

Die Auger-Masterclass: Jugendliche analysieren Daten des Pierre-Auger-Observatoriums

Julian Rautenberg

Für die
Netzwerk Teilchenwelt Kollaboration



Die Auger-Masterclass
J. Rautenberg, BU Wuppertal

DPG Würzburg - T63.7 - 21.03.2018

1

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



BERGISCHE
UNIVERSITÄT
WUPPERTAL

Konzept





FAQ - Häufig gestellte Fragen

Allgemeine Informationen zum Pierre Auger Observatorium und den Detektoren finden sich auf der deutschen [Webseite](#) oder (in Englisch) auf der [zentralen Webseite](#) oder des [Südexperimentes](#).

Dieses öffentliche Ereignis-Betrachter wurde erst kürzlich in Betrieb genommen. Wir versuchen, diese FAQ-Seite stets zu verbessern, damit auch Nichtexperten die Möglichkeiten des Ereignis-Betrachters nutzen können. Fragen oder Anregungen können gerne gerichtet werden an auger-public-ed@googlegroups.com.

1. Was bedeutet **VEM/LDF/TS**?

Bitte schauen Sie im [Glossar](#), in dem die verwendeten Fachausdrücke erklärt werden.

2. Eine einzigartige Charakteristik des Pierre Auger Observatoriums ist der Hybrid-Aufbau. Gibt es Pläne, bald ein Betrachter auch für Hybrid-Ereignisse zur Verfügung zu stellen?

Ja, und wir arbeiten derzeit daran. Dies benötigt mehr Zeit, da die Hybrid-Rekonstruktion aufwendiger ist als die Analyse lediglich der Bodenstationen.

3. Was bedeuten die Sterne?

Die Sterne weisen nur auf die Top 3 der am häufigsten betrachteten Ereignisse hin. Der schnellste Weg zu schönen Ereignissen!

4. Wie wurden die 1% veröffentlichten Daten ausgewählt? Per Zufall? Wie funktioniert der Selektionsalgorithmus?

Sie haben vielleicht schon bemerkt, daß sämtliche Ereignis-IDs auf 00 enden. Auf diese Weise werden die Ereignisse ausgewählt: Alle **TS**-Ereignisse mit einem Zenitwinkel bis zu 60 Grad, $E < 50$ **EeV** und einer ID-Endung von 00 werden veröffentlicht.

5. Warum die Limitierung auf maximal 60 Grad Zenitwinkel und 50 EeV in Energie?

Horizontale Ereignisse (Zenitwinkel größer als 60 Grad) haben eine sehr flache **LDF**, sind stark von Fluktuationen betroffen und werden vom Magnetfeld stark beeinflusst. Ihre Rekonstruktion und Interpretation ist komplex und benötigt dedizierte Rekonstruktionsalgorithmen. Hochenergetische Ereignisse müssen ebenfalls sorgfältig von den Physikern untersucht werden. Wir hoffen, in naher Zukunft beide Ereignisklassen hinzufügen zu können.

Öffentlicher Ereignis-Betrachter

Herzlich Willkommen beim öffentlichen Ereignis-Betrachter des Pierre Auger Observatoriums.

Die Pierre Auger-Kollaboration hat beschlossen, 1% der Daten öffentlich verfügbar zu machen. Auf dieser Webseite, die täglich aktualisiert wird, können die seit 2004 gesammelten Ereignisse angezeigt werden.

Sie können eine Ereignisnummer (ID) im Suchfenster eingeben, das Menü "Ereignis-Selektion" benutzen oder ein Ereignis anschauen, das schon im Cache geladen ist. Zum Abspeichern auf dem eigenen Computer steht eine [asci Datei](#) mit allen Ereignissen zur Verfügung.

Der aktuelle Datensatz besteht aus 48112 Ereignissen mit Energien zwischen 0.1 **EeV** und 49.7 **EeV**. Das letzte Ereignis hat die ID [47100300](#) und der Zeitpunkt der Messung war Mar 15 2018 11:11:01. UTC Time.

Ereignisse im Zwischenspeicher

Die 3 meistbetrachteten Ereignisse



Alle zwischengespeicherten Ereignisse, geordnet nach ihrer Energie, mit Anzeigehäufigkeit (längerer Balken bedeutet häufiger betrachtet):

10485600:	49.73 EeV,	14 Stationen
04128900:	41.07 EeV,	18 Stationen
32112000:	38.77 EeV,	16 Stationen
01234800:	37.34 EeV,	14 Stationen
37056200:	34.51 EeV,	20 Stationen
11728200:	34.07 EeV,	10 Stationen
01673300:	33.12 EeV,	11 Stationen
01880300:	32.98 EeV,	8 Stationen, 61.0 Grad
03637800:	30.54 EeV,	10 Stationen, 24.7 Grad
32246700:	30.51 EeV,	13 Stationen, 20.3 Grad

FAQ und Erklärungen

Pierre Auger Observatorium Ereignis-Betrachter

Ereignis-Selektion

Min Max

Anzahl Stationen

Zenitwinkel

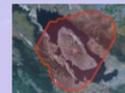
Energie (**EeV**)

Sortiert: Datum (rückwärts) ▾

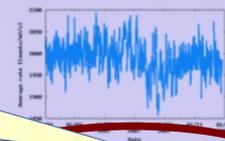
Anzeigen: Ereignisse

4128900

Größe des Pierre Auger Observatoriums



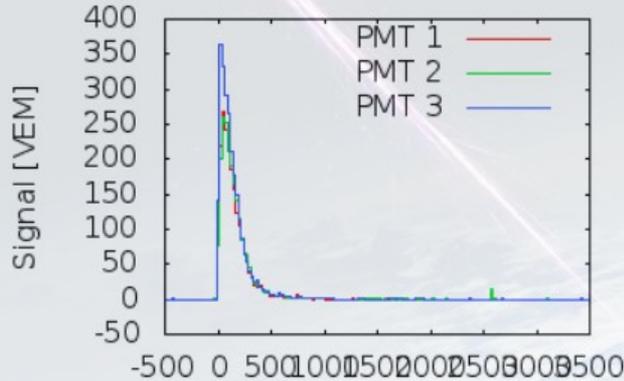
Weltraumwetter-Seite



Ereignis 37056200

[Ansicht der rekonstruierten Daten](#) | [Ansicht der Ankunftsrichtung](#)

Lsld 198 - Mailen



Signal in VEM für die 3 PMTs der Station 198 (Mailen) als Funktion der Zeit

Pierre Auger
Ereignis

Ereignis

Anzahl Stationen

Zenitwinkel

Energie (EeV)

Sortiert Datum

Anzeigen

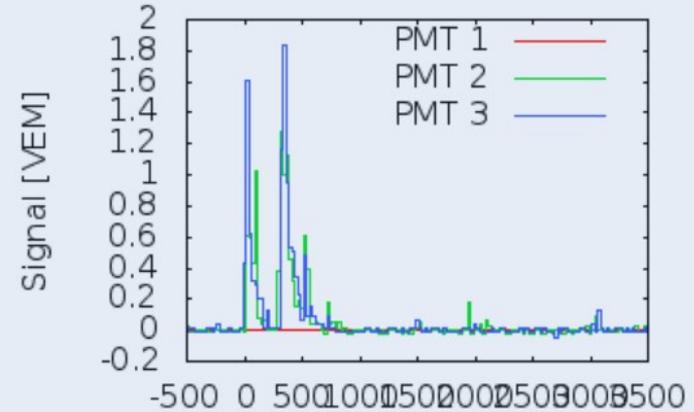
Gehe zu Ereignis

4128900

Ereignis 37056200

[Ansicht der rekonstruierten Daten](#)
[Ansicht der Ankunftsrichtung](#)

Lsld 201 - Andrea



Signal in VEM für die 3 PMTs der Station 201 (Andrea) als Funktion der Zeit

Download von Bildern
und Event Daten



Ereignis 37056200

[Ansicht der Ankunftsrichtung](#) | [Ansicht der Stations-Daten](#)

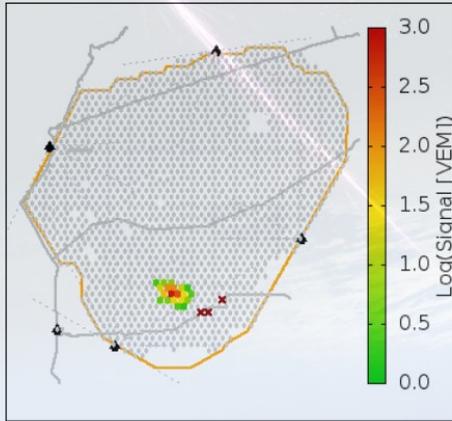


Bild 1: Globale Ansicht

Allgemeine Informationen

Datum	37056200 / Sun Mar 6 23:22:42 2016
Anzahl Stationen	20
Energie	$34.5 \pm 1.2 \text{ EeV}$
Theta	$52.8 \pm 0.1 \text{ Grad}$
Phi	$-23.4 \pm 0.2 \text{ Grad}$
Krümmung	$17.2 \pm 0.9 \text{ km}$
Ostkoordinate des Auftreffortes	$471211 \pm 22 \text{ m}$
Nordkoordinate des Auftreffortes	$6083142 \pm 19 \text{ m}$
Reduziertes χ^2	1.78

Pierre Auger
Ereignis

Ereignis

Anzahl Stationen

Zenitwinkel

Energie (EeV)

Sortiert Datum

Anzeigen 10

Gehe

412

Ereignis

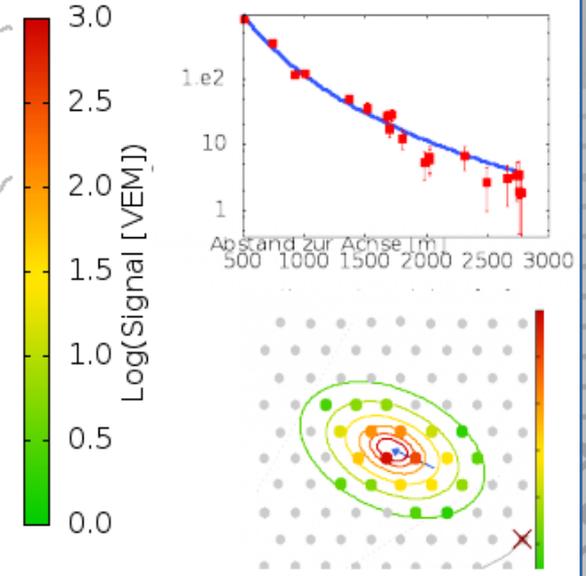
Ansicht der

Größe des Pierre

[\[Globale Ansicht aller Bilder\]](#)

[\[Speichere Vektorbild: Bild 1, Bild 2, Bild 3\]](#)

[\[Speichere ASCII-Daten des Ereignisses\]](#)



Download von Bildern
und Event Daten



Ereignis 37056200

[Ansicht der Ankunftsrichtung](#) | [Ansicht der Stations-Daten](#)

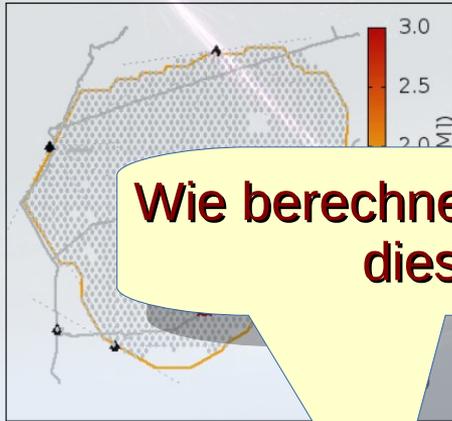


Bild 1: Globale Ansicht

Allgemeine Informationen	
Datum	37056200 / Sun Mar 6 22:42 2016
Anzahl Stationen	20
Energie	$34.5 \pm 1.2 \text{ EeV}$
Theta	$52.8 \pm 0.1 \text{ Grad}$
Phi	$-23.4 \pm 0.2 \text{ Grad}$
Krümmung	$17.2 \pm 0.9 \text{ km}$
Ostkoordinate des Auftreffortes	$471211 \pm 22 \text{ m}$
Nordkoordinate des Auftreffortes	$6083142 \pm 19 \text{ m}$
Reduziertes χ^2	1.78

Wie berechnen Wissenschaftler diese Werte?

Pierre Auger
Ereignis

Ereignis

Anzahl Stationen

Zenitwinkel

Energie (EeV)

...

Ereignis

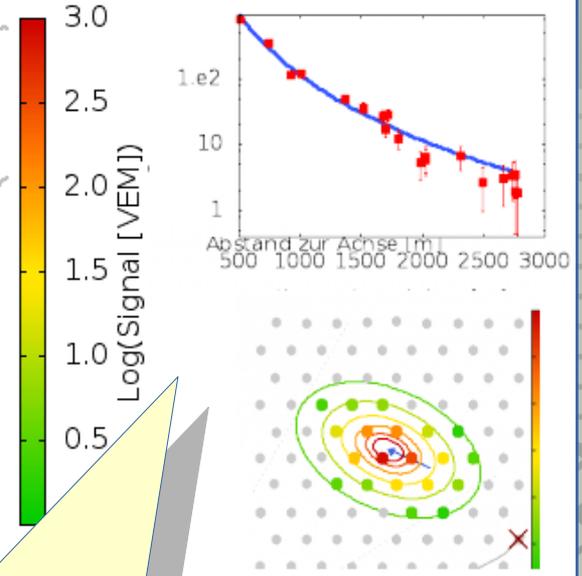
Ansicht der
Ansicht der

Größe des Pierre

[\[Globale Ansicht aller Bilder\]](#)

[\[Speichere Vektorbild: Bild 1, Bild 2, Bild 3\]](#)

[\[Speichere ASCII-Daten des Ereignisses\]](#)



Wie erstellen Wissenschaftler diese Graphen?



Pierre Auger Observatorium
Öffentlicher Ereignis-Betrachter

Ereignis 37056200

[Ansicht der Ankunftsrichtung](#) | [Ansicht der Stations-Daten](#)

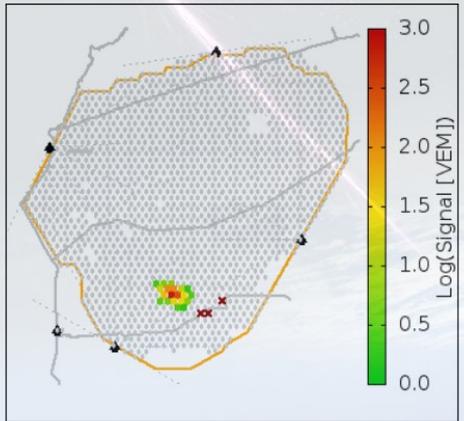


Bild 1: Globale Ansicht

Allgemeine Informationen	
Datum	37056200 / Sun Mar 6 23:22:42 2016
Anzahl Stationen	20
Energie	$34.5 \pm 1.2 \text{ EeV}$
Theta	$52.8 \pm 0.1 \text{ Grad}$
Phi	$-23.4 \pm 0.2 \text{ Grad}$
Krümmung	$17.2 \pm 0.9 \text{ km}$
Ostkoordinate des Auftreffortes	$471211 \pm 22 \text{ m}$
Nordkoordinate des Auftreffortes	$6083142 \pm 19 \text{ m}$
Reduziertes χ^2	1.78

```
# Id Signal(VEM) Zeit(sec) Zeit(ns) Easting(m) Northing(m) H&ouml;he(m)
198 789.8 1457306547 678652772 470870.79 6082748.73 1390.59
195 339.65 1457306547 678649132 472376.6 6082760.82 1388.67
194 117.16 1457306547 678652343 471627.61 6084055.39 1390.81
191 113.06 1457306547 678656002 470125.87 6084054.23 1391.97
193 49.33 1457306547 678656329 469469.02 6082744.73 1390.87
202 35.72 1457306547 678649759 471625.66 6081467 1386.14
316 27.75 1457306547 678645659 473876.32 6082754.02 1385.47
295 26.57 1457306547 678646110 473128.35 6081448.31 1386
192 17.04 1457306547 678659971 468575.67 6084053.92 1393.5
222 12.31 1457306547 678648872 473129.35 6084046.93 1388.36
274 6.68 1457306547 678642926 474625.31 6081456.94 1384.7
146 6.4 1457306547 678655724 470879.45 6085347.68 1392.87
145 5.83 1457306547 678659560 469379.56 6085352.01 1394.86
200 5.29 1457306547 678653598 470125.9 6081461.94 1387.82
201 3.47 1457306547 678657603 468608.78 6081493.3 1391.05
246 3.3 1457306547 678642952 475374.58 6082755.83 1384.81
283 2.97 1457306547 678647232 472378.25 6080157.7 1385.85
149 2.66 1457306547 678663810 467875.58 6085350.17 1396.61
224 1.9 1457306547 678645724 474625.27 6084046.53 1387.19
1332 1.83 1457306547 678643638 473874.44 6080152.14 1384.4
```

Pierre Auger Ereignis

Ereignis

Anzahl Stationen

Zenitwinkel

Energie (EeV)

Sortiert Datum

Anzeigen 10

Gehe

412

Ereignis

Ansicht der Ansicht der

Größe des Pierre

[\[Globale Ansicht aller Bilder\]](#)

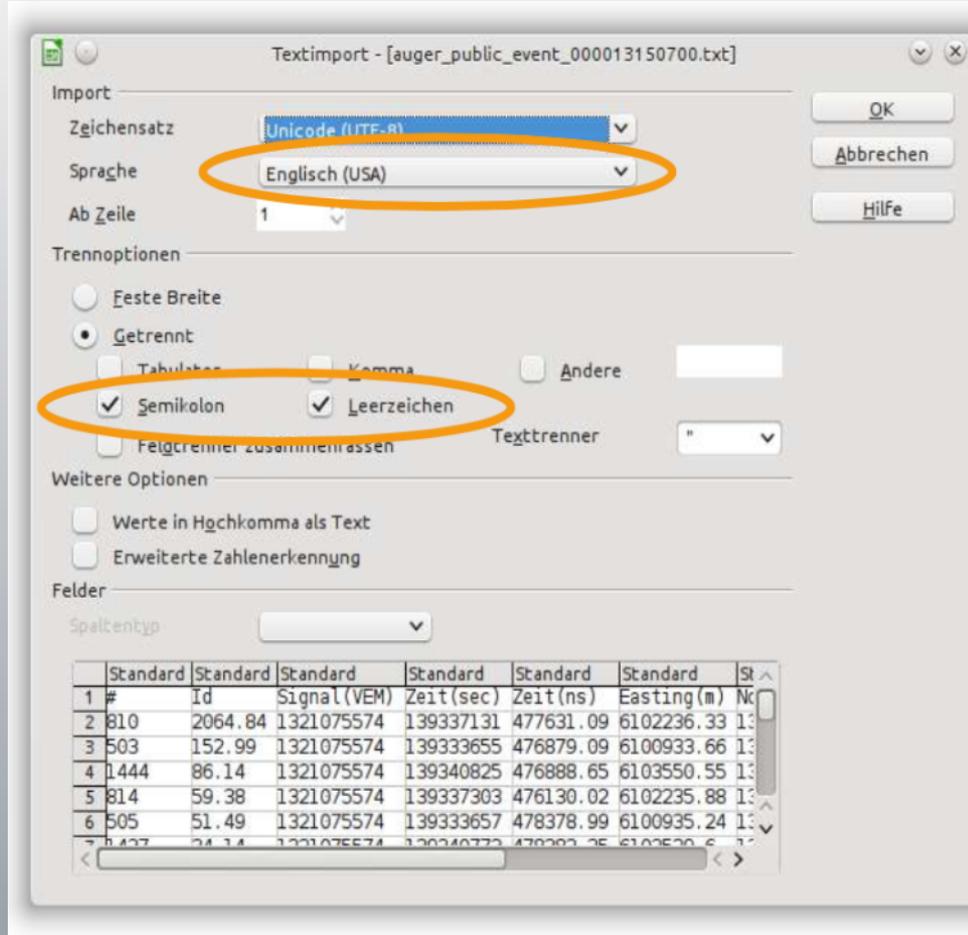
[\[Speichere Vektorbild: Bild 1, Bild 2, Bild 3\]](#)

[\[Speichere ASCII-Daten des Ereignisses\]](#)

Download von Bildern und Event Daten

Analyse der Event-Daten

- Verwendung von Excel
keine neue Technik!
- Mit Libre Office importieren
- Sprache ggf. auf Englisch umstellen
- Achtung:
Spaltenüberschriften sind beim Importieren um eine Spalte nach rechts verschoben



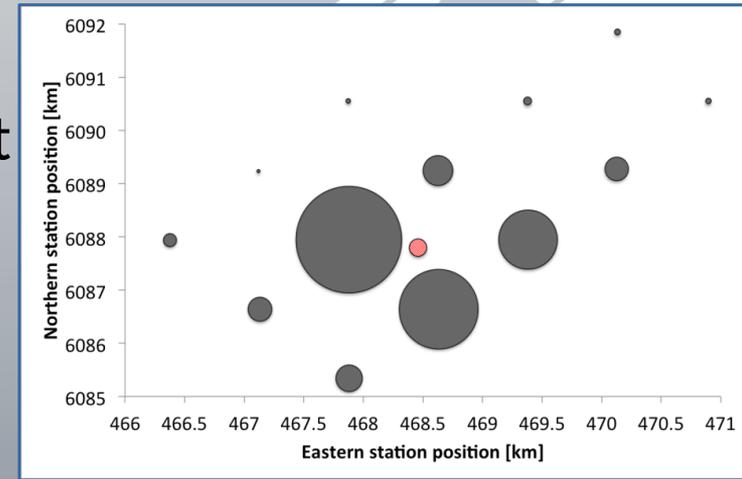
Aufgabe 1: Auftreffpunkt des Luftschauers

- Mittelwert bzw. gewichteter Mittelwert der Signalstationen

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i = \frac{1 \cdot x_1 + 1 \cdot x_2 + \dots + 1 \cdot x_N}{1 + 1 + \dots + 1}$$

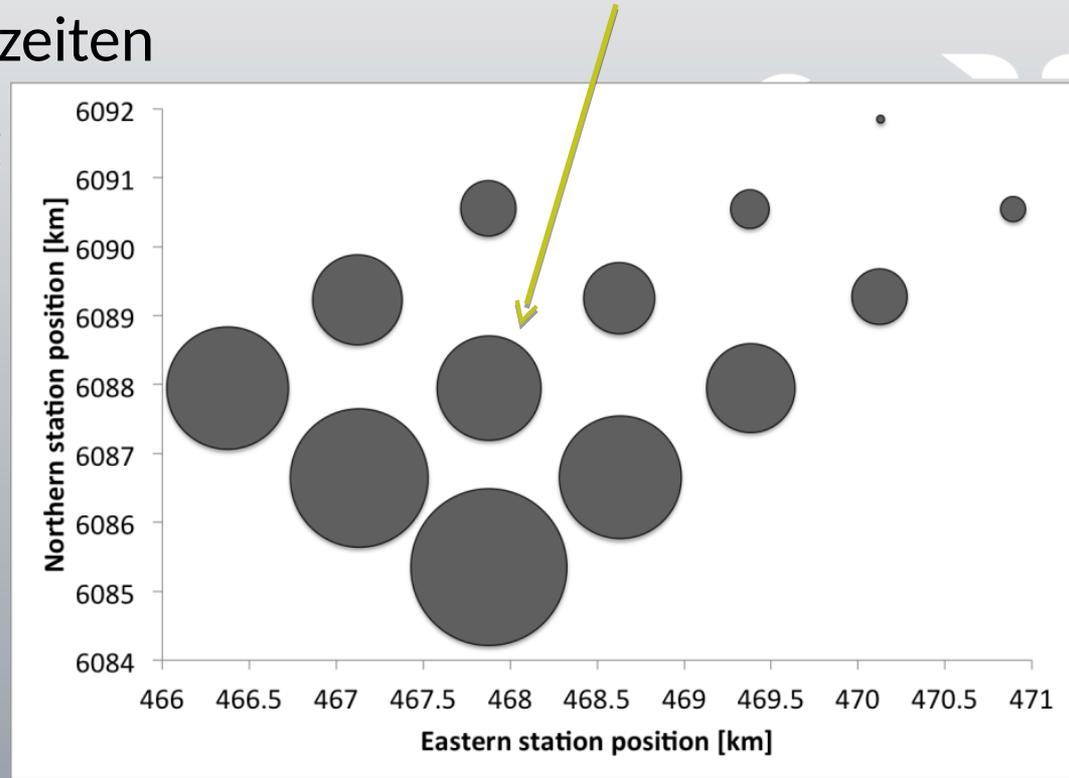
$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^N w_i x_i}{\sum_{i=1}^N w_i} = \frac{w_1 x_1 + w_2 x_2 + \dots + w_N x_N}{w_1 + w_2 + \dots + w_N}$$

- Formle in Excel/LibreOffice Dokument
- Visualisierung: Bubbleplot



Aufgabe 2: Ankunftsrichtung Azimut

- Bubbleplot der Ankunftszeiten
- Graphische Abschätzung gleich grosser Zeiten

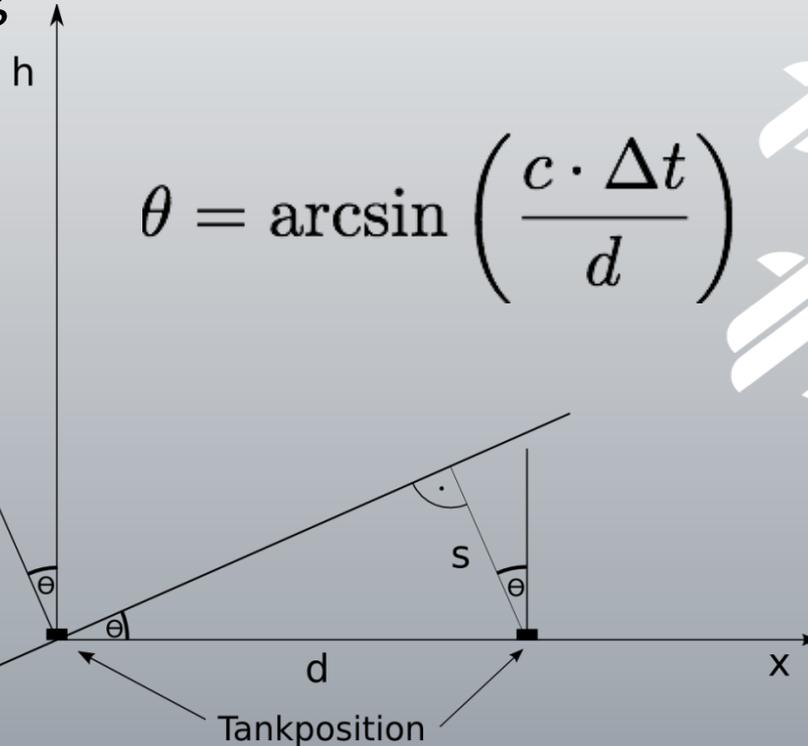


Aufgabe 3: Ankunftsrichtung Zenith

- Einfache Berechnung

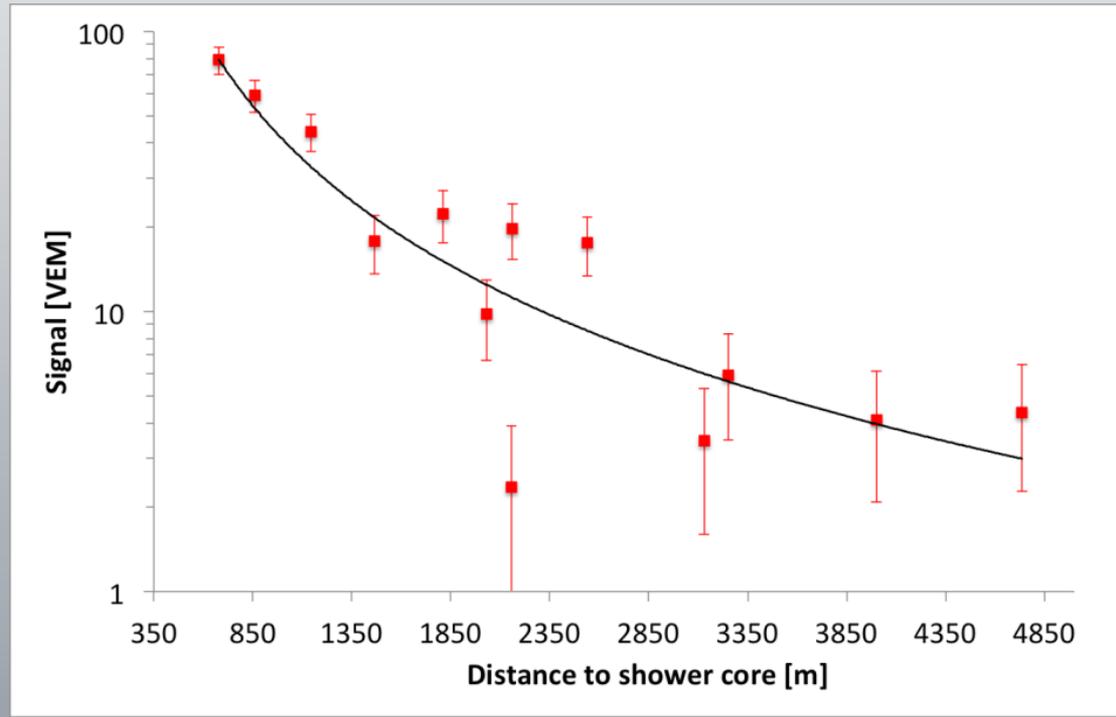
$$\theta = \arcsin\left(\frac{c \cdot \Delta t}{d}\right)$$

Vergleich mit Werten des Ereignisbetrachter



Aufgabe 4: Laterale Verteilungsfunktion

- Distanz zum Schauerzentrum



Praktische Dinge:

- Dokumentation in der Wiki
<https://wiki.teilchenwelt.de/index.php?title=Masterclasses>
- Dauer ca. 3h für Einführung und Durchführung
- Kombinierbar mit AT-Masterclass (Experimente)
- Lokale Rechner notwendig (Drucker?)
- Problematisch Versionen von Excel/LibreOffice



High energy astroparticle physics for high school students

Maria Krause^a, Hans-Peter Bretz^a, Lew Classen^b, Markus Holler^c, Moritz Hütten^a,
Susanne Raab^b, Julian Rautenberg^d, Anneli Schulz^a

^aDESY
Platanenallee 6, 15738 Zeuthen, Germany
^bUniversität Erlangen-Nürnberg, Physikalisches Institut
Erwin-Rommel-Str. 1, 91058 Erlangen, Germany
^cLaboratoire Leprince-Ringuet, Ecole Polytechnique, CNRS/IN2P3
91128 Palaiseau, France
^dBergische Universität Wuppertal
Gaußstraße 20, 42119 Wuppertal, Germany
E-mail: maria.krause@desy.de

The questions about the origin and type of cosmic particles are not only fascinating for scientists in astrophysics, but also for young enthusiastic high school students. To familiarize them with research in astroparticle physics, the Pierre Auger Collaboration agreed to make 1% of its data publicly available. The Pierre Auger Collaboration investigates cosmic rays at the highest energies and consists of more than 1600 water Cherenkov detectors, located near Malargüe, Argentina.

ASTROPARTICLE PHYSICS FOR HIGH SCHOOL STUDENTS

M. Krause¹, H.-P. Bretz¹, L. Classen², M. Holler³, M. Hütten¹, S. Raab², J. Rautenberg⁴, A. Schulz¹, C. Schwerdt¹
¹DESY, Zeuthen, Germany; ²Universität Erlangen-Nürnberg, Germany; ³Laboratoire Leprince-Ringuet, Ecole Polytechnique, Palaiseau, France; ⁴Bergische Universität Wuppertal, Germany
Contact: maria.krause@desy.de

Netzwerk Teilchenwelt

- network of communication specialists, science educators, scientists, and researchers
- consists of 34 German research institutes in particle and astroparticle physics
- give students authentically experience modern physics research and become a scientist



Astroparticle Masterclasses

- high school students get the chance to explore the fascinating world of astroparticle physics
- deliver insight into how scientists investigate nature
- highlight performance of measurements on real data [2, 3] from an astroparticle physics experiment with current research methods [4, 5]

Pierre Auger Observatory

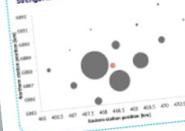
- located on Pampa Amarilla in Argentina
- consists of about 1600 water-Cherenkov particle detector stations covering an area of about 3000 km²
- addresses several unresolved questions about the spectrum, origin, composition, and interactions of cosmic particles with energies up to 10²⁰ eV [1]
- for the purpose of the Astroparticle Masterclass data from the surface detector are used



High School Students Reconstruct Cosmic Radiation

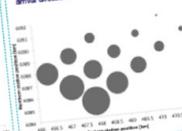
Showers Core

- reconstruction by calculating the center of mass of the detectors, with weight given by the signal
- impact point of the example marked as a red shaded circle
- radius of the circles proportional to detected signal strength in each station



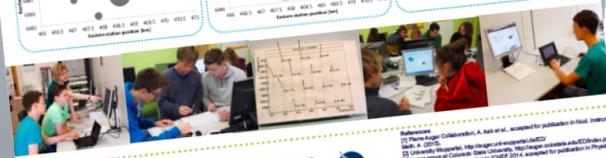
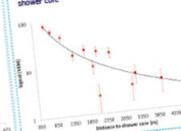
Arrival Time

- reconstruction of the arrival direction
- exercise is an important tool to study mathematics in 3D
- further: compute azimuth and zenith angle of arrival direction



Lateral Shower Profile

- computed from distance of each station which received a signal to the impact point of air shower on ground
- investigation of the density of particles in the air shower with respect to its distance from the shower core



Zusammenfassung:

- Daten der Pierre-Auger-Kollaboration erlaubt einfache Excel-Analyse durch die Jugendlichen ohne Einführung technischer Hilfsmittel
- Erfahrung: Messung → Ergebnis
- Authentisch durch Kontakt zu Forschern

