

Ausarbeitung

Projekt „Strato-Fische“

Frederik Georgius



Erik Prescher

Schüler des Jahrgangs 11 der Cäcilienchule Wilhelmshaven

Betreuende Mitglieder

Thomas Eberhardt, Lehrer an der
Cäcilienchule

Christoph Friedrich, ehemaliger Schüler und
Geoinformatik-Student an der Universität Münster

Website: www.strato-fische.jimdo.com

Kontakt: strato.fische@web.de

Die Betrachtung der Höhenradioaktivität

Inhalt

1	Projektbeschreibung.....	1
2	Unsere Mission	1
3	Die Höhenberechnung.....	2
4	Die Auswertung der Messergebnisse	8
4.1	Was ist Radioaktivität – eine Einführung in das Thema	8
4.2	Hypothese	9
4.3	Lage, Aufbau und Funktionsweise des Messgeräts für Radioaktivität.....	9
4.4	Umstände der Betrachtungen.....	9
4.5	Betrachtung der Messergebnisse in Bezug auf die Hypothesen	10
5	Ausblick.....	17

1 Projektbeschreibung

Unser Jugend-forscht-Projekt basiert auf unserem Schülerprojekt der Cäcilien- und Wilhelmshaven. Dieses Projekt widmete sich im Zuge der Teilnahme an dem Wettbewerb „StratoSat“ der Ludwig-Maximilians-Universität München der Planung, Konstruktion und Startes eines Wetterballons mitsamt Nutzlast, welche mit Sensoren und Kameras auszustatten war. Die Schülergruppe (der damalige Informatikkurs des zehnten Jahrgangs) bewarb sich im Januar 2017 für die Wettbewerbsteilnahme und erhielt im Februar die Zusage. In den darauffolgenden Monaten wurden Sponsoren gesucht, die Nutzlast konstruiert, die Genehmigungen etc. eingeholt und das Ballongas besorgt. Nach mehreren Startversuchen vor den Sommerferien und nach den Sommerferien 2017, die aufgrund von zu unbeständigem Wetter abgebrochen werden mussten, war es dann letztlich am 16. August möglich den Wetterballon auf dem Banter-See-Park in Wilhelmshaven um 12:19 Uhr zu starten. Der Ballon flog 2:56:44 Stunden und die Nutzlast sammelte währenddessen Daten über Temperatur (inner- und außerhalb der Nutzlast), Luftfeuchtigkeit, Luftdruck, Anzahl der Zerfälle, Beleuchtungsstärke und UV-Intensität. Der Ballon mitsamt Nutzlast wurde um 19:07 Uhr in der Nähe von Stade gefunden. Unsere Gruppe, bestehend aus fünf Schülern, befasste sich seitdem mit der Auswertung der Daten und hat Ende November die 60-seitige Ausarbeitung an die Wettbewerbsleitung des StratoSat-Wettbewerbs geschickt. Im Zuge der weiterführenden Teilnahme am Jugend-forscht-Wettbewerb teilte sich diese Gruppe in zwei kleinere ein. Eine der Gruppen nimmt nun im Bereich der Geo- und Raumwissenschaften teil, die andere in dem Bereich Physik.

2 Unsere Mission

Die Mission, welche wir in dem Bewerbungsexposé für den StratoSat-Wettbewerb erklärten, war es die SenseBox, ein von der Arbeitsgruppe "SenseBox" des Instituts für Geoinformatik der Universität Münster entwickeltes Sensorboard zum privaten Aufbau, Programmieren und wissenschaftlichen Aufbau, in der Stratosphäre zu testen. Dazu wurden verschiedene Sensoren an die SenseBox gebaut, welche während des Fluges Daten sammelten. Diese Daten wurden nach dem Start und der Landung ausgewertet.

Die SenseBox basiert auf Arduinoboard und -programmierung. Zusätzlich zu der eigens von uns programmierten SenseBox erhielten wir von der Wettbewerbsleitung ein schon fertiges Sensorboard, welches Luftdruck, -feuchtigkeit und -temperatur misst. Die SenseBox sammelt neben diesen Daten auch die radioaktive Aktivität mit einem Geiger-Müller-Zählrohr, die Beleuchtungsstärke und die UV-Intensität. Das Geiger-Müller-Zählrohr ist ein weiteres technisches Gerät in unserer Nutzlast, welches mit der SenseBox verbunden war.

Die Nutzlast selbst bestand aus einer Styroporbox (Höhe, Breite, Länge: 18 cm, 21,5 cm, 21,5 cm), in welcher die beiden Sensorboards, vier Kameras (zwei Actionkameras und zwei Knopfkameras) und vier externe Akkus (Powerbanks) waren. Für die Sensoren der beiden Boards und für die Kameras waren Kabelschächte bzw. Löcher für die Linsen im Styropor. Die Löcher und Schächte wurden jedoch durch die Kabel und Linsen nahezu ausgefüllt.

3 Die Höhenberechnung

Da während des Fluges unser GPS-Sensor oberhalb von 10 km Höhe logischerweise keinen Empfang mehr hatte, ist eine lückenlose Bestimmung der Höhe darüber nicht möglich. Bereits in einigen Höhenintervallen unterhalb der Stratosphäre konnten wir nachweisen, dass unser Höhensensor teilweise fehlerhafte Werte speicherte.

Deshalb hat sich unser Team der Findung einer für uns möglich exakten Höhenformel angenommen.

Während des Wetterballonfluges wurde selbstverständlich über die gesamte Flugzeit der Luftdruck gemessen. Da unsere beiden Drucksensoren fehlerfrei arbeiteten, ergab sich die Möglichkeit anhand dieser Daten, die Höhen zu errechnen.

Zu allererst wurde nach Formeln zur Berechnung der Höhe in Abhängigkeit des Luftdruckes recherchiert, um alle anderen Messwerte in Abhängigkeit der Höhe betrachten zu können. Dabei nutzten manche Formeln nur den Temperaturgradienten und andere nutzten Druck, Temperatur und auch die Startwerte dieser Größen. Doch relativ schnell fiel der Blick auf die internationale, sowie die barometrische Höhenformel. Jedoch liefern beide Formeln nur bis etwa 10.000 m gute Näherungswerte. Dies bestätigt auch ein Vergleich der Formeln, welche ab 10.000 m stark voneinander abweichen.

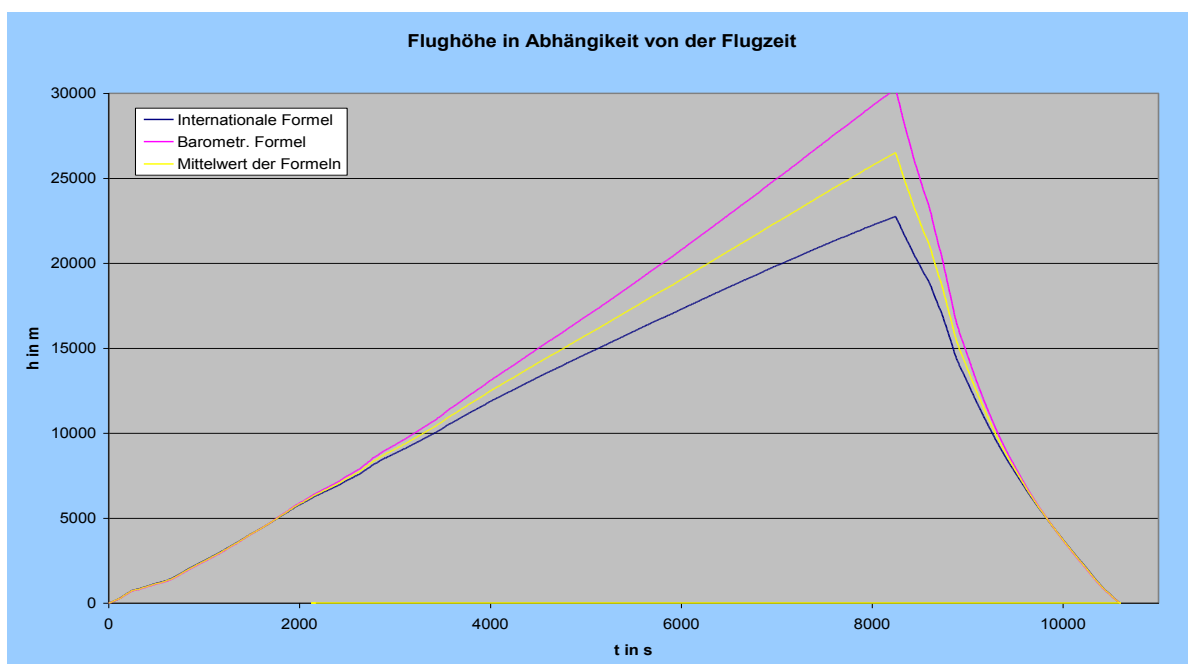


Diagramm 1

Es wurde versucht, mit verschiedensten Methoden, eine optimale Formel zu finden. Um eine passende Höhe zu berechnen, kam in Betracht, den Mittelwert der jeweiligen Funktionswerte für den jeweiligen Luftdruck zu bilden. Im Diagramm 1 ist deutlich zu erkennen, wie im Verlaufe unseres Fluges die aus unseren Druckwerten errechneten Höhenwerte beider Formeln ab 10 km Flughöhe relativ stark divergieren. Nach der barometrischen Höhenformel erreichten wir eine Flughöhe von über 30 km, während wir nach der internationalen Formel nur eine Höhe von etwa 22 km erreichten. Der gelb dargestellte Mittelwert beide Formeln stellte unsere erste Verbesserung dar.

Doch dies erschien als keine sinnvolle Idee, da ein eindeutiger Bezug zu einer der Formeln nicht begründbar wäre. Eine weitere Möglichkeit, die Formel zu finden, welche auch noch ab 10.000 m zuverlässige Werte liefert, bot sich erst nach ein paar Wochen der Recherche. In dieser Zeit wurden mehrere Institute und Wetterforscher kontaktiert und zu ihrer Bestimmung der Höhe nach dem Luftdruck befragt. Dabei gaben die meisten, darunter auch die Luftfahrtbehörde und Wetter-Online, an, sie würden immer die barometrische Formel nehmen. Jedoch messen solche Institute und Organisationen nie (oder äußerst selten) über 10.000 m, da es für Wetterprognosen nicht relevant ist. Somit war man wieder am Anfang der Auswertung und es wurde versucht durch Vergleichen mit der Steiggeschwindigkeit, einer der Formeln als falsch zu entlarven. Dies blieb ohne Erfolg.

Einige Zeit nach der Recherche war es durch einen Kontakt mit der „University of Wyoming“ möglich, auf eine Datenbank zuzugreifen, die für unseren Startzeitraum und unsere Region verlässliche Höhen- und passende Druckwerte beinhaltete. Durch einen Vergleich der Messwerte mit den theoretischen Funktionswerten der barometrischen und der internationalen Formel und des bisher gebildeten Mittelwertes, wurde ersichtlich, dass die Mittelwerte bisher am exaktesten das Verhältnis von Luftdruck und Höhe zu unserem Startzeitraum in unserer Region beschrieben, wobei die Genauigkeit für uns noch nicht zufriedenstellend war.

Um nun eine Formel aus den echten Messwerten zu bilden, war es notwendig, eine Regressionsanalyse durchzuführen. Da der Luftdruck bekanntermaßen von der Höhe exponentiell abhängt, war es logisch, für die Höhenberechnung als Umkehrfunktion eine logarithmische Regression zu verwenden.

Zunächst wollten wir die Ungenauigkeiten der bekannten Formeln für unsere Messwerte im Bereich der Stratosphäre oberhalb von 10 km beseitigen und eine eigene bessere Formel ermitteln. Das untere Diagramm 2 zeigt deutlich, wie stark die bekannten Formeln dort von den tatsächlichen Messwerten abweichen. Selbst eine erste logarithmische Regression mit allen Messwerten aus dem Bereich der Stratosphäre lieferte bereits eine signifikant bessere Formel. Bei weiteren Überlegungen stellte sich heraus, dass die Güte unserer ermittelten Formel auch davon abhängt, ab welchem Wert man die Regression startet. Dazu wurden

logarithmische Regressionen ab verschiedenen Druckwerten durchgeführt. Für jede Regressionsformel wurden dann die Funktionswerte mit den realen Werten verglichen und die prozentualen Abweichungen betrachtet.

Wie in den Beispielen der Tabelle 1 ersichtlich wird, war der Startwert, also ab welcher Höhe mit dem passenden Druck die Regression begonnen wurde, sehr entscheidend.

Ab 500 hPa	Ab 250 hPa	Ab 100 hPa
Mittelwert der Abweichung aller Werte oberhalb von 10000m		
1,08%	0,19%	0,13%
Maximalwert der Abweichung aller Werte oberhalb von 10000m		
3,92%	0,89%	0,52%

Tabelle 1

Nach einigen Regressionen und Güteanalysen, stellte sich heraus, dass, wenn ab einem Druck von 250 hPa die Regression angewendet wurde, die genaueste Formel ausgegeben wurde.

Bei allen Werten oberhalb von 10 km Höhe lag die durchschnittliche Abweichung der Funktionswerte unserer ermittelten Formel $H(p) = -6508,3 \cdot \ln(p) + 46480$ unter 0,2 %.

Sogar die maximale Abweichung unserer Formelwerte von den realen Höhen lag noch unter 0,9 %.

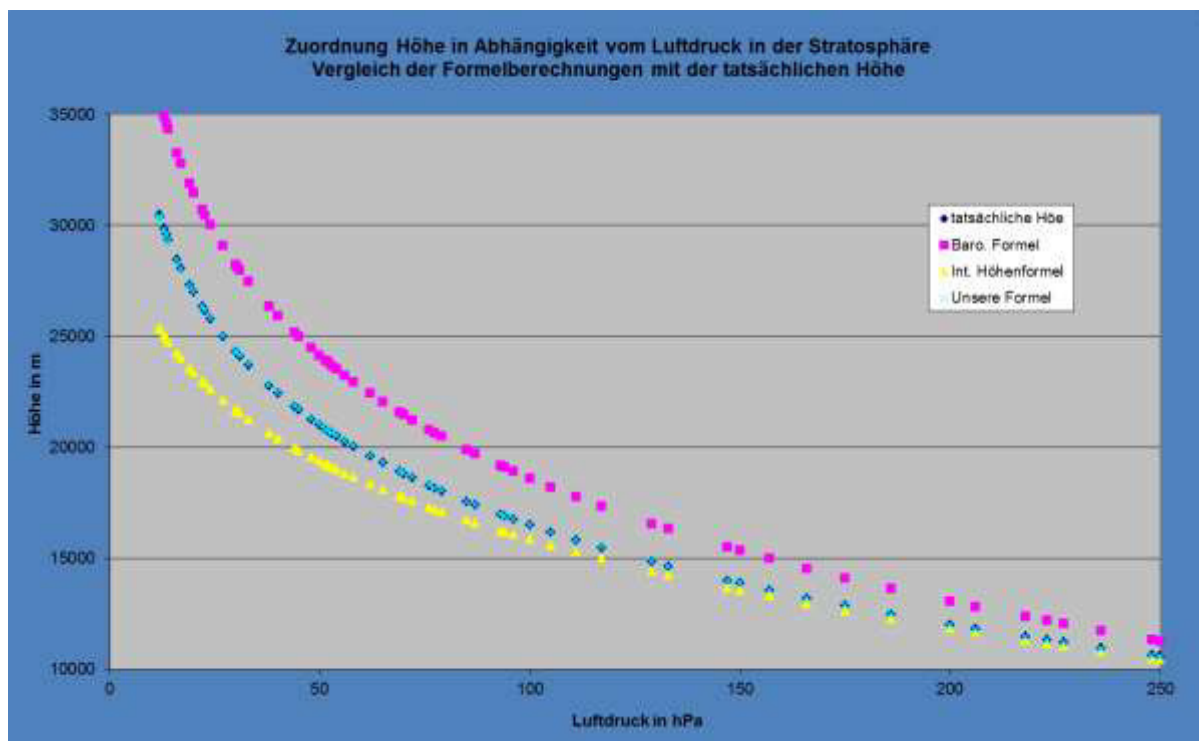


Diagramm 2

Im Diagramm 2 sind die Funktionswerte aller betrachteten Formeln mit den tatsächlichen Höhenwerten der zur gleichen Zeit von Schleswig gestarteten Radiosonde ab einem Druck von 250 hPa verglichen.

Alle Werte über 250 hPa, welche etwa ab 10000 m gemessen wurden, passten optimal zu den Messwerten.

Da der Graph für die barometrische Formel bei 250 hPa nicht stetig an unseren Funktionsgraphen anschließt (Abweichung ca. 600m), musste die barometrische Formel durch einen Faktor gestreckt werden. Dadurch erhielt man eine Formel, die an die Funktionswerte der Regression bündig anschließt.

Bis 250 hPa wurde zunächst die gestreckte barometrische Höhenformel $H(p) = -8000 * \ln\left(\frac{p}{p_{\text{Startwert}}}\right) * (0,939)$ verwendet, welche bei näherer Betrachtung allerdings eine prozentual deutlich höhere Abweichung von den realen Messwerten aufwies, als die eigentliche barometrische Formel. Im Folgenden wurde nach einer Formel mit mindestens der gleichen geringen Abweichung wie bei der barometrischen Formel selbst gesucht, die bei 250 hPa 10.600 m angibt, um keine oder eine möglichst geringe Stufe eines Übergangs zu generieren.

Jeder Wert, welcher mit der barometrischen Formel ausgerechnet worden ist, wurde nun mit den „wahren“ Werten verglichen. Durch eine Quotientenbildung ergab sich ein Korrekturfaktor, der natürlich für jeden Druckwert in der Nähe von 1 lag, da die barometrische Formel unter 10 km ja bekanntermaßen sehr nahe an den tatsächlichen Werten liegt.

In diesem Diagramm ist ein linearer Zusammenhang vom Korrekturfaktor und den Luftdruckwerten der Radiosondenmessung zu erkennen. Der Faktor wird in größeren Höhen offensichtlich niedriger.

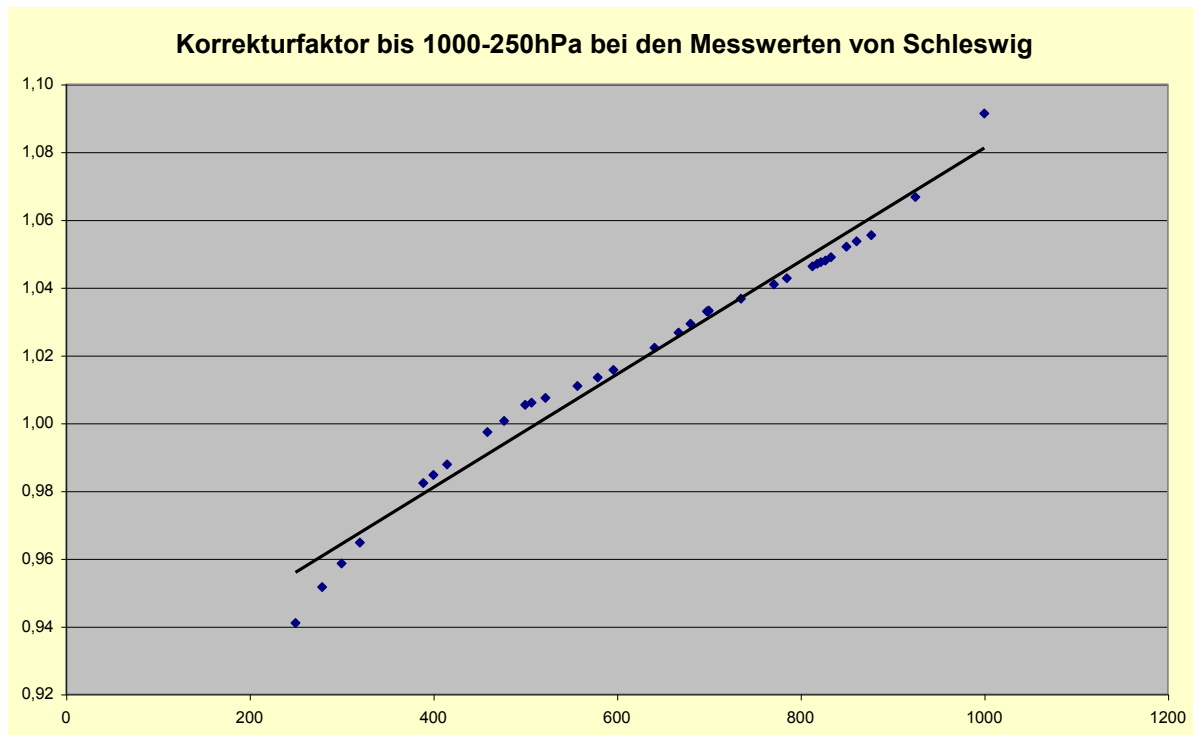


Diagramm 3

Wir führten eine lineare Regression für verschiedene vergleichbare Radiosonden-Messungen durch. Da der Anstieg sehr flach war, gab das genutzte Tabellenkalkulationsprogramm für den Anstieg stets Werte von 0,0001 oder 0,0002 zurück. Die Genauigkeit ist bei diesem Programm offensichtlich begrenzt. Also wurde die Regression durch schrittweises Probieren optimiert, wobei mit dem Anstieg des Programmes begonnen wurde und dieser dann systematisch geändert wurde. Dabei wurde als Gütekriterium wieder die Änderung der prozentualen Abweichungen zwischen Formelwert und tatsächlichem Messwert betrachtet. Je nach betrachteter Messreihe erhielt man einen anderen optimalen Funktionsterm, wobei die Anstiege dabei immer zwischen den Berechnungen des Tabellenkalkulationsprogramms 0,0001 und 0,0002 lagen. Durch den Gesamtvergleich der Abweichungen mit allen betrachteten Messreihen wurden für den Startzeitraum bei Höhen unter 10 km folgender optimaler Korrekturterm ermittelt: $f(p) = 0,0001235 * p + 0,942$. Dieser Korrekturterm konnte nun an die Stelle der ursprünglichen Konstanten 0,939 gesetzt werden, was dann sogar die Ergebnisse der barometrischen Höhenformel signifikant verbesserte.

Um die Stelle für einen stetigen Übergang zwischen beiden optimierten Formeln zu ermitteln, musste man nun nur beide Formeln gleichsetzen und die Schnittpunkte ermitteln.

Die berechnete Übergangsstelle lag bei etwa 380 hPa.

Es ergab sich also für den ersten Abschnitt unseres Fluges bis zu einem Luftdruck von 380 hPa

die Formel $H(p) = (-8000 * \ln(P/StartP)) * (0,0001235 * P + 0,942)$.

Für geringere Druckwerte wurde dann die Formel $H(p) = -6508,3 * \ln(p) + 46480$ genutzt.

Diese ermittelten Formeln lieferten bei unserer konkreten Mission die Möglichkeit, die tatsächlichen Flughöhen aus unseren Druckmesswerten sehr genau zu berechnen.

4 Die Auswertung der Messergebnisse

Im Folgenden werden die Messergebnisse betrachtet. Darüber hinaus geschieht eine Einführung in das Thema der Radioaktivität und die Beschreibung der Umstände der Messungen.

4.1 Was ist Radioaktivität – eine Einführung in das Thema

Die Geschichte der Radioaktivität fing mit Henri Becquerel und seiner Entdeckung, dass die Mineralstruktur Pechblende (Uraninit) eine abgedeckte Fotoplatte schwärzen konnte, an. Seine Schlussfolgerung war und ist für unsere Zeit eine große Entdeckung, obwohl die von Wilhelm Röntgen ausgelöste Welle an Forschungen um die Strahlung sie einfach mit sich zog und überschwemmte. Sie wäre vermutlich für lange Zeit untergegangen, wenn nicht die erste Frau, die einen Nobelpreis erhielt, sich weiterer Forschung angenommen hätte. So läuteten Marie Curie und ihr Mann Pierre Curie die Zeit der Radioaktivität ein bis die Entwicklung der Atombombe, ihr Einsatz und Unfälle in Atomkraftwerken ihr gesellschaftlich das Ende bereiteten. Das gesellschaftliche Bild der Radioaktivität ist verseucht von zerstörerischen Gedanken und strahlt schon lange nicht mehr eine glänzende Zukunft ohne Energieprobleme aus. Auch wenn zumeist eine eher kritische Meinung gegenüber diesem Phänomen vorherrscht, ist es zu häufig der Fall, dass nicht einmal die Definition der Radioaktivität bekannt ist. Radioaktivität, so ist sie definiert, ist die Eigenschaft von instabilen Atomkernen ohne externen Einfluss unter Abgabe ionisierender Strahlung sich in andere Atomkerne umzuformen. Pro Zerfall wird dabei ein ionisierendes Teilchen ausgesendet. Diese Strahlung, die letztlich eine schädliche Wirkung auf Leben nehmen kann, wird dabei in gesellschaftlichen Diskussionen fälschlicherweise als Radioaktivität bezeichnet. In den Messungen wurde speziell die Anzahl der Teilchen, also die radioaktiven Zerfälle, pro Zeiteinheit erfasst. Die Möglichkeit, die sich daraus ergibt, ist, die Werte auf Zerfälle pro Sekunde zurückzurechnen. Diese Ergebnisse lassen sich dann in der Einheit Becquerel, welche die Zerfälle pro Sekunde beschreibt, angeben. Die Einheit Becquerel beschreibt definitorisch die Aktivität eines Systems. Diese Aktivität hingegen bezeichnet die radioaktiven Zerfälle pro Zeiteinheit. Die Betrachtung der Messergebnisse in Becquerel ist also sinnvoll. Eine Betrachtung der Messergebnisse in Sievert (im Sinne der Strahlendosis) ist nicht sinnvoll, da man zwar einen Umrechnungsfaktor von Becquerel in Mikrosievert pro Stunde aus den technischen Spezifikationen des Geiger-Müller-Zählrohrs entnehmen kann, jedoch ist dieser Umrechnungsfaktor ein kalibrierter Wert, welcher lediglich bei denselben Umständen gilt, die bei der Kalibrierung galten. Das bedeutet, die radioaktiven Isotope, die dafür genutzt wurden, müssten dieselben sein, damit man den Umrechnungsfaktor nutzen kann. Da man aber keine konkreten Aussagen über die Strahlungsherkunft in der Atmosphäre machen kann, ist die Betrachtung der Strahlendosis nicht sinnvoll.

Des Weiteren muss man sich im Klaren darüber sein, dass die Aktivität mit zunehmender Höhe bis in die Stratosphäre betrachtet wird

4.2 Hypothese

Wie in der bisherigen Einleitung angedeutet, sollten die Zerfälle relativ zur steigenden Höhe zunehmen. Das ließe sich damit begründen, dass die kosmische Strahlung zum größten Teil in der Atmosphäre schon in der Thermosphäre (über der Stratosphäre) abgefangen wird. Dennoch tritt ein Teil der Strahlung weiter durch und verliert sich teilweise auf dem Weg zur Erdoberfläche. Nur ein kleiner Bruchteil erreicht diese und wird dann zur natürlichen Strahlung gezählt. Schlussfolgernd können die Zerfälle relativ zur steigenden Höhe nur zunehmen, da man dem Übergang zum interplanetaren Raum näherkommt.

4.3 Lage, Aufbau und Funktionsweise des Messgeräts für Radioaktivität

Das entsprechende Messgerät für Radioaktivität ist ein Geiger-Müller-Zählrohr, welches sich auf einem speziellen Sensorboard an der SenseBox befand. Das Geiger-Müller-Zählrohr stammt von der Firma Libelium, welche unter anderem Sensoren für Arduinoboards herstellt. Die technischen Spezifikationen sind auf der Website der Firma einzusehen (Quelle: http://www.libelium.com/downloads/documentation/radiation_board.pdf; zuletzt aufgerufen am 14. Januar 2018 um 17:15 Uhr). Laut diesen Spezifikationen detektiert das Geiger-Müller-Zählrohr Beta- und Gammastrahlung.

Diese Apparatur befand sich während des Fluges in der Styroporbox. Die SenseBox loggte ihre Messungen alle 4 bis 5 Sekunden. Das Geiger-Müller-Zählrohr funktioniert klassischerweise wie folgt: In einem Gefäß, welches durch eine angelegte Spannung eine Kathode bildet, dringt ein Strahlungsteilchen ein. Dieses schlägt aus einem Atom des im Gefäß befindlichen Leitergases ein Elektron heraus. Dieses Elektron wird nun zur Anode hin beschleunigt, die sich in der Form eines Drahtes isoliert vom Gefäß im selben befindet. Die Anode gehört zur selben Spannungsquelle wie die Kathode. Das Elektron löst dabei eine Lawine von weiteren Elektronen aus dem Leitergas. Diese Lawine kann vom angeschlossenen Detektor als Spannungspuls erfasst werden. Daraus kann man auf einen Zerfall schließen.

4.4 Umstände der Betrachtungen

Die Nutzlast flog knapp drei Stunden. Der Sensor (Geiger-Müller-Zählrohr) befand sich während des Fluges in der Styroporbox. Der Großteil der gemessenen Strahlung wird also Gammastrahlung sein. Die Erfassung von Betateilchen sollte statistisch deutlich geringer ausfallen, da diese eine geringe Reichweite und Durchdringbarkeit haben. Alphateilchen sollten laut den technischen Spezifikationen des Geiger-Müller-Zählrohrs nicht detektiert

werden. Da sie aber eine noch geringere Reichweite und Durchdringbarkeit haben als die Betaeilchen wäre die statistische Erfassung durch das Geiger-Müller-Zählrohr noch geringer ausgefallen.

Zusätzlich wird eine wissenschaftliche Betrachtung dadurch erschwert, dass diese Messung eine einzelne war und dementsprechend keine Vergleichswerte aus Wiederholungsmessungen vorliegen. Durch die aktuelle Fragestellung dieses Experiments sind auch keine Vergleichswerte in Literaturwerken oder im Internet zu finden. Allerdings sind nachfolgende Messungen geplant. Zudem haben wir die Daten eines anderen Teams desselben Wettbewerbs über die radioaktive Aktivität in der Stratosphäre erhalten und sind in der Lage diese mit unseren zu vergleichen.

4.5 Betrachtung der Messergebnisse in Bezug auf die Hypothesen

Um die Messergebnisse graphisch sinnvoll darzustellen, wurden mehrere Punkt-Diagramme erstellt. Für die erste Betrachtung reicht ein Diagramm, welches die Aktivität in Abhängigkeit von der Flugzeit angibt.

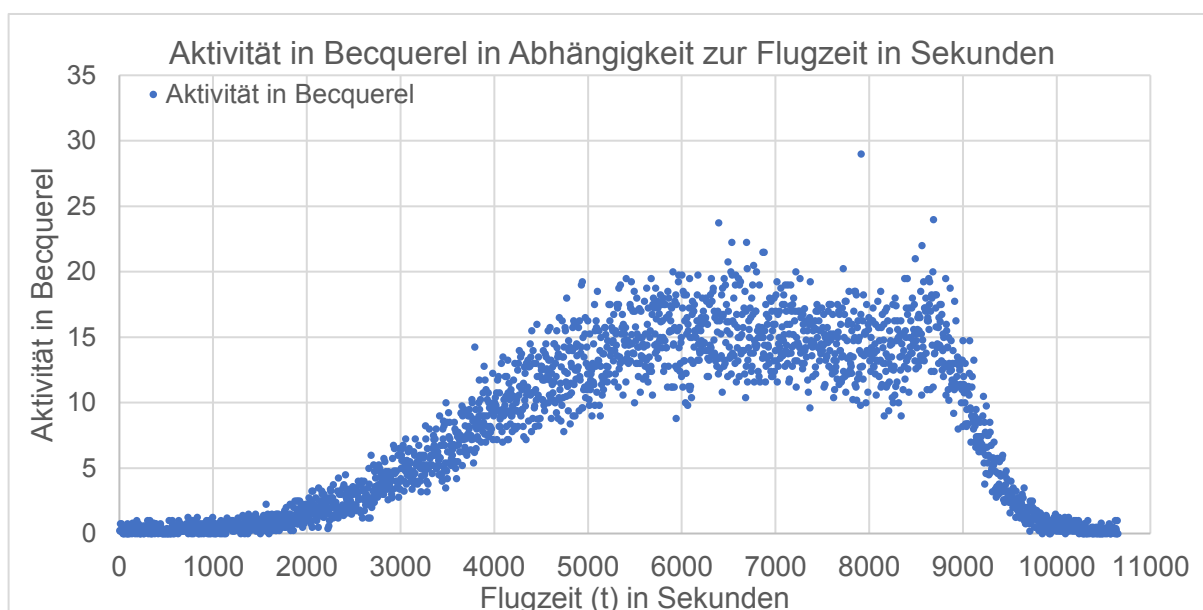


Diagramm 4

Schon hier ist ein klarer Verlauf zu erkennen. Die gemessenen Zerfälle nehmen mit der Zeit zu, erreichen dann einen Wert, um den sie pendeln (etwa ab 5000 s bis knapp 9000 s Flugzeit), und bis die Anzahl der Zerfälle wieder auf die Häufigkeit abfällt, die auch vor bzw. während des Startes am Boden gemessen wurde. In dem Sinne wäre die Hypothese, dass die Aktivität mit zunehmender Höhe (mit zunehmender Zeit nimmt auch die Höhe zu bis der Ballon bei einer Flugzeit von ca. 8200 s platzt) zunimmt, schon bestätigt. Auffällig jedoch ist nun das Plateau, das sich in dem Zeitintervall von 5000 s bis 9000 s befindet. Trotz erheblicher Schwankung ist eine Ballung um bzw. auf einen bestimmten Wert festzuhalten. Insgesamt

erinnert der Verlauf an ein logistisches Wachstum. Des Weiteren werden nun aber Intervalle betrachtet, für welche passenden Regressionen durchgeführt wurden.

Das folgende Diagramm zeigt die Aktivität im Intervall von 0 km bis 16 km und mögliche Regressionen der Daten.

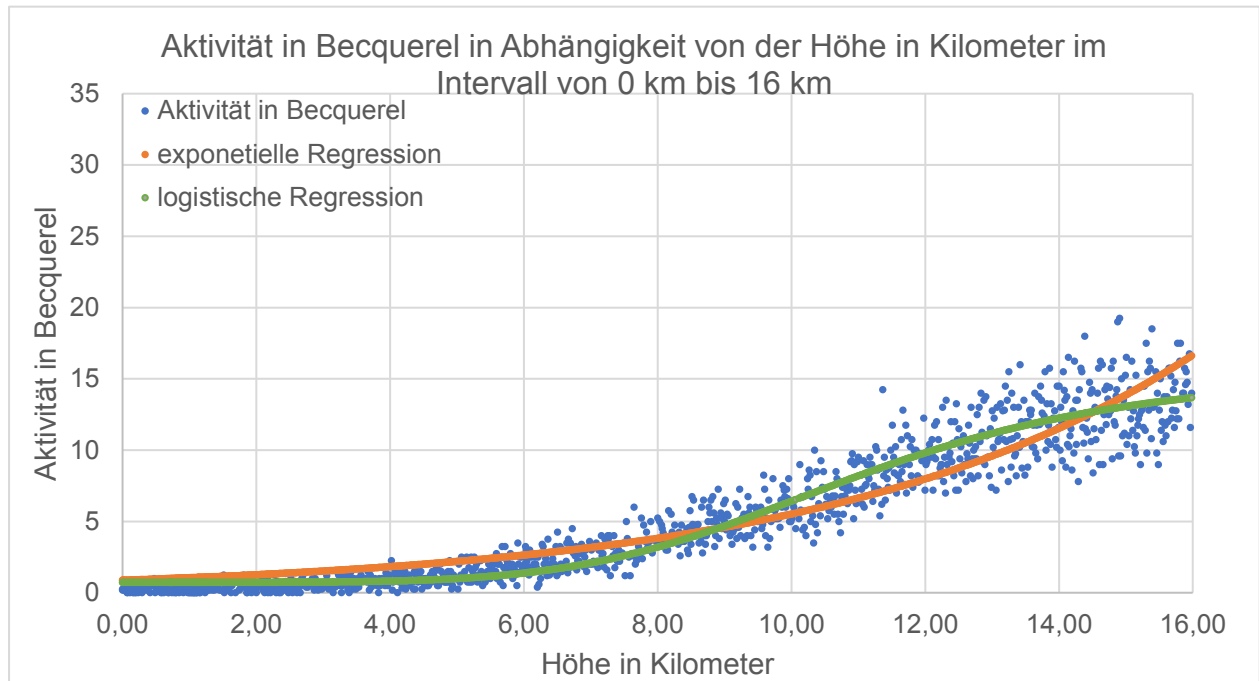


Diagramm 5

Bei der Regression in Orange handelt es sich um eine Exponentialfunktion, welche die Abhängigkeit der Aktivität von der Höhe darstellt. Die Funktion lautet $A(h) = 0,8757 * e^{\frac{h}{5,4306}}$ (wobei „h“ die Höhe in Kilometer und „A“ die Aktivität in Becquerel ist) und ihr Güterwert ist $R^2 = 0,8932$. Jedoch sagt der Güterwert nicht allzu viel aus, da es sich bei der Aktivität um eine statistische Größe handelt. Die Abweichungen von der Kurve können also sehr stark ausfallen. Die grüne Kurve ist die logistische Regression mit der Funktion $A(h) = 15,5767 + (0,7339 - 15,5767) / (1 + (\frac{h}{10,9770})^{5,1049})$ und dem Güterwert $R^2 = 0,9156$. Die logistische Regression hat zwar den besseren Güterwert, scheint im Diagramm jedoch nicht ganz so gut zu passen. Um den Verlauf zu beschreiben, würden für dieses Intervall beide Regressionen ausreichen. Auffällig ist das immer breiter aufgefächerte Feld an Werten mit zunehmender Höhe. Das scheint zuerst logisch, da es sich um eine statistische Größe handelt, die betrachtet wird. Es ist aber insbesondere auffällig, wenn man das nächste Intervall begutachtet.

Dieses Intervall bildet den Aufstieg von 16 km bis 26 km ab, welches wie folgt aussieht:

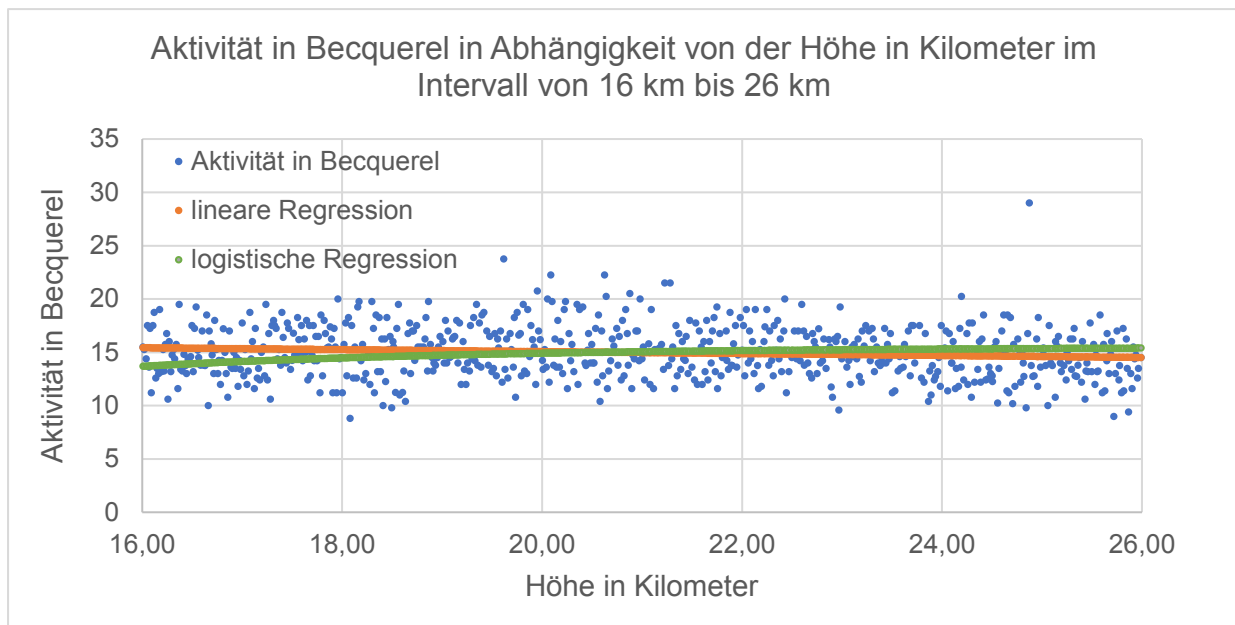


Diagramm 6

Auch hier wurden wieder zwei Regressionen erstellt, um das Verhalten bestmöglich nachzuvollziehen. Auffällig ist hierbei das lineare Verhalten ($A(h) = -0,0917 * h + 16,8997$; $R^2 = 0,0130$). Der Gütewert deutet auf eine schlechte Regression hin. Allerdings zeichnet die lineare Funktion dabei ungefähr den Mittelwert des gesamten Intervalls ab, welcher 14,98 Bq beträgt. Interessant ist, dass die Steigung negativ ist. Dies kann einerseits daran liegen, dass die Aktivität eine statistische Größe ist und die Regression dementsprechend ausgelegt ist, andererseits daran, dass womöglich die Aktivität tatsächlich ab einer Höhe von 16 km sank. Im Bezug zum vorangegangenen Abschnitt ist signifikant, dass hier keine weitere Auffächerung der auftretenden Werte geschieht. Im Gegenteil scheinen sich die Werte um den Mittelwert zu sammeln, sodass kaum ein Wert eine Abweichung davon von ± 5 Bq überschreitet. In Bezug zur logistischen Regression ist zu vermerken, dass am Anfang des Intervalls noch deutlich eine Kurve zu erkennen ist, was bei den tatsächlichen Messwerten nicht der Fall ist. Des Weiteren steigt die logistische Funktion weiter an, während die lineare Funktion sinkt. Da der Abschnitt an sich als linear verlaufend angesehen werden kann, ist der linearen Regression trotz des geringen Gütefaktors eher zu vertrauen. Dies ist vor allem logisch, wenn man den Verlauf unserer Werte mit dem Verlauf der Werte des anderen StratoSat-Teams vergleicht. Eine logistisches Verhalten der Aktivität ist nun schon hier auszuschließen.

Der nächste Abschnitt zeigt das gleiche Intervall für den Abstieg mit einer linearen Regression.

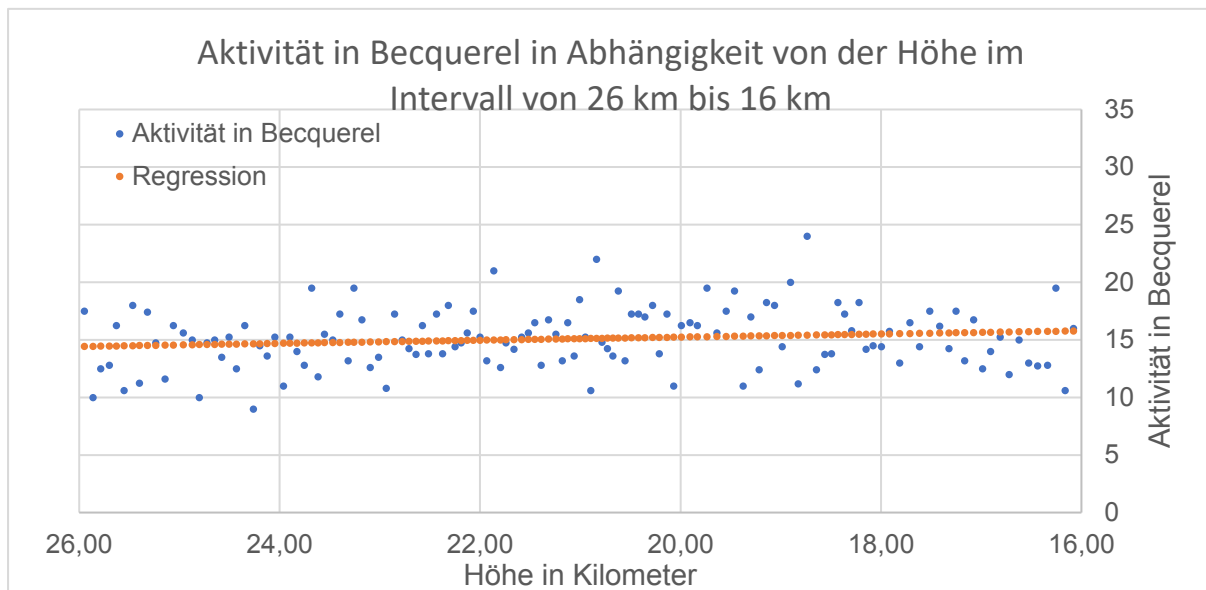


Diagramm 7

Da der Abstieg deutlich schneller vorstättenging, sind weniger Daten in der Zeit gesammelt worden, wie man am Diagramm erkennen kann. Auch hier ist noch das lineare Verhalten zu erkennen. Allerdings steigt die Regressionsgerade mit der Funktion $A(h) = -0,1365 * h + 17,9776$ ($R^2 = 0,0209$) mit abnehmender Höhe, was dem zuvor betrachteten Verlauf entsprechen würde. Die Regressionsgerade zuvor sank mit zunehmender Höhe, sodass sich am höchsten Punkt des Fluges ein lokaler Tiefpunkt bildet, da die Regressionsgeraden sich dort berühren würden.

Abschließend gilt es das letzte Intervall zu betrachten.

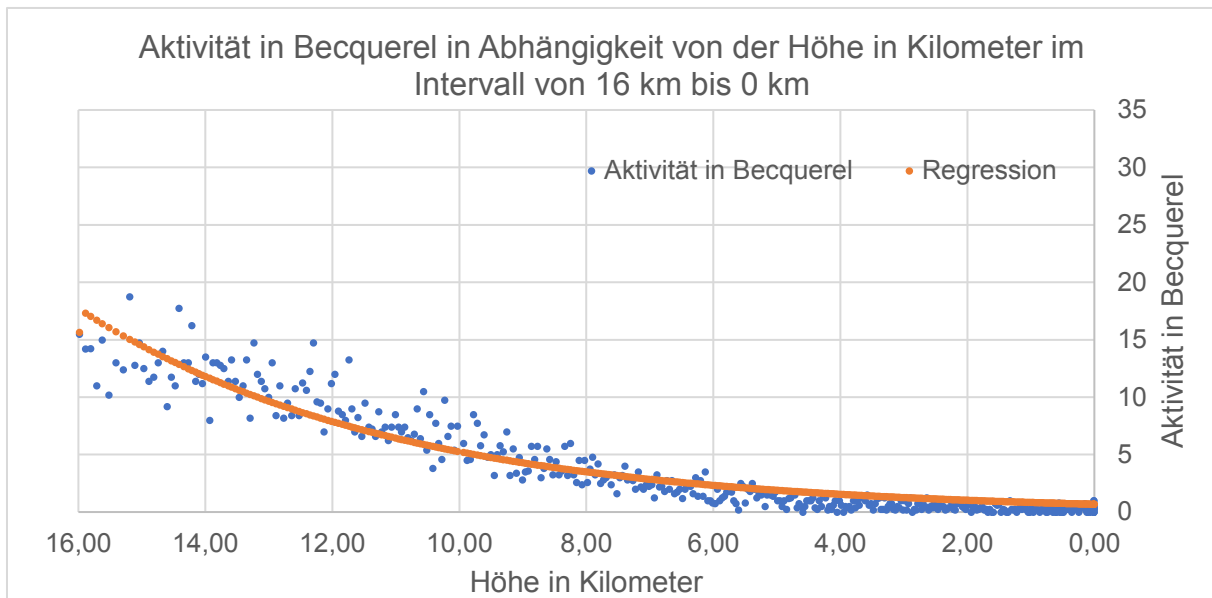


Diagramm 8

Das Intervall lässt sich wieder durch eine Exponentialfunktion ($A(h) = 0,6962 * e^{\frac{h}{4,9443}}$; $R^2 = 0,8991$) beschreiben. Die Aktivität sinkt wieder und die auftretenden Werte bündeln sich bis letztlich die zuvor am Erdboden gemessene Aktivität erneut registriert wird.

Bezüglich der Hypothese ist klar festzuhalten, dass die Aktivität zwar steigt, aber dann einen Maximalwert erreicht. Mit unseren Daten könnte man vermuten, dass es sich um ein logistisches Wachstum handelt, sofern man den Abstieg der Aktivität ab 16 km auf statistische Schwankungen beruht. Bei den Betrachtungen der Messwerte des anderen StratoSat-Teams wird jedoch klar, dass diese Hypothese nicht allgemeingültig sein kann. Des Weiteren kann man durch das gleiche Verhalten in den jeweiligen zueinanderpassenden Auf- und Abstiegsintervallen schlussfolgern, dass es äußere Umstände geben muss, die gewisse Gesetzmäßigkeiten für das Wachstum erzeugen.

Um weitere Informationen zu erhalten, haben wir bei einem anderen Team des StratoSat-Wettbewerbs, welches auch die Aktivität im Verlauf der Atmosphäre gemessen hat, angefragt, ob ein Datenaustausch möglich sei. Wir konnten die Daten austauschen. So ist es uns nun möglich Messungen aus dem Raum Frankfurt am Main und in anderen Höhen zu betrachten. Die Daten stammen vom Team AES-Sattec der Albert-Einstein-Schule (Schwalbach).

Als Erstes wird der gesamte Verlauf betrachtet.

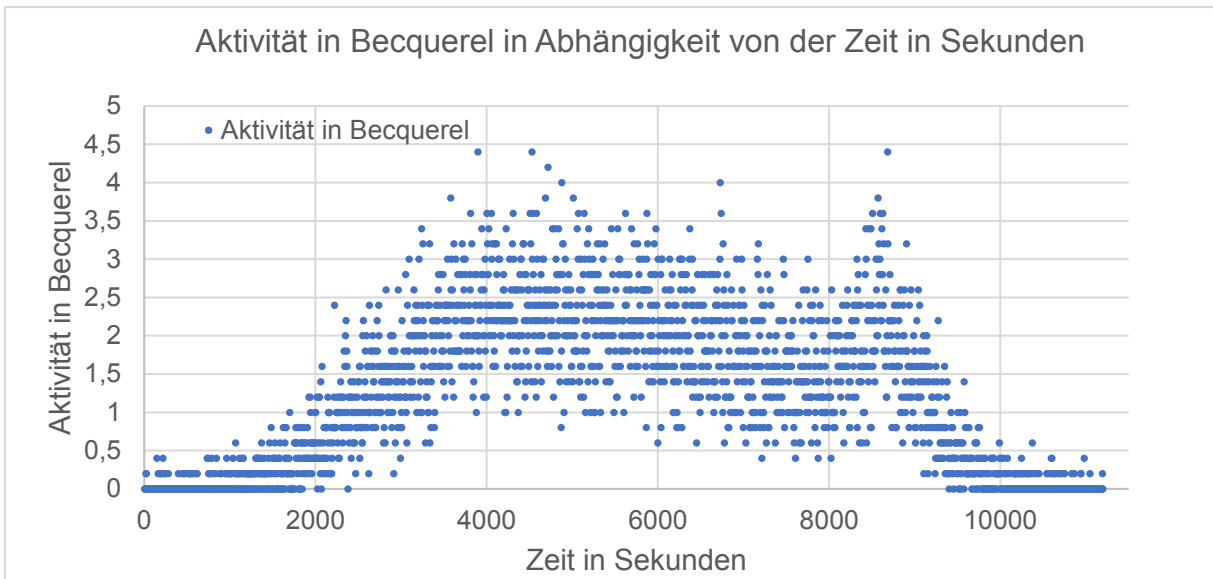


Diagramm 9

Schon hier wird deutlich, dass der Verlauf zu unserem Verlauf markante Unterschiede aufweist, auf die nun kurz eingegangen wird. Im Allgemeinen ist zu erkennen, dass die Werte für die Aktivität um ein Vielfaches geringer sind als bei unseren Messungen (vgl. Diagramm 1).

Das Diagramm zeigt das erste Intervall von 0 km bis 17 km. Hier wurden schon die Intervallgrenzen angepasst, da sich der Verlauf länger durch eine Exponentialfunktion (s.

Regression: $A(h) = 0,1713 * e^{\frac{h}{6,0403}}$; $R^2 = 0,7650$) beschreiben lässt.

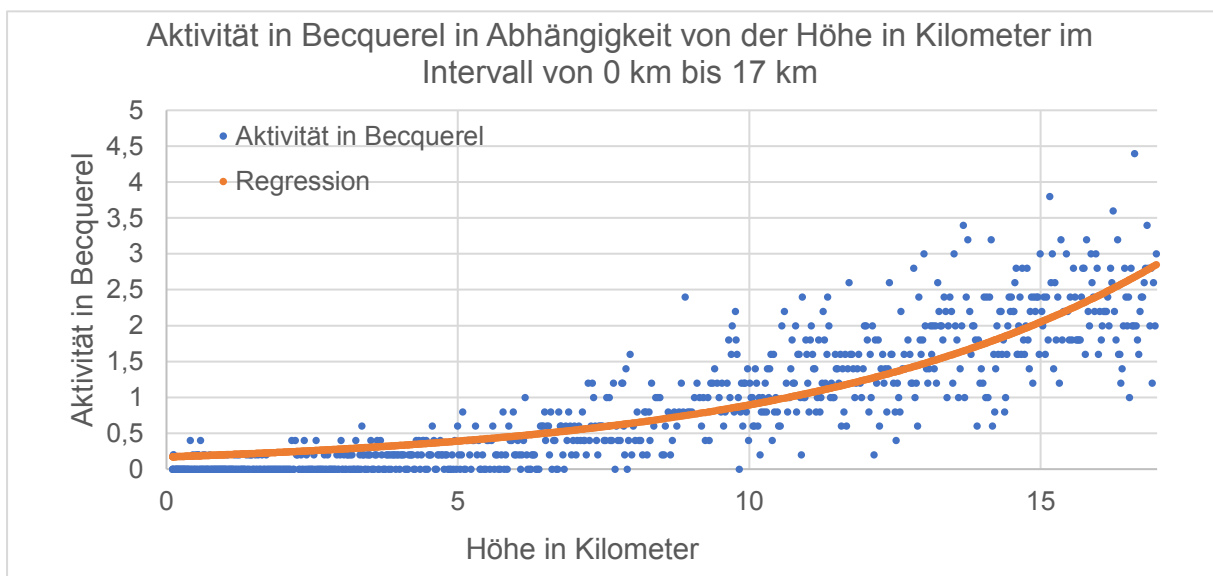


Diagramm 10

Letztlich sind die Intervalle danach die, die die markanten Unterschiede aufweisen.

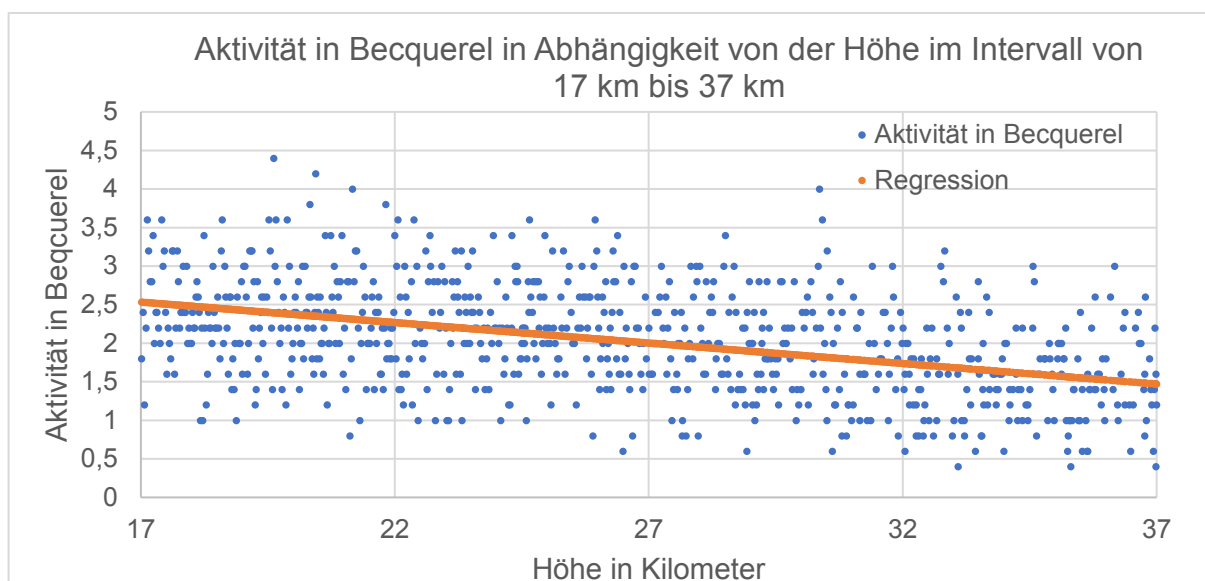


Diagramm 11

In dem entsprechenden Intervall unserer Messungen ist augenscheinlich ein leichter Abstieg in der Aktivität zu vermerken. Hier liegt ein linearer Abstieg im Durchschnitt von ungefähr 2,5 Bq auf ungefähr 1,5 Bq vor. Wenn man den relativen Abstieg der Aktivität in den entsprechenden Intervallen (unser Intervall: von 16 km bis 26 km, das andere Intervall: von 17 km bis 27 km), erhält man dazu passende Werte. Für die Berechnung wurde der Betrag der Steigung der Regressionsgeraden mit 10 km multipliziert und der Wert durch den Wert an der oberen Intervallgrenze dividiert. Für das Intervall unserer Daten sieht die Berechnung wie folgt aus:

$\frac{10 \cdot 0,0917}{15,4332} \approx 0,0594$. Dies entspricht einer Verminderung um 5,94 %. Die Berechnung.

Die Berechnung aus den anderen Daten erfolgt analog und mit den entsprechenden Werten:

$\frac{10 \cdot 0,0531}{2,5351} \approx 0,2095$. Dies entspricht einer Verminderung der Aktivität um 20,95 %. Bei den

geringeren Werten ist eine deutlich größere Verminderung zu vermerken. Wie schon angedeutet kann man jetzt klar sagen, dass ab einer Höhe von 16 km bis 17 km die Aktivität anfängt zu sinken. Im gesamten Verlauf kann man nun von zwei lokalen Hochpunkten (im Diagramm 6 bei $t \approx 4000$ s und bei $t \approx 8700$ s bzw. $h \approx 17$ km beim Aufstieg und bei $h \approx 16$ km beim Abstieg) und dazwischen von einem lokalen Tiefpunkt (bei $t \approx 7900$ s bzw. $h \approx 37$ km) sprechen. Ein solcher Verlauf war bei unseren Messungen nur zu erahnen, da die maximal erreichte Höhe nicht für eine solcher Verminderung der Aktivität ausreichte. (Die Betrachtungen der weiteren Abschnitte bleibt aus, da inzwischen die maximale Seitenanzahl erreicht ist. Der Verlauf lässt sich aber ähnlich wie die beiden Intervalle in umgekehrter Reihenfolge beschreiben.)

Wenn man nun die logistische Regression unserer gesamten Daten bis 26 km begutachtet, ist festzustellen, dass bis 26 km eine logistische Regression für unsere Daten aufgrund der geringen Abweichung von 5,94 % ausreicht. Allerdings muss man festhalten, dass es mathematisch nicht sinnvoll und sogar inkorrekt wäre, da im Diagramm 6 festgestellt wurde, dass eine logistische Regression steigt, während die eigentlich für das Intervall passendere

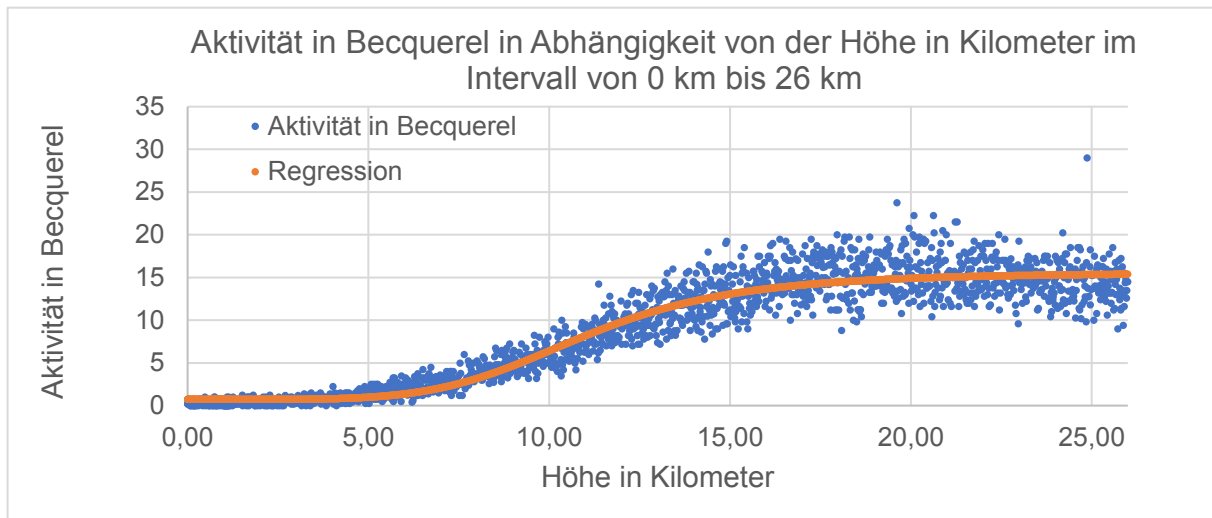


Diagramm 12

lineare Regression sinkt.

Eine logistische Regression für die Daten des anderen Teams war aufgrund der hohen Abweichung nicht sinnvoll. Die Aussage, dass der Verlauf an ein logistisches Wachstum erinnert, kann also nicht allgemeingültig sein.

5 Ausblick

Inzwischen werden weitere Wetterballon-Missionen und auch weitere Messungen angedacht, um einen tieferen Einblick in das Verhalten der radioaktiven Aktivität zu erhalten. Zur Zeit (Stand: 14. Januar 2018) werden Messungen bei der Skifahrt unseres Jahrgangs auf einem ca. 3000 m hohen Berg in der Nähe von Kaprun durchgeführt. Die Höhe reicht zwar nicht bis in die Stratosphäre, jedoch erhoffen wir uns durch die häufigen und längeren Messungen eine höhere Genauigkeit der Betrachtungen.