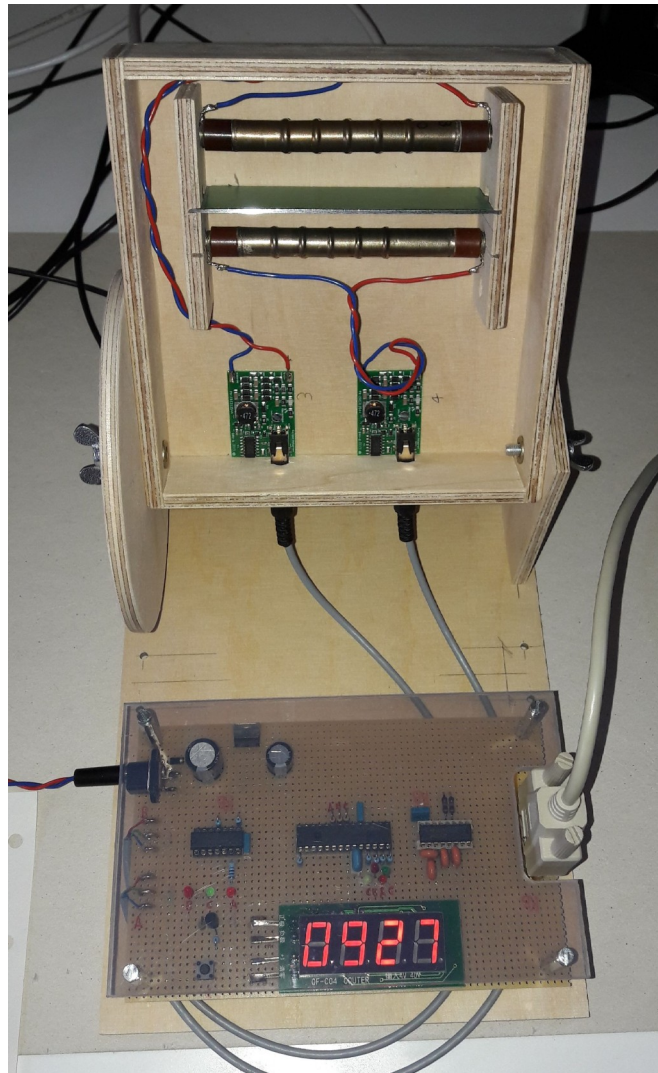
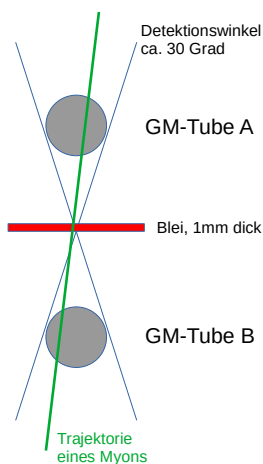


Cosmic-Rays-Detector (SBM-20-Tube)



Der Cosmic-Rays-Detector besteht aus 2 Geiger-Müller-Zählrohre des Typs SBM-20 (aus alten Beständen der Sowjetunion). 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. Aus dieser Konstellation ergibt sich eine Auflösung von ca. 30 Grad (in eine Richtung). Um die natürliche Strahlung (Beta- und Gamma-Strahlung) fast vollständig auszuschliessen mit der Koinzidenz-Schaltung, ist ein Abschirmblech mit einer Stärke von 1 mm aus Blei zwischen den beiden Zählrohren angeordnet. Die kosmische Strahlung, insbesondere jene Teilchen die aus der Kollision mit den Atomen der Atmosphäre als Sekundärteilchen entstanden sind, namentlich die Myonen haben eine genügend grosse Energie, dass sie im Gegensatz zu der Gamma-Strahlung der natürlichen Radioaktivität beide Zählrohre durchdringen können und somit fast gleichzeitig in beiden Zählrohren zu einer Ionisation führen, welche die Koinzidenz-Schaltung registrieren kann. Da der Einfallswinkel der kosmischen Strahlung einen Einfluss auf die zu registrierende Flussrate hat, kann der Detektor in der Elevation eingestellt werden um diesen Sachverhalt zu bestätigen.

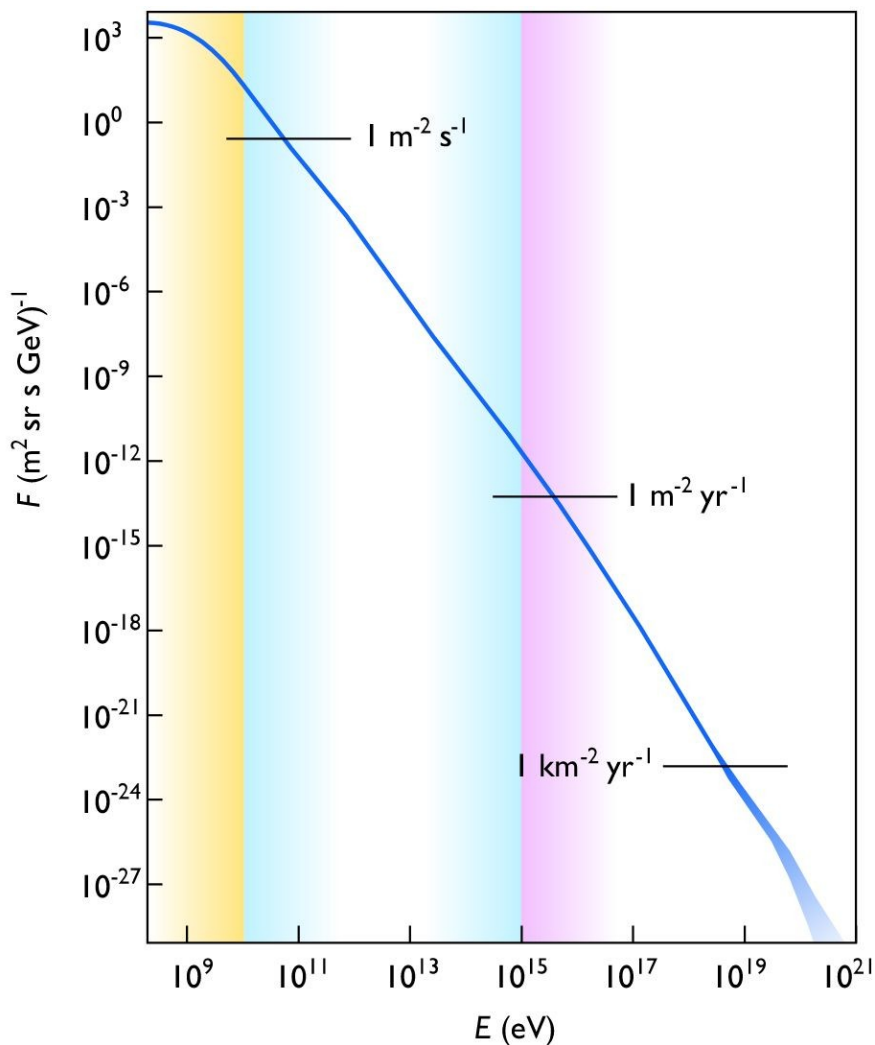


Die kosmische Strahlung ist bei senkrechtem Einfall in die Erdatmosphäre am grössten und sinkt praktisch gegen Null bei horizontalem Einfall.

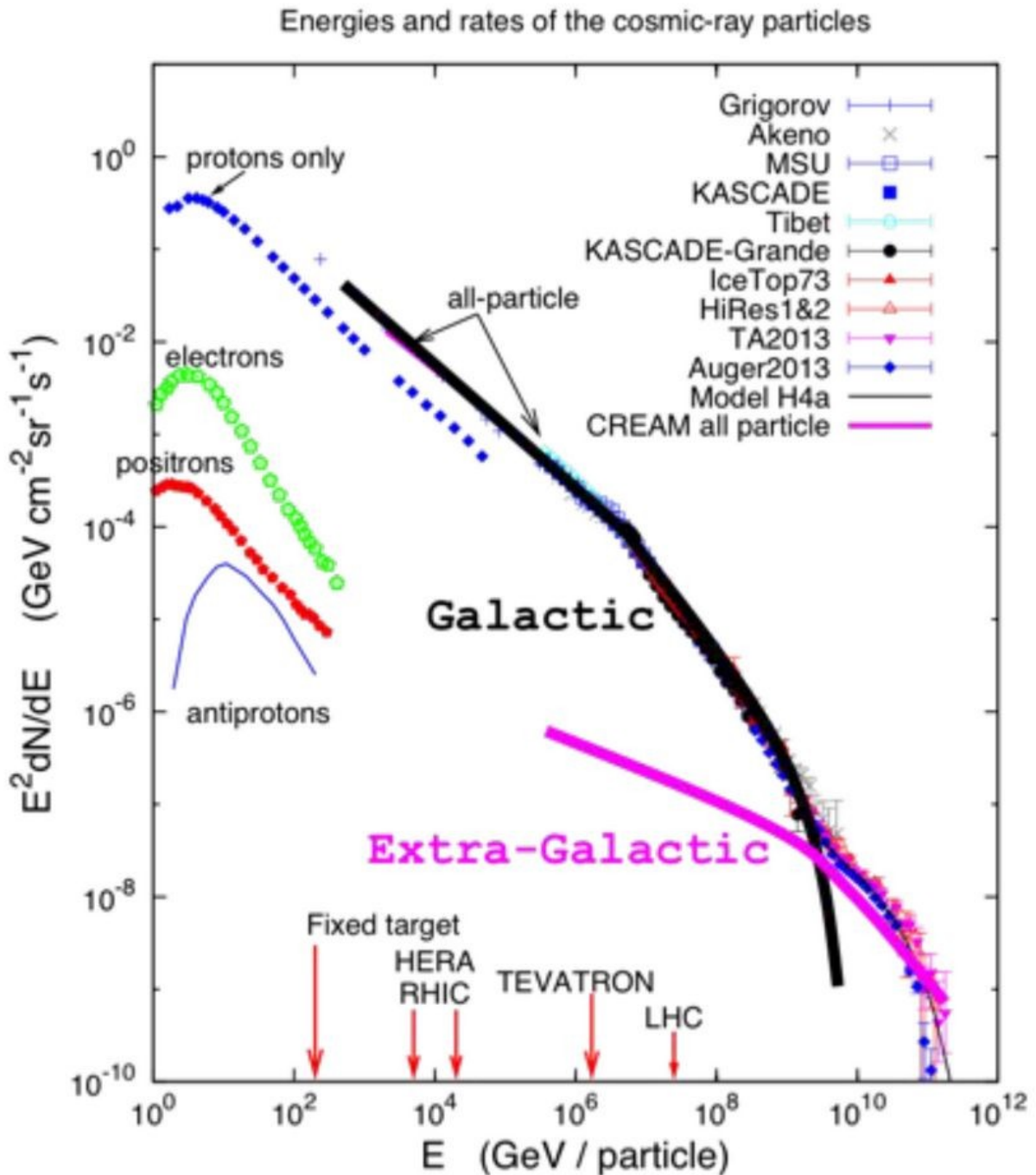
Die Elektronik hat die Aufgabe die Ionisation in den Zählrohren zu detektieren, welche gleichzeitig auftreten und zu zählen (inkl. Anzeige). Dafür wird eine Koinzidenzschaltung und eine Mikrocontroller-Schaltung benötigt, in der ebenfalls die Ereignisse gezählt werden und via serielle Schnittstelle an einen PC übertragen wird. Die Pulse der beiden Zählrohre werden im Mikrocontroller innerhalb von 10 Sekunden gezählt und dem PC übertragen. Das Koinzidenz-Ereignis wird ebenfalls gezählt und alle 10 Sekunden dem PC übertragen, allerdings wird der Zähler nicht alle 10 Sekunden geresetet sondern alle 3600 Sekunden. Dies ergibt dann eine typische Sägezahnkurve. Der Zählerwert der einzelnen Zählrohre ist übrigens ein Mass für die natürliche Radioaktivität.

Theorie der Hochenergie-Teilchenphysik

Die kosmische Strahlung besteht aus energiereichen Teilchen, die aus dem Weltraum kommen. Die Erde und auch jeder andere Körper werden permanent von kosmischen Teilchen durchströmt. Die Natur der kosmischen Strahlung ist sehr vielfältig und umfasst einen Energiebereich von 14 Grössenordnungen. Der Ursprung der kosmischen Strahlung ist die Sonne, andere Sterne, Novae, Supernovae, Galaxien und Quasare.



Im obigen Bild ist die Flussrate der kosmischen Strahlung als Funktion der Teilchenenergie dargestellt. Verschiedene Bereiche sind farblich hervorgehoben und zeigen, von welchen Himmelskörper die kosmische Strahlung vorwiegend stammt. Gelb: Sonne, Blau: Galaxis (Milchstrasse), Violett: von intergalaktischen Quellen wie Quasaren



Im Bild oben ist ersichtlich welche Teilchen in die Erdatmosphäre eintreten und Sekundärteilchen erzeugen. Im Weiteren ist zu sehen, welche Instrumente für das Detektieren verwendet werden und welche Forschungseinrichtungen mit welchen Energiebereich arbeiten.

Im Durchschnitt trifft jede Sekunde ein Teilchen auf eine Fläche von einem Quadratzentimeter der Erdoberfläche. Die meisten auf der Erde eintreffenden kosmischen Teilchen sind Sekundärprodukte von Teilenschauern, die von Primärteilchen durch Wechselwirkungen mit den Atomen der Erdatmosphäre gebildet werden, typischerweise einer Kaskade beginnend mit einem einzigen energiereichen Teilchen.

Primäre kosmische Teilchen

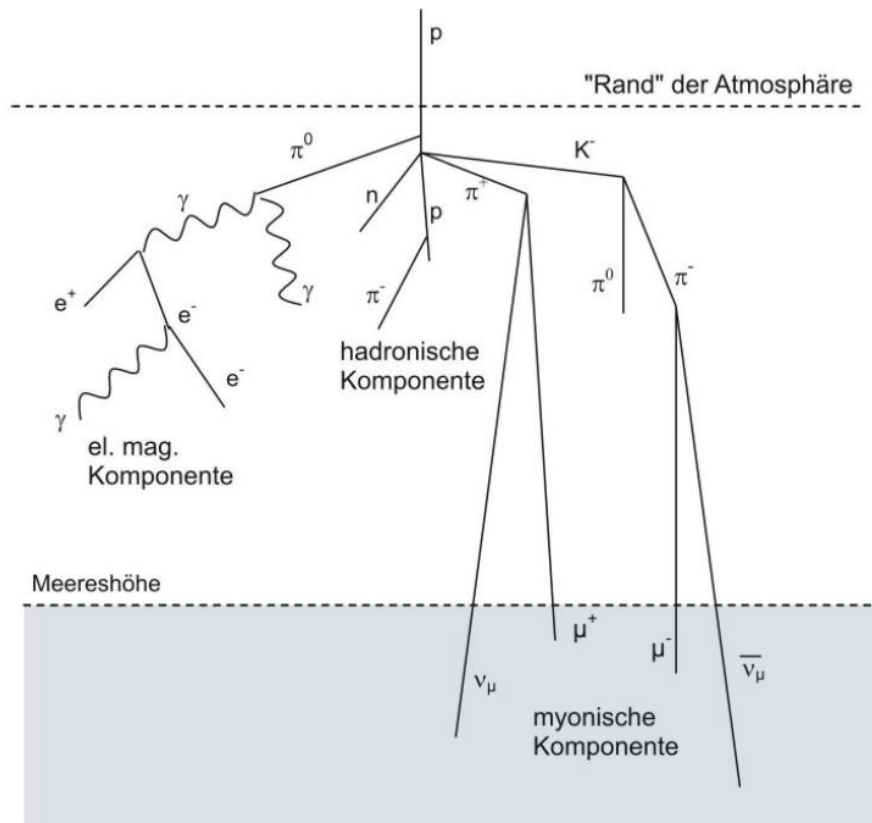
Ausserhalb der Erdatmosphäre bestehen primäre kosmische Teilchen hauptsächlich aus Protonen und Alpha-Partikel (99%) mit einer geringen Menge schwererer Kerne (~ 1%) und einem extrem geringen Anteil von Positronen und Antiprotonen. In der Erdatmosphäre angekommen, interagieren diese Teilchen mit den Kernen der Moleküle der Atmosphäre bilden so in einem Kaskadenprozess neue Teilchen, die sich vorwärtsbewegen, sekundäre kosmische Strahlung genannt.

Die Zusammensetzung und das Energiespektrum wurden für die primäre kosmische Strahlung eingehend untersucht. Der Fluss von Wasserstoff beträgt etwas mehr als 90%, etwas weniger als 10% Helium, 7×10^{-4} für leichte Elemente wie Lithium, Beryllium und Bor und 5×10^{-3} für andere Elemente Kohlenstoff, Neon.

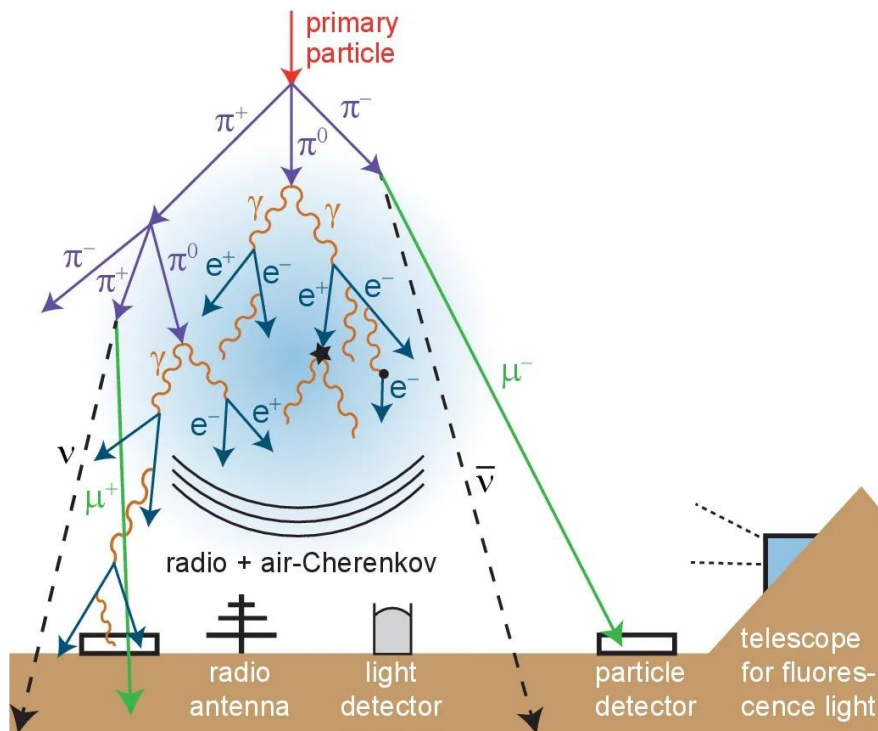
Das Energiespektrum folgt einem Potenzgesetz in folgender Form:

$$\phi \propto E^{-\alpha}$$

wobei $\alpha = 2.7$ (Energiebereich kleiner 10^{15} eV)



Bei der Messung von kosmischer Strahlung wird zwischen verschiedenen Komponenten unterschieden. Der hier vorgestellte Detektor ist ausgelegt für die Messung der myonischen Komponente.



Im Bild oben ist zu sehen, welche Detektoren-Typen für die Registrierung von kosmischer Strahlung heute verwendet werden können.

Die Sekundärstrahlung auf Meereshöhe besteht aus zwei Komponenten (weich und hart), die sich unterschiedlich verhalten beim Durchgang durch sehr dichte Materialien (Eisen, Blei).

Die weiche Komponente (ca. 30% der Sekundärstrahlung), die aus Elektronen und Photonen besteht und ein kleiner Teil von Protonen, Kaonen und Kernen können nur wenige Zentimeter durchqueren. Während die härtere Komponente (ca. 70%), bestehend aus Myonen, können Dicken von absorbierenden Materialien von mehreren Metern durchdringen.

Der durchschnittliche Teilchenfluss, aus denen die kosmische Strahlung besteht, erreicht auf Meereshöhe, geschätzt:

$$100 \times \left(\frac{\text{Teilchen}}{m^2 \cdot s} \right) \approx 0.01 \times \left(\frac{\text{Teilchen}}{cm^2 \cdot s} \right)$$

Der Fluss der kosmischen Strahlung ist eine Funktion des Winkels zur Senkrechten der Erdoberfläche und wird beschrieben durch:

$$f(\theta) = \frac{4}{\pi} \cdot \cos^2 \theta \quad \text{wobei} \quad \theta \in [0, \pi/2]$$

Die Teilchen, aus denen die kosmische Strahlung besteht, haben eine hohe Energie. Es wird geschätzt, dass der durchschnittliche Fluss auf Meereshöhe eine durchschnittliche Energie

von 3 GeV hat. Das Myon, der Hauptbestandteil der sekundären kosmischen Strahlung ist ein Elementarteilchen mit einem Spin von $\frac{1}{2}$ und einer Masse von

$$105.658389 \pm 0.000034 \text{ MeV}/c^2$$

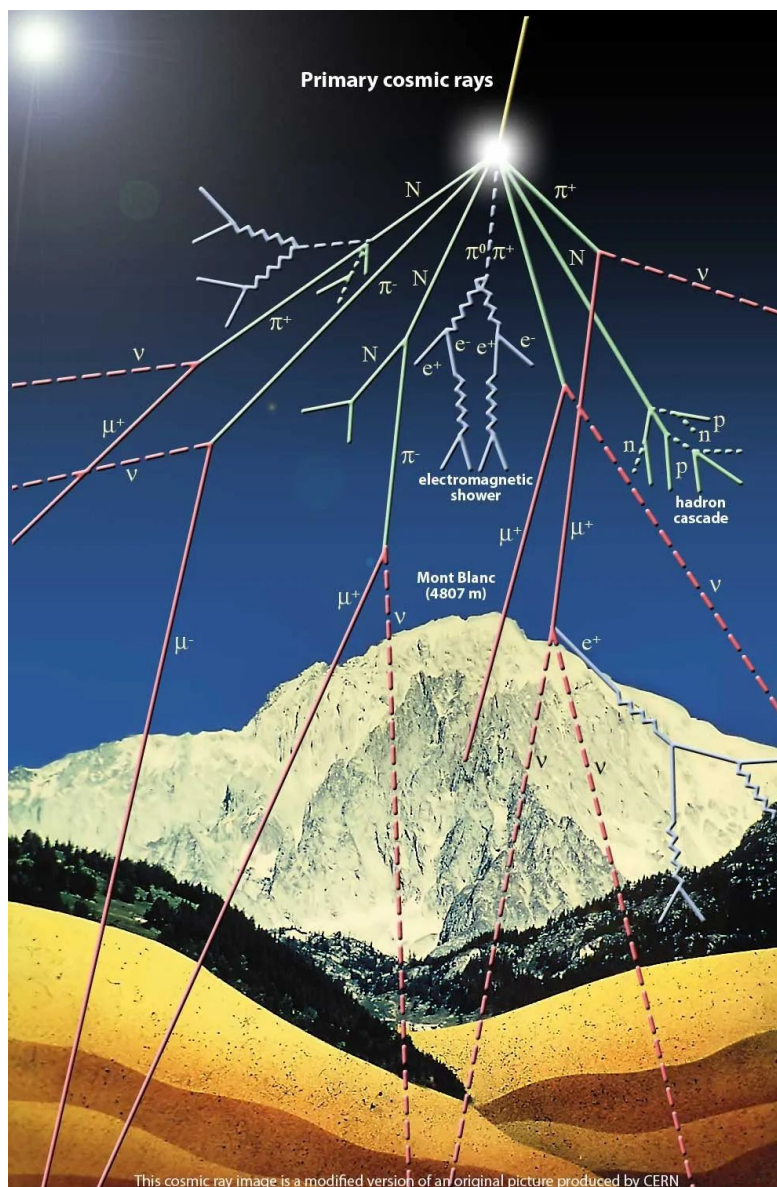
Wie oben erwähnt, werden die Myonen hauptsächlich in der oberen Atmosphäre durch den Zerfall von Pionen erzeugt:

$$\tau_{\mu} = 2.19703 \pm 0.00004 \mu s$$

$$\pi^p \rightarrow \mu^p + \nu_{\mu}$$

$$\pi^n \rightarrow \mu^n + \bar{\nu}_{\mu}$$

Bei der Erzeugung haben die Myonen relativistische Geschwindigkeiten und aufgrund der Zeitdilatation (Relativitätstheorie) können sie trotz der kurzen Lebensdauer die Meeresoberfläche erreichen, wo sie beobachtet werden können. Die μ^p kommen etwa 20% mehr vor als die μ^n .



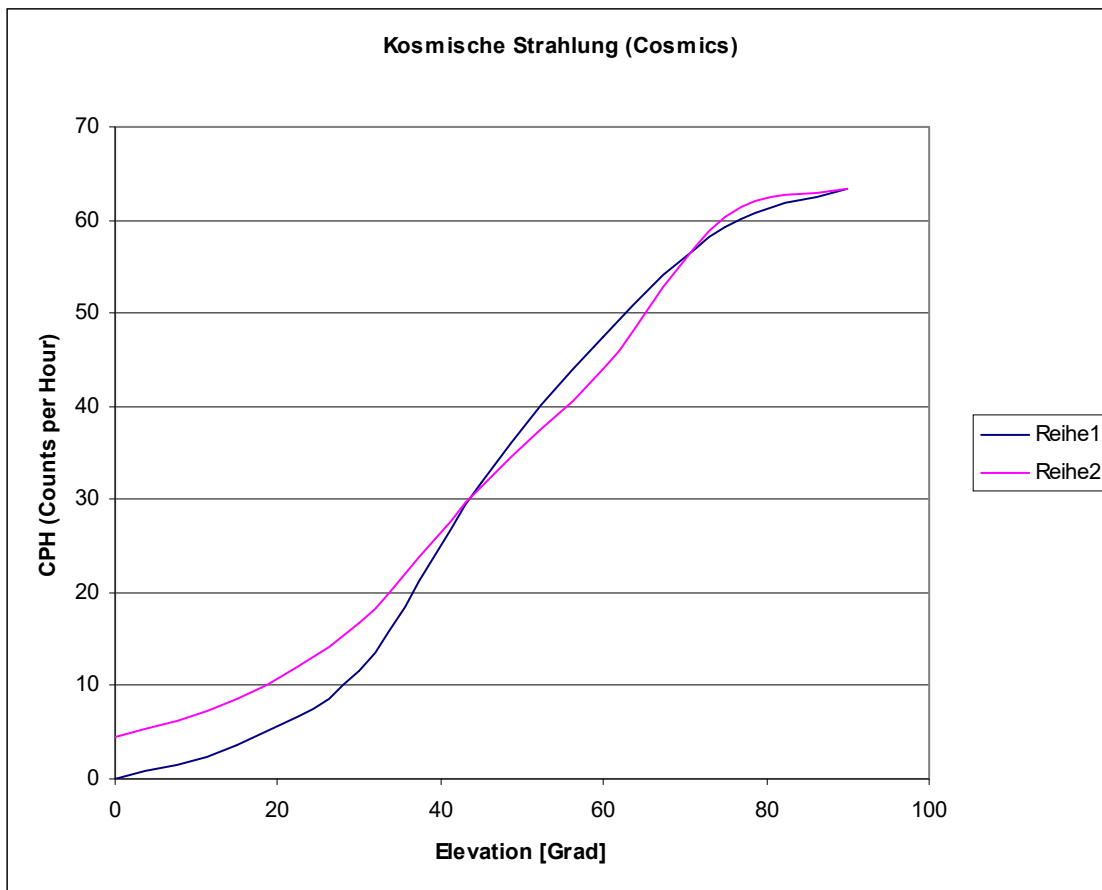
Messung des kosmischen Teilchenflusses

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der hier vorgestellten Apparatur beschrieben. Die Messungen waren zu verschiedenen Tageszeiten und für verschiedene Winkel durchgeführt worden. Die Integrationszeit wurde mit 3600 angenommen:

Sensorfläche = 9 cm²

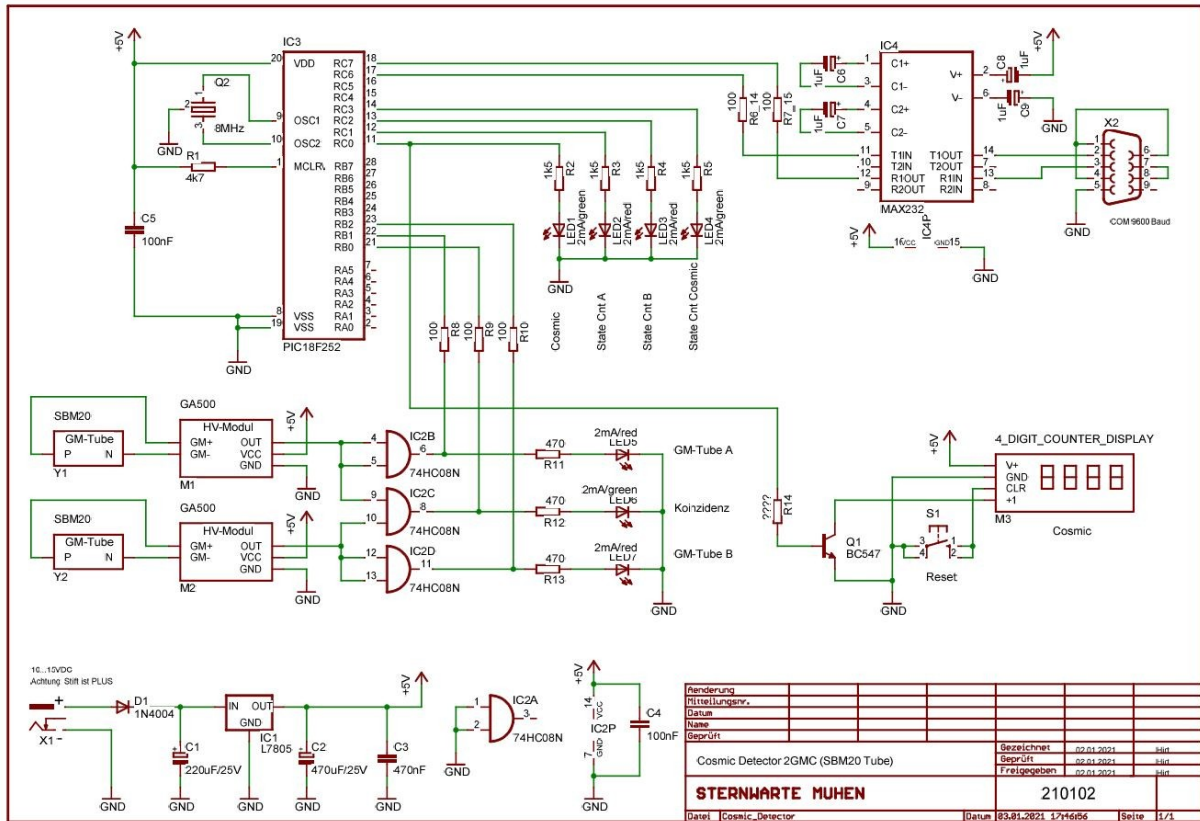
Maximal theoretischer Fluss = (0.01 x 9) x 60 = 5.4 cpm (counts per minute)

Elevation [Grad]	gemessen [cph]	theoretisch [cph]
90	63.41	63.41
75	59.16	60.32
60	47.55	44.09
45	31.71	31.26
30	11.65	16.65
15	3.65	8.65
0	0	4.56



Aus den Ergebnissen kann eine gute Übereinstimmung mit normierten theoretischen Daten ableiten 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).

Schema des Cosmic Rays Detector



Datenblatt des Geiger-Müller-Zählrohres SBM-20



Geiger-Müller Röhre SBM-20

Russisches Zählrohr für Beta & Gammastrahlung.

Gas Filling	Ne + Br ₂ + Ar
Cathode Material	Stainless Steel, 50 mkm
Maximum Length	108 / 101mm
Effective Length	91.0 / 83.5mm
Maximum Diameter	11mm
Effective Diameter	10mm
Connector	Pin
Operating Temperature Range	-60 to +70°

Electrical Specifications:

Minimum Anode Resistor	1.0 meg ohm
Recommended Anode Resistor	5.1 meg ohm
Recommended Operating Voltage	400V
Operating Voltage Range	350 - 475V
Initial voltage	260 - 320V
Plateau length	at least 100V
Maximum Plateau Slope	10%/100 volts
Minimum Dead Time	190 (at U=400V, micro sec)
Working range	0.004 - 40 mkR/s
Working range	0.014 - 144 mR/h
Gamma Sensitivity Ra226	29 cps/mR/hr
Gamma Sensitivity Co60	22 cps/mR/hr
Inherent counter background	1 cps
Tube Capacitance	4.2 pF
Life (pulses)	at least 2*10 ¹⁰
Weight (grams)	ca. 10

Aufzeichnung

In den folgenden Plots ist ersichtlich, wie der Einfluss der Elevation auf den Teilchenfluss ist. Die Elevation wurde von 90 bis 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 3600 Sekunden.

