | 00:32:20 | 1369      | 486,4       | 2238           | -12,3           | 1498        | 68          | 6732      | 13,1                      | 5330               | 147                  | 315636                      | 52 35.63333 | 75934                      | 12 40.75889 | 94                        |
| 99   | 00:32:40 | 1354      | 482,2       | 2229           | -12,9           | 1497        | 68          | 6802      | 12,6                      | 5330               | 147                  | 315636                      | 52 35.45166 | 75934                      | 12 41.11389 | 94,2                      |
| 100  | 00:33:00 | 1339      | 478         | 2228           | -13             | 1497        | 68          | 6880      | 14                        | 5495               | 165                  | 315527                      | 52 35.27000 | 76147                      | 12 41.47000 | 94,3                      |
| 101  | 00:33:20 | 1324      | 473,9       | 2224           | -13,3           | 1497        | 68          | 6966      | 15,5                      | 5495               | 165                  | 315527                      | 52 35.08833 | 76147                      | 12 41.82555 | 94,2                      |
| 102  | 00:33:40 | 1309      | 469,7       | 2217           | -13,8           | 1497        | 68          | 7042      | 13,7                      | 5495               | 165                  | 315527                      | 52 34.90666 | 76147                      | 12 42.18222 | 94,4                      |
| 103  | 00:34:00 | 1293      | 465,2       | 2212           | -14,2           | 1497        | 68          | 7126      | 15,1                      | 5495               | 165                  | 315527                      | 52 34.72500 | 76147                      | 12 42.54000 | 94,6                      |
| 104  | 00:34:20 | 1279      | 461,3       | 2204           | -14,8           | 1497        | 68          | 7205      | 14,2                      | 5495               | 165                  | 315527                      | 52 34.54555 | 76147                      | 12 42.87666 | 90,9                      |
| 105  | 00:34:40 | 1265      | 457,4       | 2198           | -15,2           | 1497        | 68          | 7279      | 13,3                      | 5495               | 165                  | 315527                      | 52 34.36388 | 76147                      | 12 43.23333 | 94,4                      |
| 106  | 00:35:00 | 1251      | 453,5       | 2189           | -15,9           | 1497        | 68          | 7353      | 13,3                      | 5705               | 210                  | 315418                      | 52 34.18000 | 76361                      | 12 43.61000 | 98,1                      |
| 107  | 00:35:20 | 1236      | 449,4       | 2177           | -16,8           | 1497        | 68          | 7431      | 14                        | 5705               | 210                  | 315418                      | 52 33.99722 | 76361                      | 12 43.97666 | 96,2                      |
| 108  | 00:35:40 | 1222      | 445,5       | 2183           | -16,3           | 1497        | 68          | 7509      | 14                        | 5705               | 210                  | 315418                      | 52 33.81222 | 76361                      | 12 44.36333 | 99,9                      |
| 109  | 00:36:00 | 1209      | 441,9       | 2179           | -16,6           | 1497        | 68          | 7582      | 13,1                      | 5705               | 210                  | 315418                      | 52 33.62500 | 76361                      | 12 44.77000 | 103,6                     |
| 110  | 00:36:20 | 1195      | 438         | 2165           | -17,6           | 1497        | 68          | 7659      | 13,9                      | 5705               | 210                  | 315418                      | 52 33.45666 | 76361                      | 12 45.14333 | 94,4                      |
| 111  | 00:36:40 | 1180      | 433,8       | 2152           | -18,6           | 1496        | 68          | 7740      | 14,6                      | 5705               | 210                  | 315418                      | 52 33.27166 | 76361                      | 12 45.53000 | 99,9                      |
| 112  | 00:37:00 | 1167      | 430,2       | 2147           | -19             | 1496        | 68          | 7816      | 13,7                      | 5870               | 165                  | 315307                      | 52 33.07000 | 76593                      | 12 45.93000 | 105,5                     |
| 113  | 00:37:20 | 1153      | 426,3       | 2144           | -19,2           | 1496        | 68          | 7894      | 14                        | 5870               | 165                  | 315307                      | 52 32.87666 | 76593                      | 12 46.32332 | 102,7                     |
| 114  | 00:37:40 | 1140      | 422,7       | 2138           | -19,6           | 1495        | 67,9        | 7976      | 14,8                      | 5870               | 165                  | 315307                      | 52 32.66666 | 76593                      | 12 46.72999 | 108,3                     |
| 115  | 00:38:00 | 1126      | 418,8       | 2133           | -20             | 1495        | 67,9        | 8053      | 13,9                      | 5870               | 165                  | 315307                      | 52 32.44000 | 76593                      | 12 47.15000 | 114                       |
| 116  | 00:38:20 | 1114      | 415,4       | 2136           | -19,8           | 1495        | 67,9        | 8128      | 13,5                      | 5870               | 165                  | 315307                      | 52 32.25222 | 76593                      | 12 47.54333 | 101,6                     |
| 117  | 00:38:40 | 1101      | 411,8       | 2134           | -19,9           | 1495        | 67,9        | 8201      | 13,1                      | 5870               | 165                  | 315307                      | 52 32.04222 | 76593                      | 12 47.95000 | 108,4                     |
| 118  | 00:39:00 | 1089      | 408,5       | 2132           | -20,1           | 1495        | 67,9        | 8275      | 13,3                      | 5990               | 120                  | 315181                      | 52 31.81000 | 76837                      | 12 48.37000 | 115,3                     |
| 119  | 00:39:20 | 1076      | 404,9       | 2125           | -20,6           | 1495        | 67,9        | 8353      | 14                        | 5990               | 120                  | 315181                      | 52 31.58888 | 76837                      | 12 48.78332 | 111,8                     |
| 120  | 00:39:40 | 1063      | 401,3       | 2113           | -21,5           | 1495        | 67,9        | 8429      | 13,7                      | 5990               | 120                  | 315181                      | 52 31.34555 | 76837                      | 12 49.20999 | 118,8                     |
| 121  | 00:40:00 | 1051      | 397,9       | 2099           | -22,5           | 1494        | 67,9        | 8500      | 12,8                      | 5990               | 120                  | 315181                      | 52 31.08000 | 76837                      | 12 49.65000 | 125,9                     |
| 122  | 00:40:20 | 1040      | 394,9       | 2093           | -23             | 1495        | 67,9        | 8569      | 12,4                      | 5990               | 120                  | 315181                      | 52 30.83888 | 76837                      | 12 50.05666 | 115,4                     |
| 123  | 00:40:40 | 1029      | 391,8       | 2095           | -22,8           | 1495        | 67,9        | 8635      | 11,9                      | 5990               | 120                  | 315181                      | 52 30.59555 | 76837                      | 12 50.48333 | 118,9                     |
| 124  | 00:41:00 | 1018      | 388,7       | 2094           | -22,9           | 1495        | 67,9        | 8703      | 12,2                      | 6107               | 117                  | 315035                      | 52 30.35000 | 77093                      | 12 50.93000 | 122,4                     |
| 125  | 00:41:20 | 1006      | 385,4       | 2088           | -23,3           | 1495        | 67,9        | 8779      | 13,7                      | 6107               | 117                  | 315035                      | 52 30.10555 | 77093                      | 12 51.36666 | 120,6                     |
| 126  | 00:41:40 | 995       | 382,3       | 2072           | -24,5           | 1494        | 67,9        | 8850      | 12,8                      | 6107               | 117                  | 315035                      | 52 29.85888 | 77093                      | 12 51.82333 | 124,1                     |
| 127  | 00:42:00 | 984       | 379,3       | 2064           | -25,1           | 1494        | 67,9        | 8918      | 12,2                      | 6107               | 117                  | 315035                      | 52 29.61000 | 77093                      | 12 52.30000 | 127,7                     |
| 128  | 00:42:20 | 974       | 376,5       | 2074           | -24,4           | 1494        | 67,9        | 8987      | 12,4                      | 6107               | 117                  | 315035                      | 52 29.36555 | 77093                      | 12 52.74777 | 122,3                     |
| 129  | 00:42:40 | 963       | 373,4       | 2064           | -25,1           | 1494        | 67,9        | 9064      | 13,9                      | 6107               | 117                  | 315035                      | 52 29.11888 | 77093                      | 12 53.20444 | 124,2                     |
| 130  | 00:43:00 | 952       | 370,4       | 2058           | -25,6           | 1494        | 67,9        | 9136      | 13                        | 6324               | 217                  | 314887                      | 52 28.87000 | 77367                      | 12 53.67000 | 126                       |
| 131  | 00:43:20 | 941       | 367,3       | 2056           | -25,7           | 1493        | 67,9        | 9206      | 12,6                      | 6324               | 217                  | 314887                      | 52 28.62222 | 77367                      | 12 54.13110 | 125,1                     |
| 132  | 00:43:40 | 930       | 364,3       | 2049           | -26,2           | 1493        | 67,9        | 9284      | 14                        | 6324               | 217                  | 314887                      | 52 28.37222 | 77367                      | 12 54.60111 | 127                       |
| 133  | 00:44:00 | 919       | 361,2       | 2040           | -26,9           | 1494        | 67,9        | 9357      | 13,1                      | 6324               | 217                  | 314887                      | 52 28.12000 | 77367                      | 12 55.08000 | 128,8                     |
| 134  | 00:44:20 | 906       | 357,6       | 2035           | -27,3           | 1493        | 67,9        | 9448      | 16,4                      | 6324               | 217                  | 314887                      | 52 27.88111 | 77367                      | 12 55.54778 | 124,2                     |
| 135  | 00:44:40 | 894       | 354,2       | 2034           | -27,3           | 1493        | 67,9        | 9538      | 16,2                      | 6324               | 217                  | 314887                      | 52 27.63111 | 77367                      | 12 56.01778 | 127                       |
| 136  | 00:45:00 | 882       | 350,9       | 2023           | -28,1           | 1493        | 67,9        | 9623      | 15,3                      | 6496               | 172                  | 314737                      | 52 27.37000 | 77649                      | 12 56.49000 | 129,8                     |
| 137  | 00:45:20 | 870       | 347,6       | 2016           | -28,7           | 1493        | 67,9        | 9703      | 14,4                      | 6496               | 172                  | 314737                      | 52 27.11444 | 77649                      | 12 56.96111 | 128,4                     |
| 138  | 00:45:40 | 859       | 344,5       | 2004           | -29,6           | 1493        | 67,9        | 9778      | 13,5                      | 6496               | 172                  | 314737                      | 52 26.84777 | 77649                      | 12 57.43444 | 131,2                     |

| Satz | Zeit     | Druck A/D | Druck [hPa] | Temperatur A/D | Temperatur [C°] | Feuchte A/D | Feuchte [%] | Hoehe [m] | Steig-<br>geschwindigkeit | Strahlung<br>total | Strahlung<br>adaptiv | Breitengrad<br>[100000stel] | Breitengrad | Längengrad<br>[100000stel] | Längengrad  | Geschwindigkeit<br>[km/h] |
|------|----------|-----------|-------------|----------------|-----------------|-------------|-------------|-----------|---------------------------|--------------------|----------------------|-----------------------------|-------------|----------------------------|-------------|---------------------------|
| 139  | 00:46:00 | 849       | 341,7       | 1994           | -30,3           | 1493        | 67,9        | 9848      | 12,6                      | 6496               | 172                  | 314737                      | 52 26.57000 | 77649                      | 12 57.91000 | 134,1                     |
| 140  | 00:46:20 | 838       | 338,7       | 1988           | -30,8           | 1492        | 67,8        | 9922      | 13,3                      | 6496               | 172                  | 314737                      | 52 26.30666 | 77649                      | 12 58.39444 | 132,2                     |
| 141  | 00:46:40 | 826       | 335,3       | 1986           | -30,9           | 1492        | 67,8        | 10004     | 14,8                      | 6496               | 172                  | 314737                      | 52 26.04000 | 77649                      | 12 58.86778 | 131,3                     |
| 142  | 00:47:00 | 816       | 332,5       | 1992           | -30,5           | 1492        | 67,8        | 10088     | 15,1                      | 6567               | 71                   | 314577                      | 52 25.77000 | 77933                      | 12 59.33000 | 130,4                     |
| 143  | 00:47:20 | 807       | 330         | 2000           | -29,9           | 1492        | 67,8        | 10167     | 14,2                      | 6567               | 71                   | 314577                      | 52 25.50166 | 77933                      | 12 59.79777 | 130,8                     |
| 144  | 00:47:40 | 796       | 327         | 1988           | -30,8           | 1491        | 67,8        | 10241     | 13,3                      | 6567               | 71                   | 314577                      | 52 25.22999 | 77933                      | 13 0.25444  | 130                       |
| 145  | 00:48:00 | 785       | 323,9       | 1966           | -32,4           | 1491        | 67,8        | 10317     | 13,7                      | 6567               | 71                   | 314577                      | 52 24.95500 | 77933                      | 13 0.70000  | 129,2                     |
| 146  | 00:48:20 | 775       | 321,1       | 1942           | -34,2           | 1491        | 67,8        | 10392     | 13,5                      | 6567               | 71                   | 314577                      | 52 24.68000 | 77933                      | 13 1.14777  | 129,5                     |
| 147  | 00:48:40 | 766       | 318,6       | 1936           | -34,7           | 1491        | 67,8        | 10468     | 13,7                      | 6567               | 71                   | 314577                      | 52 24.40833 | 77933                      | 13 1.60444  | 130                       |
| 148  | 00:49:00 | 756       | 315,9       | 1934           | -34,8           | 1492        | 67,8        | 10543     | 13,5                      | 6683               | 116                  | 314414                      | 52 24.14000 | 78207                      | 13 2.07000  | 130,5                     |
| 149  | 00:49:20 | 747       | 313,4       | 1940           | -34,4           | 1492        | 67,8        | 10617     | 13,3                      | 6683               | 116                  | 314414                      | 52 23.86999 | 78207                      | 13 2.53110  | 130,3                     |
| 150  | 00:49:40 | 738       | 310,8       | 1941           | -34,3           | 1492        | 67,8        | 10688     | 12,8                      | 6683               | 116                  | 314414                      | 52 23.60332 | 78207                      | 13 3.00111  | 130,8                     |
| 151  | 00:50:00 | 729       | 308,3       | 1932           | -35             | 1491        | 67,8        | 10761     | 13,1                      | 6683               | 116                  | 314414                      | 52 23.34000 | 78207                      | 13 3.48000  | 131,4                     |
| 152  | 00:50:20 | 720       | 305,8       | 1927           | -35,4           | 1491        | 67,8        | 10842     | 14,6                      | 6683               | 116                  | 314414                      | 52 23.06444 | 78207                      | 13 3.96666  | 135,4                     |
| 153  | 00:50:40 | 710       | 303,1       | 1919           | -36             | 1492        | 67,8        | 10918     | 13,7                      | 6683               | 116                  | 314414                      | 52 22.79778 | 78207                      | 13 4.43666  | 130,9                     |
| 154  | 00:51:00 | 701       | 300,6       | 1908           | -36,8           | 1491        | 67,8        | 10991     | 13,1                      | 6844               | 161                  | 314254                      | 52 22.54000 | 78489                      | 13 4.89000  | 126,4                     |
| 155  | 00:51:20 | 692       | 298,1       | 1897           | -37,7           | 1491        | 67,8        | 11066     | 13,5                      | 6844               | 161                  | 314254                      | 52 22.27777 | 78489                      | 13 5.35166  | 128,6                     |
| 156  | 00:51:40 | 683       | 295,5       | 1894           | -37,9           | 1490        | 67,8        | 11140     | 13,3                      | 6844               | 161                  | 314254                      | 52 22.02444 | 78489                      | 13 5.79666  | 124,1                     |
| 157  | 00:52:00 | 675       | 293,3       | 1899           | -37,5           | 1490        | 67,8        | 11222     | 14,8                      | 6844               | 161                  | 314254                      | 52 21.78000 | 78489                      | 13 6.22500  | 119,6                     |
| 158  | 00:52:20 | 666       | 290,8       | 1901           | -37,3           | 1490        | 67,8        | 11299     | 13,9                      | 6844               | 161                  | 314254                      | 52 21.53444 | 78489                      | 13 6.68111  | 124,1                     |
| 159  | 00:52:40 | 657       | 288,3       | 1903           | -37,2           | 1490        | 67,8        | 11378     | 14,2                      | 6844               | 161                  | 314254                      | 52 21.28111 | 78489                      | 13 7.12611  | 124,1                     |
| 160  | 00:53:00 | 649       | 286,1       | 1907           | -36,9           | 1490        | 67,8        | 11457     | 14,2                      | 7013               | 169                  | 314102                      | 52 21.02000 | 78756                      | 13 7.56000  | 124,3                     |
| 161  | 00:53:20 | 640       | 283,6       | 1910           | -36,7           | 1490        | 67,8        | 11538     | 14,6                      | 7013               | 169                  | 314102                      | 52 20.76277 | 78756                      | 13 7.99944  | 124,2                     |
| 162  | 00:53:40 | 632       | 281,4       | 1921           | -35,8           | 1491        | 67,8        | 11623     | 15,3                      | 7013               | 169                  | 314102                      | 52 20.49777 | 78756                      | 13 8.42777  | 124,4                     |
| 163  | 00:54:00 | 624       | 279,1       | 1922           | -35,8           | 1491        | 67,8        | 11703     | 14,4                      | 7013               | 169                  | 314102                      | 52 20.22500 | 78756                      | 13 8.84500  | 124,8                     |
| 164  | 00:54:20 | 616       | 276,9       | 1924           | -35,6           | 1491        | 67,8        | 11783     | 14,4                      | 7013               | 169                  | 314102                      | 52 19.94000 | 78756                      | 13 9.27888  | 130,1                     |
| 165  | 00:54:40 | 608       | 274,7       | 1930           | -35,2           | 1491        | 67,8        | 11863     | 14,4                      | 7013               | 169                  | 314102                      | 52 19.67500 | 78756                      | 13 9.70722  | 124,5                     |
| 166  | 00:55:00 | 600       | 272,4       | 1933           | -34,9           | 1491        | 67,8        | 11951     | 15,8                      | 7082               | 69                   | 313943                      | 52 19.43000 | 79013                      | 13 10.13000 | 119                       |
| 167  | 00:55:20 | 591       | 269,9       | 1934           | -34,8           | 1491        | 67,8        | 12057     | 19,1                      | 7082               | 69                   | 313943                      | 52 19.17500 | 79013                      | 13 10.55555 | 121,7                     |
| 168  | 00:55:40 | 581       | 267,2       | 1936           | -34,7           | 1491        | 67,8        | 12143     | 15,5                      | 7082               | 69                   | 313943                      | 52 18.94000 | 79013                      | 13 10.97555 | 116,3                     |
| 169  | 00:56:00 | 573       | 264,9       | 1935           | -34,8           | 1491        | 67,8        | 12209     | 11,9                      | 7082               | 69                   | 313943                      | 52 18.72500 | 79013                      | 13 11.39000 | 111                       |
| 170  | 00:56:20 | 567       | 263,3       | 1936           | -34,7           | 1491        | 67,8        | 12293     | 15,1                      | 7082               | 69                   | 313943                      | 52 18.48111 | 79013                      | 13 11.84333 | 123,4                     |
| 171  | 00:56:40 | 559       | 261         | 1938           | -34,5           | 1491        | 67,8        | 12372     | 14,2                      | 7082               | 69                   | 313943                      | 52 18.24611 | 79013                      | 13 12.26333 | 116,3                     |
| 172  | 00:57:00 | 552       | 259,1       | 1935           | -34,8           | 1491        | 67,8        | 12455     | 14,9                      | 7196               | 114                  | 313802                      | 52 18.02000 | 79265                      | 13 12.65000 | 109,3                     |
| 173  | 00:57:20 | 544       | 256,9       | 1934           | -34,8           | 1491        | 67,8        | 12539     | 15,1                      | 7196               | 114                  | 313802                      | 52 17.78944 | 79265                      | 13 13.05333 | 112,8                     |
| 174  | 00:57:40 | 536       | 254,6       | 1937           | -34,6           | 1491        | 67,8        | 12624     | 15,3                      | 7196               | 114                  | 313802                      | 52 17.56777 | 79265                      | 13 13.42333 | 105,9                     |
| 175  | 00:58:00 | 529       | 252,7       | 1944           | -34,1           | 1491        | 67,8        | 12710     | 15,5                      | 7196               | 114                  | 313802                      | 52 17.35500 | 79265                      | 13 13.76000 | 99                        |
| 176  | 00:58:20 | 523       | 251         | 1955           | -33,3           | 1492        | 67,8        | 12797     | 15,7                      | 7196               | 114                  | 313802                      | 52 17.12000 | 79265                      | 13 14.15222 | 112,2                     |
| 177  | 00:58:40 | 516       | 249,1       | 1970           | -32,1           | 1493        | 67,9        | 12884     | 15,7                      | 7196               | 114                  | 313802                      | 52 16.89833 | 79265                      | 13 14.52222 | 105,9                     |
| 178  | 00:59:00 | 509       | 247,1       | 1980           | -31,4           | 1492        | 67,8        | 12966     | 14,8                      | 7355               | 159                  | 313669                      | 52 16.69000 | 79487                      | 13 14.87000 | 99,5                      |
| 179  | 00:59:20 | 501       | 244,9       | 1970           | -32,1           | 1491        | 67,8        | 13047     | 14,6                      | 7355               | 159                  | 313669                      | 52 16.47499 | 79487                      | 13 15.22888 | 102,7                     |
| 180  | 00:59:40 | 494       | 242,9       | 1950           | -33,6           | 1492        | 67,8        | 13136     | 16                        | 7355               | 159                  | 313669                      | 52 16.27332 | 79487                      | 13 15.56555 | 96,4                      |
| 181  | 01:00:00 | 487       | 241         | 1948           | -33,8           | 1492        | 67,8        | 13220     | 15,1                      | 7355               | 159                  | 313669                      | 52 16.08500 | 79487                      | 13 15.88000 | 90                        |
| 182  | 01:00:20 | 480       | 239,1       | 1954           | -33,3           | 1493        | 67,9        | 13299     | 14,2                      | 7355               | 159                  | 313669                      | 52 15.88333 | 79487                      | 13 16.23888 | 99,7                      |
| 183  | 01:00:40 | 474       | 237,4       | 1955           | -33,3           | 1493        | 67,9        | 13368     | 12,4                      | 7355               | 159                  | 313669                      | 52 15.68166 | 79487                      | 13 16.57555 | 96,4                      |
| 184  | 01:01:00 | 468       | 235,7       | 1953           | -33,4           | 1493        | 67,9        | 13455     | 15,7                      | 7494               | 139                  | 313548                      | 52 15.48000 | 79689                      | 13 16.89000 | 93,2                      |

| Satz | Zeit     | Druck A/D | Druck [hPa] | Temperatur A/D | Temperatur [C°] | Feuchte A/D | Feuchte [%] | Hoehe [m] | Steig-<br>geschwindigkeit | Strahlung<br>total | Strahlung<br>adaptiv | Breitengrad<br>[100000stel] | Breitengrad | Längengrad<br>[100000stel] | Längengrad  | Geschwindigkeit<br>[km/h] |
|------|----------|-----------|-------------|----------------|-----------------|-------------|-------------|-----------|---------------------------|--------------------|----------------------|-----------------------------|-------------|----------------------------|-------------|---------------------------|
| 185  | 01:01:20 | 462       | 234         | 1953           | -33,4           | 1493        | 67,9        | 13537     | 14,8                      | 7494               | 139                  | 313548                      | 52 15.27833 | 79689                      | 13 17.21555 | 94,8                      |
| 186  | 01:01:40 | 456       | 232,4       | 1951           | -33,6           | 1493        | 67,9        | 13616     | 14,2                      | 7494               | 139                  | 313548                      | 52 15.07666 | 79689                      | 13 17.51888 | 91,6                      |
| 187  | 01:02:00 | 449       | 230,4       | 1947           | -33,9           | 1493        | 67,9        | 13695     | 14,2                      | 7494               | 139                  | 313548                      | 52 14.87500 | 79689                      | 13 17.80000 | 88,6                      |
| 188  | 01:02:20 | 444       | 229         | 1951           | -33,6           | 1493        | 67,9        | 13778     | 14,9                      | 7494               | 139                  | 313548                      | 52 14.67000 | 79689                      | 13 18.12555 | 95,6                      |
| 189  | 01:02:40 | 438       | 227,4       | 1954           | -33,3           | 1492        | 67,8        | 13859     | 14,6                      | 7494               | 139                  | 313548                      | 52 14.46833 | 79689                      | 13 18.42888 | 91,6                      |
| 190  | 01:03:00 | 433       | 226         | 1957           | -33,1           | 1493        | 67,9        | 13937     | 14                        | 7588               | 94                   | 313427                      | 52 14.27000 | 79871                      | 13 18.71000 | 87,8                      |
| 191  | 01:03:20 | 426       | 224         | 1955           | -33,3           | 1492        | 67,8        | 14023     | 15,5                      | 7588               | 94                   | 313427                      | 52 14.06999 | 79871                      | 13 19.00222 | 89,7                      |
| 192  | 01:03:40 | 419       | 222,1       | 1953           | -33,4           | 1492        | 67,8        | 14154     | 23,6                      | 7588               | 94                   | 313427                      | 52 13.87332 | 79871                      | 13 19.27222 | 85,9                      |
| 193  | 01:04:00 | 414       | 220,7       | 1959           | -33             | 1491        | 67,8        | 14240     | 15,5                      | 7588               | 94                   | 313427                      | 52 13.68000 | 79871                      | 13 19.52000 | 82,2                      |
| 194  | 01:04:20 | 409       | 219,3       | 1965           | -32,5           | 1491        | 67,8        | 14326     | 15,5                      | 7588               | 94                   | 313427                      | 52 13.45000 | 79871                      | 13 19.78889 | 94,6                      |
| 195  | 01:04:40 | 404       | 217,9       | 1972           | -32             | 1491        | 67,8        | 14420     | 16,9                      | 7588               | 94                   | 313427                      | 52 13.25333 | 79871                      | 13 20.05889 | 85,9                      |
| 196  | 01:05:00 | 398       | 216,2       | 1969           | -32,2           | 1493        | 67,9        | 14522     | 18,4                      | 7679               | 91                   | 313309                      | 52 13.09000 | 80033                      | 13 20.33000 | 77,9                      |
| 197  | 01:05:20 | 393       | 214,8       | 1961           | -32,8           | 1492        | 67,8        | 14614     | 16,6                      | 7679               | 91                   | 313309                      | 52 12.90999 | 80033                      | 13 20.60055 | 81,8                      |
| 198  | 01:05:40 | 389       | 213,7       | 1955           | -33,3           | 1492        | 67,8        | 14696     | 14,8                      | 7679               | 91                   | 313309                      | 52 12.76332 | 80033                      | 13 20.87222 | 74,2                      |
| 199  | 01:06:00 | 385       | 212,6       | 1953           | -33,4           | 1492        | 67,8        | 14780     | 15,1                      | 7679               | 91                   | 313309                      | 52 12.65000 | 80033                      | 13 21.14500 | 67,5                      |
| 200  | 01:06:20 | 382       | 211,8       | 1953           | -33,4           | 1492        | 67,8        | 14868     | 15,8                      | 7679               | 91                   | 313309                      | 52 12.50333 | 80033                      | 13 21.42777 | 75,9                      |
| 201  | 01:06:40 | 379       | 210,9       | 1953           | -33,4           | 1492        | 67,8        | 14960     | 16,6                      | 7679               | 91                   | 313309                      | 52 12.35666 | 80033                      | 13 21.69944 | 74,2                      |
| 202  | 01:07:00 | 377       | 210,4       | 1957           | -33,1           | 1492        | 67,8        | 15056     | 17,3                      | 7750               | 71                   | 313221                      | 52 12.21000 | 80196                      | 13 21.96000 | 72,5                      |
| 203  | 01:07:20 | 377       | 210,4       | 1963           | -32,7           | 1492        | 67,8        | 15147     | 16,4                      | 7750               | 71                   | 313221                      | 52 12.06333 | 80196                      | 13 22.22610 | 73,3                      |
| 204  | 01:07:40 | 377       | 210,4       | 1964           | -32,6           | 1492        | 67,8        | 15228     | 14,6                      | 7750               | 71                   | 313221                      | 52 11.91666 | 80196                      | 13 22.48111 | 71,7                      |
| 205  | 01:08:00 | 377       | 210,4       | 1967           | -32,3           | 1492        | 67,8        | 15311     | 14,9                      | 7750               | 71                   | 313221                      | 52 11.77000 | 80196                      | 13 22.72500 | 70                        |
| 206  | 01:08:20 | 377       | 210,4       | 1967           | -32,3           | 1492        | 67,8        | 15393     | 14,8                      | 7750               | 71                   | 313221                      | 52 11.60333 | 80196                      | 13 22.97111 | 75,2                      |
| 207  | 01:08:40 | 377       | 210,4       | 1971           | -32             | 1492        | 67,8        | 15477     | 15,1                      | 7750               | 71                   | 313221                      | 52 11.45666 | 80196                      | 13 23.22611 | 71,7                      |
| 208  | 01:09:00 | 377       | 210,4       | 1977           | -31,6           | 1492        | 67,8        | 15569     | 16,6                      | 7839               | 39                   | 313133                      | 52 11.33000 | 80349                      | 13 23.49000 | 68,7                      |
| 209  | 01:09:20 | 377       | 210,4       | 1980           | -31,4           | 1492        | 67,8        | 15665     | 17,3                      | 7839               | 39                   | 313133                      | 52 11.19333 | 80349                      | 13 23.74944 | 70,1                      |
| 210  | 01:09:40 | 377       | 210,4       | 1981           | -31,3           | 1493        | 67,9        | 15756     | 16,4                      | 7839               | 39                   | 313133                      | 52 11.07666 | 80349                      | 13 24.01777 | 67,4                      |
| 211  | 01:10:00 | 378       | 210,7       | 1990           | -30,6           | 1494        | 67,9        | 15837     | 14,6                      | 7839               | 39                   | 313133                      | 52 10.98000 | 80349                      | 13 24.29500 | 65,4                      |
| 212  | 01:10:20 | 378       | 210,7       | 1996           | -30,2           | 1494        | 67,9        | 15926     | 16                        | 7839               | 39                   | 313133                      | 52 10.85000 | 80349                      | 13 24.57111 | 71,4                      |
| 213  | 01:10:40 | 377       | 210,4       | 1982           | -31,2           | 1494        | 67,9        | 16015     | 16                        | 7839               | 39                   | 313133                      | 52 10.73333 | 80349                      | 13 24.83944 | 67,4                      |
| 214  | 01:11:00 | 377       | 210,4       | 1972           | -32             | 1494        | 67,9        | 16099     | 15,1                      | 7828               | 39                   | 313063                      | 52 10.63000 | 80510                      | 13 25.10000 | 63,6                      |
| 215  | 01:11:20 | 377       | 210,4       | 1966           | -32,4           | 1494        | 67,9        | 16178     | 14,2                      | 7828               | 39                   | 313063                      | 52 10.51999 | 80510                      | 13 25.36444 | 65,5                      |
| 216  | 01:11:40 | 377       | 210,4       | 1968           | -32,3           | 1494        | 67,9        | 16275     | 17,5                      | 7828               | 39                   | 313063                      | 52 10.42332 | 80510                      | 13 25.62110 | 61,8                      |
| 217  | 01:12:00 | 377       | 210,4       | 1972           | -32             | 1494        | 67,9        | 16367     | 16,6                      | 7828               | 39                   | 313063                      | 52 10.34000 | 80510                      | 13 25.87000 | 58,2                      |
| 218  | 01:12:20 | 376       | 210,1       | 1966           | -32,4           | 1493        | 67,9        | 16461     | 16,9                      | 7828               | 39                   | 313063                      | 52 10.24888 | 80510                      | 13 26.14888 | 64,8                      |
| 219  | 01:12:40 | 376       | 210,1       | 1964           | -32,6           | 1493        | 67,9        | 16552     | 16,4                      | 7828               | 39                   | 313063                      | 52 10.15222 | 80510                      | 13 26.40555 | 61,8                      |
| 220  | 01:13:00 | 377       | 210,4       | 1970           | -32,1           | 1493        | 67,9        | 16644     | 16,6                      | 7862               | 34                   | 313005                      | 52 10.05000 | 80664                      | 13 26.64000 | 59                        |
| 221  | 01:13:20 | 377       | 210,4       | 1976           | -31,7           | 1493        | 67,9        | 16731     | 15,7                      | 7862               | 34                   | 313005                      | 52 9.95055  | 80664                      | 13 26.88555 | 60,4                      |
| 222  | 01:13:40 | 377       | 210,4       | 1979           | -31,4           | 1493        | 67,9        | 16820     | 16                        | 7862               | 34                   | 313005                      | 52 9.84555  | 80664                      | 13 27.10888 | 57,7                      |
| 223  | 01:14:00 | 377       | 210,4       | 1981           | -31,3           | 1493        | 67,9        | 16917     | 17,5                      | 7862               | 34                   | 313005                      | 52 9.73500  | 80664                      | 13 27.31000 | 55,4                      |
| 224  | 01:14:20 | 377       | 210,4       | 1978           | -31,5           | 1493        | 67,9        | 17009     | 16,6                      | 7862               | 34                   | 313005                      | 52 9.63000  | 80664                      | 13 27.50000 | 52,5                      |
| 225  | 01:14:40 | 377       | 210,4       | 1979           | -31,4           | 1493        | 67,9        | 17096     | 15,7                      | 7862               | 34                   | 313005                      | 52 9.52500  | 80664                      | 13 27.72333 | 57,7                      |
| 226  | 01:15:00 | 377       | 210,4       | 1982           | -31,2           | 1494        | 67,9        | 17180     | 15,1                      | 7996               | 50                   | 312942                      | 52 9.42000  | 80798                      | 13 27.98000 | 63,3                      |
| 227  | 01:15:20 | 377       | 210,4       | 1983           | -31,1           | 1494        | 67,9        | 17268     | 15,8                      | 7996               | 50                   | 312942                      | 52 9.31500  | 80798                      | 13 28.21999 | 60,5                      |
| 228  | 01:15:40 | 377       | 210,4       | 1983           | -31,1           | 1494        | 67,9        | 17364     | 17,3                      | 7996               | 50                   | 312942                      | 52 9.21000  | 80798                      | 13 28.49332 | 66,2                      |
| 229  | 01:16:00 | 378       | 210,7       | 1987           | -30,8           | 1493        | 67,9        | 17450     | 15,5                      | 7996               | 50                   | 312942                      | 52 9.10500  | 80798                      | 13 28.80000 | 72,1                      |
| 230  | 01:16:20 | 378       | 210,7       | 1986           | -30,9           | 1493        | 67,9        | 17536     | 15,5                      | 7996               | 50                   | 312942                      | 52 8.98000  | 80798                      | 13 29.12888 | 79,4                      |

| Satz | Zeit     | Druck A/D | Druck [hPa] | Temperatur A/D | Temperatur [C°] | Feuchte A/D | Feuchte [%] | Hoehe [m] | Steig-<br>geschwindigkeit | Strahlung<br>total | Strahlung<br>adaptiv | Breitengrad<br>[100000stel] | Breitengrad | Längengrad<br>[100000stel] | Längengrad  | Geschwindigkeit<br>[km/h] |
|------|----------|-----------|-------------|----------------|-----------------|-------------|-------------|-----------|---------------------------|--------------------|----------------------|-----------------------------|-------------|----------------------------|-------------|---------------------------|
| 231  | 01:16:40 | 378       | 210,7       | 1986           | -30,9           | 1493        | 67,9        | 17630     | 16,9                      | 7996               | 50                   | 312942                      | 52 8.87500  | 80798                      | 13 29.40222 | 66,2                      |
| 232  | 01:17:00 | 377       | 210,4       | 1981           | -31,3           | 1493        | 67,9        | 17719     | 16                        | 8029               | 25                   | 312879                      | 52 8.79000  | 80962                      | 13 29.62000 | 53                        |
| 233  | 01:17:20 | 378       | 210,7       | 1984           | -31,1           | 1493        | 67,9        | 17805     | 15,5                      | 8029               | 25                   | 312879                      | 52 8.69500  | 80962                      | 13 29.86555 | 59,6                      |
| 234  | 01:17:40 | 378       | 210,7       | 1987           | -30,8           | 1493        | 67,9        | 17886     | 14,6                      | 8029               | 25                   | 312879                      | 52 8.62000  | 80962                      | 13 30.05555 | 46,4                      |
| 235  | 01:18:00 | 378       | 210,7       | 1991           | -30,5           | 1494        | 67,9        | 17966     | 14,4                      | 8029               | 25                   | 312879                      | 52 8.56500  | 80962                      | 13 30.19000 | 33,2                      |
| 236  | 01:18:20 | 378       | 210,7       | 1992           | -30,5           | 1494        | 67,9        | 18064     | 17,6                      | 8029               | 25                   | 312879                      | 52 8.49555  | 80962                      | 13 30.34666 | 39,7                      |
| 237  | 01:18:40 | 378       | 210,7       | 1997           | -30,1           | 1495        | 67,9        | 18157     | 16,7                      | 8029               | 25                   | 312879                      | 52 8.42056  | 80962                      | 13 30.53666 | 46,4                      |
| 238  | 01:19:00 | 378       | 210,7       | 1997           | -30,1           | 1495        | 67,9        | 18251     | 16,9                      | 7962               | 25                   | 312834                      | 52 8.34000  | 81076                      | 13 30.76000 | 53,2                      |
| 239  | 01:19:20 | 378       | 210,7       | 1994           | -30,3           | 1494        | 67,9        | 18340     | 16                        | 7962               | 25                   | 312834                      | 52 8.26222  | 81076                      | 13 30.96666 | 49,8                      |
| 240  | 01:19:40 | 378       | 210,7       | 1989           | -30,7           | 1494        | 67,9        | 18433     | 16,7                      | 7962               | 25                   | 312834                      | 52 8.17888  | 81076                      | 13 31.20666 | 56,6                      |
| 241  | 01:20:00 | 378       | 210,7       | 1988           | -30,8           | 1494        | 67,9        | 18516     | 14,9                      | 7962               | 25                   | 312834                      | 52 8.09000  | 81076                      | 13 31.48000 | 63,5                      |
| 242  | 01:20:20 | 378       | 210,7       | 1988           | -30,8           | 1494        | 67,9        | 18617     | 18,2                      | 7962               | 25                   | 312834                      | 52 8.01222  | 81076                      | 13 31.77555 | 66                        |
| 243  | 01:20:40 | 377       | 210,4       | 1983           | -31,1           | 1494        | 67,9        | 18708     | 16,4                      | 7962               | 25                   | 312834                      | 52 7.92889  | 81076                      | 13 32.01556 | 56,6                      |
| 244  | 01:21:00 | 378       | 210,7       | 1986           | -30,9           | 1494        | 67,9        | 18794     | 15,5                      | 7996               | 34                   | 312784                      | 52 7.84000  | 81220                      | 13 32.20000 | 48,2                      |
| 245  | 01:21:20 | 378       | 210,7       | 1997           | -30,1           | 1494        | 67,9        | 18882     | 15,8                      | 7996               | 34                   | 312784                      | 52 7.75388  | 81220                      | 13 32.35666 | 43,2                      |
| 246  | 01:21:40 | 378       | 210,7       | 2003           | -29,6           | 1494        | 67,9        | 18970     | 15,8                      | 7996               | 34                   | 312784                      | 52 7.66221  | 81220                      | 13 32.51333 | 44,4                      |
| 247  | 01:22:00 | 379       | 210,9       | 2007           | -29,3           | 1494        | 67,9        | 19059     | 16                        | 7996               | 34                   | 312784                      | 52 7.56500  | 81220                      | 13 32.67000 | 45,7                      |
| 248  | 01:22:20 | 379       | 210,9       | 2010           | -29,1           | 1494        | 67,9        | 19152     | 16,7                      | 7996               | 34                   | 312784                      | 52 7.46777  | 81220                      | 13 32.82888 | 46,1                      |
| 249  | 01:22:40 | 379       | 210,9       | 2008           | -29,3           | 1495        | 67,9        | 19243     | 16,4                      | 7996               | 34                   | 312784                      | 52 7.37611  | 81220                      | 13 32.98555 | 44,5                      |
| 250  | 01:23:00 | 379       | 210,9       | 2007           | -29,3           | 1495        | 67,9        | 19329     | 15,5                      | 8048               | 52                   | 312729                      | 52 7.29000  | 81314                      | 13 33.14000 | 42,9                      |
| 251  | 01:23:20 | 379       | 210,9       | 2008           | -29,3           | 1495        | 67,9        | 19416     | 15,7                      | 8048               | 52                   | 312729                      | 52 7.20110  | 81314                      | 13 33.29555 | 43,7                      |
| 252  | 01:23:40 | 379       | 210,9       | 2013           | -28,9           | 1495        | 67,9        | 19507     | 16,4                      | 8048               | 52                   | 312729                      | 52 7.11777  | 81314                      | 13 33.44888 | 42,1                      |
| 253  | 01:24:00 | 379       | 210,9       | 2008           | -29,3           | 1495        | 67,9        | 19595     | 15,8                      | 8048               | 52                   | 312729                      | 52 7.04000  | 81314                      | 13 33.60000 | 40,5                      |
| 254  | 01:24:20 | 379       | 210,9       | 2011           | -29             | 1495        | 67,9        | 19691     | 17,3                      | 8048               | 52                   | 312729                      | 52 6.93666  | 81314                      | 13 33.74000 | 45                        |
| 255  | 01:24:40 | 379       | 210,9       | 2013           | -28,9           | 1495        | 67,9        | 19791     | 18                        | 8048               | 52                   | 312729                      | 52 6.85333  | 81314                      | 13 33.89333 | 42,1                      |
| 256  | 01:25:00 | 379       | 210,9       | 2016           | -28,7           | 1495        | 67,9        | 19899     | 19,4                      | 8099               | 51                   | 312679                      | 52 6.79000  | 81406                      | 13 34.06000 | 40,3                      |
| 257  | 01:25:20 | 379       | 210,9       | 2019           | -28,4           | 1495        | 67,9        | 19987     | 15,8                      | 8099               | 51                   | 312679                      | 52 6.73666  | 81406                      | 13 34.21999 | 37,4                      |
| 258  | 01:25:40 | 380       | 211,2       | 2022           | -28,2           | 1495        | 67,9        | 20077     | 16,2                      | 8099               | 51                   | 312679                      | 52 6.68333  | 81406                      | 13 34.39332 | 39,8                      |
| 259  | 01:26:00 | 380       | 211,2       | 2027           | -27,9           | 1496        | 68          | 20067     | -1,8                      | 8099               | 51                   | 312679                      | 52 6.63000  | 81406                      | 13 34.58000 | 42,3                      |
| 260  | 01:26:20 | 381       | 211,5       | 2040           | -26,9           | 1496        | 68          | 19957     | -19,8                     | 8099               | 51                   | 312679                      | 52 6.59333  | 81406                      | 13 34.73333 | 33,8                      |
| 261  | 01:26:40 | 381       | 211,5       | 2057           | -25,6           | 1496        | 68          | 19747     | -37,8                     | 8099               | 51                   | 312679                      | 52 6.54000  | 81406                      | 13 34.90666 | 39,8                      |
| 262  | 01:27:00 | 381       | 211,5       | 2064           | -25,1           | 1495        | 67,9        | 19437     | -55,8                     | 8130               | 8                    | 312647                      | 52 6.47000  | 81510                      | 13 35.10000 | 46,1                      |
| 263  | 01:27:20 | 382       | 211,8       | 2066           | -25             | 1496        | 68          | 19027     | -73,8                     | 8130               | 8                    | 312647                      | 52 6.40832  | 81510                      | 13 35.28333 | 42,9                      |
| 264  | 01:27:40 | 382       | 211,8       | 2076           | -24,2           | 1496        | 68          | 18572     | -81,9                     | 8130               | 8                    | 312647                      | 52 6.32999  | 81510                      | 13 35.48666 | 49,3                      |
| 265  | 01:28:00 | 382       | 211,8       | 2076           | -24,2           | 1496        | 68          | 18217     | -63,9                     | 8130               | 8                    | 312647                      | 52 6.23500  | 81510                      | 13 35.71000 | 55,8                      |
| 266  | 01:28:20 | 382       | 211,8       | 2078           | -24,1           | 1495        | 67,9        | 17962     | -45,9                     | 8130               | 8                    | 312647                      | 52 6.17888  | 81510                      | 13 35.89333 | 42,1                      |
| 267  | 01:28:40 | 383       | 212,1       | 2084           | -23,6           | 1496        | 68          | 17807     | -27,9                     | 8130               | 8                    | 312647                      | 52 6.10055  | 81510                      | 13 36.09666 | 49,3                      |
| 268  | 01:29:00 | 383       | 212,1       | 2090           | -23,2           | 1496        | 68          | 17649     | -28,4                     | 8116               | 9                    | 312600                      | 52 6.00000  | 81632                      | 13 36.32000 | 56,9                      |
| 269  | 01:29:20 | 383       | 212,1       | 2086           | -23,5           | 1496        | 68          | 17391     | -46,4                     | 8116               | 9                    | 312600                      | 52 5.91055  | 81632                      | 13 36.53333 | 53,1                      |
| 270  | 01:29:40 | 382       | 211,8       | 2077           | -24,1           | 1496        | 68          | 17178     | -38,3                     | 8116               | 9                    | 312600                      | 52 5.79888  | 81632                      | 13 36.76666 | 60,8                      |
| 271  | 01:30:00 | 383       | 212,1       | 2076           | -24,2           | 1496        | 68          | 17010     | -30,2                     | 8116               | 9                    | 312600                      | 52 5.66500  | 81632                      | 13 37.02000 | 68,7                      |
| 272  | 01:30:20 | 383       | 212,1       | 2093           | -23             | 1496        | 68          | 16822     | -33,8                     | 8116               | 9                    | 312600                      | 52 5.55555  | 81632                      | 13 37.22000 | 55                        |
| 273  | 01:30:40 | 383       | 212,1       | 2090           | -23,2           | 1496        | 68          | 16635     | -33,7                     | 8116               | 9                    | 312600                      | 52 5.44388  | 81632                      | 13 37.45333 | 60,8                      |
| 274  | 01:31:00 | 384       | 212,3       | 2095           | -22,8           | 1495        | 67,9        | 16445     | -34,2                     | 8120               | 4                    | 312533                      | 52 5.33000  | 81772                      | 13 37.72000 | 66,7                      |
| 275  | 01:31:20 | 383       | 212,1       | 2090           | -23,2           | 1496        | 68          | 16245     | -36                       | 8120               | 4                    | 312533                      | 52 5.21722  | 81772                      | 13 37.96999 | 63,7                      |
| 276  | 01:31:40 | 383       | 212,1       | 2080           | -23,9           | 1496        | 68          | 16035     | -37,8                     | 8120               | 4                    | 312533                      | 52 5.10222  | 81772                      | 13 38.25332 | 69,8                      |

| Satz | Zeit     | Druck A/D | Druck [hPa] | Temperatur A/D | Temperatur [C°] | Feuchte A/D | Feuchte [%] | Hoehe [m] | Steig-<br>geschwindigkeit | Strahlung<br>total | Strahlung<br>adaptiv | Breitengrad<br>[100000stel] | Breitengrad | Längengrad<br>[100000stel] | Längengrad  | Geschwindigkeit<br>[km/h] |
|------|----------|-----------|-------------|----------------|-----------------|-------------|-------------|-----------|---------------------------|--------------------|----------------------|-----------------------------|-------------|----------------------------|-------------|---------------------------|
| 277  | 01:32:00 | 382       | 211,8       | 2071           | -24,6           | 1495        | 67,9        | 15829     | -37,1                     | 8120               | 4                    | 312533                      | 52 4.98500  | 81772                      | 13 38.57000 | 76                        |
| 278  | 01:32:20 | 382       | 211,8       | 2070           | -24,7           | 1495        | 67,9        | 15641     | -33,8                     | 8120               | 4                    | 312533                      | 52 4.89222  | 81772                      | 13 38.85666 | 66,6                      |
| 279  | 01:32:40 | 382       | 211,8       | 2069           | -24,7           | 1495        | 67,9        | 15461     | -32,4                     | 8120               | 4                    | 312533                      | 52 4.77722  | 81772                      | 13 39.14000 | 69,8                      |
| 280  | 01:33:00 | 382       | 211,8       | 2067           | -24,9           | 1495        | 67,9        | 15276     | -33,3                     | 8128               | 8                    | 312464                      | 52 4.64000  | 81942                      | 13 39.42000 | 73,6                      |
| 281  | 01:33:20 | 383       | 212,1       | 2073           | -24,4           | 1495        | 67,9        | 15109     | -30,1                     | 8128               | 8                    | 312464                      | 52 4.51388  | 81942                      | 13 39.70166 | 71,6                      |
| 282  | 01:33:40 | 383       | 212,1       | 2069           | -24,7           | 1495        | 67,9        | 14937     | -31                       | 8128               | 8                    | 312464                      | 52 4.36555  | 81942                      | 13 39.97999 | 75,7                      |
| 283  | 01:34:00 | 387       | 213,2       | 2065           | -25             | 1495        | 67,9        | 14773     | -29,5                     | 8128               | 8                    | 312464                      | 52 4.19500  | 81942                      | 13 40.25500 | 80,3                      |
| 284  | 01:34:20 | 393       | 214,8       | 2063           | -25,2           | 1495        | 67,9        | 14604     | -30,4                     | 8128               | 8                    | 312464                      | 52 4.07999  | 81942                      | 13 40.52000 | 66,7                      |
| 285  | 01:34:40 | 401       | 217,1       | 2062           | -25,3           | 1495        | 67,9        | 14415     | -34                       | 8128               | 8                    | 312464                      | 52 3.93167  | 81942                      | 13 40.79833 | 75,7                      |
| 286  | 01:35:00 | 411       | 219,9       | 2062           | -25,3           | 1495        | 67,9        | 14244     | -30,8                     | 8131               | 3                    | 312375                      | 52 3.75000  | 82109                      | 13 41.09000 | 85,3                      |
| 287  | 01:35:20 | 422       | 222,9       | 2062           | -25,3           | 1495        | 67,9        | 14053     | -34,4                     | 8131               | 3                    | 312375                      | 52 3.58499  | 82109                      | 13 41.37499 | 80,5                      |
| 288  | 01:35:40 | 435       | 226,5       | 2064           | -25,1           | 1495        | 67,9        | 13880     | -31,1                     | 8131               | 3                    | 312375                      | 52 3.38666  | 82109                      | 13 41.67332 | 90,3                      |
| 289  | 01:36:00 | 446       | 229,6       | 2061           | -25,3           | 1495        | 67,9        | 13715     | -29,7                     | 8131               | 3                    | 312375                      | 52 3.15500  | 82109                      | 13 41.98500 | 100,5                     |
| 290  | 01:36:20 | 458       | 232,9       | 2060           | -25,4           | 1496        | 68          | 13552     | -29,3                     | 8131               | 3                    | 312375                      | 52 2.97888  | 82109                      | 13 42.22777 | 77,2                      |
| 291  | 01:36:40 | 471       | 236,5       | 2060           | -25,4           | 1495        | 67,9        | 13386     | -29,9                     | 8131               | 3                    | 312375                      | 52 2.78055  | 82109                      | 13 42.52611 | 90,3                      |
| 292  | 01:37:00 | 483       | 239,9       | 2057           | -25,6           | 1495        | 67,9        | 13222     | -29,5                     | 8131               | 0                    | 312256                      | 52 2.56000  | 82288                      | 13 42.88000 | 103,6                     |
| 293  | 01:37:20 | 496       | 243,5       | 2058           | -25,6           | 1495        | 67,9        | 13062     | -28,8                     | 8131               | 0                    | 312256                      | 52 2.35055  | 82288                      | 13 43.20610 | 96,9                      |
| 294  | 01:37:40 | 511       | 247,7       | 2056           | -25,7           | 1495        | 67,9        | 12857     | -36,9                     | 8131               | 0                    | 312256                      | 52 2.11888  | 82288                      | 13 43.58777 | 110,2                     |
| 295  | 01:38:00 | 534       | 254,1       | 2034           | -27,3           | 1495        | 67,9        | 12552     | -54,9                     | 8131               | 0                    | 312256                      | 52 1.86500  | 82288                      | 13 44.02500 | 123,6                     |
| 296  | 01:38:20 | 558       | 260,8       | 2016           | -28,7           | 1495        | 67,9        | 12255     | -53,5                     | 8131               | 0                    | 312256                      | 52 1.65000  | 82288                      | 13 44.35110 | 98,3                      |
| 297  | 01:38:40 | 586       | 268,6       | 2000           | -29,9           | 1495        | 67,9        | 11962     | -52,7                     | 8131               | 0                    | 312256                      | 52 1.41833  | 82288                      | 13 44.73277 | 110,2                     |
| 298  | 01:39:00 | 609       | 275         | 2002           | -29,7           | 1495        | 67,9        | 11769     | -34,7                     | 8131               | 0                    | 312117                      | 52 1.17000  | 82517                      | 13 45.17000 | 122,3                     |
| 299  | 01:39:20 | 627       | 280         | 2005           | -29,5           | 1495        | 67,9        | 11621     | -26,6                     | 8131               | 0                    | 312117                      | 52 0.92999  | 82517                      | 13 45.57944 | 116,3                     |
| 300  | 01:39:40 | 642       | 284,1       | 2007           | -29,3           | 1495        | 67,9        | 11491     | -23,4                     | 8131               | 0                    | 312117                      | 52 0.67332  | 82517                      | 13 46.04444 | 128,5                     |
| 301  | 01:40:00 | 656       | 288         | 2010           | -29,1           | 1494        | 67,9        | 11351     | -25,2                     | 8131               | 0                    | 312117                      | 52 0.40000  | 82517                      | 13 46.56500 | 140,7                     |
| 302  | 01:40:20 | 671       | 292,2       | 2008           | -29,3           | 1495        | 67,9        | 11219     | -23,8                     | 8131               | 0                    | 312117                      | 52 0.15444  | 82517                      | 13 47.03222 | 126,4                     |
| 303  | 01:40:40 | 686       | 296,4       | 2008           | -29,3           | 1494        | 67,9        | 11088     | -23,6                     | 8131               | 0                    | 312117                      | 51 59.89778 | 82517                      | 13 47.49722 | 128,5                     |
| 304  | 01:41:00 | 701       | 300,6       | 2003           | -29,6           | 1495        | 67,9        | 10958     | -23,4                     | 8131               | 0                    | 311963                      | 51 59.63000 | 82796                      | 13 47.96000 | 130,6                     |
| 305  | 01:41:20 | 716       | 304,7       | 1996           | -30,2           | 1494        | 67,9        | 10823     | -24,3                     | 8131               | 0                    | 311963                      | 51 59.36777 | 82796                      | 13 48.42388 | 129,6                     |
| 306  | 01:41:40 | 733       | 309,5       | 1991           | -30,5           | 1495        | 67,9        | 10678     | -26,1                     | 8131               | 0                    | 311963                      | 51 59.09444 | 82796                      | 13 48.88555 | 131,8                     |
| 307  | 01:42:00 | 750       | 314,2       | 1990           | -30,6           | 1495        | 67,9        | 10541     | -24,7                     | 8131               | 0                    | 311963                      | 51 58.81000 | 82796                      | 13 49.34500 | 134                       |
| 308  | 01:42:20 | 766       | 318,6       | 1997           | -30,1           | 1495        | 67,9        | 10408     | -23,9                     | 8131               | 0                    | 311963                      | 51 58.53333 | 82796                      | 13 49.80333 | 132,1                     |
| 309  | 01:42:40 | 782       | 323,1       | 2004           | -29,6           | 1495        | 67,9        | 10283     | -22,5                     | 8131               | 0                    | 311963                      | 51 58.26000 | 82796                      | 13 50.26500 | 131,8                     |
| 310  | 01:43:00 | 798       | 327,5       | 2006           | -29,4           | 1495        | 67,9        | 10157     | -22,7                     | 8131               | 0                    | 311799                      | 51 57.99000 | 83073                      | 13 50.73000 | 131,5                     |
| 311  | 01:43:20 | 814       | 332         | 2010           | -29,1           | 1495        | 67,9        | 10035     | -22                       | 8131               | 0                    | 311799                      | 51 57.71832 | 83073                      | 13 51.19332 | 131,7                     |
| 312  | 01:43:40 | 830       | 336,4       | 2018           | -28,5           | 1495        | 67,9        | 9915      | -21,6                     | 8131               | 0                    | 311799                      | 51 57.44999 | 83073                      | 13 51.65999 | 131,4                     |
| 313  | 01:44:00 | 847       | 341,2       | 2028           | -27,8           | 1496        | 68          | 9797      | -21,2                     | 8131               | 0                    | 311799                      | 51 57.18500 | 83073                      | 13 52.13000 | 131,1                     |
| 314  | 01:44:20 | 864       | 345,9       | 2039           | -27             | 1495        | 67,9        | 9669      | -23                       | 8131               | 0                    | 311799                      | 51 56.88333 | 83073                      | 13 52.61888 | 142,4                     |
| 315  | 01:44:40 | 883       | 351,2       | 2040           | -26,9           | 1496        | 68          | 9521      | -26,6                     | 8131               | 0                    | 311799                      | 51 56.61500 | 83073                      | 13 53.08555 | 131,4                     |
| 316  | 01:45:00 | 920       | 361,5       | 2021           | -28,3           | 1495        | 67,9        | 9273      | -44,6                     | 8131               | 0                    | 311638                      | 51 56.38000 | 83353                      | 13 53.53000 | 120,6                     |
| 317  | 01:45:20 | 956       | 371,5       | 2020           | -28,4           | 1495        | 67,9        | 8980      | -52,7                     | 8131               | 0                    | 311638                      | 51 56.12832 | 83353                      | 13 53.98555 | 126                       |
| 318  | 01:45:40 | 994       | 382,1       | 2023           | -28,1           | 1496        | 68          | 8695      | -51,3                     | 8131               | 0                    | 311638                      | 51 55.90999 | 83353                      | 13 54.41888 | 115,2                     |
| 319  | 01:46:00 | 1033      | 392,9       | 2030           | -27,6           | 1496        | 68          | 8455      | -43,2                     | 8131               | 0                    | 311638                      | 51 55.72500 | 83353                      | 13 54.83000 | 104,8                     |
| 320  | 01:46:20 | 1073      | 404         | 2045           | -26,5           | 1497        | 68          | 8195      | -46,8                     | 8131               | 0                    | 311638                      | 51 55.48666 | 83353                      | 13 55.29666 | 124,8                     |
| 321  | 01:46:40 | 1117      | 416,3       | 2055           | -25,8           | 1497        | 68          | 7915      | -50,4                     | 8131               | 0                    | 311638                      | 51 55.26833 | 83353                      | 13 55.73000 | 115,2                     |
| 322  | 01:47:00 | 1169      | 430,7       | 2060           | -25,4           | 1497        | 68          | 7615      | -54                       | 8176               | 20                   | 311507                      | 51 55.07000 | 83613                      | 13 56.13000 | 105,7                     |

| Satz | Zeit     | Druck A/D | Druck [hPa] | Temperatur A/D | Temperatur [C°] | Feuchte A/D | Feuchte [%] | Hoehe [m] | Steig-<br>geschwindigkeit | Strahlung<br>total | Strahlung<br>adaptiv | Breitengrad<br>[100000stel] | Breitengrad | Längengrad<br>[100000stel] | Längengrad  | Geschwindigkeit<br>[km/h] |
|------|----------|-----------|-------------|----------------|-----------------|-------------|-------------|-----------|---------------------------|--------------------|----------------------|-----------------------------|-------------|----------------------------|-------------|---------------------------|
| 323  | 01:47:20 | 1216      | 443,8       | 2073           | -24,4           | 1498        | 68          | 7360      | -45,9                     | 8176               | 20                   | 311507                      | 51 54.86166 | 83613                      | 13 56.54666 | 110,5                     |
| 324  | 01:47:40 | 1261      | 456,3       | 2104           | -22,1           | 1499        | 68          | 7123      | -42,7                     | 8176               | 20                   | 311507                      | 51 54.67333 | 83613                      | 13 56.92999 | 100,9                     |
| 325  | 01:48:00 | 1307      | 469,1       | 2115           | -21,3           | 1499        | 68          | 6886      | -42,7                     | 8176               | 20                   | 311507                      | 51 54.50500 | 83613                      | 13 57.28000 | 91,4                      |
| 326  | 01:48:20 | 1357      | 483         | 2126           | -20,5           | 1499        | 68          | 6629      | -46,3                     | 8176               | 20                   | 311507                      | 51 54.28333 | 83613                      | 13 57.71888 | 116,8                     |
| 327  | 01:48:40 | 1408      | 497,2       | 2145           | -19,1           | 1500        | 68,1        | 6373      | -46,1                     | 8176               | 20                   | 311507                      | 51 54.09500 | 83613                      | 13 58.10222 | 100,9                     |
| 328  | 01:49:00 | 1458      | 511,1       | 2161           | -17,9           | 1500        | 68,1        | 6125      | -44,6                     | 8176               | 10                   | 311394                      | 51 53.94000 | 83843                      | 13 58.43000 | 85,1                      |
| 329  | 01:49:20 | 1507      | 524,8       | 2185           | -16,2           | 1502        | 68,1        | 5895      | -41,4                     | 8176               | 10                   | 311394                      | 51 53.76832 | 83843                      | 13 58.78555 | 93                        |
| 330  | 01:49:40 | 1558      | 538,9       | 2199           | -15,1           | 1503        | 68,2        | 5660      | -42,3                     | 8176               | 10                   | 311394                      | 51 53.62999 | 83843                      | 13 59.08555 | 77,2                      |
| 331  | 01:50:00 | 1613      | 554,2       | 2215           | -14             | 1503        | 68,2        | 5415      | -44,1                     | 8176               | 10                   | 311394                      | 51 53.52500 | 83843                      | 13 59.33000 | 61,4                      |
| 332  | 01:50:20 | 1667      | 569,3       | 2235           | -12,5           | 1505        | 68,2        | 5174      | -43,4                     | 8176               | 10                   | 311394                      | 51 53.35333 | 83843                      | 13 59.68555 | 93                        |
| 333  | 01:50:40 | 1722      | 584,6       | 2255           | -11             | 1508        | 68,3        | 4931      | -43,7                     | 8176               | 10                   | 311394                      | 51 53.21500 | 83843                      | 13 59.98556 | 77,2                      |
| 334  | 01:51:00 | 1779      | 600,4       | 2265           | -10,3           | 1513        | 68,4        | 4692      | -43                       | 8171               | 10                   | 311311                      | 51 53.11000 | 84023                      | 14 0.23000  | 61,4                      |
| 335  | 01:51:20 | 1838      | 616,8       | 2279           | -9,3            | 1516        | 68,5        | 4443      | -44,8                     | 8171               | 10                   | 311311                      | 51 53.02166 | 84023                      | 14 0.50222  | 63,4                      |
| 336  | 01:51:40 | 1901      | 634,4       | 2301           | -7,6            | 1518        | 68,6        | 4192      | -45,2                     | 8171               | 10                   | 311311                      | 51 52.93333 | 84023                      | 14 0.71888  | 53,5                      |
| 337  | 01:52:00 | 1962      | 651,3       | 2320           | -6,2            | 1520        | 68,6        | 3959      | -41,9                     | 8171               | 10                   | 311311                      | 51 52.84500 | 84023                      | 14 0.88000  | 44,4                      |
| 338  | 01:52:20 | 2027      | 669,4       | 2334           | -5,2            | 1521        | 68,7        | 3706      | -45,5                     | 8171               | 10                   | 311311                      | 51 52.73666 | 84023                      | 14 1.15222  | 66,7                      |
| 339  | 01:52:40 | 2096      | 688,6       | 2348           | -4,2            | 1522        | 68,7        | 3455      | -45,2                     | 8171               | 10                   | 311311                      | 51 52.64833 | 84023                      | 14 1.36889  | 53,5                      |
| 340  | 01:53:00 | 2164      | 707,5       | 2363           | -3,1            | 1513        | 68,4        | 3208      | -44,5                     | 8267               | 96                   | 311258                      | 51 52.58000 | 84153                      | 14 1.53000  | 40,3                      |
| 341  | 01:53:20 | 2234      | 727         | 2377           | -2,1            | 1506        | 68,2        | 2962      | -44,3                     | 8267               | 96                   | 311258                      | 51 52.52166 | 84153                      | 14 1.66333  | 33,7                      |
| 342  | 01:53:40 | 2302      | 746         | 2388           | -1,2            | 1503        | 68,2        | 2734      | -41                       | 8267               | 96                   | 311258                      | 51 52.46333 | 84153                      | 14 1.79666  | 33,7                      |
| 343  | 01:54:00 | 2368      | 764,3       | 2394           | -0,8            | 1504        | 68,2        | 2508      | -40,7                     | 8267               | 96                   | 311258                      | 51 52.40500 | 84153                      | 14 1.93000  | 33,7                      |
| 344  | 01:54:20 | 2438      | 783,8       | 2395           | -0,7            | 1509        | 68,3        | 2281      | -40,9                     | 8267               | 96                   | 311258                      | 51 52.31333 | 84153                      | 14 2.11888  | 49,5                      |
| 345  | 01:54:40 | 2510      | 803,9       | 2400           | -0,4            | 1511        | 68,4        | 2044      | -42,7                     | 8267               | 96                   | 311258                      | 51 52.25500 | 84153                      | 14 2.25222  | 33,7                      |
| 346  | 01:55:00 | 2590      | 826,2       | 2409           | 0,3             | 1517        | 68,6        | 1787      | -46,3                     | 10464              | 2197                 | 311223                      | 51 52.23000 | 84233                      | 14 2.33000  | 18,1                      |
| 347  | 01:55:20 | 2674      | 849,6       | 2417           | 0,9             | 1541        | 69,2        | 1548      | -43                       | 10464              | 2197                 | 311223                      | 51 52.22166 | 84233                      | 14 2.38000  | 10,7                      |
| 348  | 01:55:40 | 2753      | 871,6       | 2426           | 1,6             | 1545        | 69,4        | 1327      | -39,8                     | 10464              | 2197                 | 311223                      | 51 52.21333 | 84233                      | 14 2.43000  | 10,7                      |
| 349  | 01:56:00 | 2829      | 892,8       | 2443           | 2,8             | 1539        | 69,2        | 1114      | -38,3                     | 10464              | 2197                 | 311223                      | 51 52.20500 | 84233                      | 14 2.48000  | 10,7                      |
| 350  | 01:56:20 | 2906      | 914,2       | 2468           | 4,7             | 1535        | 69,1        | 902       | -38,2                     | 10464              | 2197                 | 311223                      | 51 52.19666 | 84233                      | 14 2.53000  | 10,7                      |
| 351  | 01:56:40 | 2991      | 937,8       | 2492           | 6,4             | 1535        | 69,1        | 670       | -41,8                     | 10464              | 2197                 | 311223                      | 51 52.18833 | 84233                      | 14 2.58000  | 10,7                      |
| 352  | 01:57:00 | 3071      | 960         | 2513           | 8               | 1532        | 69          | 483       | -33,7                     | 14762              | 4298                 | 311218                      | 51 52.18000 | 84263                      | 14 2.63000  | 10,7                      |
| 353  | 01:57:20 | 3148      | 981,4       | 2532           | 9,4             | 1528        | 68,9        | 251       | -41,8                     | 14762              | 4298                 | 311218                      | 51 52.17166 | 84263                      | 14 2.68000  | 10,7                      |