

JAGD AUF DIE KOSMISCHE STRAHLUNG MIT GEIGER-MÜLLER-ZÄHLROHREN AUS DER FRÜHEREN SOWJETUNION

WAS IST KOSMISCHE STRAHLUNG?

Zum 100 Jahr Jubiläum der Entdeckung der kosmischen Strahlung hat Prof. *H. R. Völkle* von der Universität Freiburg einen Überblick über verschiedene Aspekte des umfassenden Forschungsgebietes der kosmischen Strahlung publiziert: «Die kosmische Strahlung», Bull. Soc. Frib. Sc. Nat. Vol. 100 (2010), [1]. Zur Vertiefung ist die Lektüre dieser Publikation mit Bezug

zu Schweizer Forschungsarbeit sehr empfohlen. Im Internet finden sich Links zu vielen weiteren themenbezogenen Arbeiten, so auch in [2]. Hier nun ein paar einführende Erklärungen zur kosmischen Strahlung.

Der überwiegende Teil der kosmischen Strahlung kommt als galaktische und extragalaktische hochenergetische Strahlung von ausserhalb unseres Sonnensystems. Diese primäre kosmische Strahlung besteht

DER KOSMISCHEN STRAHLUNG AUF DER SPUR

Beitrag: Peter Hirt

Mittlerweile gibt es viele verschiedene Fenster in den Weltraum. Neben dem optischen Fenster und dem Radiofrequenz-Fenster gibt es seit kurzem auch das Gravitationswellen-Fenster für eine Sicht in die Tiefen des Universums. Die kosmische Strahlung ist seit mehr als 100 Jahren bekannt und mein Wunsch, diese mit einfachen amateur-astronomischen Mitteln zu erfassen, geht schon einige Jahre zurück.

DER AUTOR Peter Hirt, Astronomische Vereinigung Aarau
*Der gelernte Elektroingenieur begeistert sich seit frühester Kindheit für Astronomie.
Heute betreibt Peter Hirt eine eigene Sternwarte, ist Mitglied der Vereine AVA und
RWG und Leiter der Fachgruppe Radioastronomie in der SAG.*

hauptsächlich aus Protonen (95 %) und Alpha-Teilchen (4 %) mit einer geringen Menge schwererer Kerne (1 %). Diese Teilchen treffen aus allen Richtungen auf die Erdatmosphäre ein, ihr Teilchenfluss ist somit isotrop. Dies im Gegensatz zum gerichteten Sonnenwind, der auch viel kleinere Energien aufweist.

In etwa 20 km Höhe entsteht aus der Primärstrahlung durch Wechselwirkung mit den Atomen und Molekülen der Luft die kosmische Sekundärstrahlung: Eine Reihe verschiedener Teilchen, die auf die Erde herunterprasseln. Aus einem einzigen Primärproton mit einer Energie von 10^{15} eV können in Form von elektronischen und hadronischen Kaskaden – genannt Luftschauber – bis eine Million Sekundärteilchen erzeugt werden. Von diesen sind 80 % Gamma-Strahlen, 18 % Elektronen und Positronen und etwa 2 % Myonen.

Die Myonen ($56\% \mu^+$ und $44\% \mu^-$) sind die im vorliegenden Bericht gemessenen Teilchen. Auf Meereshöhe beträgt deren Flussdichte ca. $100 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$. Bei der Erzeugung haben die Myonen relativistische Geschwindigkeiten und nur aufgrund der Zeitdilatation (Relativitätstheorie) können sie trotz der kurzen Lebensdauer von $2.2 \mu\text{s}$ die Erdoberfläche erreichen.

ABHÄNGIGKEIT DES MYONENFLUSSES VOM ZENITWINKEL

Schon in den frühen 30er-Jahren des letzten Jahrhunderts, bevor die Zusammensetzung der kosmischen Strahlung bekannt und das Myon entdeckt war, konnte mit umfangreichen Messungen eine Richtungsabhängigkeit der kosmischen Strahlungsintensität auf der Erdoberfläche nachgewiesen werden. *Thomas Johnson* schrieb in seiner Publikation von 1931 (*Phys. Rev.* V 43) fast beiläufig, es ergebe sich empirisch eine Abhängigkeit proportional zum Quadrat des Cosinus des Zenitwinkels. Erst Jahrzehnte später konnten die komplexen Wechselwirkungen in der Atmosphäre berechnet und gezeigt werden, dass die Abhängigkeit des Myonenflusses vom Zenitwinkel Θ durch die Formel

$$I(\Theta) = I(0) \cos^n \Theta$$

beschrieben werden kann. Der Exponent n ist abhängig von der Energie der Myonen und damit auch von der Meereshöhe des Messortes. Wie schon von *Johnson* gefunden, sollte der Wert von $n = 2$ für meine Messungen recht gut stimmen. Das soll mit dieser Arbeit experimentell geprüft werden.

BAU DER MESSAPPARATUR

In Studenten-Experimenten gibt es einige Arbeiten, welche das Ziel haben, die kosmische Strahlung

zu registrieren. Die meisten dieser Experimente verwenden Szintillationsdetektoren mit Photomultipliern, um die Tscherenkow-Strahlung zu registrieren. Tscherenkow-Strahlung entsteht, wenn ein Teilchen mit hoher Energie in ein Medium eintritt, welches eine höhere Dichte hat als ausserhalb vorhanden ist, also z. B. der Übertritt von Luft in Wasser oder der Übertritt von Luft in Plexiglas. Leider sind solche Detektoren sehr teuer, weil sie heute nur noch für spezielle Gebiete der Teilchenphysik benötigt werden.

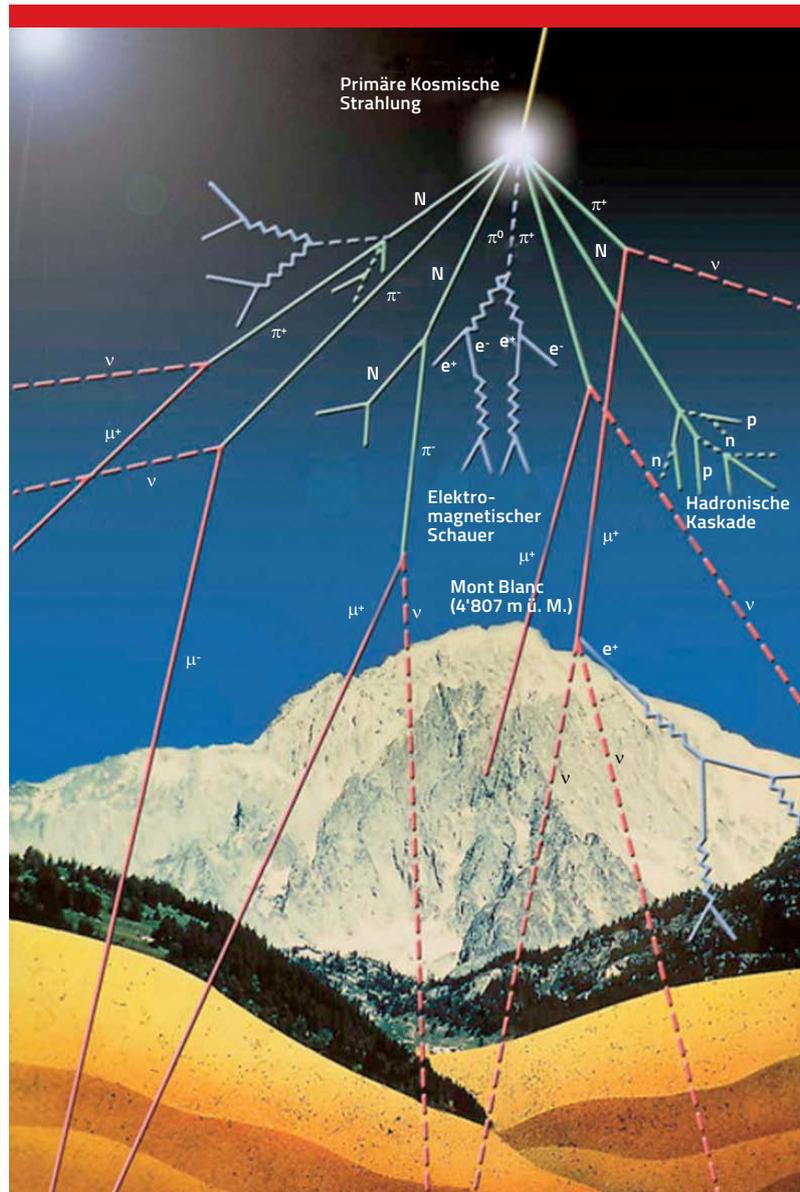


Abbildung 1: Wechselwirkung der Primärstrahlung mit der Atmosphäre (Luftschauber)

Quelle: http://www.zeuthen.desy.de/exps/physik_begreifen/frederiq/Kosmische_Strahlung/Teilchenschauer.jpg

Bild: Peter Hirt

Die Kosten haben mein Vorhaben, eine Apparatur zu bauen, mit welcher direkt oder indirekt die kosmische Strahlung registriert werden kann, gehemmt. Andererseits hatte ich schon früher Geiger-Müller-Zähler verwendet, um die natürliche Strahlung zu messen. Diese Geiger-Müller-Zähler enthalten Zählrohre, welche mit Argon resp. Brom-Gas gefüllt sind. Diese Zählrohre können Beta- und Gamma-Strahlung der natürlichen Umgebungsstrahlung registrieren. Die Zählrohre stammten von alten Strahlenmessgeräten aus Armeebeständen. Mit dem Experimentieren benötigte ich immer weitere Zählrohre und so bin ich zufällig beim Googlen auf eine russische Webseite gestossen, auf der Zählrohre sowjetischer Produktion aus den 70er und 80er-Jahren des letzten Jahrhunderts angeboten wurden, und zwar zu einem sehr tiefen Preis. Da konnte ich nicht widerstehen und habe einige solche Zählrohre bestellt. Warum teure Szintillatoren verwenden? Einen Versuch durchzuführen mit diesen bezahlbaren sowjetischen Geiger-Müller-Zählrohren ist es doch wert. Somit habe ich mich intensiver mit den hochenergetischen Teilchen aus den Tiefen des Weltraums beschäftigt.

COSMIC-RAYS-DETECTOR

Der Cosmic-Rays-Detector besteht aus 2 Geiger-Müller-Zählrohren des Typs SBM-20. Die Zählrohre haben eine aktive Länge von ca. 90 mm und einen Durchmesser von 10 mm. Die Zählrohre haben zueinander einen Abstand von 35 mm. Für Myonen, die beide Zählrohre durchdringen, ergibt sich mit dieser Konstellation eine Winkelauflösung von ca. 30 Grad (in eine Richtung).

Die Elektronik hat die Aufgabe, die Ionisationen in den beiden Zählrohren zu detektieren und die gleichzeitig auftretenden zu registrieren. Dafür wird eine Koinzidenzschaltung und eine Mikrocontroller-Schaltung benötigt, in der ebenfalls die Ereignisse gezählt und via serielle Schnittstelle an einen Computer übertragen werden.



Abbildung 2: Der Cosmic-Rays-Detector mit 2 alten sowjetischen Geiger-Müller-Zählrohren (Bild: Peter Hirt)

Damit die natürliche Umgebungsstrahlung (Beta- und Gamma-Strahlung) bei den Messungen fast vollständig ausgeschlossen werden kann, ist zwischen den beiden Zählrohren ein Bleiblech mit einer Stärke von 1 mm angebracht. Die Myonen haben eine genügend grosse Energie, um im Gegensatz zu der Gamma-Strahlung der natürlichen Radioaktivität das Blei-



Abbildung 3: Geiger-Müller-Zählrohr SBM-20 aus früherer sowjetischer Produktion.

blech und beide Zählrohre zu durchdringen und somit fast gleichzeitig in beiden Zählrohren eine Ionisation zu erzeugen, welche die Koinzidenz-Schaltung registrieren kann.

Durch schrittweise Änderung des Elevationswinkels der Messanordnung kann nun die Abhängigkeit des Myonenflusses von dessen Einfallswinkel gemessen werden. Als Elevationswinkel der Messapparatur wird hier der Winkel zur Horizontalen bezeichnet. Bei den Berechnungen wird jeweils der Zenitwinkel Θ verwendet. Es gilt: Elevationswinkel = $90^\circ - \Theta$.

Die Pulse der beiden Zählrohre werden im Mikrocontroller innerhalb von 10 Sekunden gezählt und dem Computer übertragen. Das Koinzidenz-Ereignis wird ebenfalls gezählt und alle 10 Sekunden dem Computer übertragen, allerdings wird der Zähler nicht alle 10 Sekunden zurückgesetzt, sondern erst nach 3'600 Sekunden. Dies ergibt dann eine typische Sägezahnkurve. Der Zählerwert der einzelnen Zählrohre (ohne Koinzidenz) ist zudem ein Mass für die natürliche Umgebungs-Radioaktivität.

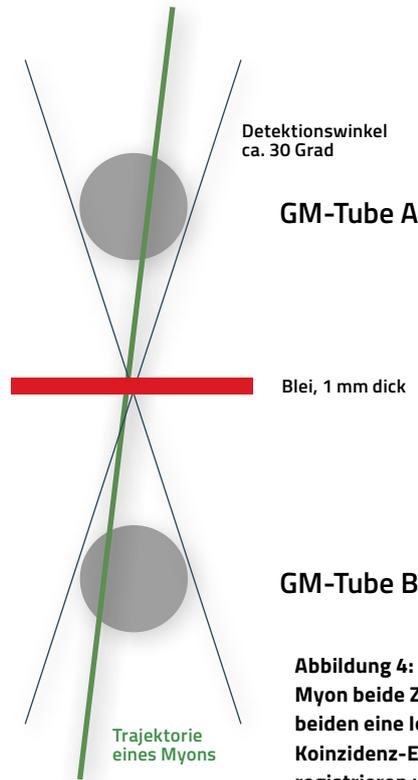


Abbildung 4: Detektionswinkel: Wenn ein Myon beide Zählrohre durchdringt und in beiden eine Ionisation auftritt, dann wird die Koinzidenz-Elektronik ein Ereignis registrieren und zählen. (Grafik: Peter Hirt)

MESSUNG DES KOSMISCHEN TEILCHENFLUSSES

Der Cosmic-Rays-Detector wurde über mehrere Monate betrieben. Dabei wurde der Elevationswinkel in 15 Grad-Schritten von 90 Grad (Zenit) nach 0 Grad reduziert. Dabei wurden jeweils ca. ein Monat lang die Ereignisse pro Stunde gezählt und anschliessend gemittelt (siehe rote Kurve in Abbildung 5).

Der hier vorgestellte Cosmic-Rays-Detector registriert nur Myonen, welche beide Zählrohre durchfliegen. Die geometrische Anordnung der Zählrohre ergibt einen Öffnungswinkel von ca. 30 Grad.

Aus den Ergebnissen kann eine gute Übereinstimmung mit normierten theoretischen Daten abgeleitet werden. Dies ist ein Beweis für die Wirksamkeit

des Systems bei der Unterscheidung von Ereignissen aufgrund kosmischer Strahlung und von Störereignissen aufgrund der Hintergrundstrahlung (elektronisches Rauschen).

AUFZEICHNUNG EINER MESSREIHE VOM JANUAR 2021

In den folgenden Plots ist ersichtlich, wie der Einfluss der Elevation auf den Teilchenfluss ist. Die Elevation wurde von 90 Grad nach 0 Grad mit einem Intervall von 15 Grad eingestellt und dabei während einem Tag die Ereignisse gezählt. Die gezählten Ereignisse sind ausschliesslich auf Myonen zurückzuführen. Die maximale Amplitude entspricht der Anzahl Ereignisse in 3'600 Sekunden. <

Kosmische Strahlung (Cosmics / Myonen)

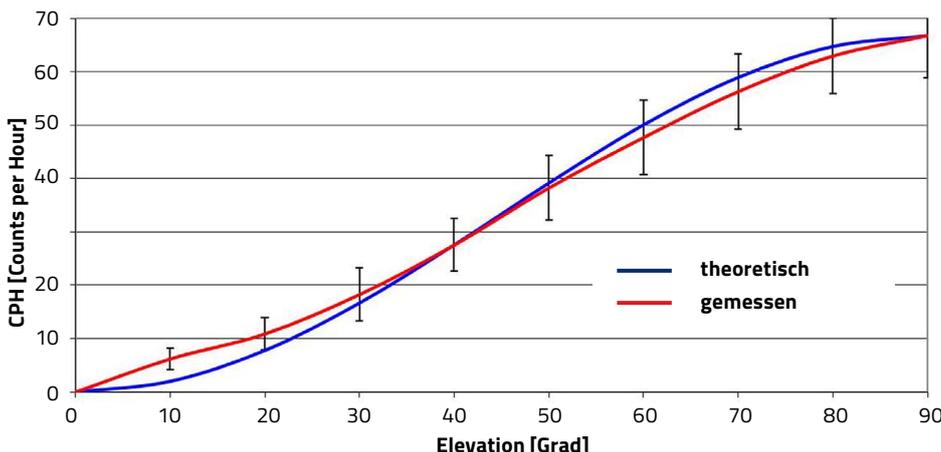


Abbildung 5: Zählrate der Myonen in Funktion des Elevationswinkels ($90^\circ - \Theta$). Der theoretische Wert wurde bei einer Elevation von 90 Grad gleichgesetzt mit dem gemessenen Wert. Somit kann schön aufgezeigt werden, dass die Absorption in der Atmosphäre recht genau dem Cosinus im Quadrat gehorcht. (Grafik: Peter Hirt)

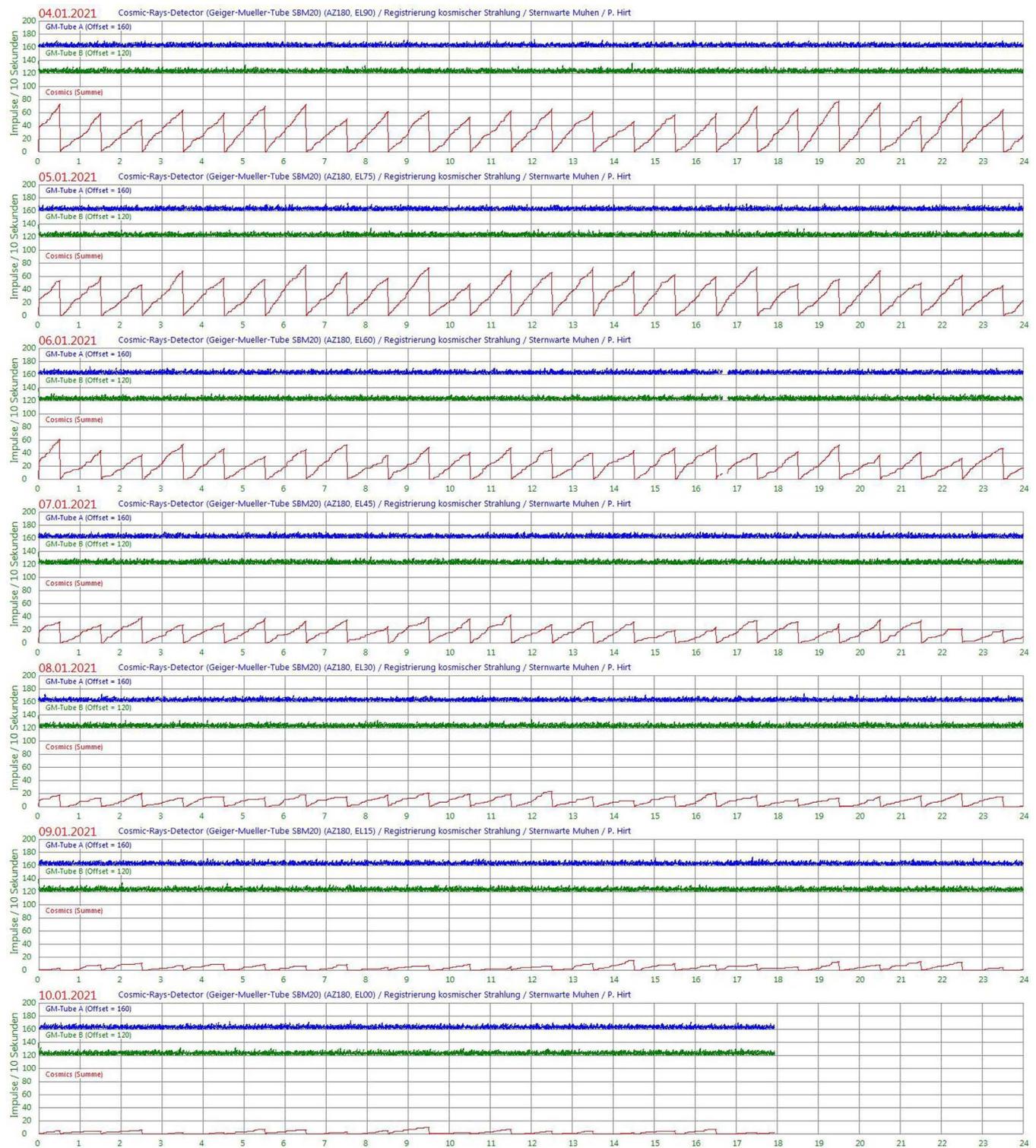


Abbildung 6: Einfluss des Elevationswinkels ($90^\circ - \ominus$) auf den Teilchenfluss der Myonen. (Quelle: Peter Hirt)

LINKS & LITERATUR

- [1] <https://www4.unifr.ch/sfsn/pdf/kosmische%20Strahlung.pdf>
- [2] https://de.wikipedia.org/wiki/Kosmische_Strahlung