

Detektion kosmischer Teilchenstrahlung

Merlin Brümmer, David Steuer, Andreas Patz, Paul Koch

Sowas-Gruppe A

Projektleitung: Daniel Alcalde Puente

Ziel unseres Projekts ist es, eine Winkelabhängigkeit der kosmischen Myonen-Strahlung aufzunehmen. Das Projekt dient als Weiterführung des Sowas-Projekts „Nachweis von Myonen durch Tscherenkow-Strahlung“ aus dem Jahr 2016.

Physikalische Grundlagen

Tscherenkow-Strahlung

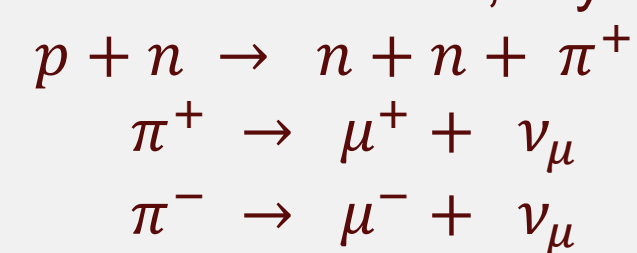
- In Medien ist die Phasengeschwindigkeit des Lichts niedriger als im Vakuum. Es gilt für den Brechungsindex n und die Phasengeschwindigkeit c_n die Beziehung

$$c_n = \frac{c}{n}$$

- Gibt es ein geladenes Teilchen im Medium, dessen Geschwindigkeit höher als c_n ist, entsteht Tscherenkow-Strahlung.
- Atome des Mediums werden kurzzeitig polarisiert \rightarrow zeitlich veränderliches Dipolmoment entsteht, welches bewirkt, dass elektromagnetische Strahlung emittiert wird.

Myonen:

- Das Myon gehört, wie das Elektron, zur Familie der Leptonen. Es besitzt die Elementarladung, hat jedoch eine rund 200-mal größere Masse als das Elektron.
- Durch Stoßprozesse der kosmischen Strahlung mit der Atmosphäre entstehen Pionen und Kaonen, welche, wenn sie zerfallen, Myonen erzeugen.



- Die mittlere Lebensdauer der Myonen beträgt lediglich 2,2 μ s. Danach zerfallen sie in ein Elektron, ein Neutrino und ein Antineutrino.
- Aufgrund ihrer relativistischen Geschwindigkeit von 0,998c, müssen sie relativistisch behandelt werden. Dies bedeutet, dass die mittlere Lebensdauer in unserem Bezugssystem 35 μ s beträgt. Somit können sie eine Strecke von ca. 10km zurücklegen, bevor sie zerfallen.

Durchführung

- Zu jeder Winkelposition werden jeweils 3 Messungen durchgeführt bei einer Zeitspanne von 8 bis 72 Stunden.
- Diese Messwerte werden gemittelt und müssen aus geometrischen Gründen normiert werden

Erläuterung der genauen Geometrie der **verschiedenen Winkelbauten**:

- Winkel 0: Bei übereinander stehenden Kannen wird als effektive Fläche die Grundfläche des Zylinders mit $A = \pi r^2$ berechnet.
- Für Winkel 1 und 2 müssen Ellipsen als Effektivflächen berechnet werden, die über $\pi r^2 \cdot \frac{d}{z \cos(\delta)}$ mit δ (Winkel der Effektivflächenrichtung zur horizontalen Ebene) abhängig von der Konstellation, bestimmt werden können.
- Winkel 3: Da die Kannen parallel zueinander stehen, wird hier die Effektivfläche über Durchmesser \cdot Tiefe bestimmt.

Tabelle 3.1: Normierungsgrößen

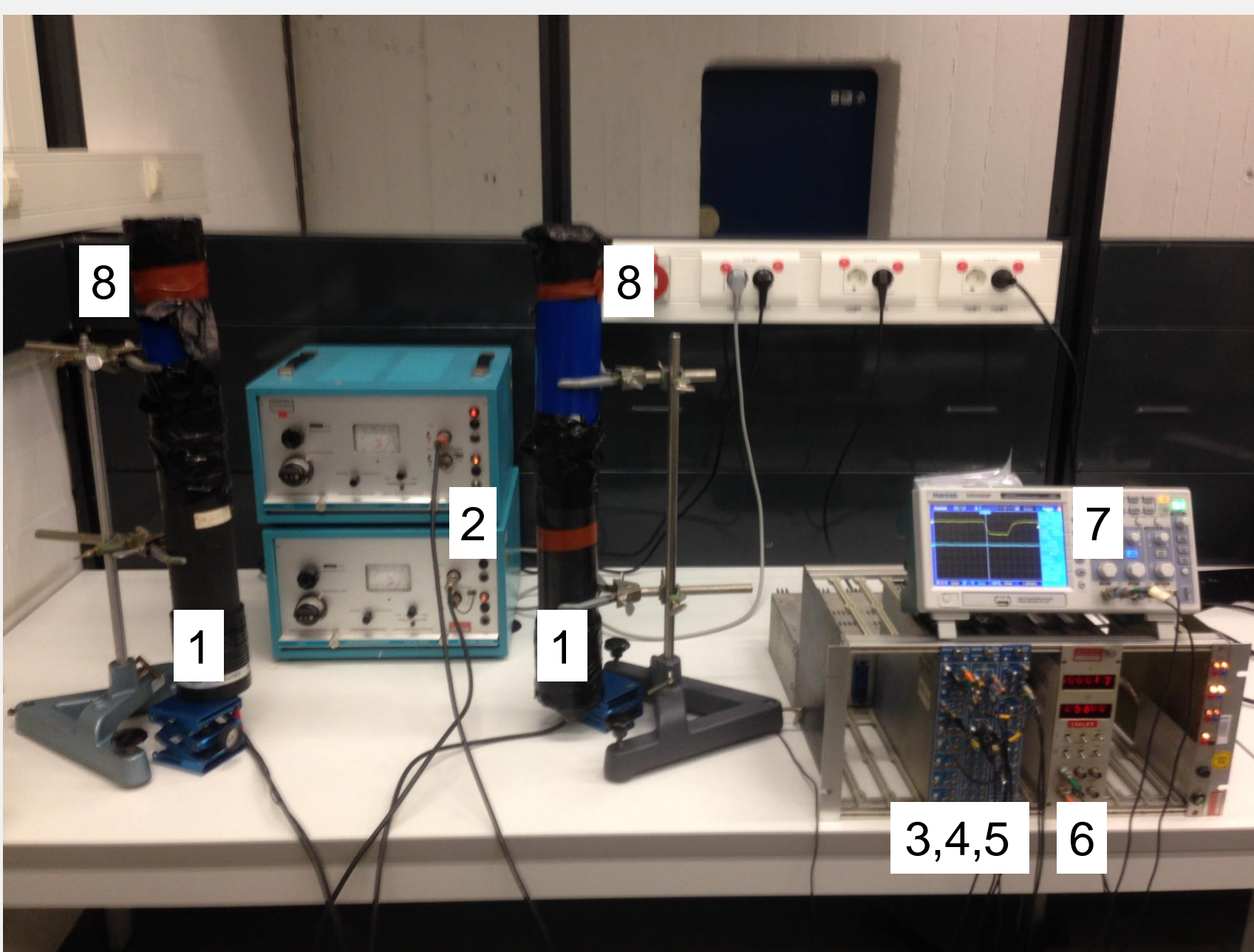
Position	Effektive Fläche [m ²]	Horizontaler Winkel $\Delta\varphi$ [Grad]	Vertikaler Winkel $\Delta\theta$ [Grad]
0	0,00255	13	13
1	0,00264	31	30
2	0,00358	12	30
3	0,01169	16	30

- Um mögliche Fehler durch Zufallsereignisse berücksichtigen zu können, wird eine Leermessung durchgeführt, das heißt, die Kannen werden geleert und es wird erneut eine Koinzidenzmessung durchgeführt.

Aufbau

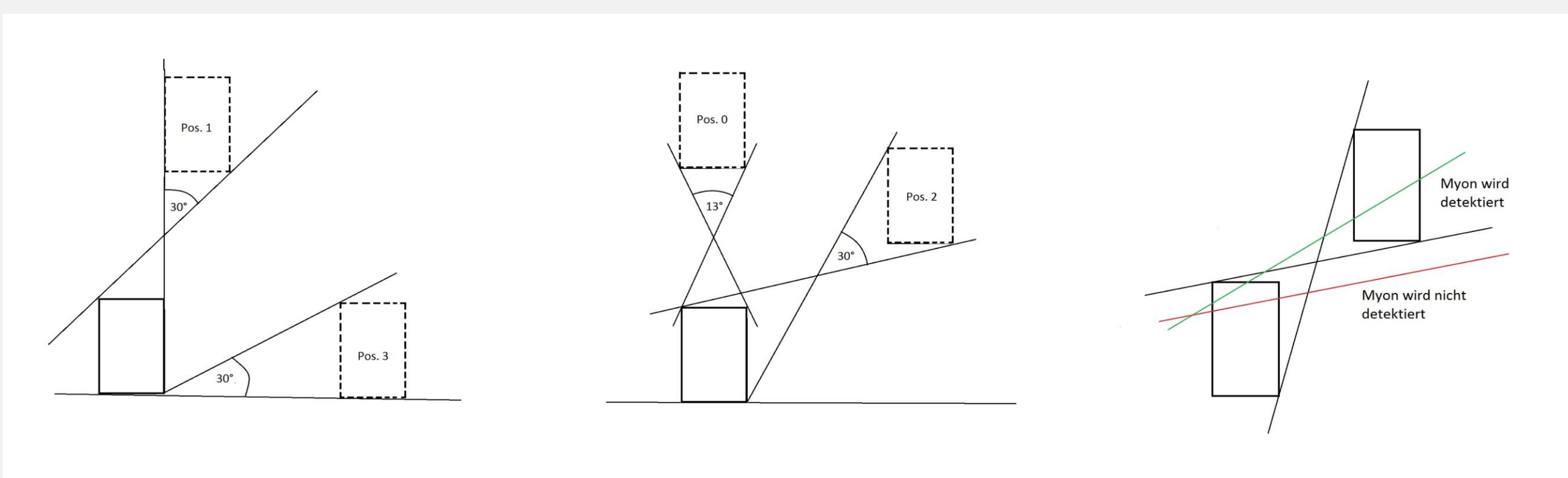
- Zwei **Photomultiplier (1)** werden mit **Hochspannung (2)** betrieben (2,2kV).
- Die beiden Signale der Detektoren werden **verstärkt (3)** und gelangen in einen **Diskriminator (4)**, um ein logisches Signal zu erhalten.
- Eine **Koinzidenzschaltung (5)** löst einen **Zähler (6)** aus, sobald in beiden Detektoren gleichzeitig ein Signal gemessen wird.
- Die Elektronik wird in einem **NIM-Modul** zusammengefasst.
- Ein **Oszilloskop (7)** (400 Mhz) hilft den Versuchsaufbau zu kalibrieren.
- Zwei von innen **verspiegelte Kannen (8)** mit Durchmesser $d=5,7$ cm und Tiefe $h=20,5$ cm werden mit **Wasser** als Szintillator befüllt und mit den Photomultipliern über einen Gummistopfen zusammengesetzt.
- Der Aufbau wird umgedreht, um eine bessere Photonenausbeute zu erzielen. Zur **Lichtabschirmung** wurde schwarze Abschirmfolie und Duct-Tape benutzt.

Bild 2.1: Versuchsaufbau



- Die Photomultiplier messen die entstehende Tscherenkow-Strahlung, wenn sich ein Myon durch den Detektor bewegt.
- Sobald die Spur eines Myons durch beide Detektoren reicht, löst der Zähler aus.
- Aus der Stellung der Detektoren kann ein Winkelbereich, aus welchem die Myonen kommen, bestimmt werden.

Skizze 2.1: Skizze der verschiedenen Positionen



Auswertung

- Aus theoretischen Überlegungen erwarten wir eine Verteilung gemäß:

$$I(\varphi) = I(0^\circ) \cdot \cos^2(\varphi) \text{ mit } n \approx 2 \text{ auf Meeresniveau}$$

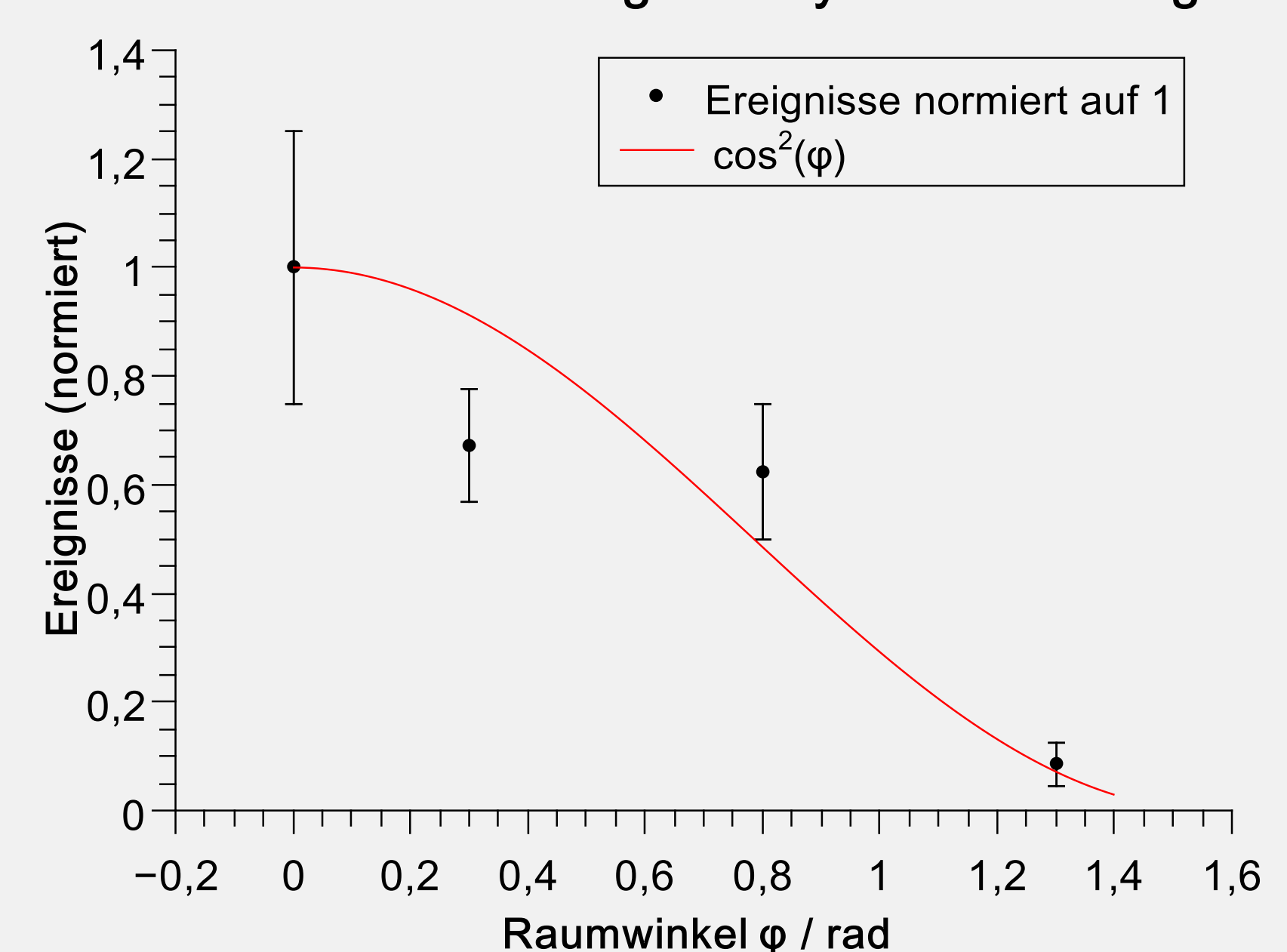
- Um die verschiedenen Winkel und Flächen zu berücksichtigen, haben wir die Werte mit folgender Formel normiert:

$$I = \frac{N}{t \cdot \Delta\theta \cdot \Delta\varphi \cdot A}$$

Tabelle 4.1: gemessene Ereignisse

Effektiver Winkel φ [Grad]	0	17	45	73
Ereignisse pro Stunde $\left[\frac{1}{h}\right]$	16 \pm 3	68 \pm 7	41 \pm 5	21 \pm 7
Ereignisse normiert $\left[\frac{1}{m^2 \cdot s}\right]$	36 \pm 10	27 \pm 4	23 \pm 5	4 \pm 2

Winkelverteilung der Myonenstrahlung



Fazit

Anhand der Messergebnisse ist zu erkennen, dass wir eine Winkelabhängigkeit der Myonen erhalten haben und die ermittelten Werte dem Verlauf der theoretisch erwarteten \cos^2 -Funktion entsprechen. Die Leermessung ergab, dass zufällige Koinzidenzen das Ergebnis nicht beeinflussen. Da, bis auf eine Ausnahme, alle Messpunkte und Fehlerbalken die Funktion (rot) treffen, ist das Ergebnis als sehr positiv anzusehen und das gesamte Projekt kann als Erfolg betrachtet werden.

Referenzen:

http://www.uni-muenster.de/Physik.KP/AGWeinheimer/Files/theses/Bachelor_Matthias_Brandt.pdf
Sowas-Gruppe D „Nachweis von Myonen durch Tscherenkow-Strahlung“ 2016

Danksagung: Ein besonderer Dank richtet sich an Herrn Dr. M. Steinke, der uns während des Projekts sehr hilfreich unterstützte. Ebenfalls danken wir Herrn T. Domanski, Herrn K. Ulrich, Frau Dr. C. Sowa und unserem Projektleiter.