

ARBEITSKREIS BAYERISCHER PHYSIKDIDAKTIKER

# BEITRAG AUS DER REIHE:

Werner B. Schneider (Hrsg.)

## Wege in der Physikdidaktik

Band 4

ISBN 3 - 7896 - 0588 - 9

Verlag Palm & Enke, Erlangen und Jena 1998

### Anmerkung:

Die Bände 1 bis 5 sind (Ausnahme Band 5) im Buchhandel vergriffen.  
Die einzelnen Beiträge stehen jedoch auf der Homepage

<http://www.solstice.de>

zum freien Herunterladen zur Verfügung.

Das Copyright liegt bei den Autoren und Herausgebern.

Zum privaten Gebrauch dürfen die Beiträge unter Angabe der Quelle  
genutzt werden. Auf der Homepage

[www.solstice.de](http://www.solstice.de)

werden noch weitere Materialien zur Verfügung gestellt.

F. Wörlen, G. Emmert, P. Geyer, U. Nieberlein, M. Gabler

# Das Ballon-Projekt zur Erkundung der Atmosphäre

## 1 Einleitung

Das Ballon-Projekt gehört zu einer Initiative, die Möglichkeiten des Amateurfunks für den Physikunterricht zu nutzen. Die Beobachtungen des Wetters in Bodennähe lassen sich durch Meßwerte aus großen Höhen ergänzen und die Ergebnisse mit den im Physikunterricht erarbeiteten Wettermodellen interpretieren. Die Idee zur Durchführung von Ballon-Projekten geht auf den Arbeitskreis für Amateurfunk und Telekommunikation in der Schule, Harsum (AATiS) zurück [3]. Der Verein bietet den Schulen qualifizierte Unterstützung bei der Planung und Durchführung des Projekts. Im Folgenden wird über das am Gymnasium Roth im Physikunterricht vorbereitete Ballon-Projekt berichtet, das Ende Juni 1996 stattfand.

Bei der Ballon-Mission transportiert ein mit Helium gefüllter Wetterballon eine Meßbox (s. Abb. 1, Plattform), die mit Sensoren ausgerüstet ist, in Höhen bis zu ca. 30 km. Die Sensoren messen während des Aufstiegs eine Reihe von Größen, die Auskunft über die physikalischen Eigenschaften der Erdatmosphäre geben. Der mitgeführte Sender überträgt kontinuierlich die Meßwerte zu einer Bodenstation, die die ortsansässige Amateurfunkgruppe betreibt. Die Funkamateure aus der Umgebung führen während des Fluges Funkpeilungen durch und ermitteln die momentane Position der Sonde. I.a. ist der Sender auch nach der Landung noch aktiv und die Bergung der Meßbox möglich. Beim Erreichen der Gipfelhöhe reißt die Hülle des Ballons, denn die Ballonhaut aus Latex dehnt sich beim Aufstieg um ein Vielfaches, und die intensive UV-Strahlung verursacht Änderungen der chemischen Struktur des Materials. Beides führt zu Rissen und schließlich zum Platzen der Haut. Die Geschwindigkeit bei der Landung der Meßbox soll der unter dem Ballon angebrachte Fallschirm vermindern (s. Abb. 1).

Dieses Projekt ist für den Physikunterricht attraktiv, weil die Meßapparatur von Schülern geplant und gebaut, sowie die Meßergebnisse ausgewertet und präsentiert werden können. Es bietet sich die Chance, unterschiedliche Schüleraktivitäten anzuregen und zu fördern. Thematische Querverbindungen zwischen Unterricht und Anwendung sind:

- die Auftriebskraft eines gasgefüllten Ballons in der Atmosphäre,
- der Aufbau und Betrieb einer Funkanlage,
- die Übermittlung von Daten mit elektromagnetischen Wellen,
- die Kalibrierung und der Betrieb von Sensoren in Schaltungen und
- der Zusammenhang zwischen Meßwert und Anzeige.

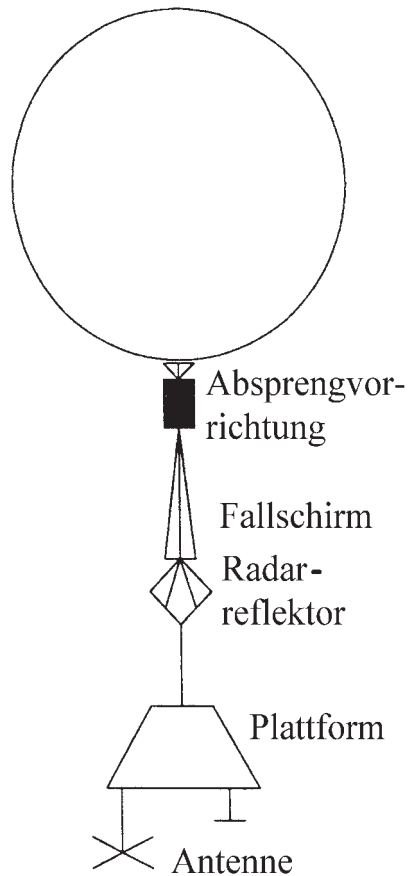


Abb. 1: Realer Start des Ballons (links) und Skizze des “Funk”-Ballons (Plattform zur Aufnahme der Meßbox) .

## 2 Meßbox, Sensoren, Datenübermittlung:

Die konzipierte Meßbox (s. Abb. 2) enthielt handelsübliche Sensoren zur Messung der Temperatur, des Luftdrucks, der Lichtstärke, der relativen Luftfeuchte und der Höhenstrahlung. Die Auswahl der Sensoren und ihre Beschaltung, der Aufbau der Elektronik und die Gestaltung der Meßwerterfassung wurden im Unterricht durchgeführt.

Die Sensoren haben die Aufgabe, den Wert der zugehörigen Meßgröße in eine elektrische Spannung umzuwandeln. Diese Spannung wird dann durch das Meßwerterfassungs-Modul (MW-Modul; Auflösung ca. 4,88mV) so kodiert, daß sie der Sender (Frequenz 145,225MHz; packet-radio-Modus) übermitteln kann. Die

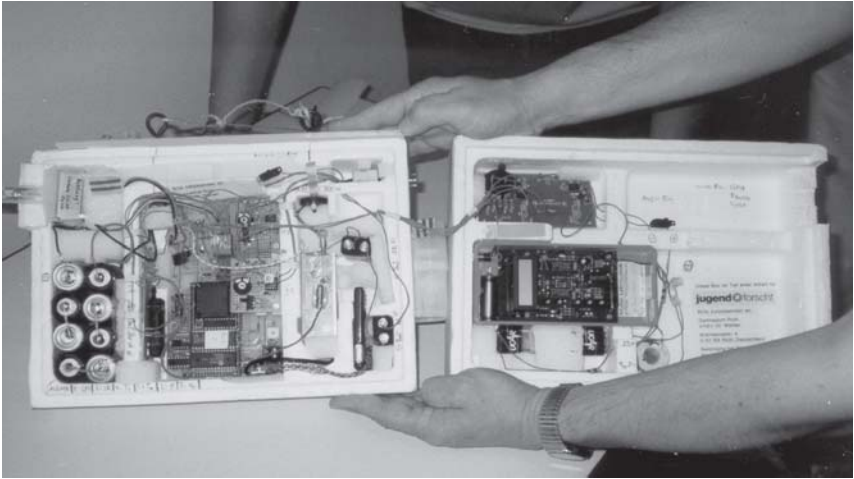


Abb. 2: Offene Meßbox mit Meßwerterfassung, Sender, Batterie, Innentemperatursensor, Lichtsensoren, Außentemperatursensor, Sensor für relative Luftfeuchte, Drucksensor, Geiger-Müller-Zähler.

beiden Komponenten stellte der AATiS bereit, während die Ortsgruppe Schwabach des Amateurfunkvereins die Empfangsstation einrichtete. Die dort eintreffenden Daten wurden sofort angezeigt und gespeichert. Die Funkpeilung ermöglichte es, den Flug der Sonde zu verfolgen und den Landungsort zu lokalisieren, damit die Meßbox geborgen werden konnte. In den folgenden Abschnitten werden die benutzten Sensoren, ihre Beschaltung und Kalibrierung, sowie die Auswertung der Meßdaten beschrieben.

$$R(\theta) = R_0 (1 + \alpha(\theta - \theta_0))$$

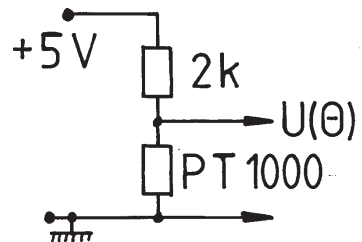


Abb. 3: Schaltung des Temperatursensors PT1000.  $U(\theta)$  : Spannung über dem Temperatursensor; Referenzspannung:  $U_0 = 5,0V$ .

**Temperaturmessung:** Für die Temperaturmessung wurde der im Handel erhältliche Sensor PT1000 aus Platindraht verwendet, dessen Widerstand  $R(\theta)$  nahezu linear von der Temperatur  $\theta$  abhängt:

$$(1)$$

Der Temperaturkoeffizient bei Platin beträgt  $\alpha = 3,9855 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$ . Der Wider-

stand bei 0°C ist  $R_0 = 1,0\text{k}\Omega$  Die Referenzspannung  $U_0 = 5,0\text{V}$  des MW-Moduls liegt über dem PT1000 und dem in Serie geschalteten Widerstand  $R_1 = 2,0\text{k}\Omega$  (s. Abb. 3). Die Teilspannung  $U(\theta)$  am PT1000 ergibt sich mit  $R_g = R(\theta) + R_1$  zu

$$U(\theta) = U_0 \frac{R(\theta)}{R_g} \quad (2).$$

Zwischen der Temperatur  $\theta$  und der Spannung folgt aus (1) und (2) die Beziehung

$$\theta = \frac{U(\theta)R_1}{(U_0 - U(\theta))R_0\alpha} - \frac{1}{\alpha} \quad (3)$$

Es wurde je ein Sensor zur Messung der Außen- und Innentemperatur angebracht und die Spannungen  $U(\theta)$  dem MW-Modul zugeführt.

**Druckmessung:** Der benutzte Drucksensor HS 21 (Hersteller: Fa. Bosch; Vertrieb: Fa. Conrad [1]; angegebener Druckmeßbereich 200 - 1020 hPa) enthält eine Blase, deren Gestalt der Druck  $p$  bestimmt. Die an der Blase angebrachte Meßbrücke aus piezoresistiven Streifen liefert ein Meßsignal, das eine integrierte Elektronik verstärkt. Ausgegeben wird die zum Druck  $p$  gehörige Spannung  $U(p)$ . Versorgt man den HS 21 mit der Referenzspannung  $U_0 = 5,0\text{ V}$  des MW-Moduls, gilt nach den Angaben des Herstellers die Beziehung für den Druck

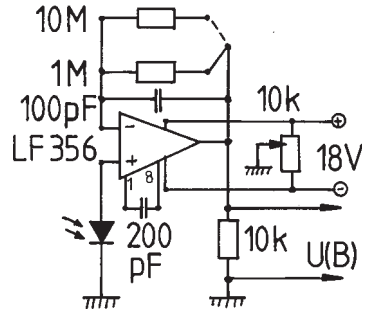
$$p = [124,4 + 188,9 U(p) \text{ V}^{-1}] \text{ hPa} \quad (4).$$

Die vom Sensor gelieferte Spannung  $U(p)$  wird dem MW-Modul zugeführt. Die untere Grenze des Meßbereichs beträgt ca. 175 hPa.

**Messung der Beleuchtungsstärke:** Zur Messung der Beleuchtungsstärke wurden die beiden Photo-Dioden SFH205 und BPX63 eingesetzt, wobei die erste für den IR-Bereich und die zweite für den UV-Bereich zuständig war. Bei der SFH205 (maximale Empfindlichkeit bei 950 nm) schirmt der getönte Diodenkörper das störende Tageslicht ab. Die Diode BPX63 befand sich in einem lichtdichten Gehäuse mit einem UV-Filter als Deckel (Durchlaßbereich ca. 300 - 400 nm). Das Außenlicht gelangte über einen Lichtleiter aus Quarz (durchlässig für UV- und IR-Licht) zu den beiden Dioden im Inneren der Meßbox. Das verstärkte (Schaltung in Abb.4) Diodensignal  $U(B)$  stellte die zur Beleuchtungsstärke  $B$  proportionale Meßgröße dar.

**Nachweis der Höhenstrahlung:** Zur Messung der Höhenstrahlung wurde ein Fensterzählrohr mit Verstärker und Zähl elektronik (GMZ; Hersteller: Fa. Müller; Vertrieb: Fa. Conrad) verwendet. Die vom Analogausgang des Geräts gelieferte Spannung  $U(Z)$  hängt von der Zählrate  $Z$  ab. Vom Hersteller wird der Graph der  $Z$ - $U(Z)$ -Beziehung angegeben [1]. Um die Berechnung der Zählraten durch

Abb. 4: Verstärkerschaltung für die Fotodioden. 18,0 V: Versorgungsspannung, U(B): Ausgangsspannung, B: Beleuchtungsstärke.



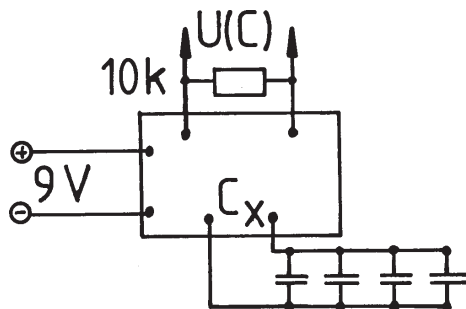
das MW-Modul zu ermöglichen, wurde an die Z-U(Z)-Kennlinie die Parabel  $Z = A[U(Z)]^2 + BU(Z) + C$  angepaßt. Für die Koeffizienten ergab sich dabei:  $A=8,165 \cdot 10^{-5} \text{ Imp s}^{-1} \text{ mV}^{-2}$ ,  $B=3,012 \cdot 10^{-2} \text{ Imp (s mV)}^{-1}$ ,  $C=1,88 \text{ Imp s}^{-1}$ . Durch diese Beziehung läßt sich jeder Spannung U(Z) eine Zählrate Z zuordnen. Angenommen wurde, daß die Styroporwand der Meßbox die Höhenstrahlung nicht absorbiert.

**Messung der relativen Luftfeuchte:** Der Sensor für die relative Luftfeuchte besteht im wesentlichen aus einem geeignet aufgebauten Kondensator (Hersteller: Fa. Philips, Vertrieb: Fa. Conrad), bei dem die Dielektrizitätskonstante des Dielektrikums von der relativen Luftfeuchte abhängt. Um die Nachweisempfindlichkeit zu steigern, wurden vier Sensoren parallel geschaltet und die gesamte Kapazität mit einem Kapazitäts-Meßmodul [1] bestimmt (s. Abb. 5). Die Kapazität der Luftfeuchtesensoren hängt annähernd linear von der relativen Luftfeuchte ab.

Mit einer Reihe von Kondensatoren bekannter Kapazität wurde die Meßanordnung kalibriert, so daß der Zusammenhang zwischen der Spannung U(C) und der Kapazität C bekannt war. Es ergab sich dabei mit guter Näherung  $C = AU(C) + B$  mit den Koeffizienten  $A = 0,8676 \text{ pF mV}^{-1}$  und  $B = -29,39 \text{ pF}$ .

**Der Ballon:** Als Füllgas wurden ca.  $20 \text{ m}^3$  Helium verwendet. Die Auftriebskraft betrug ohne Meßbox ca. 25 N. Nach dem Anhängen der Meßbox (Ge-

Abb. 5: Messung der relativen Luftfeuchte. C: Kapazität der Kondensatoren, U(C): Ausgangsspannung am Kapazitäts-Meßmodul.



wicht: ca. 10 N) stellte sich als mittlere Aufstiegs­geschwindigkeit ca. 225 m/min ein. Während des Aufstiegs herrschte eine stabile Wetterlage mit geringer, mit der Höhe leicht zunehmender Windgeschwindigkeit, so daß der Fundort der Meßbox vom Startpunkt nur ca. 30 km weit entfernt war. Die Windrichtung drehte sich mit zunehmender Höhe von Ost nach West, so daß sich die Meßbox nach dem Start für kurze Zeit nach Westen bewegte und anschließend nach Norden driftete. Sie überflog den Raum Erlangen-Nürnberg und landete, vom Startort aus gesehen, in östlicher Richtung.

**Auswertung:** Die Spannung des 12 V-Batteriesatzes (8 Zellen mit jeweils 1,5 V) zur Versorgung des MW-Moduls und des Senders fiel von ca. 11 V beim Start auf ca. 9 V beim Erreichen der Gipfelhöhe. Die Schaltungen waren so ausgelegt, daß diese Schwankung der Versorgungsspannung die Messungen nicht beeinflusste.

Der mit Hilfe der Meßbox übermittelte Datensatz enthielt neben den Meßwerten auch die nach dem Start verstrichene Zeit  $t_i$ . Den einzelnen Zeitpunkten  $t_i$  mußten bei der Auswertung zunächst die Höhen  $h_i$  zugeordnet werden. Dazu wurde die Beziehung

$$\Delta h_i = - \frac{RT_i}{gM_m} \frac{\Delta p_i}{p_i} \quad (5)$$

benutzt.  $\Delta p_i$  ist die zur Höhendifferenz  $\Delta h_i$  gehörende Abnahme des Luftdrucks,  $p_i$  der mittlere Druck und  $T_i = (\theta_i \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} + 273)$  K die mittlere Temperatur am Rand der betrachteten Luftschicht. Die Werte für die Konstanten sind: die allgemeine Gaskonstante  $R = 8,83144 \cdot 10^3 \text{ J K}^{-1} \text{ kmol}^{-1}$ , die Erdbeschleunigung  $g = 9,81 \text{ N kg}^{-1}$  und die mittlere molare Masse für Luft  $M_m = 28,8 \text{ kg kmol}^{-1}$ . Ein Tabellenkalkulationsprogramm berechnet schrittweise die zu den Zeitpunkten  $t_i$  gehörenden Höhen  $h_{i+1} = h_i + \Delta h_i$  aus den übermittelten Meßwerten. Das Ergebnis dieser Berechnungen für die Aufstiegs- und die Landephase bis zur Höhe von ca. 14 km zeigt Abb. 6. Zur Beschreibung des weiteren Aufstiegs bis zur Gipfelhöhe wurden für beide Flugphasen an die Meßpunkte jeweils Kurven vom Typ  $h(t) = (At + B)^c$  ( $t$ : Zeitkoordinate;  $h$ : Höhenkoordinate) angepaßt. Angenommen wurde, daß die angepaßten Funktionen den Ballonaufstieg auch oberhalb von ca. 14 km mit ausreichender Näherung beschreiben. Die nun bekannte Zuordnung zwischen Flugzeit und Höhe ermöglichte es, die Meßwerte über der Steighöhe  $h$  anzutragen (s. Abb. 7 - 10). Aus dem Schnittpunkt der angepaßten Funktionen ergibt sich die vom Ballon erreichte Gipfelhöhe von ca. 28 km.

**Druck:** Das Ergebnis der Druckmessung ist in Abb. 7 dargestellt. Es zeigt sich der zu erwartende, exponentieller Abfall des Drucks mit der Höhe. Nach unterschreiten der unteren Meßgrenze 175 hPa des Sensors wird ein konstanter Wert angezeigt, der keine Aussagekraft hat.

**Temperatur:** Die Temperatur als Funktion der Steighöhe läßt sich aus Abb. 8 entnehmen. Die Außentemperatur lag beim Start bei ca.  $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$ , unterschritt in ca. 3,4 km Höhe die  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ -Marke und ging in ca. 12 km Höhe bis auf ca.  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$  zurück. Die abgedichtete Styroporwand und die Verlustleistung der elektrischen Komponenten in der Meßbox verhinderten das Absinken der Innentemperatur auf Werte unterhalb von  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

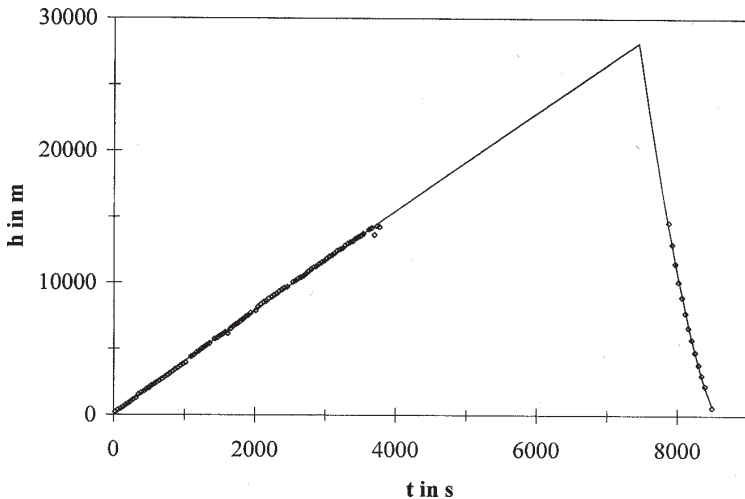


Abb. 6: Steighöhe  $h$  in Abhängigkeit von der Zeit  $t$ . An die Meßpunkte sind Kurven vom Typ  $h(t) = (At + B)^c$  angepaßt.

Der außen angebrachte Temperatursensor zeigte die  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ -Grenze für ca. 3,4 km Höhe und den Beginn der Tropopause für ca. 12 km Höhe an. Der Feuchtesensor registrierte einen deutlichen Anstieg der relativen Luftfeuchte im Höhenbereich 3,7 - 5,8 km. Für die Ausbildung einer Wolkenschicht reichte das jedoch nicht aus, wie man der Abb. 2 entnehmen kann. Die beim Start sichtbaren transparenten Wolken lösten sich während des Aufstiegs auf. Die Ergebnisse stimmen mit Messungen eines Wetterballons überein, der ca. 100 km östlich und ca. 3 Stunden früher aufgelassen wurde: Die  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ -Grenze befand sich bei diesem Aufstieg in ca. 3,6 km Höhe und der Beginn der Tropopause in ca. 12 km Höhe. Die Voraussetzungen für die Bildung von Wolken waren in den Höhen 3,8 - 4,8 km gegeben.

**Lichtstärke:** Die Lichtsensoren registrierten eine konstante Beleuchtungsstärke vom Start bis zum Erreichen der Gipfelhöhe. Es zeigte sich kein Unterschied zwischen den gewählten Spektralbereichen.



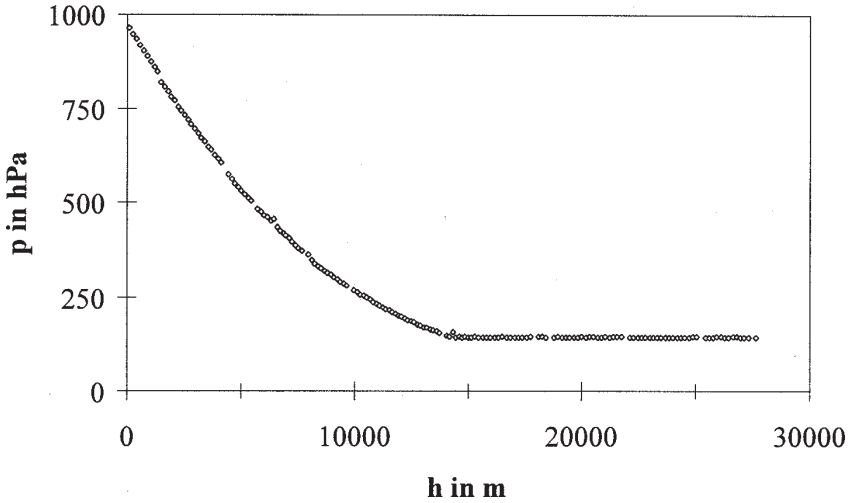


Abb. 7: Abhängigkeit des Luftdrucks  $p$  von der Steighöhe  $h$  des Ballons

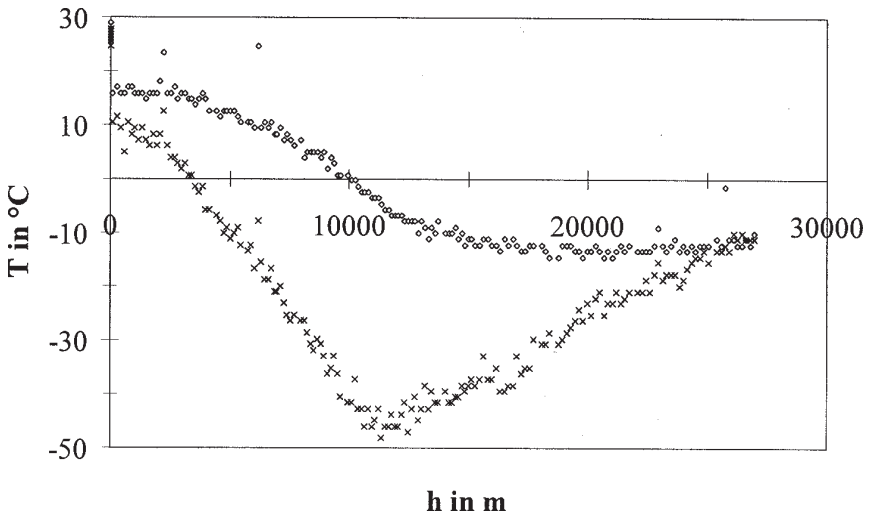


Abb. 8: Abhängigkeit der Temperatur  $T$  von der Steighöhe  $h$ . x : Außentemperatur,  $^{\circ}$ : Innentemperatur

**Relative Luftfeuchte:** Die Kapazität der Feuchtesensoren hängt annähernd linear von der relativen Luftfeuchte ab. Abb. 9 zeigt qualitativ den Verlauf der Luftfeuchte beim Aufstieg. Bemerkenswert ist der Anstieg der Werte in der Höhe von 3,7 - 5,8km.

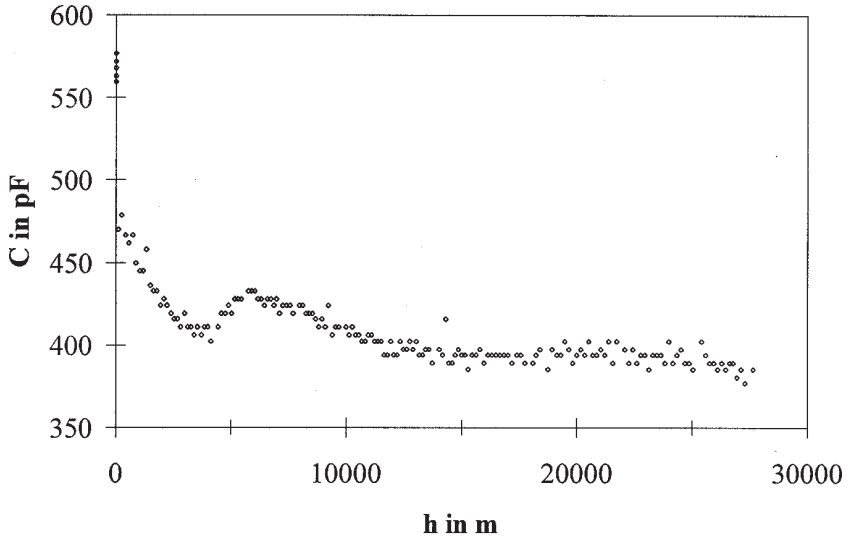


Abb. 9: Abhängigkeit der Kapazität  $C$  der Feuchtesensoren von der Höhe  $h$

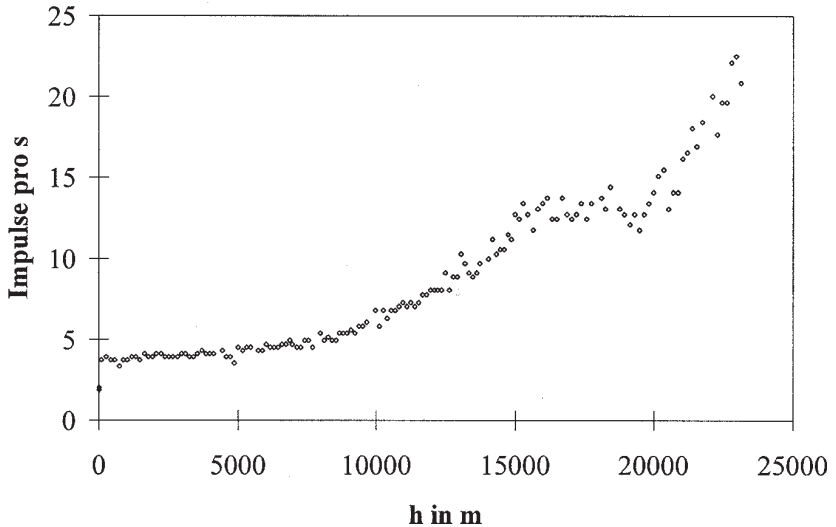


Abb. 10: Abhängigkeit der Zählrate des GMZ von der Höhe  $h$ .

**Höhenstrahlung:** Die Zählrate des GMZ gibt Auskunft über die Höhenstrahlung, die in Abb. 10 als Funktion der Höhe wiedergegeben ist. Von den Zählraten muß man die Nullrate von  $C = 1,88$  Imp/s abziehen. Die Zählraten wachsen kontinuierlich bis zu ca. 22 Imp/s (ohne Nulleffekt) in ca. 24 km Höhe an. Der

dann auftretende Sprung zu deutlich höheren Werten ist vermutlich auf Meßfehler zurückzuführen, die auf eine nicht mehr ausreichende Versorgungsspannung des GMZ zurückzuführen ist. Die Meßwerte nach dem Sprung wurden daher nicht berücksichtigt.

Die Höhenstrahlung hat unterschiedliche Ursachen. Sie wird durch die Atmosphäre so weit abgeschirmt, daß die zugehörige Zählrate an der Erdoberfläche nur noch ca. 1 Imp/s beträgt. Die in der Höhe von ca. 23 km gemessene Zählrate von ca. 22 Imp/s liegt in der gleichen Größenordnung, wie sie auch bei Flügen in größeren Höhen nachgewiesen wird [5].

### 3 **Schlußbemerkung**

Die Vorbereitung des Ballon-Projektes besorgte eine Arbeitsgruppe, die sich aus Teilnehmern des Leistungskurses Physik zusammensetzte, zum großen Teil während der unterrichtsfreien Zeit. Die praktischen Probleme, die bei den einzelnen Arbeitsschritten anfielen, erforderten es, das Wissen aus verschiedenen Teilgebieten der Schulphysik anzuwenden. Der Ballonaufstieg im Juli 96 leitete den "Tag der offenen Tür" am Gymnasium Roth (Bayern) ein. Im Rahmen dieser Veranstaltung verfolgte eine Gruppe von Amateurfunkern den Aufstieg des Ballons, projizierte die übermittelten Meßwerte und demonstrierte die Ortung der Meßbox durch Funkpeilung, bei der sich weitere Amateurfunkstationen aus der näheren Umgebung Roths beteiligten.

Ohne die tatkräftige Unterstützung in Form von Hardware, Ratschlägen und Hinweisen wäre eine so vielschichtige Mission in der zur Verfügung stehenden Zeit nicht zu realisieren. Gedankt sei allen, die zur Durchführung der Ballon-Mission beigetragen haben. Besonderer Dank gebührt den Herren Lipps, Böker und Thienelt (Mitglieder des AATiS), den Mitarbeitern des Geophysikalischen Meßzugs, Amberg und Herrn Meisner (Fa. Siemens, Erlangen) für das gespendete Helium.

### 4 **Literatur**

- [1] Fa. Conrad, Hirschau: Betriebsanleitungen, Datenblätter für das GMZ MR 9511, Kapazitäts-Meßmodul, Drucksensor HS 21, Feuchtesensor;
- [2] Farber H.U.: Wie genau ist die barometrische Höhenformel ?; PdN-Ph, 5(42), S. 16 (1993)
- [3] Lipps W. (Hg.): Praxisheft 5 für Amateurfunk und Elektronik in der Schule; AATiS, Harsum (1996)
- [4] Roedel W.: Physik der Umwelt - Die Atmosphäre; Springer, Berlin (1992)
- [5] Volkmer M.: Belastung durch ionisierende Strahlen bei Langstreckenflügen; NiU-Ph; 32(7), S. 40 (1996), (Adresse für weitere Informationen: Gymnasium, Brentwoodstr. 4, 91154 Roth)