

Analyse von kosmischer Strahlung

Wie verhält sich kosmische Strahlung in Abhängigkeit von Wettereinflüssen wie Druck und Temperatur?

Facharbeit

am Gymnasium Bürgerwiese

vorgelegt von:

Richter, Clemens/Klasse 10/2

betreut von:

Listner, Lukas

Dresden, den 10.02.2024

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung.....	3
2. Theoretische Grundlagen.....	5
3. Praktischer Teil.....	8
3.1 Darstellungsform.....	8
3.2 Versuchsaufbau.....	10
3.3 Datenstruktur.....	11
3.4 Angewandte Methode.....	12
3.5 Rohdaten von Myonenrate, Temperatur und Druck.....	13
3.6 Myonenrate in Abhängigkeit von der Temperatur.....	15
3.7 Myonenrate in Abhängigkeit des Drucks.....	17
4. Zusammenfassung.....	21
5. Glossar.....	23
6. Literaturverzeichnis.....	24
7. Abbildungsverzeichnis.....	25
8. Bildquellen.....	26
9. Tabellenverzeichnis.....	26
10. Anhang.....	27
11. Eigenständigkeitserklärung.....	29

1. Einleitung

Die kosmische Teilchenstrahlung ist ein faszinierendes Phänomen, das uns tagtäglich umgibt, aber von uns Menschen nicht direkt wahrgenommen werden kann. Aus dem Kosmos kommen dabei an die 66 Trilliarden Teilchen pro Tag an unserer Erde an. Viele dieser Teilchen werden durch unser Erdmagnetfeld abgelenkt und treten erst an den Polen als das sogenannte Nord- oder Polarlicht in die Erdatmosphäre ein. Es gibt aber auch viele Teilchen, die das Erdmagnetfeld überwinden können und direkt in die Atmosphäre eindringen. Diese bremst die Teilchen ab und wandelt sie in niederenergetische Teilchen um. Würde dieser Effekt nicht eintreten, könnten die Teilchen, die teilweise Energien von einem stark geschlagenen Tennisball konzentriert auf die Größe eines einzelnen Protons besitzen, erhebliche Schäden an uns Menschen und anderen Bioorganismen verursachen.

Auch wenn die entstandenen Teilchen zwar energieärmer als deren Ursprungsteilchen sind, können sie trotzdem in zu hohem Maße Schäden verursachen. Mit jeder Minute fliegen um die 600 Teilchen unbemerkt durch unseren Körper hindurch.¹ Davon merken wir als Menschen jedoch ziemlich wenig. Dies liegt daran, dass sie so winzig klein sind, dass sie durch viele Materialien einfach so hindurchfliegen können, ohne dass man direkt große Spuren erkennen könnte. Eine langfristig zu hohe Dosis kann jedoch zu ernsthaften Schäden in unserem Körper führen. Die geladenen Teilchen können entlang deren Flugbahn zu biochemischen Reaktionen in den betroffenen Zellen führen und so – insbesondere im Erbgut – Schäden verursachen.² Auf unserer Erdoberfläche ist diese Gefahr relativ gering. Für Flugreisende und insbesondere Astronauten steigt das Risiko jedoch erheblich. Um aus Strahlung resultierende Schäden vermeiden zu können, beschäftigen sich Wissenschaftler schon seit vielen Jahrzehnten mit kosmischer Strahlung. Mögliche Gefahren können so erkannt und entsprechende Maßnahmen getroffen werden.

In der Grundlagenforschung spielt die Untersuchung von kosmischer Strahlung ebenfalls eine große Rolle. Die Strahlung beinhaltet viele verschiedene Arten von Teilchen, deren Beobachtung Antworten auf grundlegende Fragen der Teilchenphysik ermöglicht. Beispielsweise wurden einige Elementarteilchen wie z.B. das Myon oder das Positron durch die Analyse von kosmischer Strahlung entdeckt.

1 Video: Terra X Lesch & Co, Weltraumstrahlung im Wohnzimmer, 22.10.2023

2 Welt der Physik (Bergita Ganse, Felix Spanier): Einfluss kosmischer Strahlung auf den Menschen, 22.10.2023

1. Einleitung

Kosmische Strahlung wird derzeit an sehr vielen Standorten rund um den Globus erforscht. Über das Online-Portal Cosmic@web des Deutschen Elektronen-Synchrotron (DESY) ist ein Zugriff auf die Daten einiger dieser Standorte möglich. DESY ist ein Forschungszentrum der Helmholtz-Gemeinschaft mit Sitz in Hamburg und Zeuthen bei Berlin.

Ich persönlich finde das Thema „Teilchenphysik“ sehr spannend, da es sich mit den kleinsten Bausteinen unseres Universums auseinandersetzt und wissenschaftliche Antworten auf grundlegende Fragen der Existenz des Universums sucht. Mich interessiert, wie alles um uns herum aufgebaut ist und wie kleinste Teilchen miteinander wechselwirken.

Im Rahmen meiner komplexen Leistung habe ich mich mit der Frage: „Welchen Einfluss haben Wetterbedingungen wie Luftdruck oder Temperatur auf die Intensität von kosmischer Teilchenstrahlung?“ beschäftigt. Dafür habe ich Datensätze eines Szintillationszählers analysiert. Dieser befindet sich auf der Antarktisforschungsstation Neumayer 3 (Abbildung 1) und detektiert kosmische Strahlung. Messwerte für Druck und Temperatur waren in diesen Datensätzen ebenfalls enthalten.



Abbildung 1: Neumayer Station 3

2. Theoretische Grundlagen

Grundsätzlich kann man kosmische Strahlung in primäre und sekundäre kosmische Strahlung separieren. Primäre Strahlung umfasst die Teilchen, die direkt aus dem Kosmos stammen. Sobald diese jedoch auf die Erdatmosphäre treffen, wechselwirken sie dabei mit Atomen der Luft. So entstehen neue Teilchen, welche unter dem Begriff sekundäre Teilchenstrahlung zusammengefasst werden. Diese Teilchen sind neben Elektronen und Protonen hauptsächlich Myonen, welche dann bei uns auf der Erde gemessen werden können und ich auch in dieser Arbeit näher untersuchen werde. Ein Myon ist ein Elementarteilchen und ähnelt in seinen Eigenschaften sehr stark dem Elektron, ist jedoch ca. 207-mal schwerer. Beide haben eine negative Elementarladung und unterliegen der *schwachen*, aber nicht der *starken Wechselwirkung*. Myonen entstehen in 10-15 km Höhe durch Wechselwirken primärer kosmischer Strahlung mit Atomkernen der Luft. Außerdem hat ein Myon eine mittlere Lebensdauer von $2,2 \cdot 10^{-6}$ s. Durchschnittlich kann ein Myon in dieser Zeit 660 m zurücklegen, aus klassischer Sicht wäre es demnach schon längst zerfallen, bevor es auf die Erde treffen könnte. Dass Myonen trotzdem auf der Erde nachgewiesen werden können, liegt an der relativistischen Zeitdilatation, was bedeutet, dass bei der Betrachtung von der Erde aus die Zeit im System der Myonen langsamer gegenüber der Zeit auf der Erde vergeht.³ Eine ausführliche physikalische Erklärung würde an dieser Stelle jedoch zu weit führen.

Primäre kosmische Strahlung besteht im Wesentlichen aus Protonen, *Alphateilchen* und in sehr geringem Maße auch aus Elektronen und Atomkernen von schwereren Elementen. Diese geladenen Teilchen werden auf ihrem Weg zur Erde durch Magnetfelder im Kosmos abgelenkt. Daher kann man bei der Messung auf der Erde nicht mehr auf den Ursprungsort dieser schließen. Forscher vermuten jedoch, dass je nachdem welche Energien die Teilchen besitzen, die Ursprungsorte die Sonne, galaktische Quellen in unserer Milchstraße oder extragalaktische Quellen außerhalb unseres Sonnensystems im Universum sind.⁴ Quellen können dabei z.B. Supernovä sein, bei der ein Stern am Ende seiner Entwicklung explodiert und dessen Materie größtenteils in Energie umgewandelt wird, die dann in unseren Kosmos geschleudert wird.⁵

Wenn diese primäre Strahlung nun auf unsere Erdatmosphäre trifft, kollidieren die kosmischen Teilchen mit den Atomen der Luft. Je nachdem, wie hoch die Energie dieses Teilchens war, entstehen jetzt ein oder mehrere neue Teilchen. Hierbei werden neben anderen Elementarteilchen

3 Lefiphsik: Spezielle Relativitätstheorie, 11.01.2024

4 Netzwerk Teilchenwelt: Teilchenphysik Band 3, 06.01.2024

5 Wissenschaft.de: Extra galaktische Extremstrahlung, 11.01.2024

2. Theoretische Grundlagen

am häufigsten Pionen erzeugt. Sie bestehen aus zwei Quarks und können positiv, negativ oder neutral geladen sein.

Außerdem unterliegen sie der *schwachen Wechselwirkung*, welche u.a. die allgemeinen Zerfälle von Teilchen verursacht.

Aufgrund dieser Wechselwirkung zerfallen die Pionen schon nach sehr kurzer Zeit. Wandelt sich ein geladenes Pion um, so entsteht entweder ein Myon oder ein Antimyon. Der Zerfall

$$\pi^+ \longrightarrow \mu^+ + \nu_\mu$$

$$\pi^- \longrightarrow \mu^- + \bar{\nu}_\mu$$

$$\pi^0 \longrightarrow \gamma + \gamma$$

Abbildung 2: Pionen und ihre Umwandlung

eines neutralen Pions wird dagegen durch die elektromagnetische Wechselwirkung verursacht. Dabei entstehen in der Regel zwei Photonen (siehe Abbildung 2).⁶ Wenn ein primäres kosmisches Teilchen mit sehr hoher Energie auf die Erdatmosphäre trifft, kann es passieren, dass die erzeugten Pionen genügend Energie besitzen, sodass sie selbst mit Atomkernen der Luft wieder neue Teilchen bilden. Dabei können aus einem primären Teilchen bis zu 10^{11} neue Teilchen entstehen, die dann als regelrechte Teilchenschauer in Richtung Erdoberfläche fliegen (siehe Abbildung 3). Auch die Photonen aus Umwandlungen von neutralen Pionen können bei genügend hoher Energie neue Elektron-Positron-Paare bilden.

Daher lässt sich sagen, dass je höher die Energie eines primären kosmischen Teilchens ist, desto mehr Sekundarteilchen entstehen bei einem Kontakt mit der Atmosphäre. Die Fläche, auf der diese nachgewiesen werden können, wächst dementsprechend auch.

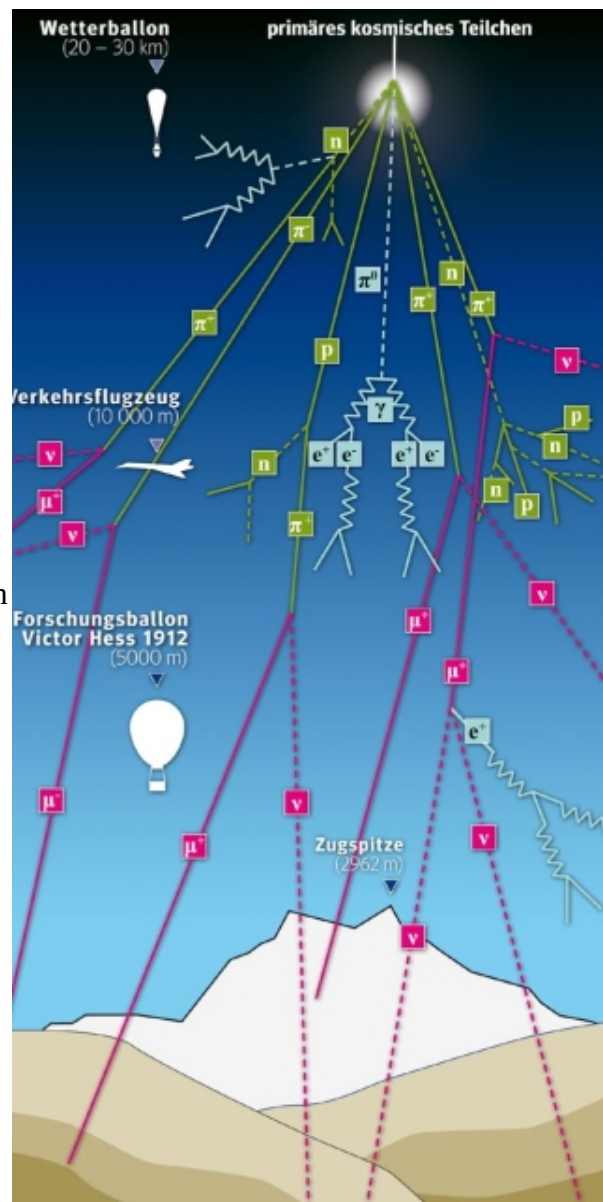


Abbildung 3: Teilchenschauer eines primären kosmischen Teilchens

2. Theoretische Grundlagen

In Lebewesen kann kosmische Strahlung Spuren hinterlassen, die in zu großem Maße zu ernsthaften Schäden führen können. Die Strahlung kann Atome und Moleküle in Lebewesen ionisieren. Das bedeutet, dass durch die eingebrachte Energie z.B. ein Elektron den Atom- oder Molekülverband verlassen kann. Dann bleibt ein positiv geladenes Ion zurück, was die Struktur stört und so zu biochemischen oder chemischen Reaktionen in den betroffenen Zellen führen kann. Dies kann insbesondere im Erbgut Schäden verursachen.²

Aufgrund der Tatsache, dass primäre kosmische Teilchen nur bis zum Eintritt in unsere Atmosphäre existieren können, kann man sie nur mit Satelliten beobachten. Daher konzentriert sich die Forschung auf der Erde hauptsächlich auf die Messung von sekundärer Teilchenstrahlung, aus der man wiederum viele Rückschlüsse auf deren Herkunft und damit auch letztlich primäre Teilchenstrahlung ziehen kann. Um diese zu erforschen, wird meist die Ladung des Teilchens genutzt, um sie in ein Lichtsignal umzuwandeln, welches dann gemessen wird. So auch in einem Szintillationszähler, welcher auch die Daten für meine Analysen lieferte. „Ein Szintillator ist ein Material, das beim Durchgang von geladenen Teilchen und Gamma-Strahlung angeregt wird und diese Energie in Form von Licht wiedergibt.“⁷ An den Szintillator ist ein Photo Multiplier Tube (PMT, im Sinnzusammenhang übersetzt: Foto-Multiplikator-Röhre) angeschlossen. Dieser vervielfältigt das detektierte Signal und wandelt es in ein elektrisches Signal um, welches dann von entsprechenden Geräten ausgewertet werden kann.⁸ Meist ist die gesamte Anlage von einem lichtundurchlässigen Material umgeben, um Fehlsignale durch von außen einfallendes Licht zu vermeiden.

⁷ Zitat aus Chemie.de: Szintillator, 06.01.2024

⁸ DESY: Photo Multiplier Tube, 23.10.2023

3. Praktischer Teil

Für meine Analyse habe ich Daten eines Szintillator-Experiments auf der Antarktisforschungsstation Neumayer 3, welche auf 70° südlicher Breite liegt, ausgewertet. Im Folgenden werde ich dafür meine Darstellungsform, den Versuchsaufbau des Experiments, die Datenstruktur und meine angewandte Methode erläutern. Anschließend werde ich die Daten für Temperatur, Druck und Myonenrate einzeln darstellen und auswerten, um dann diese hinsichtlich eines Zusammenhangs zwischen der Myonenrate und im ersten Teil der Temperatur, im zweiten Teil dem Druck untersuchen zu können.

3.1 Darstellungsform

Als Diagrammtyp für meine Daten habe ich das Histogramm gewählt. Ein Histogramm ist dabei eine Darstellungsform für statistische Prozesse nach der Häufigkeit des Auftretens eines Ereignisses. Für meine Analyse habe ich zwei Arten von Histogrammen genutzt: eindimensionale Histogramme (1D-Histogramme) und zweidimensionale Histogramme (2D-Histogramme).

Ein 1D-Histogramm (Abbildung 4) bildet auf der x-Achse den entsprechenden Parameter und seine gemessenen Werte ab. Auf der y-Achse wird die Anzahl der Ereignisse, die für den jeweiligen Wert auf der x-Achse gezählt wurden, gezeigt. Je nachdem, wie man diese Punkte jetzt verbindet, entsteht ein Diagramm,

welches die Häufigkeitsverteilung von verschiedenen Werten eines Parameters zeigt. Vorteil dabei ist, dass schnell statistische Aussagen getroffen werden können, da diese direkt im Diagramm abgebildet sind und nicht extra berechnet werden müssen.

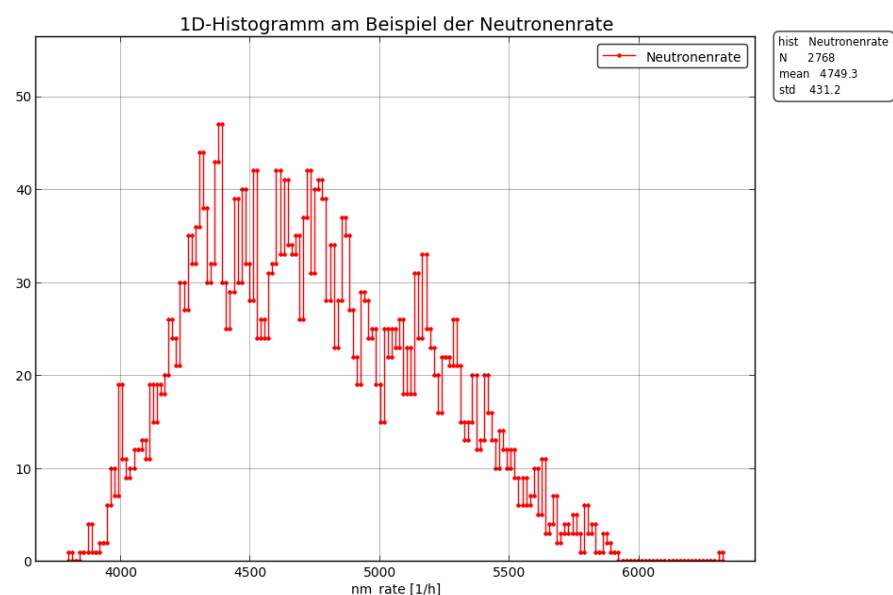


Abbildung 4: 1D-Histogramm am Beispiel der Neutronenrate auf der Polarstern 2020

3. Praktischer Teil

Ein 2D-Histogramm (Abbildung 5) besteht aus vielen gleichgroßen Kästchen. Dabei beschreibt die Anzahl an Bins, wie viele Kästchen pro Achse eingeteilt wurden. Durch diese Rasterung entstehen nun verschiedene Felder, in die jetzt bei jedem Datenpaar ein Ereignis eingetragen wird. Mit einem Datenpaar ist gemeint, wenn z.B. bei einer Temperatur von $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 1500 Myonen pro Stunde detektiert wurden. Je nachdem, wie viele Ereignisse jetzt pro Kästchen eingetragen wurden, färbt sich dieses entsprechend. Welche Farbe welche Bedeutung hat, ist dabei in der Legende erklärt. Der große Vorteil eines 2D - Histogramms ist, dass man innerhalb einer zweidimensionalen Darstellung, drei Variablen unterbringen kann, was eine genauere statistische Untersuchung der Daten ermöglicht. Zusammenhänge können so sehr gut dargestellt werden.

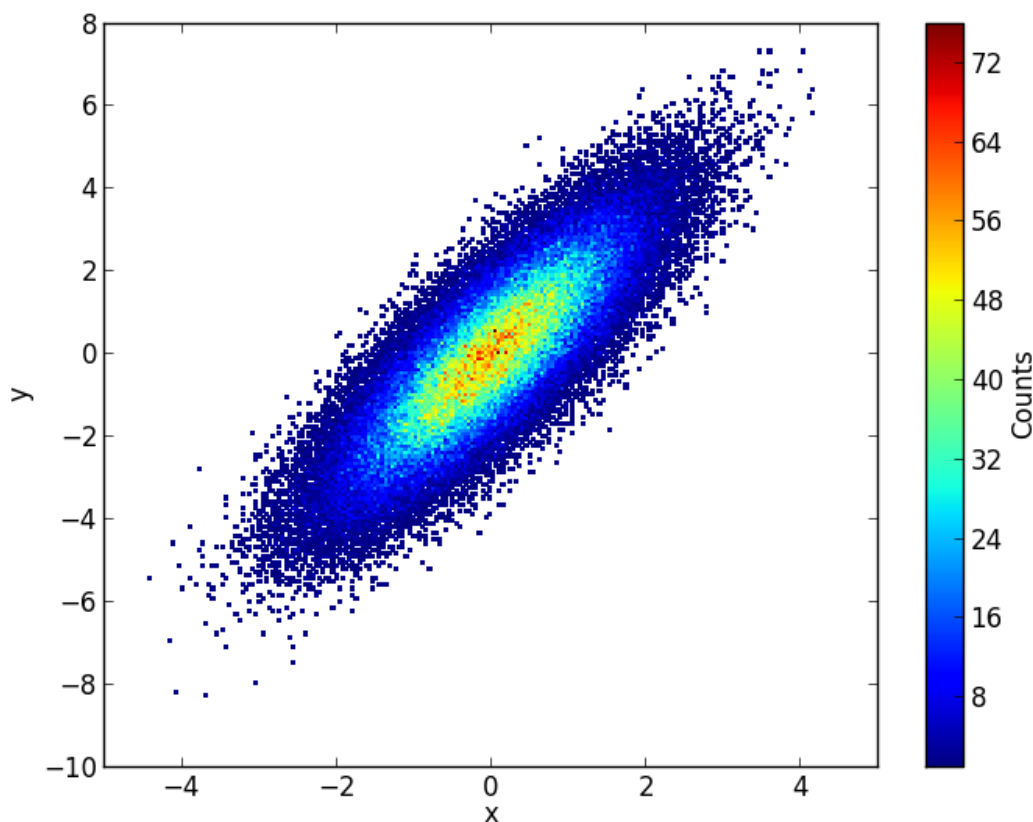


Abbildung 5: Beispiel 2D-Histogramm, Quelle: Oceanphython

3.2 Versuchsaufbau

Das Szintillationszähler-Experiment misst Myonen, welche durch die Wechselwirkung primärer kosmischer Strahlung mit Atomen der Atmosphäre entstehen. Genutzt werden dafür zwei 25 cm² große Szintillatorplatten, die im Abstand von 40 cm übereinander aufgestellt werden. Diese bestehen aus einem organischen Material, welches einen UV-Lichtimpuls abgibt, sobald ein Teilchen die Platte durchdringt.⁹ Dieses Signal wird dann an zwei PMTs geleitet, welche die Lichtsignale verstärken und in elektrische Impulse umwandeln.⁸ Diese werden dann zu einer Data Acquisition Karte (DAQ-Karte) geleitet, die das Signal auswertet.¹⁰ Um Fehlsignale zu filtern, sind beide Szintillatorplatten in Koinzidenz geschaltet. Das bedeutet, dass nur Signale gewertet werden, die auch von beiden Szintillationszählern gemessen wurden. So werden nur Impulse von Teilchen gewertet, die genügend Energie besitzen, um beide Szintillatorplatten zu durchdringen und so auch in den meisten Fällen tatsächlich Myonen sind. Zusätzlich wird durch diese Koinzidenzschaltung der Öffnungswinkel des Experiments verkleinert. So kann man die Richtung, aus der die Teilchen kommen, genauer bestimmen. Abschließend wird das gefilterte und ausgewertete Signal an ein Netbook geleitet, welches die Daten speichert und über das Netzwerk der Neumayer Station 3 einmal täglich zum DESY schickt.¹¹



Abbildung 6: Der Myonen Detektor

9 DESY: Szintillator, 23.10.2023

10 DESY: DAQ-Karte, 23.10.2023

11 DESY: Neumayer Station 3, Szintillationszähler-Experiment Versuchsaufbau, 23.10.2023

3.3 Datenstruktur

In den Datensätzen sind die in Tabelle 1 dargestellten Werte enthalten¹²:

Bezeichnung	Erklärung der Variablen	SI-Einheit
Time	UTC Zeit nach dem 1.1.2010 00:00:00	Sekunden
ymdh	year-month-day-hour	-
p	Luftdruck	Hektopascal (hPa)
T	Temperatur außen	Grad Celsius
mu_rate	Myonenrate, Anzahl der Myonen pro Stunde	1/h
nm_rate	Neutronen-Monitor-Rate, Anzahl der Nukleonen pro Stunde	1/h
T_nm	Temperatur am Neutronen Monitor	Grad Celsius
p_nm	Luftdruck am Neutron-Monitor	Grad Celsius
HV_nm	Hochspannung am Zählrohr vom Neutronen-Monitor	Volt

Tabelle 1: Datensatzbeschreibung

¹² DESY: Datensatzbeschreibung, 11.11.2023

3.4 Angewandte Methode

Das Analyseportal von Cosmic@web (<https://cosmicatweb.desy.de/ctplot/>) ist grundsätzlich sehr simpel aufgebaut und bietet viele verschiedene Einstellungsmöglichkeiten. Als Erstes erfolgt die Datenauswahl (siehe Abbildung 7). Hier werden das ausgesuchte Experiment, der Datensatz und die Darstellungsform gewählt. Für meine Analyse habe ich Datensätze der Neumayer Station zwischen 2014 und 2017 genutzt. Aktuellere Daten lagen zum Zeitpunkt der Analyse nicht vor. Als Darstellungsform habe ich ein 2D-Histogramm gewählt, um Zusammenhänge zwischen mehreren Größen abbilden zu können. Anschließend erfolgt die Auswahl der Variablen. Möglich sind hier, je nach Datensatz und Experiment variierend, in meinem Fall der Druck, die Temperatur und jeweils die stündliche Anzahl der Einschläge am Szintillator. Zusätzlich kann man hier je eine Korrekturfunktion pro Variable angeben, um eine bessere Visualisierung zu erreichen.¹³ Bei einem Histogramm gibt es außerdem die Möglichkeit, für jede Variable die Anzahl an Bins festzulegen. Ich habe mich hier im Bereich zwischen 100 und 200 Bins pro Variable bewegt. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, eine Datenreduktion durchzuführen. Hier wird eine Bedingung eingefügt, welche die Daten filtert. Abschließend gibt es einige Darstellungsoptionen, wie z.B. die Beschriftung, Start - und Endwerte oder die Skalierung.

The screenshot displays the '1. Datenreihe' (1. Data Series) configuration page. At the top, a dropdown menu is set to 'Erweitert' (Advanced). Below this, a red 'X' icon is visible. The 'Datenauswahl' (Data Selection) section includes: 'Bezeichnung' (Label) set to 'Druck 2014-2017'; 'Experiment' set to 'Neumayer'; 'Datensatz' (Dataset) set to '2014-2017_NM-nm-my - Neur'; and 'Darstellungsform' (Display Form) set to '2D-Histogramm'. The 'Auswahl der Variablen' (Variable Selection) section includes: 'x-Variable' set to 'mu_rate [1/h]'; 'Korrekturfunktion für x-Variable' (Correction Function for x-Variable) as an empty text box; 'Anzahl der x-Bins' (Number of x-Bins) set to '170'; 'y-Variable' set to 'T [°C]'; 'Korrekturfunktion für y-Variable' (Correction Function for y-Variable) as an empty text box; and 'Anzahl der y-Bins' (Number of y-Bins) set to '170'.

Abbildung 7: Auswahl der Datensätze und Variablen

¹³ DESY: Dokumentation, 18.11.2023

3.5 Rohdaten von Myonenrate, Temperatur und Druck

Bei Betrachtung der Myonenrate (Abbildung 8) im Zeitraum 2014 - 2017 fallen mehrere Dinge auf. Zum einen bewegt sich die stündliche Myonenrate nur zwischen 800 und 1600, sie ist also sehr lokal begrenzt. Über diesen Bereich hinaus gibt es so gut wie keine Ereignisse. Weiterhin ist zu beobachten, dass es zwei Maxima in den Daten gibt. Eines ist bei 1050 Myonen, das andere bei 1400. Das zweite ist zudem wesentlich größer, dort ist das Maximum bei 3500 Ereignissen, das erste hat nur Werte von bis zu 1000. Diese zwei Ansammlungen könnten auf eine kurzzeitig geminderte oder gesteigerte Sonnenaktivität zurückzuführen sein.

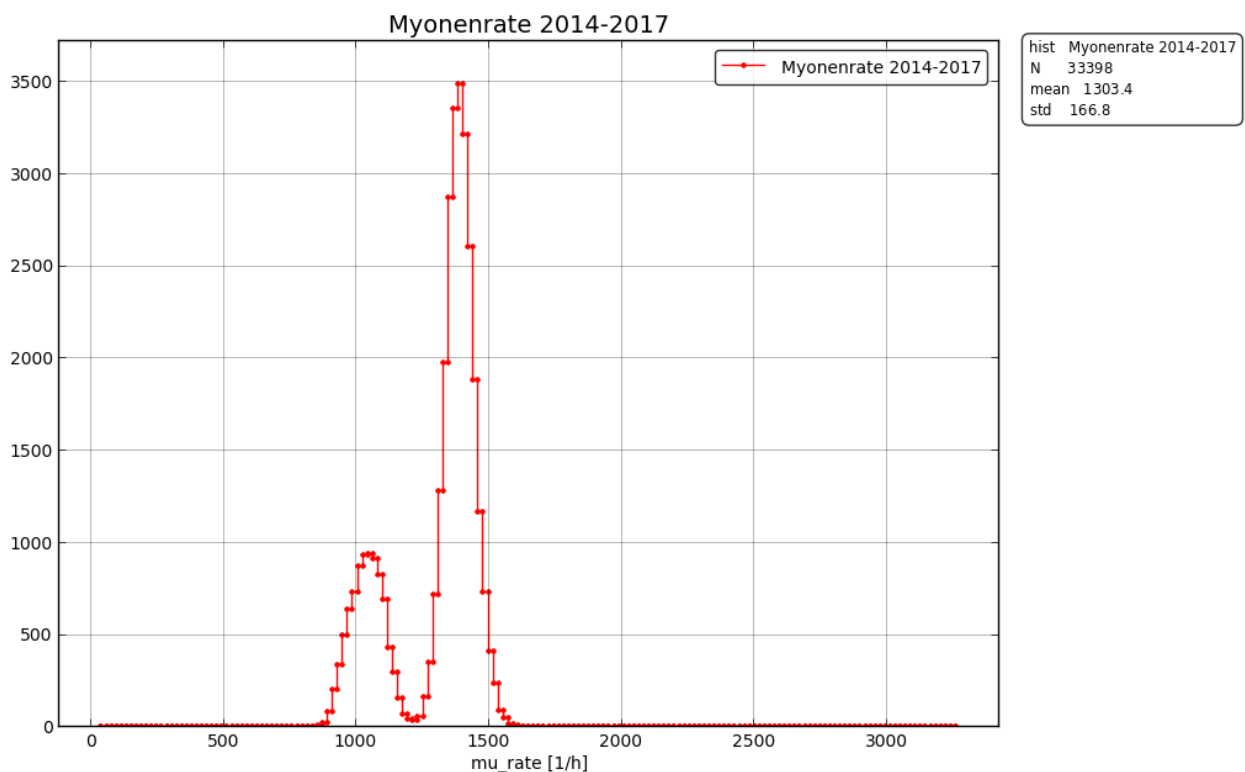


Abbildung 8: Myonenrate an der Neumayer Station 3 im Zeitraum 2014-2017

3. Praktischer Teil

Betrachtet man die Temperatur über diesen Zeitraum (Abbildung 9), können ebenfalls einige Aussagen getroffen werden. Im Bereich von $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ bis $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ gibt es nur vereinzelt Ereignisse. Anschließend zwischen $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ und $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ steigt die Anzahl der Ereignisse von ca. 30 auf 250 im Durchschnitt fast linear an. Bis $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ bleibt die Anzahl der Ereignisse im Schnitt relativ gleich, es gibt mal mehr, mal weniger. Hier ist auch das Maximum bei $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ und 325 Ereignissen zu verzeichnen. Danach fällt die Anzahl rasant zwischen $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ und $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ von 250 auf 0 Ereignisse ab.

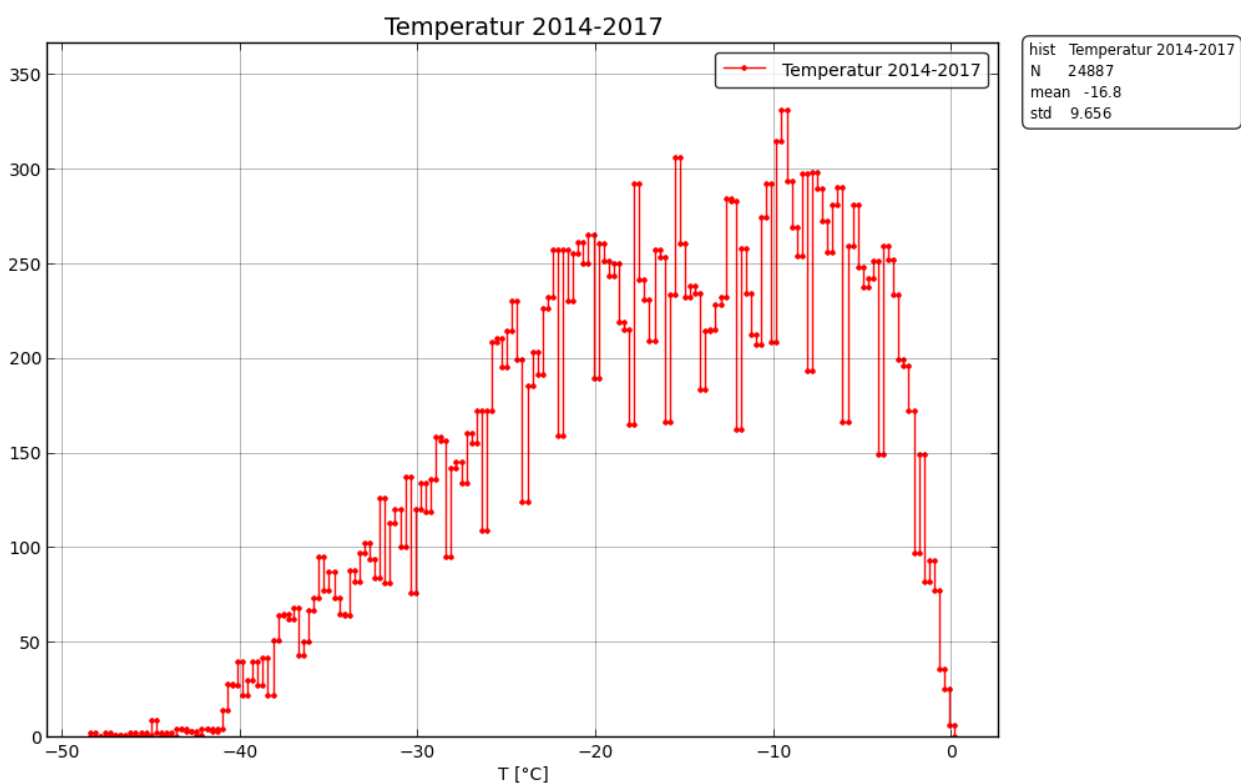


Abbildung 9: Temperatur an der Neumayer Station 3 im Zeitraum 2014-2017

Beobachtet man den Luftdruck in diesem Zeitraum (Abbildung 10), sieht man einen deutlichen Peak, der zu beiden Seiten annähernd symmetrisch abflacht. Dessen Maximum liegt bei 983 hPa und 810 detektierten Ereignissen. Die Anzahl an Ereignissen schwächt sich anschließend in Richtung höheren Drucks bis 1003 hPa rasant ab. Anschließend beträgt die Anzahl bis 1010 hPa nahezu null. In Richtung abfallenden Drucks schwächt sich die Anzahl etwas langsamer, jedoch auch bis nahezu null bei 950 hPa ab. Ab dort sind nur im einstelligen Bereich Einschläge detektiert worden.

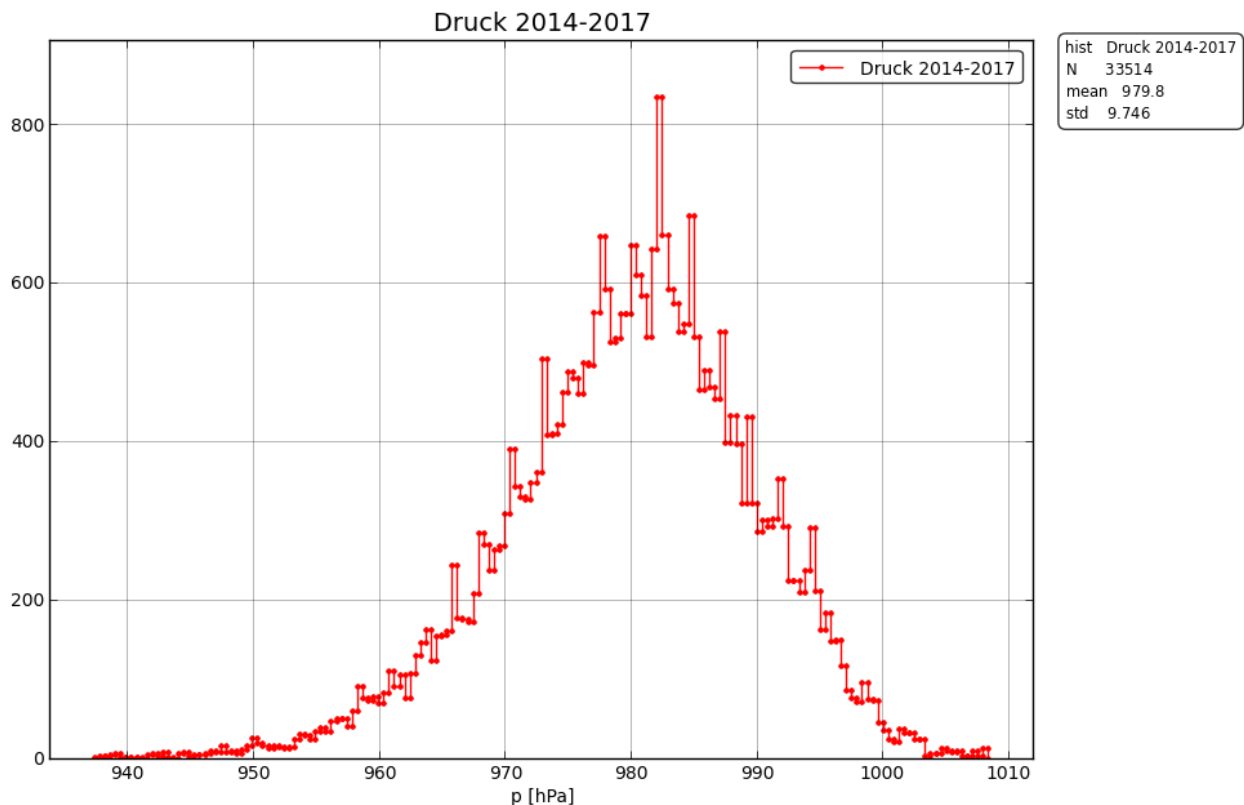


Abbildung 10: Luftdruck an der Neumayer Station 3 im Zeitraum 2014-2017

3.6 Myonenrate in Abhängigkeit von der Temperatur

Für meine erste Analyse habe ich die Myonenrate von 2014 bis 2017 zusammen mit der Temperatur betrachtet (Abbildung 11). Als Darstellungsform habe ich ein 2D Histogramm gewählt. Auf der x-Achse wird die stündliche Myonenrate abgebildet, auf der y-Achse die Temperatur in °C. Außerdem habe ich mit jeweils 170 Bins pro Achse gearbeitet.

In dem resultierenden Histogramm, welches den gesamten Zeitraum von 2014 bis 2017 beschreibt, kann man mehrere Dinge beobachten. Zum einen sieht man, dass sich die Ereignisse von detektierten Myonen mit abnehmender Temperatur abschwächen. Spannend hierbei ist jedoch, dass die Anzahl an gemessenen Myonen konstant bleibt. Es ändert sich lediglich die Anzahl an Ereignissen der Datenpaare. Außerdem ist das größte Aufkommen bei -10 °C mit ca. 1400 Einschlügen pro Stunde. Das Maximum an Myonen befindet sich bei ca. 3250 Einschlügen pro Stunde bei -11°C ; das Minimum bei 400 Einschlügen und -5°C. Außerdem kann man erkennen,

3. Praktischer Teil

dass alle Ereignisse sehr lokal begrenzt sind. Sie befinden sich, abgesehen von einigen wenigen Ausreißern, alle im Bereich zwischen 1000 und 2000 Myonen pro Stunde.

Daraus resultiert, dass die Myonenrate über die Zeit gesehen relativ konstant und stabil ist. Die beobachteten Ausreißer in den Messwerten können unter anderem auf eine kurzzeitig gesteigerte oder verminderte Sonnenaktivität oder Fehler in der Messung zurückzuführen sein.

Bei der genaueren Betrachtung der einzelnen Jahre (siehe Abbildungen 17 bis 19 im Anhang) konnten keine nennenswerten zusätzlichen Beobachtungen gemacht werden, weshalb sie an dieser Stelle nicht mehr relevant sind.

Grundsätzlich kann man jedoch sagen, dass über den Zeitraum 2014–2017 keine größeren Unterschiede in der Myonenrate zu verzeichnen waren. Es wurde ein sehr lokal begrenztes Aufkommen beobachtet, welches zwischen 1100 und 1650 Myonen pro Stunde liegt. Die Anzahl der Ereignisse nimmt mit fallender Temperatur ab. Für diese Beobachtungen werden jedoch einige Datenpunkte, die außerhalb des höchsten Aufkommens liegen, vernachlässigt.

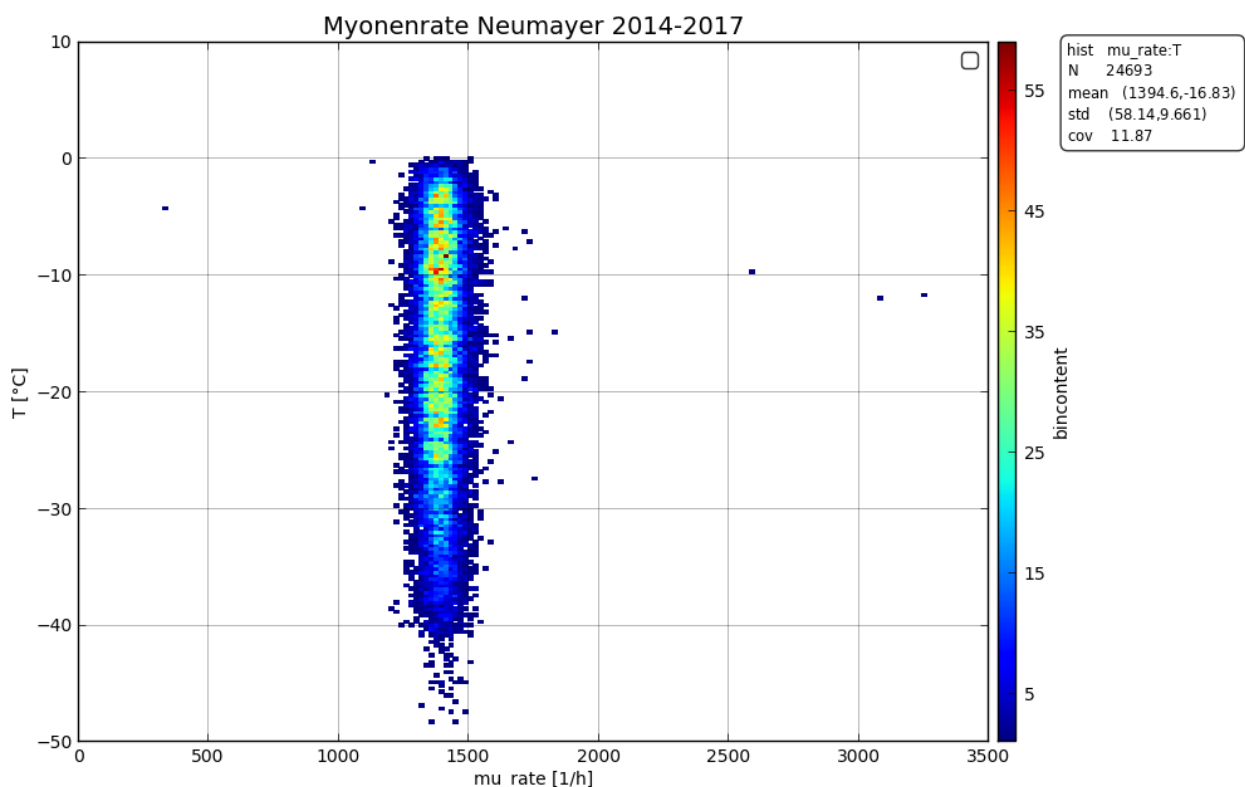


Abbildung 11: Myonenrate in Abhängigkeit der Temperatur 2014-2017

3.7 Myonenrate in Abhängigkeit des Drucks

Für den zweiten Teil meiner Analyse habe ich die stündliche Myonenrate in Abhängigkeit des Drucks betrachtet. Für diesen Teil habe ich als Darstellungsform wieder ein 2D-Histogramm gewählt. Die x-Achse beschreibt die stündliche Anzahl an registrierten Myonen, die y-Achse den gemessenen Luftdruck. Die Anzahl der x - und y - Bins betrug in dieser Analyse 170.

Das erste Histogramm (Abbildung 13) umfasst den gesamten Zeitraum von 2014 bis 2017. Hier kann man deutlich eine Separierung in zwei Hauptvorkommen erkennen. Das eine befindet sich bei 1000 Einschlügen pro Stunde, das andere bei 1500 Einschlügen. Hierbei ist das zweite etwas konzentrierter und somit schmaler als das erste. Weiterhin ist zu beobachten, dass die zwei Hauptvorkommen beide etwas nach links geneigt sind. Daraus resultiert, dass die Myonenrate mit abnehmendem Druck steigt. Außerdem ist eine höhere Anzahl an Ereignissen zu beobachten. Insgesamt nehmen die Ereignisse bei 985 hPa nach oben und unten hin symmetrisch ab. Daraus folgt, dass das höchste Aufkommen bei 985 hPa liegt. Zusätzlich bewegen sich alle Datenpunkte zwischen 935 und 1010 hPa. Grund dafür ist, dass, wie in Abbildung 10 beschrieben, der Luftdruck an der Neumayer Station 3 sich nur in diesem Bereich befindet, was dazu führt, dass nur in diesem Spektrum Ereignisse möglich sind und somit der Bereich entsprechend eingegrenzt wird. Zusätzlich sind einige Datenpunkte zu beobachten, die weit außerhalb der zwei zentralen Sammelpunkte liegen. Diese sind möglicherweise auf eine gesteigerte bzw. verminderte Sonnenaktivität zurückzuführen. Im Verhältnis machen diese jedoch nur einen sehr kleinen Teil der Daten aus und werden daher, um genauere und allgemeingültige Aussagen treffen zu können, an dieser Stelle vernachlässigt.

Ein Grund für die zwei großen Hauptvorkommen in der Myonenrate könnte eine zeitliche Versetzung der Intensität sein. Wenn in einem Jahr diese schwächer als in den anderen gewesen war, könnte dies zu den gemessenen Daten und letztlich der Ausprägung der zwei größeren Ansammlungen im Diagramm führen. Um dies zu überprüfen, habe ich zu jedem Jahr einzeln eine Analyse durchgeführt, welche man in den Diagrammen 12 - 15 dargestellt sieht.

Bei genauer Betrachtung dieser fallen einige Dinge auf: Zwar sind das Aussehen und die Form der Ansammlungen von Datenpunkten grundlegend gleich, jedoch sind sie der Position nach leicht verschoben. So liegen die meisten Datenpunkte der Jahre 2014-2016 im Bereich von 1200 und

3. Praktischer Teil

1550 Myonen pro Stunde, im Jahr 2017 liegen sie jedoch zwischen 900 und 1150 Myonen pro Stunde. Im Druckbereich liegen die Datenpunkte in allen Jahren größtenteils zwischen 940 und 1010 hPa, wobei im Jahr 2014 die Datenpunkte erst ab 950 hPa anfangen und 2016 im Bereich zwischen 940 und 950 hPa nur vereinzelt Ereignisse auftreten. Die Anzahl der aufgezeichneten Ereignisse liegt in den Jahren 2015-2017 bei rund 8600, im Jahr 2014 liegt sie jedoch nur bei rund 7300. In allen Diagrammen kann man ein Maximum der Ereignisse bei 980 hPa beobachten. Ursache dafür ist, dass der Durchschnittswert des Luftdrucks ca. bei 980 hPa liegt (Abbildung 10). Somit ist dies der häufigste Zustand, in dem Myonen detektiert werden können, was zwangsläufig zu einem Maximum an diesem Punkt führt. Weiterhin ist zu erwähnen, dass im Jahr 2017 die meisten Ausreißer in den Daten vorkommen. Die stündliche Myonenrate liegt hier teilweise bei über 2900 Einschlügen.

Aufgrund dieser Beobachtungen können einige Schlussfolgerungen gezogen werden. Als erstes wurde bewiesen, dass die zwei Hauptvorkommen im Zeitraum 2014-2017 tatsächlich durch eine zeitliche Versetzung hervorgerufen wurden. Die Datenpunkte der Jahre 2014-2016 bilden den rechten Hotspot bei 1500 Myonen; die Daten des Jahres 2017 den linken bei ca. 1100 Myonen pro Stunde. Damit ist auch die unterschiedliche Anzahl der Ereignisse zwischen den beiden Hotspots erklärbar. Der rechte besteht aus Daten von drei Jahren, während der linke nur von Daten aus einem Jahr gespeist wird. Dies führt zwangsläufig zu einer unterschiedlichen Ausprägung der Anzahl an Ereignissen und damit auch zu einer unterschiedlichen Färbung im Diagramm.

Zusammenfassend wird weiterhin beobachtet, dass die Anzahl an Ereignissen bei beiden Hotspots bei ca. 980 hPa liegt. Außerdem nimmt sie sowohl mit steigendem und fallendem Druck ab. Zusätzlich ist zu sagen, dass mit abnehmendem Druck die Myonenrate steigt.

3. Praktischer Teil

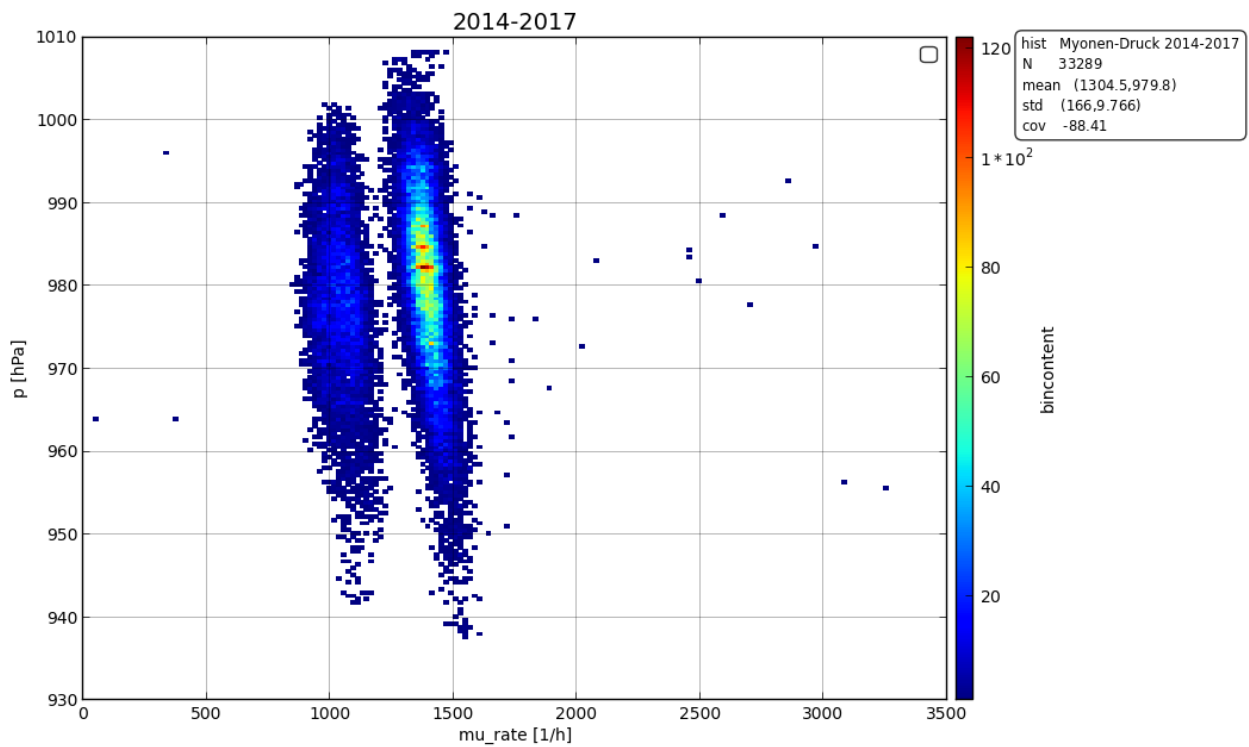


Abbildung 13: Myonenrate in Abhängigkeit des Luftdrucks im Zeitraum 2014-2017

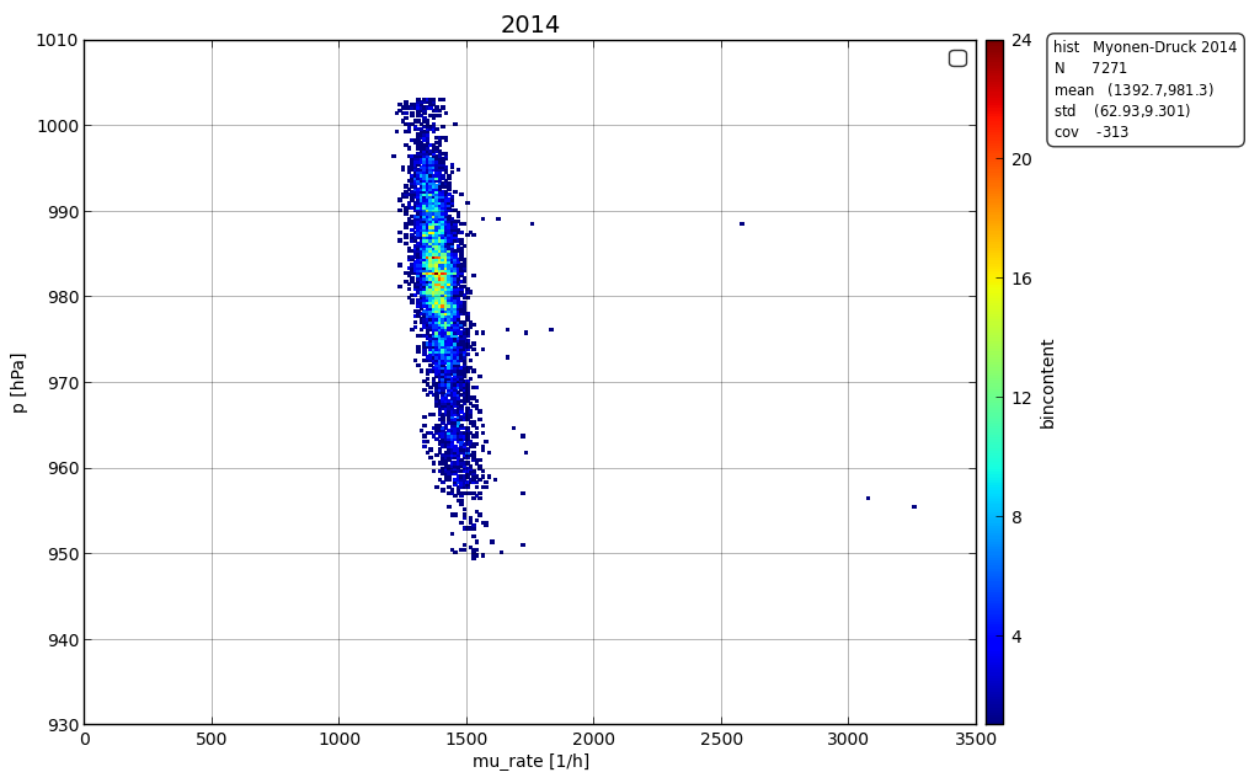


Abbildung 12: Myonenrate in Abhängigkeit des Luftdrucks 2014

3. Praktischer Teil

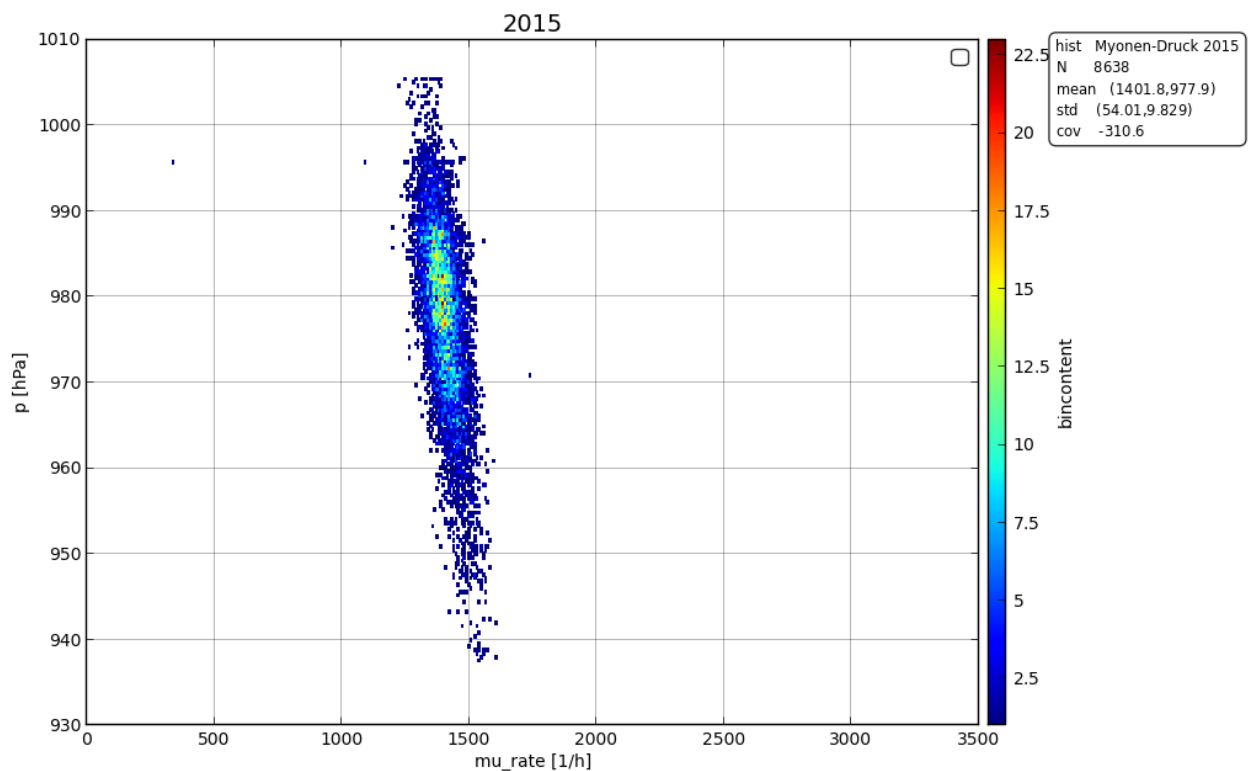


Abbildung 14: Myonenrate in Abhängigkeit des Luftdrucks 2015

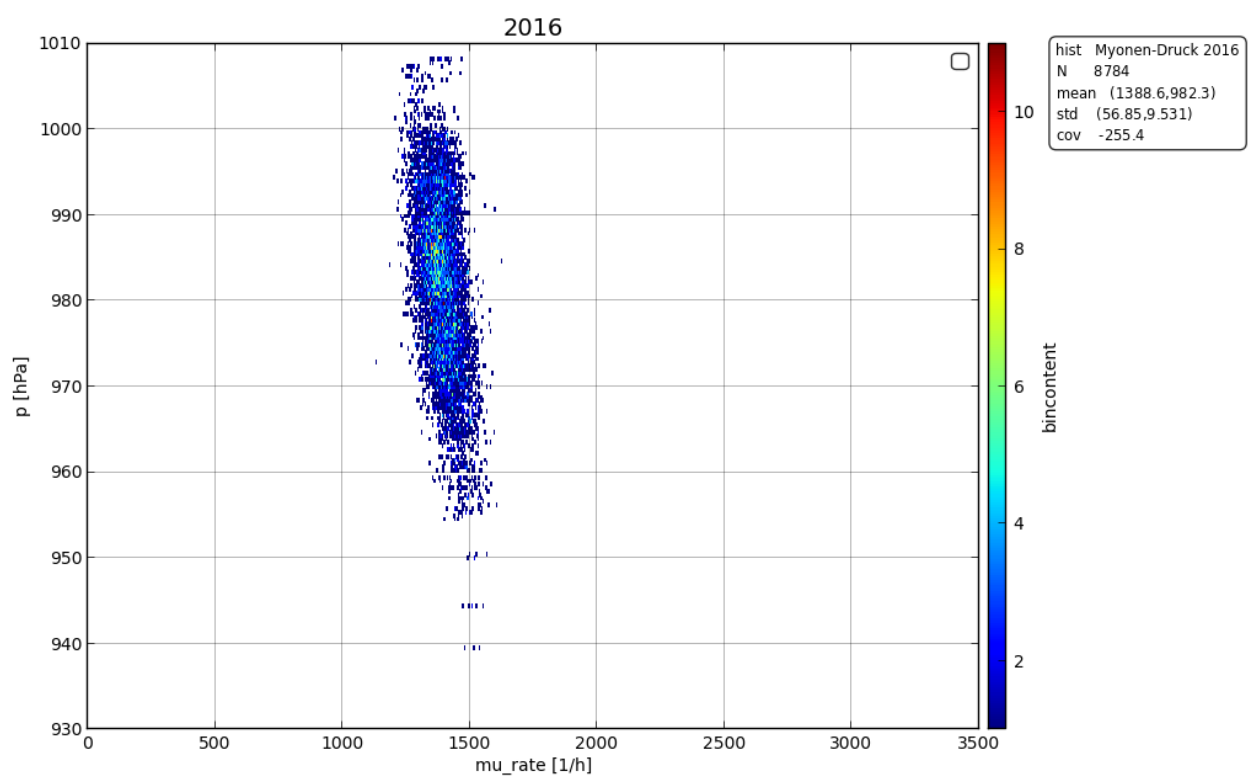


Abbildung 15: Myonenrate in Abhängigkeit des Luftdrucks 2016

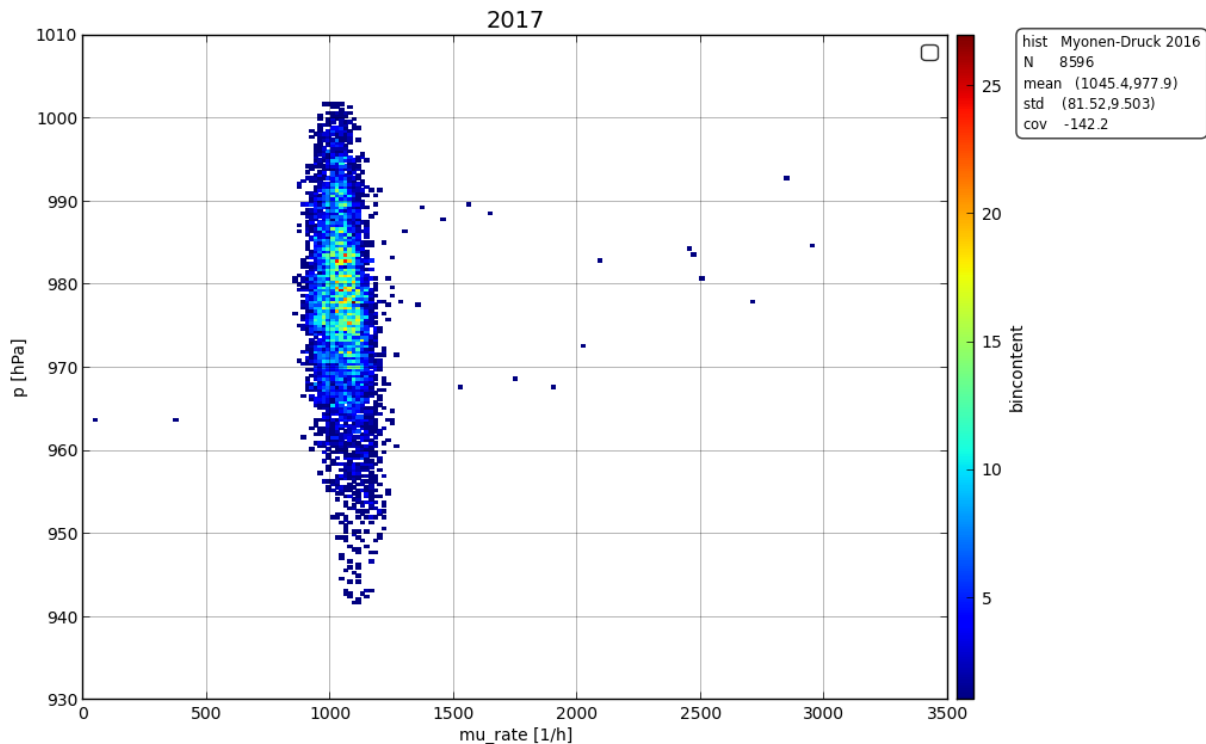


Abbildung 16: Myonenrate in Abhängigkeit des Luftdrucks 2017

4. Zusammenfassung

Im Rahmen dieser Arbeit habe ich untersucht, ob es einen Zusammenhang zwischen der Myonenrate und der Temperatur bzw. dem Druck gibt. Darüber hinaus habe ich mich mit der Analyse und Auswertung von Daten beschäftigt und konnte dadurch viel anwendbares Wissen und Methoden erlernen. Dabei hat sich das Analysetool Cosmic@web als sehr hilfreich und nützlich erwiesen.

Hinsichtlich der wissenschaftlichen Ergebnisse konnte ich auch einige Erkenntnisse erlangen, welche ich im Folgenden zusammenfassen werde.

Bei der Analyse der Myonenrate im Zusammenhang mit der Temperatur konnte man keine größeren Auffälligkeiten erkennen. Die Myonenrate bleibt über die Zeit gesehen ziemlich konstant zwischen 1300 und 1550 Einschlügen pro Stunde und weist nur selten größere Abweichungen auf. Weiterhin war zu beobachten, dass mit abnehmender Temperatur die Anzahl an Einschlügen kontinuierlich abgenommen hat. Betrachtet man in diesem Zusammenhang das 1D Histogramm der Temperatur (Abbildung 9), so erkennt man eine Erklärung dafür. Legt man den Verlauf dieses

4. Zusammenfassung

Graphen mit der Farbskala des 2D-Histogramms der Myonenrate und der Temperatur (Abbildung 11) übereinander, erkennt man einen fast identischen Verlauf. Das lässt darauf schließen, dass die Abnahme der Anzahl von Ereignissen durch die Abnahme der Temperatur-Ereignisse in diesem Bereich zu erklären ist.

An der Neumayer Station 3 wird es schlichtweg nicht oft so kalt, dass Ereignisse in kälteren Spektren aufgezeichnet werden könnten. Es gibt also in dieser Analyse keinen Zusammenhang zwischen der Myonenrate und der Temperatur. Sie bleibt unabhängig davon, wie kalt oder warm es ist, zwischen 1250 und 1600 Einschlügen pro Stunde.

Interessant hierbei war jedoch noch, dass bei der Betrachtung des 1D Histogramms für die Myonenrate (Abbildung 8) zwei Maxima ins Auge stechen. Betrachtet man nun aber das Histogramm der Temperatur gegenüber der Myonenrate (Abbildung 11), sind diese Hügel verschwunden. Es existiert lediglich ein zentraler Ansammlungspunkt von Ereignissen. Diese Beobachtung ist simpel durch einen Fehler in den Daten erklärbar. Bei der Analyse des Drucks wurde beobachtet, dass im Jahr 2017 die Myonenrate insgesamt schwächer war. Der kleinere Peak des Myonenhistogramms (Abbildung 11: Myonenrate in Abhängigkeit der Temperatur 2014-2017) stammt also von diesem Jahr. Bei genauerer Betrachtung der Daten fiel außerdem auf, dass für das Jahr 2017 keine Temperatur-Messwerte enthalten waren. Daher wird in dem 2D-Histogramm für Temperatur und Myonenrate das Jahr 2017 nicht einbezogen, was zum Verschwinden des zweiten Peaks führt.

Betrachtet man nun aber das Histogramm der Myonenrate gegenüber dem Luftdruck (Abbildung 13), fallen diese beiden Peaks wieder auf. Man erkennt deutlich zwei getrennte Ansammlungspunkte bei unterschiedlicher Myonenrate. Dies bedeutet, dass zeitweise mehr bzw. weniger Myonen detektiert wurden und deutet damit auf eine kurzzeitig gesteigerte bzw. verminderte Sonnenaktivität hin.

Sieht man jetzt dieses Histogramm im Zusammenhang mit dem 1D-Histogramm für den Druck (Abbildung 10), fallen dieselben Dinge wie bei der Temperatur auf. Der Verlauf des Graphen für den Druck stimmt wieder fast überein mit der Farbskala des 2D-Histogramms und damit der Anzahl der Ereignisse. Wir sehen ein Maximum bei 983 hPa und eine gleichmäßige Abschwächung zu beiden Seiten in beiden Diagrammen. Dabei ist der Verlauf Richtung schwächeren Drucks etwas flacher als der in Richtung höheren Drucks. In diesem Zusammenhang stimmt der Druck also fast genau mit der Anzahl an Ereignissen überein und lässt so erst mal auf keine Abhängigkeit schließen.

Interessant an diesem Histogramm ist dabei aber noch, dass beide Hotspots etwas nach links geneigt sind. Das bedeutet, dass die mittlere Anzahl an Einschlügen pro Stunde mit abnehmendem Druck steigt. Betrachten wir den größeren der beiden Hotspots, haben wir bei 1005 hPa einen Durchschnitt von ca. 1300 Einschlügen, während dieser Wert bei 940 hPa bei 1500 Myonen liegt. Ebenso sehen wir diese Beobachtung bei dem kleineren der beiden nur, dass dort allgemein die Myonenrate schwächer ist. Im Verhältnis sind beide Ansammlungen jedoch gleich.

4. Zusammenfassung

Diese Beobachtung führt zu einer Abhängigkeit: Je geringer der Luftdruck, desto stärker die mittlere Myonenrate. Warum dieser Zusammenhang auftritt, konnte ich in meiner Kolei nicht herausfinden. Dafür wären genaue Analysen der Luftzusammensetzung und des Verhaltens von Myonen bei Kontakt mit dieser notwendig, welche ich im Rahmen dieser Kolei jedoch nicht realisieren konnte.

5. Glossar

<i>Schwache Wechselwirkung:</i>	eine der vier Grundkräfte der Physik; sorgt für radioaktiven Zerfall durch Umwandlung eines Quarks unter Aussendung eines Botenteilchens ¹⁴
<i>Starke Wechselwirkung:</i>	eine der vier Grundkräfte der Physik, sorgt für Bindung der <i>Quarks</i> in Protonen und Neutronen und halten Protonen im Kern zusammen ¹⁵
<i>Quarks:</i>	zusammen mit Leptonen Grundbausteine, aus denen Materie aufgebaut ist
<i>Antimyon:</i>	Antiteilchen des Myons; selbe Masse, aber entgegengesetzte Ladung
<i>Alphateilchen:</i>	Helium-4-Atomkern (2 Protonen + 2 Neutronen), tritt bei instabilen Nukliden auf, Kernkräfte können abstoßende Kräfte der Protonen untereinander nicht überwinden → Aussendung eines Alphateilchens ¹⁶
<i>DAQ-Karte:</i>	Data-Acquisition-Karte, wertet elektrische Signale des <i>PMTs</i> aus und leitet gefiltertes Signal an Computer weiter ¹⁰
<i>Szintillator:</i>	meist organisches Material, welches einen Lichtimpuls abgibt, sobald ein kosmisches Teilchen ihn durchdringt ⁹
<i>PMT:</i>	Photo Multiplier Tube, wandelt Lichtimpuls in elektrisches Signal um, besteht aus Photokathode und mehreren Dynoden (in Reihe geschaltete Elektroden) ⁸

¹⁴ Leifiphysik: schwache Wechselwirkung, 13.01.2024

¹⁵ Leifiphysik: starke Wechselwirkung, 13.01.2024

¹⁶ LeifiPhysik.de: Alphazerall und Alphastrahlung

6. Literaturverzeichnis

Terra X Lesch & Co: Weltraumstrahlung im Wohnzimmer, URL:

<https://www.youtube.com/watch?v=KuSLfCUGZTc> (22.10.2023)

Welt der Physik (Bergita Ganse, Felix Spanier): Einfluss kosmischer Strahlung auf den Menschen, URL:

<https://www.weltderphysik.de/gebiet/leben/einfluesse-auf-den-menschen/kosmische-strahlung/> (22.10.2023)

Chemie.de: Myon, URL:

<https://www.chemie.de/lexikon/Myon.html> (22.10.2023)

Chemie.de: Positron, URL:

<https://www.chemie.de/lexikon/Positron.html> (22.10.2023)

Leifiphysik: Spezielle Relativitätstheorie, URL:

<https://www.leifiphysik.de/relativitaetstheorie/spezielle-relativitaetstheorie/grundwissen/zeitdilatation> (11.01.2024)

Netzwerk Teilchenwelt: Teilchenphysik Band 3:

<https://www.teilchenwelt.de/wp-content/uploads/2022/05/band3.pdf>

Wissenschaft.de: Extra galaktische Extremstrahlung, URL:

<https://www.wissenschaft.de/astronomie-physik/extragalaktische-extrem-strahlung> (11.01.2024)

Chemie.de: Pionen, URL:

<https://www.chemie.de/lexikon/Pion.html> (11.01.2024)

Chemie.de: Szintillator, URL:

<https://www.chemie.de/lexikon/Szintillator.html> (06.01.2024)

DESY: Photo Multiplier Tube, URL:

https://www.desy.de/schule/schuelerlabore/standort_zeuthen/kosmische_teilchen/glossar/index_ger.html?selected=P#_photo_multiplier_tube (23.10.2023)

DESY: Szintillator, URL:

https://www.desy.de/schule/schuelerlabore/standort_zeuthen/kosmische_teilchen/glossar/index_ger.html?selected=S (23.10.2023)

DESY: DAQ-Karte, URL:

6. Literaturverzeichnis

https://www.desy.de/schule/schuelerlabore/standort_zeuthen/kosmische_teilchen/glossar/index_ger.html?selected=D (23.10.2023)

DESY: Neumayer Station 3, Szintillationszähler-Experiment Versuchsaufbau, URL:

https://www.desy.de/schule/schuelerlabore/standort_zeuthen/kosmische_teilchen/experimente/neumayer_station_iii/index_ger.html (23.10.2023)

DESY: Datensatzbeschreibung, URL:

https://www.desy.de/schule/schuelerlabore/standort_zeuthen/kosmische_teilchen/experimente/polarstern_projekt/e288815/index_ger.html (11.11.2023)

DESY: Dokumentation, URL:

https://www.desy.de/schule/schuelerlabore/standort_zeuthen/kosmische_teilchen/cosmicweb/dokumentation/index_ger.html (18.11.2023)

leifiphysik: schwache Wechselwirkung, URL:

<https://www.leifiphysik.de/kern-teilchenphysik/teilchenphysik/grundwissen/schwache-wechselwirkung> (13.01.2024)

leifiphysik: starke Wechselwirkung, URL:

<https://www.leifiphysik.de/kern-teilchenphysik/teilchenphysik/grundwissen/starke-wechselwirkung-0> (13.01.2024)

Leifiphysik.de: Alphastrahlung und Alphazerfall:

<https://www.leifiphysik.de/kern-teilchenphysik/radioaktivitaet-einfuehrung/grundwissen/alphazerfall-und-alphastrahlung> (13.01.2024)

DESY: Kosmische Teilchen, URL:

https://www.desy.de/schule/schuelerlabore/standort_zeuthen/kosmische_teilchen/grundlagen/index_ger.html (22.10.2023)

7. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Neumayer Station 3.....	4
Abbildung 2: Pionen und ihre Umwandlung.....	6
Abbildung 3: Teilenschauer eines primären kosmischen Teilchens.....	6
Abbildung 4: 1D-Histogramm am Beispiel der Neutronenrate auf der Polarstern 2020.....	8
Abbildung 5: Beispiel 2D-Histogramm.....	9
Abbildung 6: Der Myonen Detektor.....	10
Abbildung 7: Auswahl der Datensätze und Variablen.....	12
Abbildung 8: Myonenrate an der Neumayer Station 3 im Zeitraum 2014-2017.....	13
Abbildung 9: Temperatur an der Neumayer Station 3 im Zeitraum 2014-2017.....	14
Abbildung 10: Luftdruck an der Neumayer Station 3 im Zeitraum 2014-2017.....	15
Abbildung 11: Myonenrate in Abhängigkeit der Temperatur 2014-2017.....	16
Abbildung 12: Myonenrate in Abhängigkeit des Luftdrucks 2014.....	19
Abbildung 13: Myonenrate in Abhängigkeit des Luftdrucks im Zeitraum 2014-2017.....	19
Abbildung 14: Myonenrate in Abhängigkeit des Luftdrucks 2015.....	20
Abbildung 15: Myonenrate in Abhängigkeit des Luftdrucks 2016.....	20

7. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 16: Myonenrate in Abhängigkeit des Luftdrucks 2017.....	21
Abbildung 17: Standardmodell der Teilchenphysik.....	23
Abbildung 19: Myonenrate in Abhängigkeit der Temperatur 2014.....	27
Abbildung 20: Myonenrate in Abhängigkeit der Temperatur 2015.....	27
Abbildung 18: Myonenrate in Abhängigkeit der Temperatur 2016.....	28

8. Bildquellen

Abbildung 1: Neumayer Station 3, URL:

https://w2.forschung-und-lehre.de/fileadmin/user_upload/Rubriken/Forschung/2022/12-22/Neumeyer-Station-Antarktis_c_dpa_86776726_955.jpg (23.10.2023)

Abbildung 2: Pionen und ihre Umwandlung: Bildschirmfoto aus Teilchenphysik Band 3, URL:

<https://www.teilchenwelt.de/wp-content/uploads/2022/05/band3.pdf> (19.11.2023)

Abbildung 3: Teilchenschauer eines primären kosmischen Teilchens, URL:

https://www.desy.de/sites2009/site_www-desy/content/e219828/e245574/e245601/e258642/e262597/e262599/e264002/Teilchenschauer_ger.png (26.12.2023)

Abbildung 5: Beispiel 2D-Histogramm, URL:

https://oceanpython.files.wordpress.com/2013/02/2d_histogram3.png (14.01.2024)

9. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Datensatzbeschreibung.....	6
---------------------------------------	---

10. Anhang

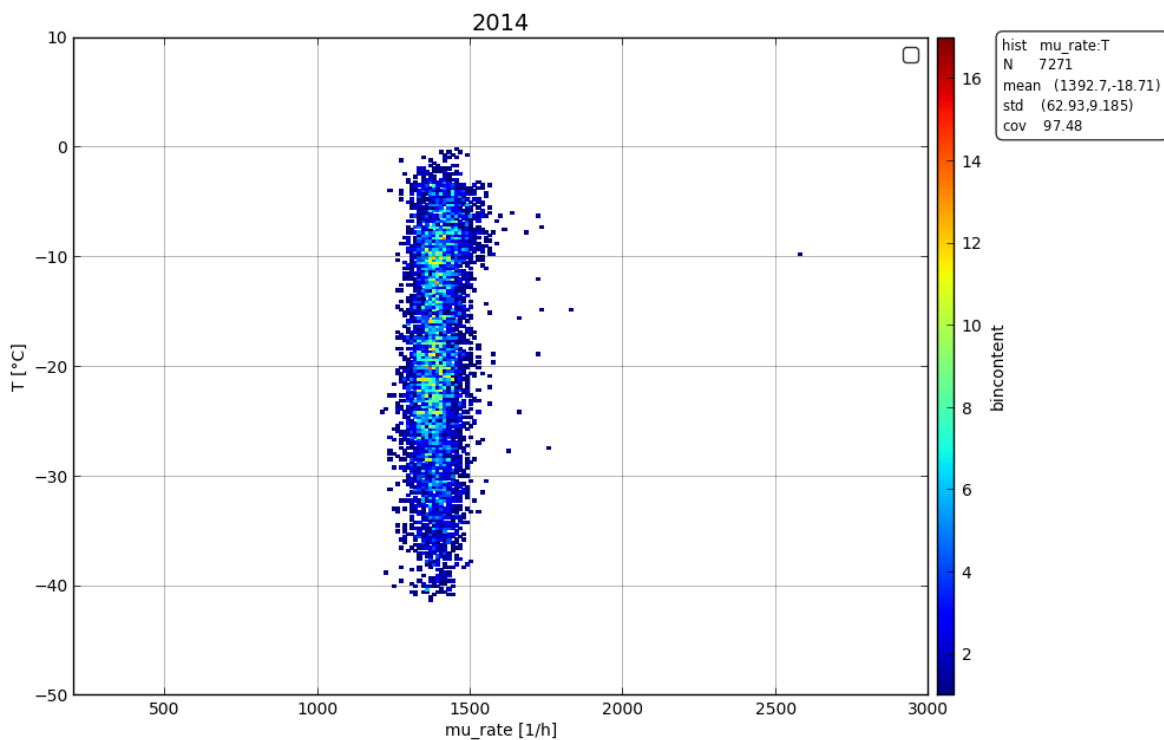


Abbildung 17: Myonenrate in Abhängigkeit der Temperatur 2014

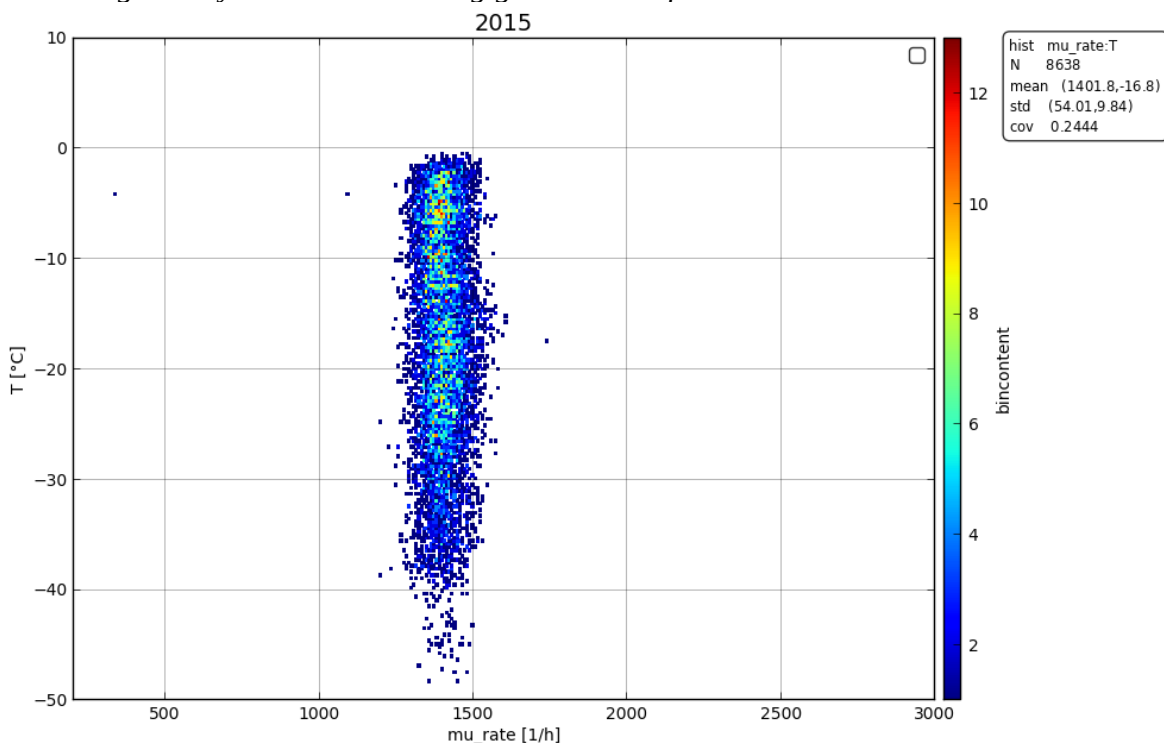


Abbildung 18: Myonenrate in Abhängigkeit der Temperatur 2015

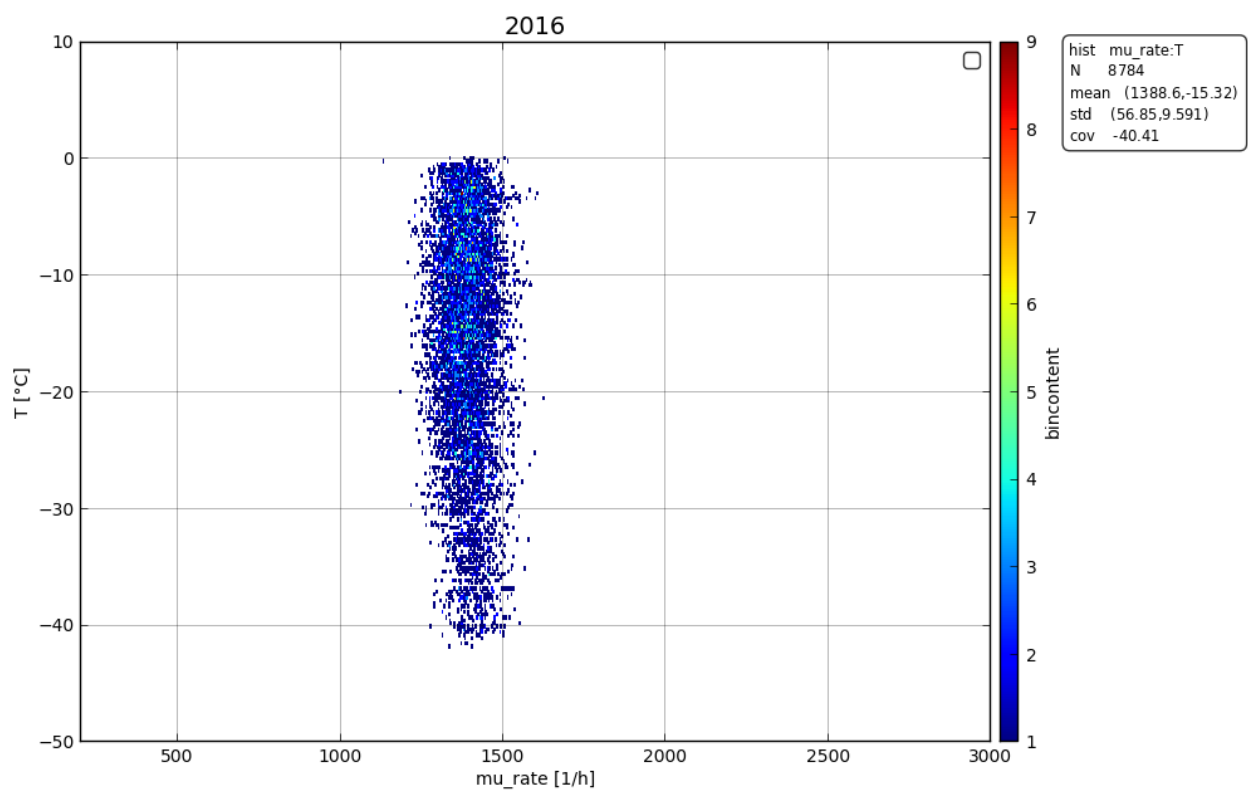


Abbildung 19: Myonenrate in Abhängigkeit der Temperatur 2016

11. Eigenständigkeitserklärung

Ich versichere, dass ich die vorgelegte Facharbeit ohne fremde Hilfe verfasst und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe. Ich bestätige ausdrücklich, Zitate und Quellenangaben mit größter Sorgfalt und Redlichkeit in der vorgeschriebenen Art und Weise kenntlich gemacht.

Dresden, den 10.02.2024

Clemens Richter