



DEUTSCHE
GESELLSCHAFT FÜR
ZERSTÖRUNGSFREIE
PRÜFUNG E.V.

ZfP-Sonderpreis der DGZfP beim Regionalwettbewerb Jugend forscht

KREGELD



Nachweismöglichkeit für hochenergetische Strahlung

Moritz Lipp
Pascal Engelbarts

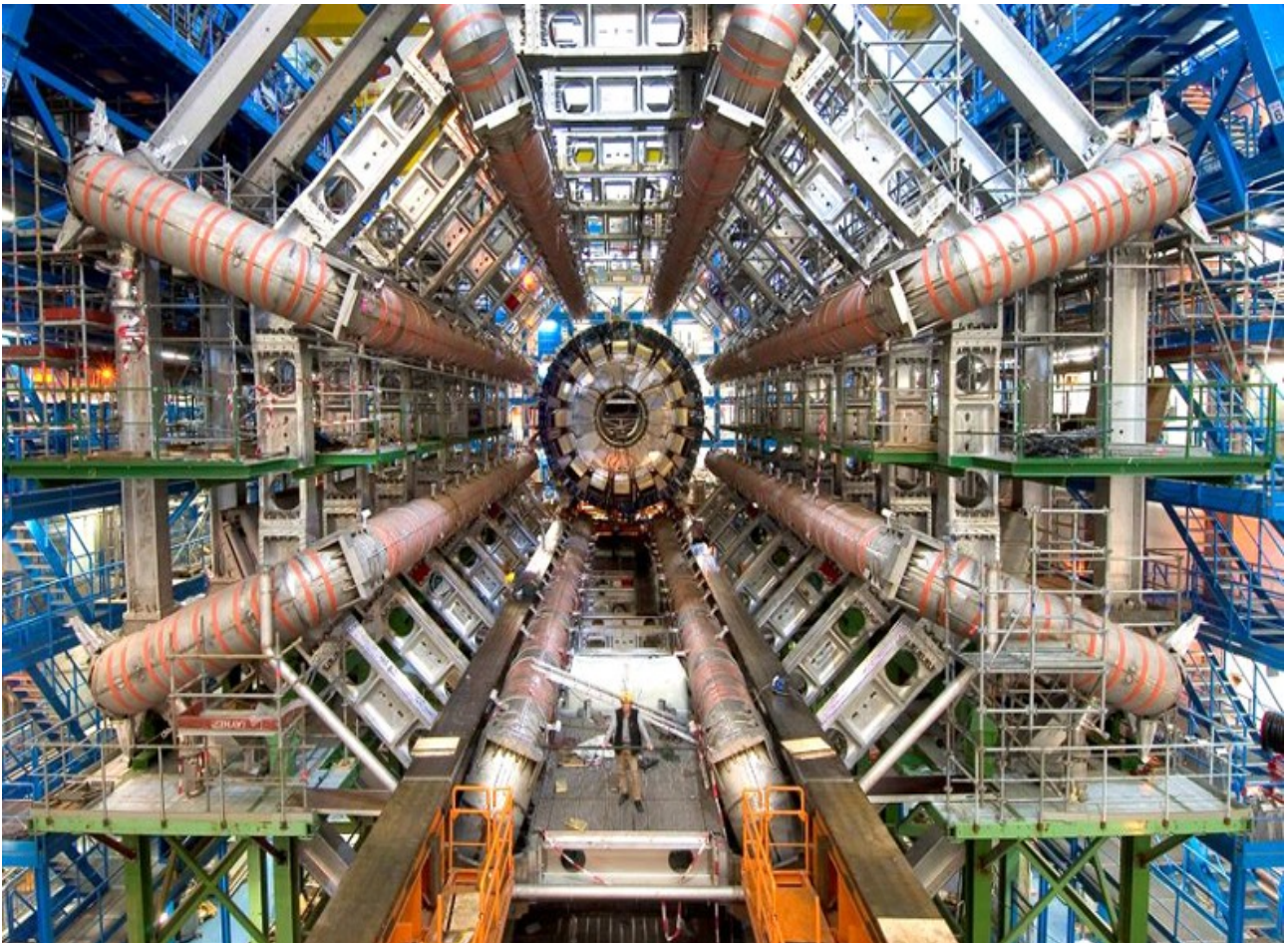
Schule:

Städt. Gymnasium Thomaeum
Am Gymnasium 4
47906 Kempen

Nachweismöglichkeiten für hochenergetische Strahlung

Jugend Forscht 2012

Von Pascal Engelbarts und Moritz Lipp



Quelle: <http://www.welt.de/wissenschaft/article13765342/Cern-Forscher-erspaehen-Spuren-des-Gottesteilchens.html>

Wir haben uns in unserem Projekt damit beschäftigt, Geräte zu entwickeln, die hochenergetische Strahlung messen können. Unser erster Gedanke zu dem Thema war der Bau einer Projektionsfunkenkammer, zu der wir einen Bauplan auf der Webseite www.rapp-instruments.de fanden. Nachdem wir uns aber genauer mit dem Thema der Projektionsfunkenkammer beschäftigt hatten, stellten wir fest, dass zu solch einem Vorhaben viel Wissen und Erfahrung nötig war und man dieses Ziel eher kleinschrittig angehen sollte. Da man dafür aber sehr viel mehr Zeit benötigt hätte, als bis zu dem Wettbewerb 2012 noch übrig war, beschränkten wir uns dieses Jahr auf kleinere Geräte. Mit Hilfe dieser Geräte hoffen wir zum nächsten Jahr dann unser großes Ziel erreichen zu können.

Da wir uns mit **Strahlung** beschäftigen sollte man wissen was Strahlung überhaupt ist. Strahlung ist die Ausbreitung von Teilchen in einem Raum, diese haben eine bestimmte Bewegungsenergie, sie unterscheiden sich durch verschiedene Eigenschaften, zum Beispiel: Masse, Ladung oder Aktivität. Bei der Unterscheidung von Strahlung kommt es auf die Bestandteile der Strahlung, die Quelle und die Wirkung an .

Deshalb unterscheidet man verschiedene Arten von Strahlung, in unserem Fall hochenergetische Strahlung.

Da uns nicht sehr viele Quellen von hochenergetischer Strahlung zur Verfügung standen, beschränkten wir uns zunächst auf Radioaktivität. Diese eignete sich gut für unsere Experimente, da sie sich trotz der Gefahr, welche von ihr ausgeht gut händeln lässt, wenn man die nötige Sicherheit beachtet. Außerdem findet man abgeschwächte Radioaktivität auch im Alltag wieder, zum Beispiel in Feuermeldern, Glühstrümpfen (Campingzubehör) oder alten Uhrzeigern, so das man diese Quellen nutzen kann.

Nun gilt natürlich ebenfalls zu klären was Radioaktivität ist.

Die **Radioaktivität** entdeckte Ende des 19 Jahrhunderts ein Physiker mit dem Namen Becquerel. Viele Wissenschaftler, wie Rutherford, Curie, Hahn ,Meitner, Strassmann, usw. forschten später an der Radioaktivität und entdeckten immer neue Phänomene.

Bei Radioaktivität handelt es sich um den Zerfall instabiler Atomkerne. Dabei werden oft hochenergetische Teilchen ausgesandt. Man unterscheidet mehrere verschiedene Arten von Zerfällen, welche auf der Nuklidkarte verfolgt werden können, beispielsweise Alpha- oder Beta-Zerfall. Es gibt eigentlich keinen Stoff oder kein Elemente das nicht radioaktiv strahlt, bei vielen ist die Strahlung jedoch nur in sehr geringem Maße vorhanden, sodass sie kaum messbar ist. Selbst in der Luft kommen radioaktive Elemente vor die wir ständig einatmen, auch unser Körper strahlt, doch dies ist völlig normal.

Bei radioaktiver Strahlung unterscheidet man drei verschiedene Arten:

- **Alpha-Strahlung** besteht aus 2 Protonen und 2 Neutronen, also einem Helium-Atomkern. Somit ist sie 2-fach positiv geladen. Sie hat eine Energie von 1-10 MeV und eine geringe Durchdringungsfähigkeit und deshalb wirkt sie nur in einem Umfeld von 2-3 cm in Luft.
- **Beta-Strahlung** liegen schnelle Elektronen zu Grunde, sie ist negativ geladen. Beta-Strahlung ist ungefähr so stark wie Alpha-Strahlung, doch dies hängt vor allem auch am Isotop ab. Jedoch hat Beta-Strahlung eine höhere Durchdringungsfähigkeit, sie schafft es sogar dünnen Metallplatten zu durchdringen.

- **Gamma-Strahlung** ist die stärkste und gefährlichste Strahlung der Radioaktivität. Da es sich nicht um Teilchen, sondern um eine elektromagnetische Welle handelt kann man sich nicht so leicht schützen wie vor Alpha- und Beta-Strahlung. Da Gamma-Strahlung nicht geladen ist, kann sie auch nicht durch ein Magnetfeld abgelenkt werden. Gamma-Strahlung kann, wegen ihrer hohen Durchdringungsfähigkeit nur durch dicke Bleiplatten gut abgeschirmt werden. Sie kann außerdem mehrere Kilometer in Luft zurücklegen, bevor sie ausreichend geschwächt ist um unschädlich zu sein.

Unser erstes Gerät, ein Funkenzähler ähnelt der Projektionsfunkenkammer am meisten. Beide funktionieren mit dem gleichen Prinzip, der Ionisation. Wir wollten erste Erfahrung mit diesem Prinzip sammeln. Wichtig dafür ist es das bei allen Tests die gleichen Bedingungen herrschen und der Abstand konstant bleibt.

Wir suchten nach anderen Methoden hochenergetische Strahlung nachzuweisen und kamen dabei ein wenig von unserem Hauptziel der Projektionsfunkenkammer ab. Wir wollten zunächst eine einfache Möglichkeit testen, also entschieden wir uns für die Webcam-Methode. Da dieser Versuch erfolgreich war haben wir ein zweites, nun etwas aufwendigeres Gerät gebaut, welches mit dem gleichen Prinzip einer Fotodiode funktioniert.

Wir bauten eine Schaltung auf, welche einen Impuls liefert, den wir sowohl mit einer Knatterschaltung hörbar machten, als auch diese Spannungssignale mithilfe eines Audioprogramms am Computer erfassten. Dies ist möglich, da die Schaltung bei einfallender radioaktiver Strahlung eine höhere Spannung abgibt, ähnlich wie die Signale eines Mikrofons. Also bauten wir einen Klinken-Ausgang an und verbanden die Schaltung mit dem PC wo die Signale mit dem Programm Audacity aufgezeichnet wurden. Letztlich bauten wir das Gerät zweimal, einmal als mobiles Taschengerät und einmal um die Messungen bzw. Langzeitmessungen durchzuführen.

Diese Messung werteten wir auf verschiedene Weisen aus, die beste Möglichkeit boten Computerprogramme, da man die Ergebnisse leicht speichern konnte.

Wir überlegten, wie man die Ergebnisse noch besser verarbeiten könnte und kamen auf das Thema, der Vielkanalanalyse. Bei dieser Methode berechnet man die Fläche der einzelnen Ausschläge und erstellt ein Wahrscheinlichkeits-Diagramm für die Werte. Mit Hilfe dieser Wahrscheinlichkeiten kann man dann den strahlenden Stoff identifizieren, denn diese Wahrscheinlichkeitskurve ist für jeden Stoff einzigartig.

Jedoch reichte unsere Zeit und die Qualität unsere Messungen nicht zu dieser Analyse aus und wir hoffen dieses Ziel zum nächsten Jugend-forscht zu erreichen.

Der Funkenzähler

Unser erster Versuch bestand im Aufbau eines sog. Funkenzählers. Das Prinzip ist recht simpel: Einfliegende Alpha-Strahlen ionisieren die Luft zwischen Anode und Kathode, sodass Strom fließt und ein Blitz zu sehen ist. Die Idee dazu nahmen wir aus dem Buch „Experimente mit selbst gebauten Geigerzählern, Funken- & Nebelkammern“ von Thomas Rapp, auf dessen Internetseite (www.rapp-instruments.de) unsere eigentliche Anregung einer Projektionsfunkenkammer stand. Nun machten wir uns natürlich an ein Testgerät, nur ein Draht wurde gespannt, um die grobe Funktionsweise zu testen (Abbildung 1).

Bei unseren Aufbauten stellte sich der gleichmäßige Abstand zwischen Anode und Kathode als sehr wichtig heraus.

Wir vermuteten, dass wenn man die Strahlungsquelle nur nah genug an Anode und Kathode halten würde, mehrere kleine Blitze zu sehen sein würden. Denn der Alpha-Strahler schickt viele hochenergetische Teilchen aus, welche die Luft ionisieren könnten.

Also bauten wir einen Alpha-Strahler, hier Amarium, in ein Stativ und stellten dieses vor den Funkenzähler. Wie man in Abbildung 2 schön erkennen kann bestätigte sich unsere Theorie.

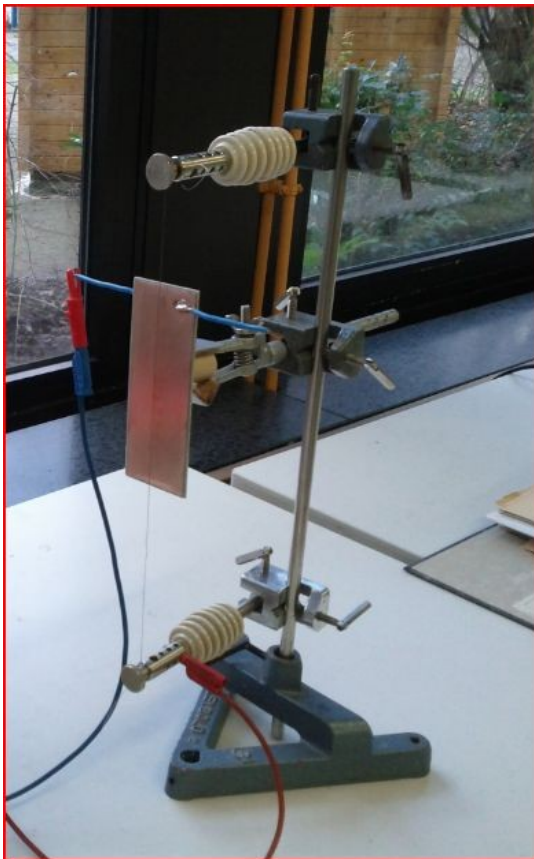


Abbildung 1: Aufbau ohne angelegte Spannung

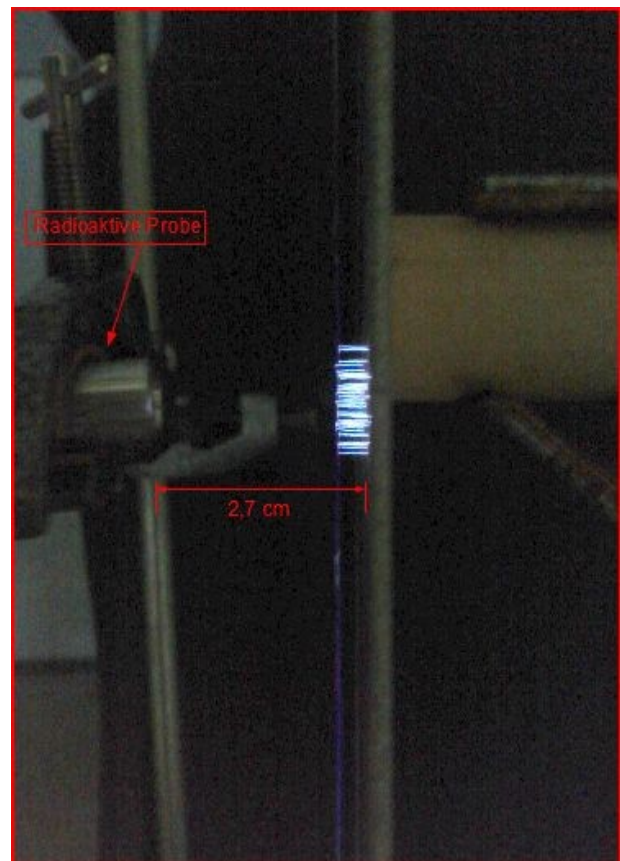


Abbildung 2: Aufbau unter Spannung mit Einfluss von Alpha-Strahlung

Angespornt von dem erfolgreichen Versuch unseres erstes Testgeräts, beschlossen wir nun eine ausführlichere Version zu bauen (Abbildung 3). Ähnlich wie im Buch beschrieben bestand dieses aus mehreren Drähten die über einer Kupferplatte gespannt wurden. Als Isolierung erwiesen sich Reagenzgläser als gute Lösung, da Glas so gut wie nicht leitend ist. Die Drähte verlöteten wir an der Seite und brachten sie auf Spannung (keine elektrische), damit alle den gleichen Abstand zur Kupferplatte haben.



Abbildung 3:

Nachdem wir Masse an die Kupferplatte und Spannung an die Drähte anlegten, erhöhten wir die Spannung langsam und vorsichtig, bis kurz bevor sich die ersten Blitze zeigten. Dann befestigten wir den Alpha-Strahler mithilfe eines Statives senkrecht über dem Gerät.

Wie man auf dem Bild (Abbildung 4) gut erkennen kann sprangen Blitze an der Stelle über, wo sich die Amarium-Probe befand. Der einzelne Blitz den man rechts neben dem Strahler erkennen kann ist ein Zufallsprodukt, entstanden durch einen kleineren Abstand des Drahtes zur Kupferplatte.

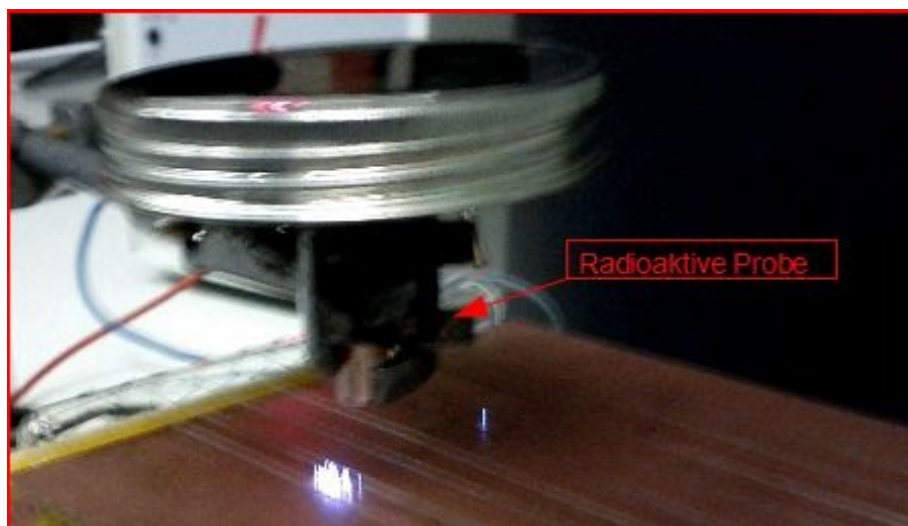


Abbildung 4:

Der „Webcam-Detektor“

Nun, da wir ein Gerät hatten, welches Alpha-Strahlen sichtbar machen konnte ging es darum, noch Methoden zur quantitativen Messung zu entwickeln. Zudem sollte die Apparatur deutlich einfacher und kleiner sein, um eventuell auch mobil zum Einsatz zu kommen. Auch hierzu wurden wir in dem Buch fündig, ein sogenanntes Spintariskop mit Hilfe einer CCD-Kamera. Einfacher gesagt handelt es sich hierbei um eine zerlegte Webcam, in denen sehr oft CCD-Kameras verbaut sind. Wir kauften eine günstige Webcam für ca. 10 Euro. Nachdem alle für den Betrieb am PC notwendigen Treiber auf dem Rechner installiert waren bauten wir sie auseinander um nur die Hauptplatine zu erhalten. Zudem entfernten wir die Linse damit möglichst viel Strahlung zur Kamera durchkommt. Dem Ergebnis schadet das nicht. Nun musste das ganze nur noch lichtdicht verpackt werden (Abbildung 5) und die Tests konnten beginnen.

Also schlossen wir die Kamera an den PC und hielten eine radioaktive Probe vor die Kamera. Dabei erschien auf dem Bildschirm ein Bild, auf dem kleine weiße Punkte zu sehen waren. Diese sind die einschlagenden Teilchen (Abbildung 6).



Abbildung 5:



Abbildung 6:

Nachweis von Strahlung durch eine Fotodiode

Diese Art Strahlung nachzuweisen arbeitet mit dem gleichen Prinzip, wie die Webcam-Methode, denn beiden liegt eine Fotodiode zugrunde. Dennoch haben wir uns entschieden eine zweite Gerätschaft zu bauen welche auf diese Weise Strahlung nachweist.

Die zweite Methode ist jedoch komplexer als die Webcam-Methode, da die zugehörige Schaltung noch aufzubauen war. Hierbei nutzten wir eine Elektronikzeitschrift namens „Elektor (Nr.486)“, welche die zugehörigen Schaltungen enthielt. So bauten wir eine Sensorschaltung auf, das Signal wurde von einer „Knatterschaltung“ hörbar gemacht und über eine Verstärkerschaltung zu einem Lautsprecher geführt.

Der **Strahlungsdetektor** ist recht einfach aufgebaut, das wichtigste Bauteil ist natürlich die Fotodiode (Type BPW34). Die Diode ist in Sperrrichtung über einen 220k Widerstand mit dem Pluspol verbunden, so wird diese erst leitend wenn Strahlung auf sie einwirkt. Die Kathode ist mit der Basis des ersten Transistors verbunden, welcher auf Basisspannung über den Emitter zur Masse durchschaltet. Am Collektor liegt die Basis des zweiten Transistors an, beide sind über einen 220k Widerstand mit dem Pluspol verbunden. Der Collector des zweiten Transistors ist über einen 4,7k Widerstand mit dem Pluspol verbunden und der Emitter über einen 1k Widerstand mit der Masse.

Am Collector des zweiten Transistors wird außerdem das Ausgangssignal ausgekoppelt.

Wenn also nun keine Strahlung auf die Fotodiode einwirkt, welches der Normalfall ist, so schaltet der erste Transistor nicht durch. Der zweite Transistor schaltet jedoch dann die ganze Zeit durch, da seine Basis Pluspotential sieht.

Wirkt allerdings Strahlung auf die Fotodiode ein und sie wird leitend, so schaltet der erste Transistor durch. Da der Collector des ersten Transistors mit der Basis des Zweiten verbunden ist, entzieht der erste Transistor dem zweiten Transistor den Basisstrom und der zweite Transistor schalten nicht mehr durch. Wenn der zweite Transistor nicht mehr durchschaltet so erhöht sich die Spannung am Ausgangssignal, denn der Widerstand zur Masse ist sehr hoch im Gegensatz zum Collektorwiderstand.

(Dieses Spannungssignal verlängert ein Kondensator am Emitter des zweiten Transistors, er wird auf der anderen Seite mit Masse verbunden.)

Diese Erhöhung der Spannung beweist nun den Einfluss von Strahlung, man kann dies mit Hilfe eines Oszilloskopen oder weiterer Schaltungen sicht- bzw. hörbar machen.

Um die Schaltung vor Störeinflüssen (Störspannung) von der Stromversorgung, zum Beispiel Brummspannung eines 50 Hz Netzteils zu sichern baut man einen 100uF Kondensator zwischen dem Pluspol und der Masse ein. Es empfiehlt sich die Schaltung zusätzlich noch gegen Hochfrequenzen zu sichern, da diese das entstehende Signal stören könnten. Dafür baut man einen 100nF Kondensator zwischen die Anode der Fotodiode und Masse. Zusätzlich wird noch ein 10uF Kondensator parallel zum Emitterwiderstand des zweiten Transistors geschaltet. Dieser glättet das Ausgangssignal wenn keine Strahlung einwirkt.

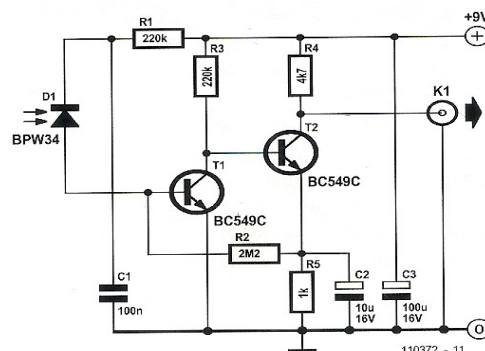


Abbildung 7: Schaltskizze des Strahlungsdetektors

Um das Signal hörbar zu machen bauten wir eine „**Knatterschaltung**“, diese Schaltung wandelt das Spannungssignal in ein Knackgeräusch um. Immer wenn Strahlung auf die Diode einwirkt, lässt sich ein kurzes Knackgeräusch vernehmen.

Ein Kondensator filtert die Gleichspannung aus dem Ausgangssignal des Strahlungssensors, denn nur das Signal, also die Wechselspannung, soll hörbar gemacht werden. Die Gleichspannung mit der die Schaltung betrieben wird, wird somit aufgehalten, da sie nicht durch den Kondensator fließen kann. Durch einen Komparator wird das Impulssignal mit einem Schwellenwert verglichen, der über das Trimpotentiometer eingestellt werden kann. Wenn das Impulssignal den Schwellenwert überschreitet wird es verstärkt, so kann man überflüssiges Rauschen, bzw. Störsignale herausfiltern, indem man den Schwellenwert erhöht.

Der Ausgang des Komparators ist mit der Basis eines Transistors verbunden, welcher nicht länger durchschaltet, wenn der Ausgangsimpuls höher ist als der Schwellenwert. Denn der Komparator entzieht dem Transistor den Basisstrom, indem er nach Masse durchschaltet. Die sich am Collector des Transistors befindende Spannung wird nun zum Ausgang weitergeleitet, da der Transistor ja nicht mehr leitet.

Dieser Transistor dient dazu, den Impuls zu verlängern, damit man das „Knacken“ besser hören kann. Denn ansonsten wäre das Ausgangssignal zu kurz, um noch wahrgenommen zu werden. Der Ausgangsimpuls wird wiederum durch einen Kondensator gefiltert, damit nur der Impuls, welcher aus Wechselspannung besteht weitergeleitet wird und nicht die Betriebsspannung.

Das gut gefilterte „Knacksignal“ kann nun mit Hilfe von Kopfhörern oder Aktivboxen wahrgenommen werden.

Unser erster experimenteller Aufbau sah folgendermaßen aus:

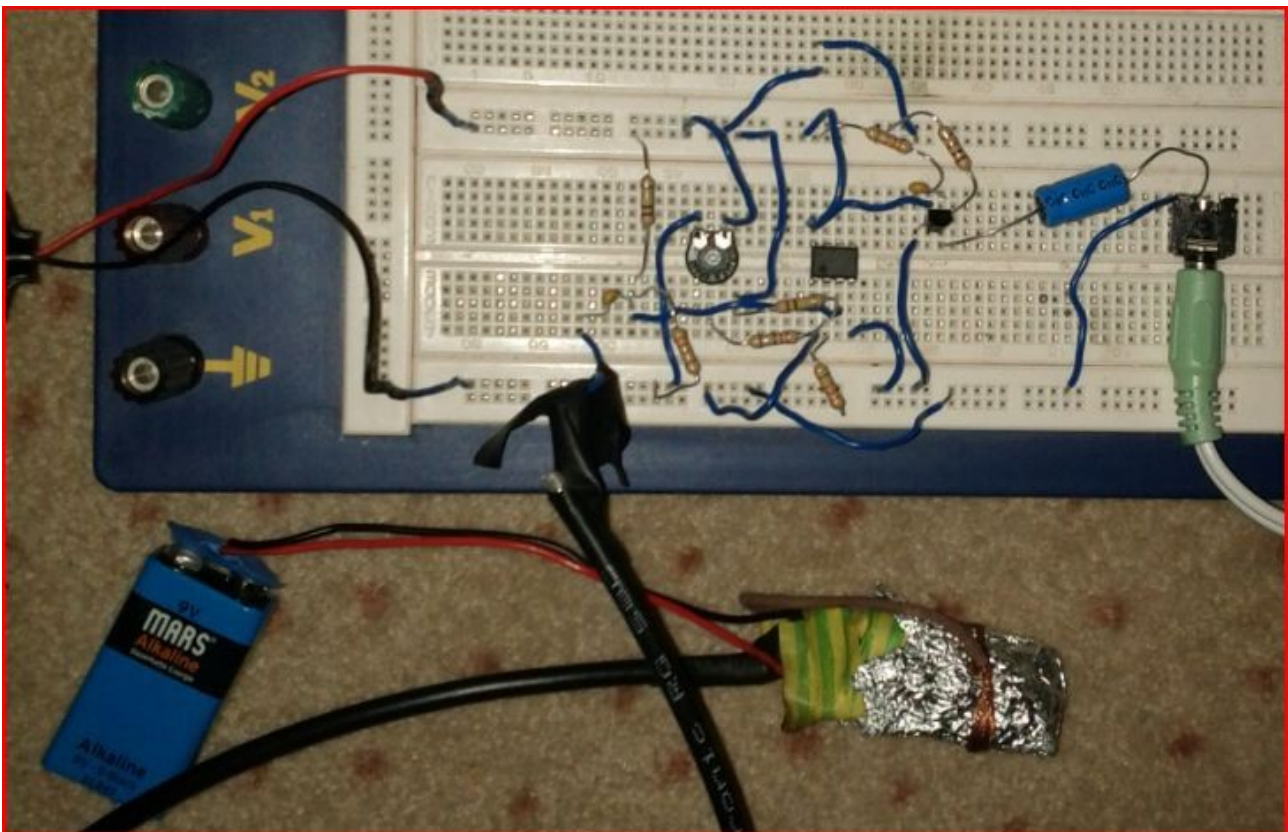


Abbildung 8: Den größten Teil des Bildes macht die Knatterschaltung aus. Am unteren Rand ist das eigentliche Messgerät zu sehen. Wie auch die Knatterschaltung wird sie mit einem 9 Volt Block versorgt. Die 2. Batterie ist am linken Rand zu erahnen. Am rechten Bildrand sieht man den Kopfhörerausgang, der mit der Mikrofon-Buchse des PC's verbunden ist. (Grüner Stecker/Weißes Kabel)

Die Schaltung funktioniert und die Impulse sind hörbar. Jedoch reicht das noch nicht um ordentliche Ergebnisse zu erhalten, bei jeder Messung müsste man sich neben die Lautsprecher setzen und die Geräusche zählen. Bei längeren Messungen kann dies sehr umständlich sein und leicht zu Fehlern führen. Eine Visualisierung sollte helfen. Also schlossen wir an den Audio-Ausgang ebenfalls noch ein **Oszilloskop** an. Nach einiger Zeit haben wir passende Einstellwerte gefunden und bei jedem Knacken der Lautsprecher zeigte sich ein klarer Impuls auf dem Bildschirm, doch diese sind leider genauso vergänglich wie der Ton. Auf Hinweis unseres Betreuenden Lehrers wechselten wir auf ein Oszilloskop mit Memory-Funktion. Die Erkennung der Impulse verlief allerdings nicht so gut, sodass wir diese Idee schnell wieder verwarfen. Um die Spannungskurve zu speichern benötigten wir also ein PC-Programm, welches Spannungssignale auswerten und aufzeichnen kann. Dazu benutzen wir **Cassy-Lab**. Das erschien sehr praktisch, da die mitgelieferte Adapterplatine auch Anschlüsse für die von uns verwendeten Kabel hat. Also begannen wir mit den Aufzeichnungen. Nach einer Messung von 100 Sekunden zeigte sich folgendes Diagramm (Abbildung 9):

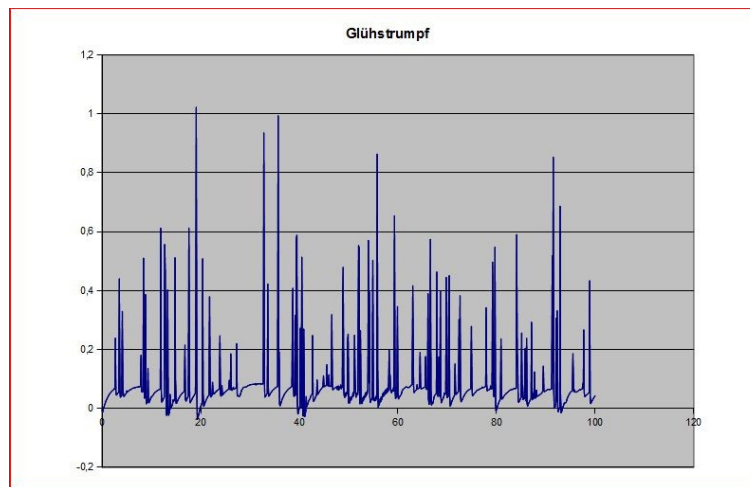


Abbildung 9: Die Spannungsanstiege sind deutlich zu erkennen.

Das Problem dieses Programms bestand in der Notwendigkeit einer Adapterplatine, welche für unsere Messungen zuhause nicht zur Verfügung stand. Außerdem ist das Programm kostenpflichtig und nur auf dem Schul-Rechner installiert. Nach langem Überlegen fanden wir dafür eine Lösung: Die Aufnahme mit einem kostenfreien Audio-Recorder namens **Audacity**. Die Idee ist ganz einfach, die Aufnahmen von Spannungssignalen ist nichts anderes als die Aufnahme eines Tonsignales, also würde man die Ausschläge, die bei einem hochenergetischen Teilchen entstehen auch hier sehen können. Also benutzen wir anstatt der Lautsprecher einfach den Mikrofon Eingang eines Computers und kamen so zu recht guten Ergebnissen.

Auswertung mit Audacity

Nachdem wir nun also die beste Möglichkeit gefunden hatten die Tests auch zuhause aufzuzeichnen, begannen wir. Wir haben die Messungen jeweils 5 Minuten bei wenigen Millimetern Abstand zu der Probe durchgeführt. Um unsere Ergebnisse mit der tatsächlichen Stärke der Strahlung vergleichen zu können untersuchten wir unseren drei Proben, nachträglich noch mit einem Zählrohr.

Bevor wir mit den Messungen der einzelnen Proben begannen, bestimmten wir jedoch noch die Nullrate. Damit ist die radioaktive Umgebungsstrahlung gemeint. Diese Strahlung ist hauptsächlich natürlichen Ursprungs und sie kann von radioaktiven Nukliden in der Luft, im Bodengestein, in Baustoffen und aus dem Weltraum kommen. Diese Hintergrundstrahlung ist immer da und muss daher in unseren anderen Messungen berücksichtigt werden.

Unsere Proben:

1. **Blaukorn-Dünger**: Dieser Dünger soll leicht radioaktiv strahlen, da er Kalium enthält. Eines der Isotope des Kaliums zeigt radioaktiven Beta-Zerfall
2. **Reines Kaliumchlorid** aus dem Chemielabor unserer Schule zur Verfügung gestellt.
3. **Glühstrumpf**, welcher aus privatem Camping-Zubehör stammt.

Bei der Messung in Luft, um die Nullrate zu bestimmen, ergab sich folgendes Bild: 42 Impulse in 5 Minuten. Das entspricht einer Rate von 8,4 Impulse pro Minute.



Bei unsere nächste Probe, von der wir vermuteten das sie radioaktiv strahlt, dem Dünger haben wir 36 Ausschlägen in 5 Minuten gemessen. Dies ist eine Rate von 7,2 Zerfällen die Minute. Dieses Ergebnis liegt erstaunlicherweise unter der Nullrate, dies kann verschiedene Gründe haben. Möglicherweise wurde die Umgebungsstrahlung zum Teil vom Dünger, bzw. dessen Verpackung abgeschirmt. Der Blaukorn Dünger kann daher als nicht strahlend bezeichnet werden.



Also gingen wir nun an das Kaliumchlorid, bei dem wir 59 Ausschläge in 5 Minuten feststellen konnten, welches 11,8 Impulse /Minute entspricht.



Als letztes prüften wir den Glühstrumpf: Es zeigten sich 315 Ausschläge in 5 Minuten, also ein Rate von 63,0 Impulsen einer Minute. Das ist das 7,5-fache der Nullrate, welches ganz und gar nicht normal ist und damit lässt sich der Glühstrumpf eindeutig als strahlend einordnen.



Überprüfung mit einem Geiger-Müller-Zählrohr

Aber trotz aller Messungen mussten wir uns sicher Vergleichswerte beschaffen, um unsere Messungen zu bestätigen. Dazu liehen wir uns bei unserem Betreuenden Lehrer Herr Dr. Brinkmann ein Zählrohr. Bei gleichen Bedingungen wie bei den vorherigen Tests maßen wir wieder 5 Minuten mit folgenden Ergebnissen:

- Die Nullrate betrug 26,4 Impulse pro Minute. Das überraschte sehr, da die Messung mit unserem Detektor nur 8,4 Impulse/Minute aufwies. Unsere eigene Messungen waren davon doch recht weit entfernt. Jedoch fanden wir später eine Erklärung.
- Der **Blaukorn-Dünger** zeigte 26,0 Impulse/Minute, sehr nahe an der Messung in Luft, was zeigt das der Dünger selbst nicht erheblich strahlt, wie auch vorher schon festgestellt.
- Das **Kaliumchlorid** zeigte mit 168 Ereignissen pro 5 Minuten und damit 33,6 Impulse/Minute eine deutlich höhere Aktivität. Die Anzahl der Impulse für Kaliumchlorid liegt damit um ca. 30% über der Nullrate. Dieses Ergebnis findet sich im Groben auch in unseren eigenen Messungen: Bei einer von uns gemessenen Nullrate von 8,4 Impulse/Minute zeigte sich für Kaliumchlorid eine Zählrate von 11,8 Impulse/Minute. Das entspricht 40 % mehr als der Nullrate.
- Am meisten radioaktiv war jedoch wie auch zuvor schon herausgefunden mit 1304 Ausschlägen der **Glühstrumpf**. Das entspricht 261 Impulse /Minute und ist damit um den Faktor 9,8 größer als die Nullrate. Dieser vom echten Zählrohr ermittelte Wert ist also etwa vergleichbar mit den von unserem Gerät ermittelten Werten.

Warum aber waren die Werte insgesamt viel höher als bei unseren Tests ?

Dies liegt wahrscheinlich an der professionellen Bauweise des Industriell hergestellten Zählrohres, welches daher viel genauer ist. Außerdem ist unser Messgerät zum Teil auf Gamma-Strahlung beschränkt und kann daher andere Strahlungsarten nur bedingt wahrnehmen.