

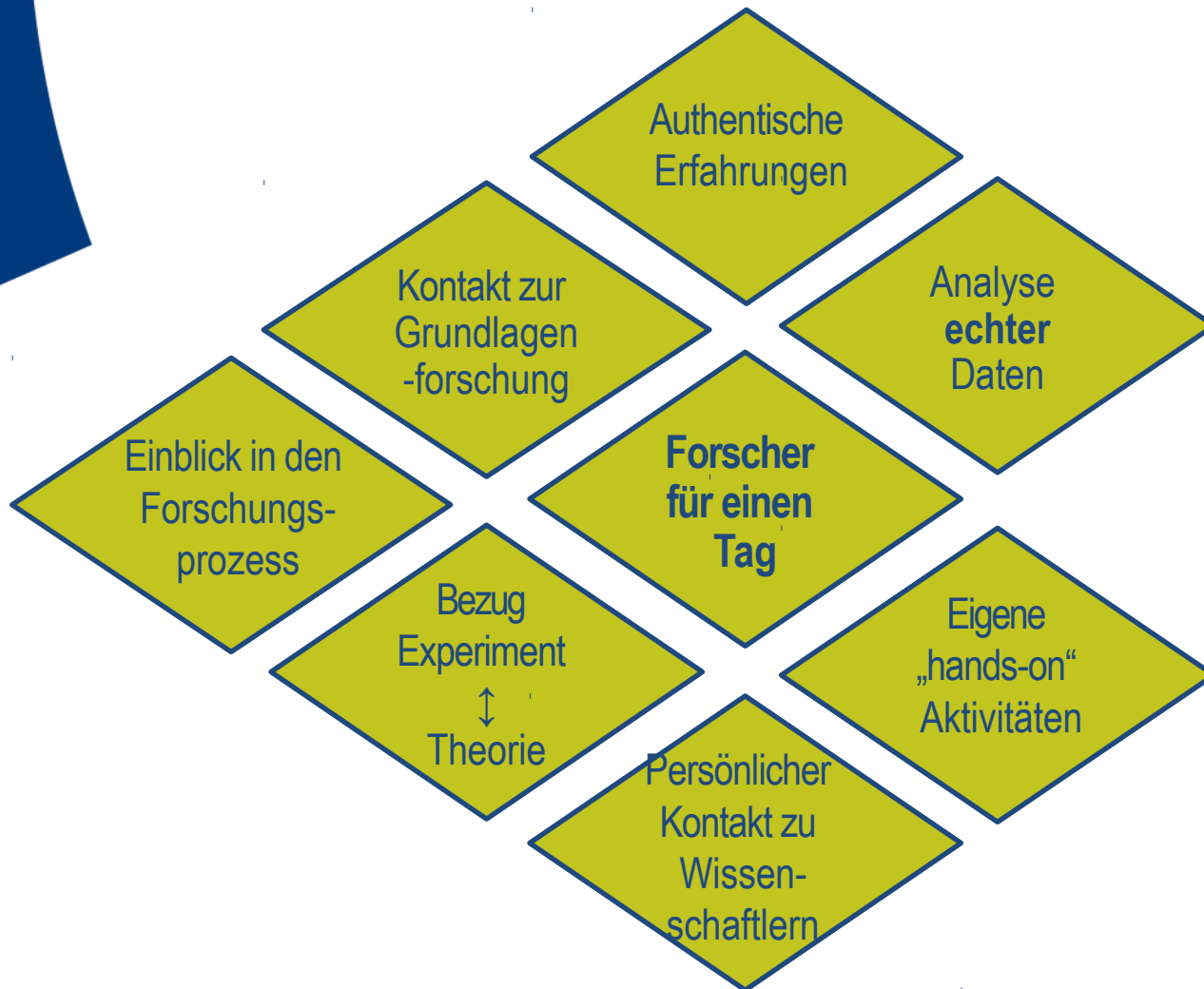
Auger – Masterclass

Physik mit Teilchen aus dem All

Moritz Hütten | moritz.huetten@desy.de



Heute Vormittag erwartet euch...





Heute Vormittag erwartet euch...

► Ziele für heute:

- Analyse „echter“ Daten des Pierre-Auger Experiments
- Im Forschungsteam herausfinden, woher die kosmische Höhenstrahlung stammt.

► Ziele für die Zukunft:

- kennenlernen eines Astroteilchen-Experimentes
- erleben, wie Physiker*innen arbeiten
- erfahren, wie komplexe Datenauswertung funktioniert
- Information zum Berufsbild
- möglicher Einstieg in Schülerforschungsarbeit

Teil 1: Die Welt der kleinsten Teilchen

mit den größten Energien



CERN

(Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire)

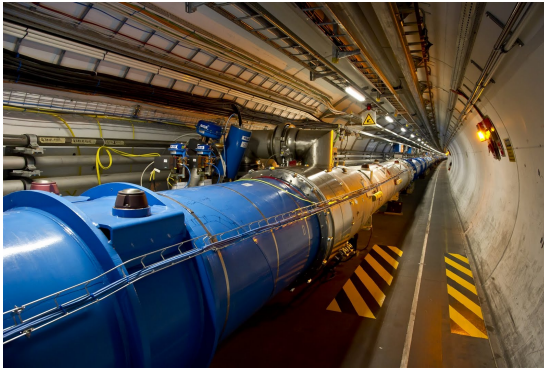


A 3D rendering of Earth, showing the continents of North and South America, is centered in the image. The Earth is surrounded by a vast field of galaxies and stars, creating a cosmic background. The word "UNIVERSE" is written in large, bold, white letters with a yellow outline, positioned across the center of the Earth.

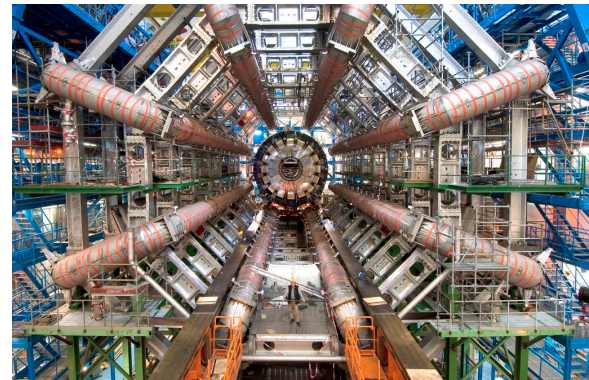
UNIVERSE

Das Universum im Vergleich zum CERN

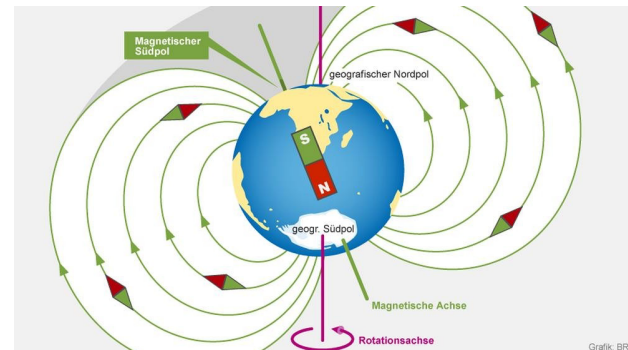
Beschleunigung von Teilchen



Nachweis von Teilchen



Magnetfeld



Alles Gute kommt von oben!



Kosmische Strahlung

„Meine Beobachtungen lassen sich am besten erklären, wenn man annimmt, daß eine durchdringende Strahlung von oben in unsere Atmosphäre eindringt.“

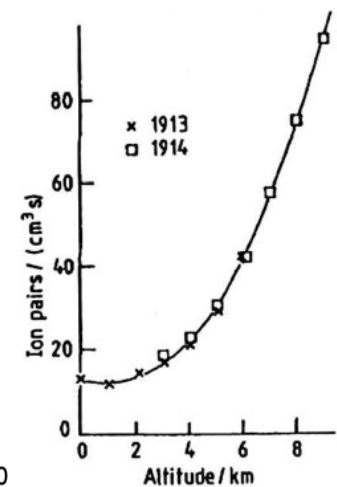
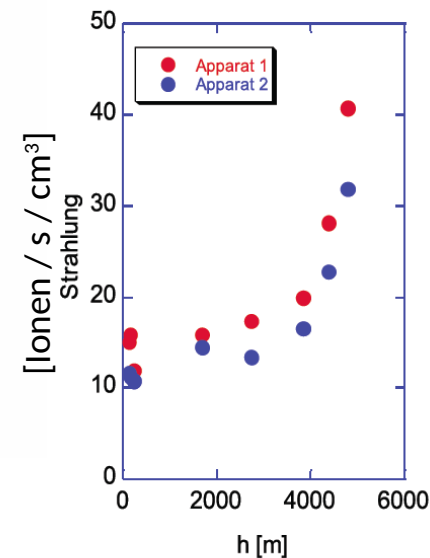
V.F. Hess, 1912



Deutschland

Strahlung aus dem Weltraum

Aussig
an der Elbe



Zusammensetzung

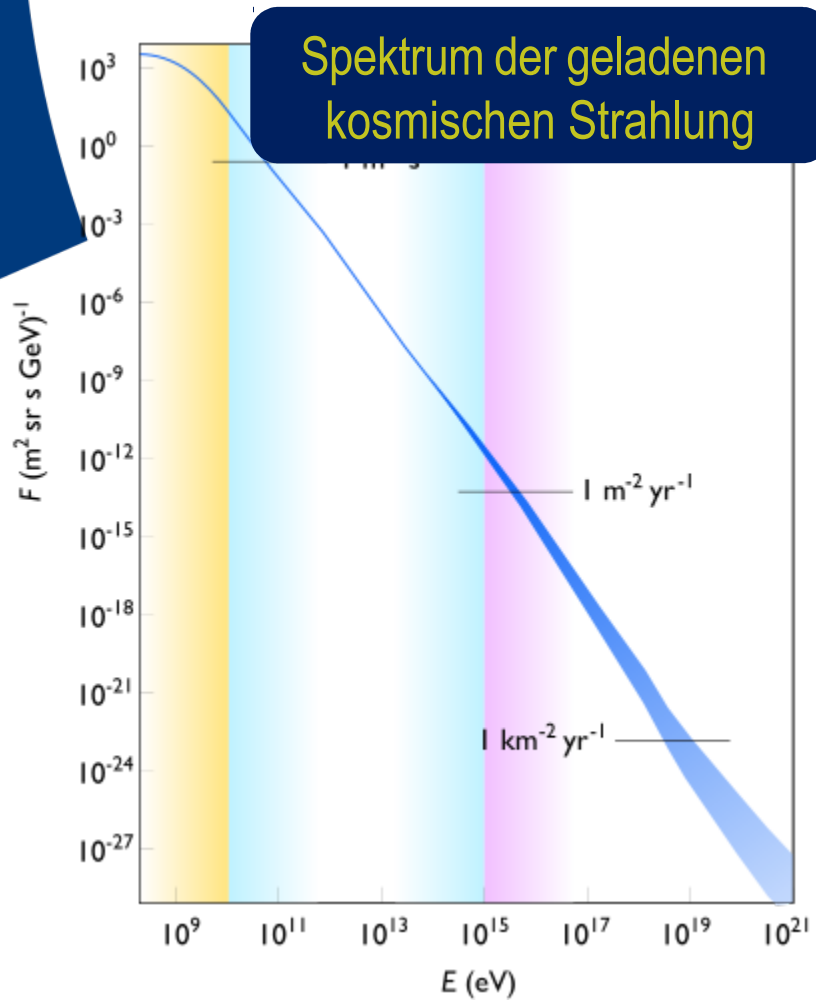
- ▶ 87% Protonen
- ▶ 12% α – Teilchen
- ▶ schwere Kernen
- ▶ Elektronen

- ▶ Gammastrahlung
- ▶ Neutrinos



ca. 1000 geladene Teilchen pro m^2 und Sekunde

Energien



zum Vergleich

$1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$	1 eV
LHC Proton	$4 \cdot 10^{12} \text{ eV}$
Tennisball	$5,5 \cdot 10^{20} \text{ eV}$
Fußball	$1,6 \cdot 10^{21} \text{ eV}$

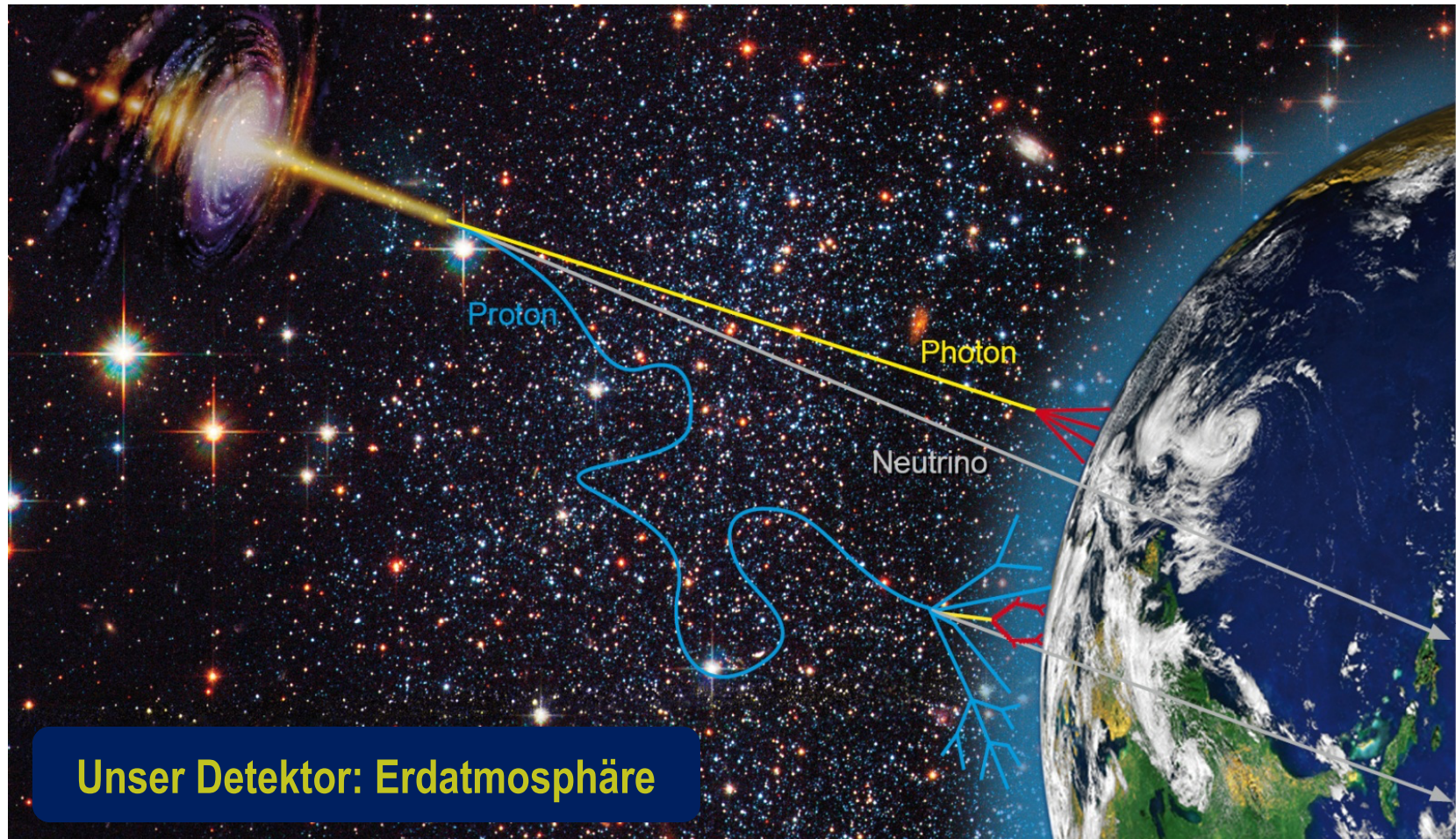


Rätsel der kosmischen Strahlung

- ▶ Was sind die Quellen?
- ▶ Kommt die Strahlung von thermischen Quellen?
 - Temperatur eines Objekts, das Strahlung mit einer Energie von 10^{12} eV abstrahlt
 - $1.000.000.000.000.000$ K = 10^{15} K
 - Nichts im Universum ist/war so heiß (außer der Urknall)
- ▶ Die Teilchen der kosmischen Strahlung sind Boten des nicht-thermischen Universum.



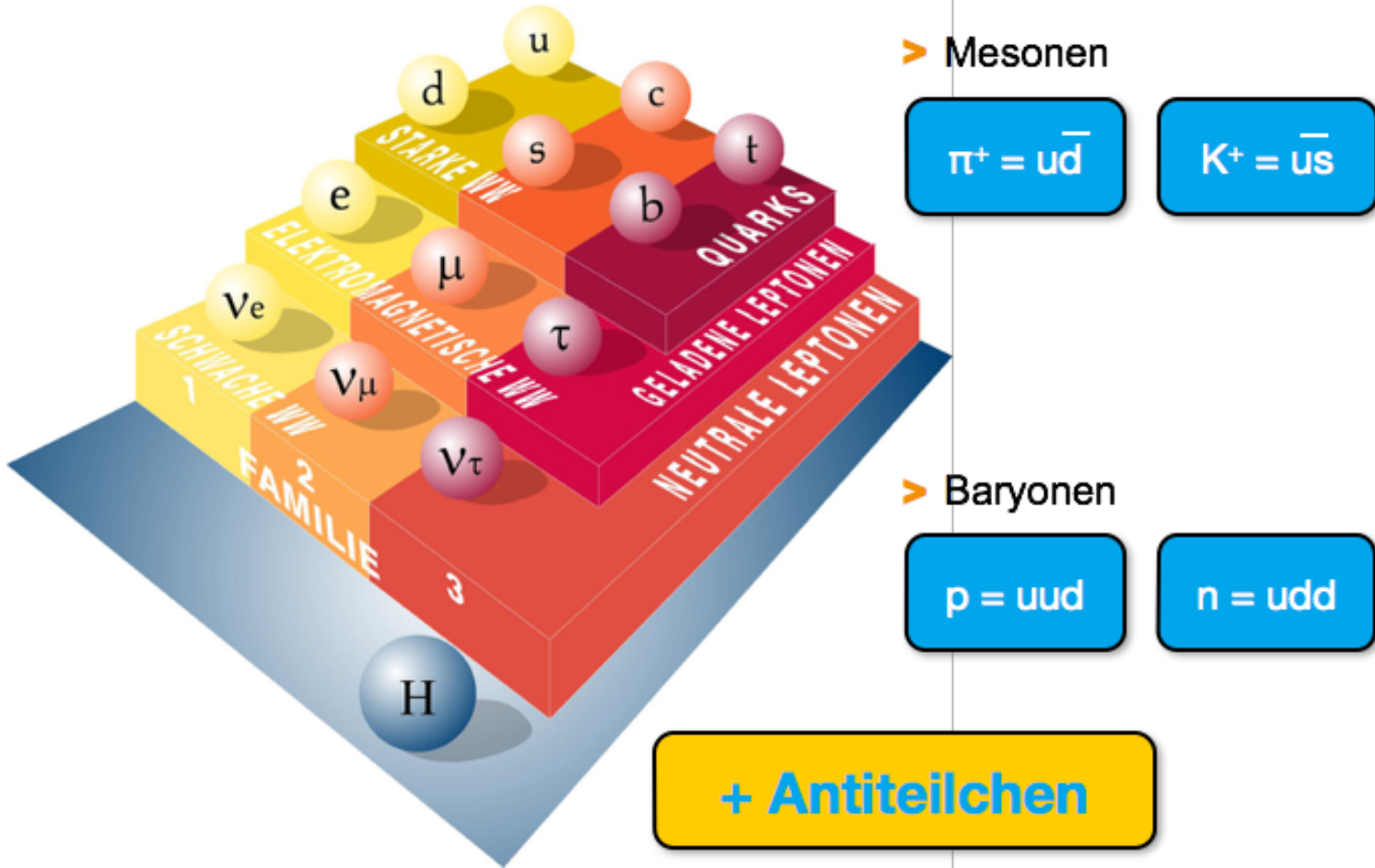
Der Weg zur Erde



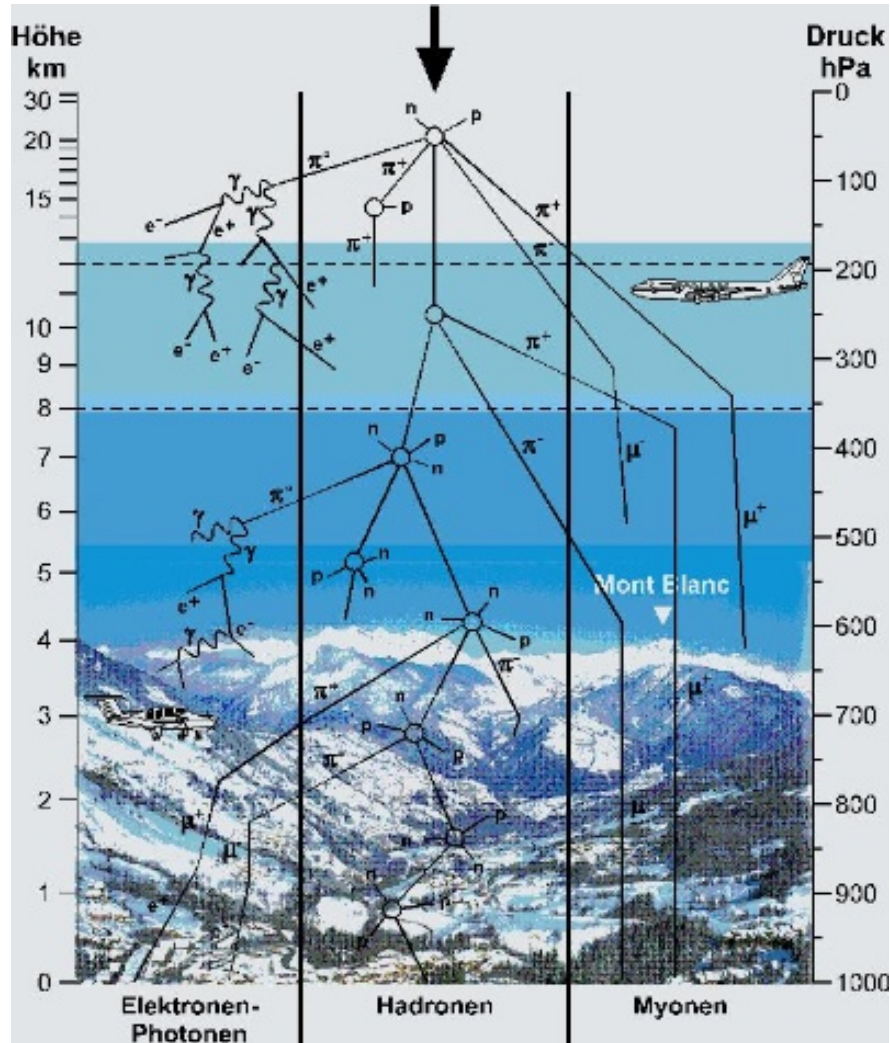
Kosmische Strahlung auf der Erde



Zur Erinnerung....



Teilchenschauer



Je höher die Energie des Primärteilchens, desto größer ist der Luftschauer und desto mehr Sekundärteilchen erreichen den Boden.

$$E = mc^2$$

Warum kommt das Myon auf der Erde an?

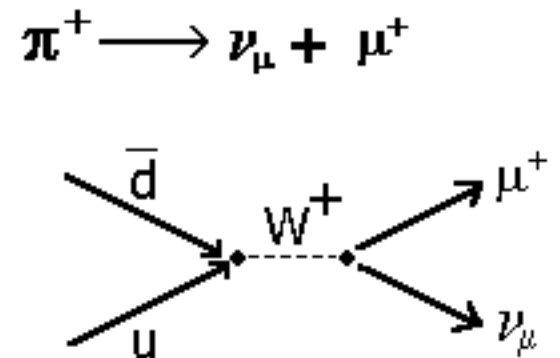
- ▶ Lebensdauer von $2.2 \cdot 10^{-6}$ s
- ▶ Entstehen aus der sekundären kosmischen Strahlung
- ▶ Zerfall von Pion und Kaon in Myon und Myon-Neutrinos
- ▶ Relativitätstheorie
- ▶ (Zeit- und Längenkontraktion)
- ▶ Klassisch:

$$s = vt = 0.998c \cdot 2\mu s = 600m$$

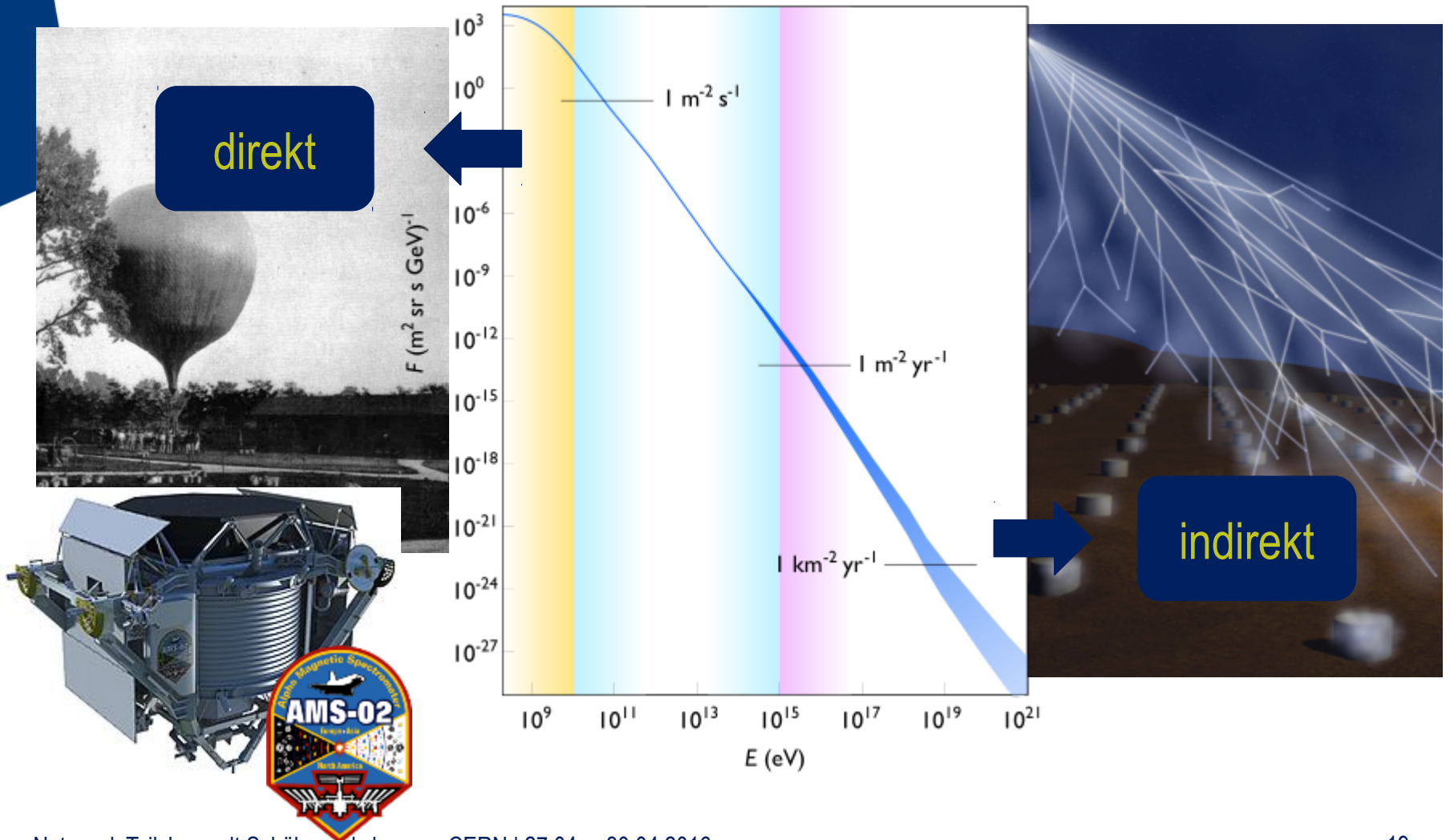
- ▶ Relativistisch:

$$2\mu s \cdot \gamma = 2\mu s \cdot \frac{1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} = 30\mu s$$

$$s = 0.998c \cdot 30\mu s = 9km$$



Untersuchungsmethoden



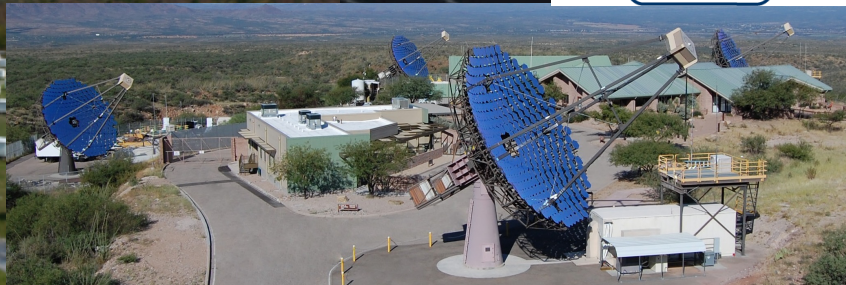
Indirekter Nachweis



LOFAR



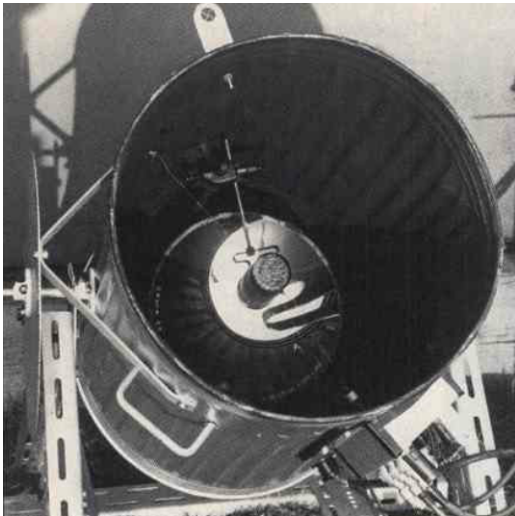
Kaskade Grande



Messung von Gammastrahlung



früher...



Und heute...



Messung von Gammastrahlung



Teil 2: Das Pierre Auger Observatorium



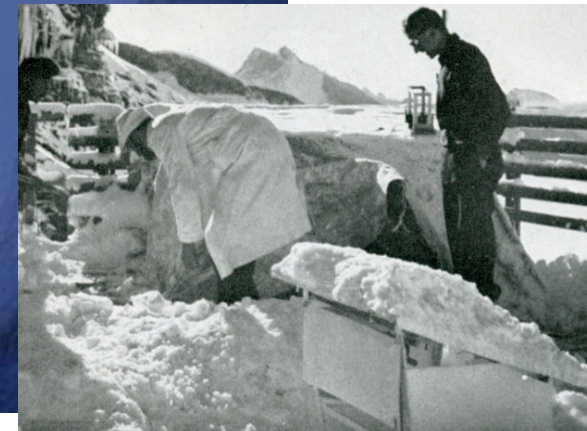
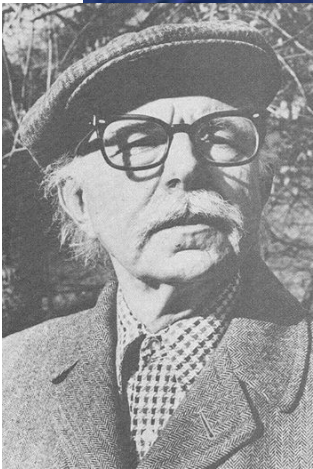
Das Pierre Auger Observatorium



Chile

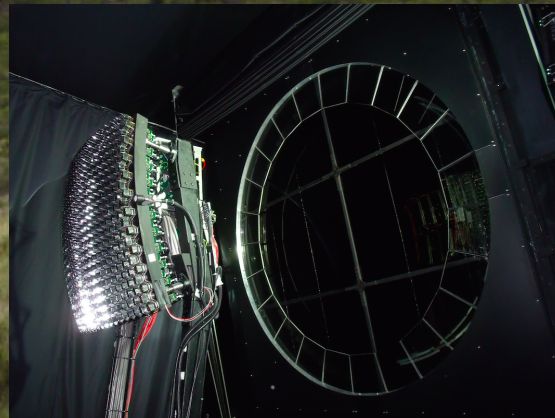


Argentina



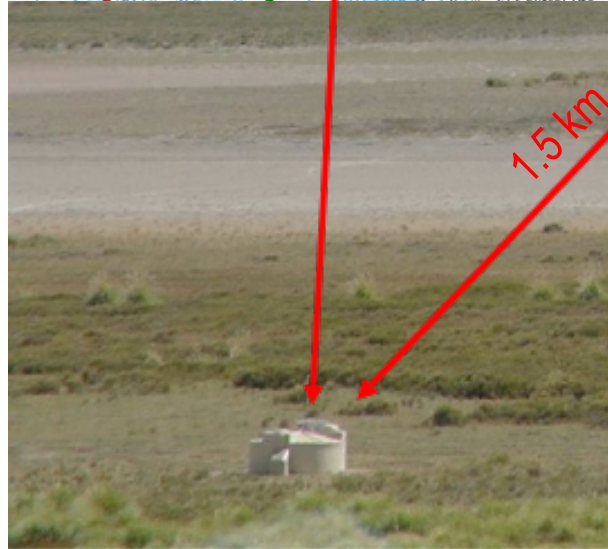
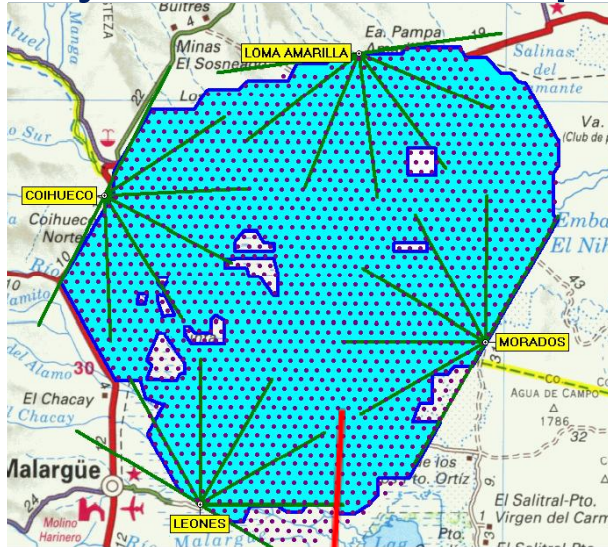
Das Pierre Auger Observatorium

- ▶ Detektor zur Messung höchst energetischer, geladener kosmischer Strahlung
- ▶ 1600 Wassertanks, verteilt auf 3000 km²
- ▶ Zusätzlich 4 x 6 + 3 Fluoreszenzteleskope

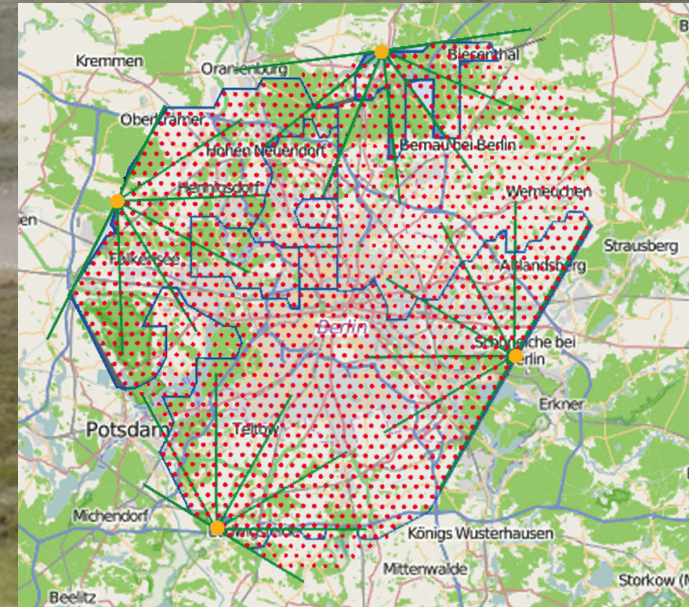


1600 Wassertanks

Physik in der Pampa

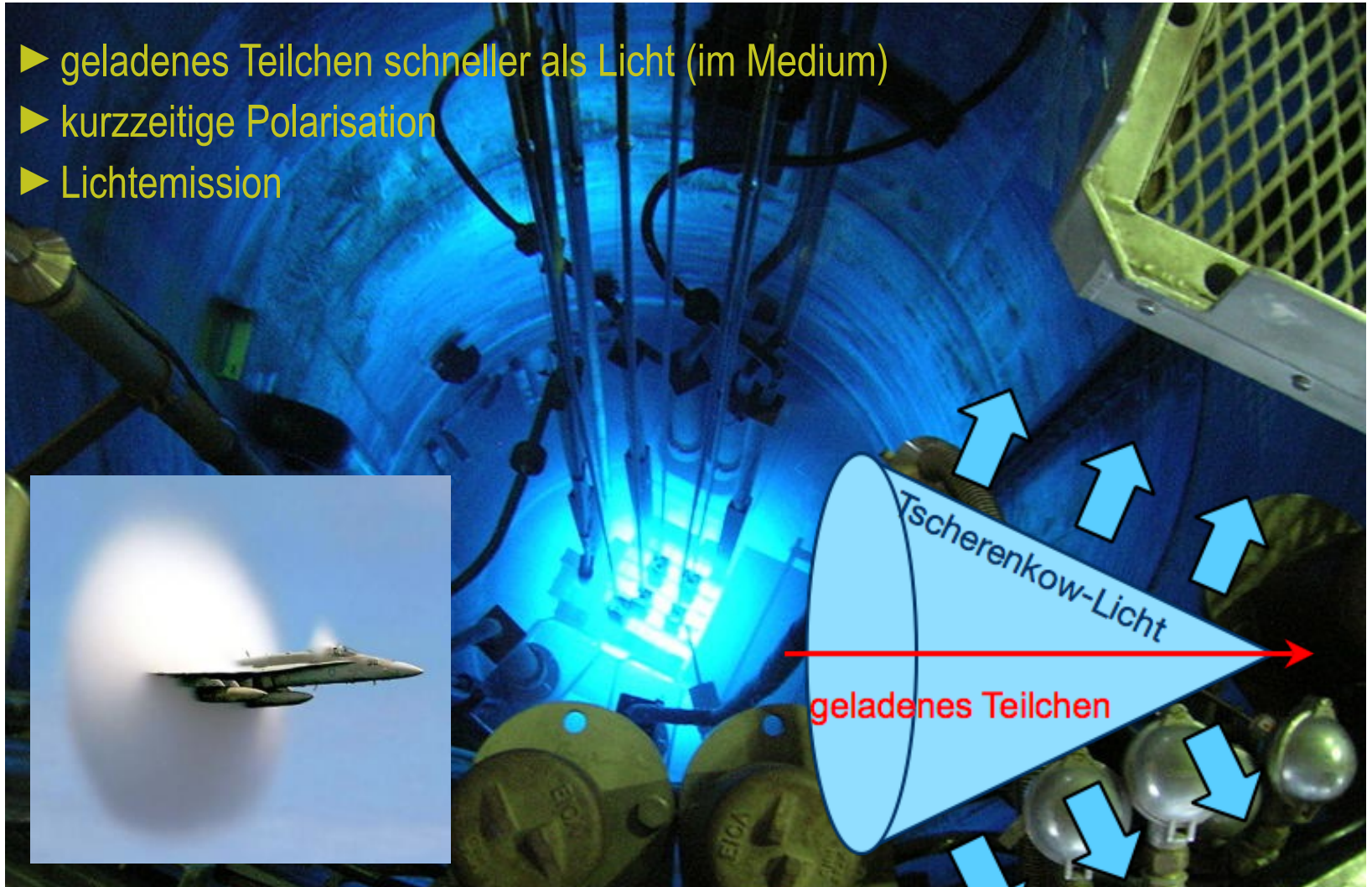


1.5 km

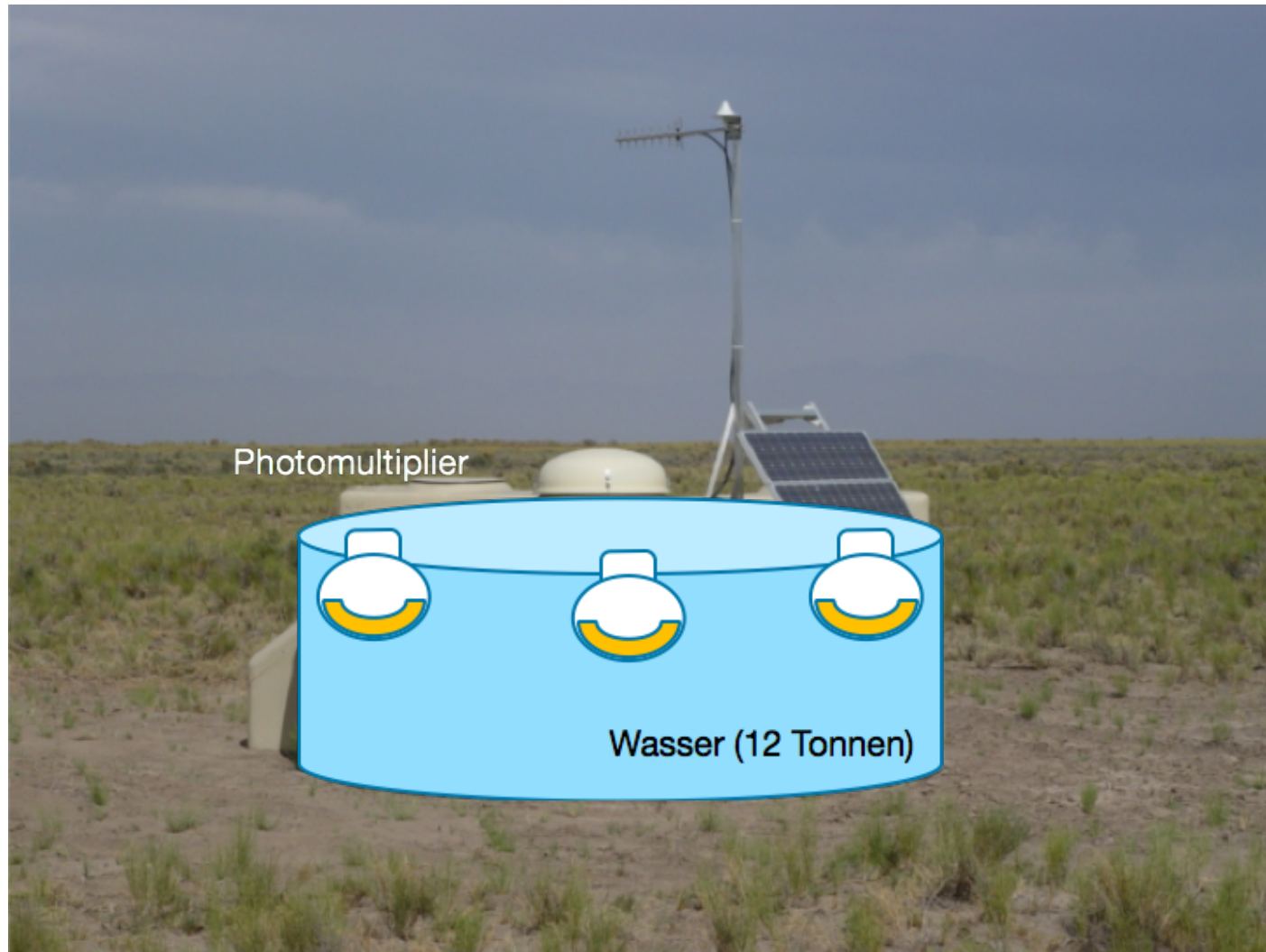


Das blaue Leuchten...

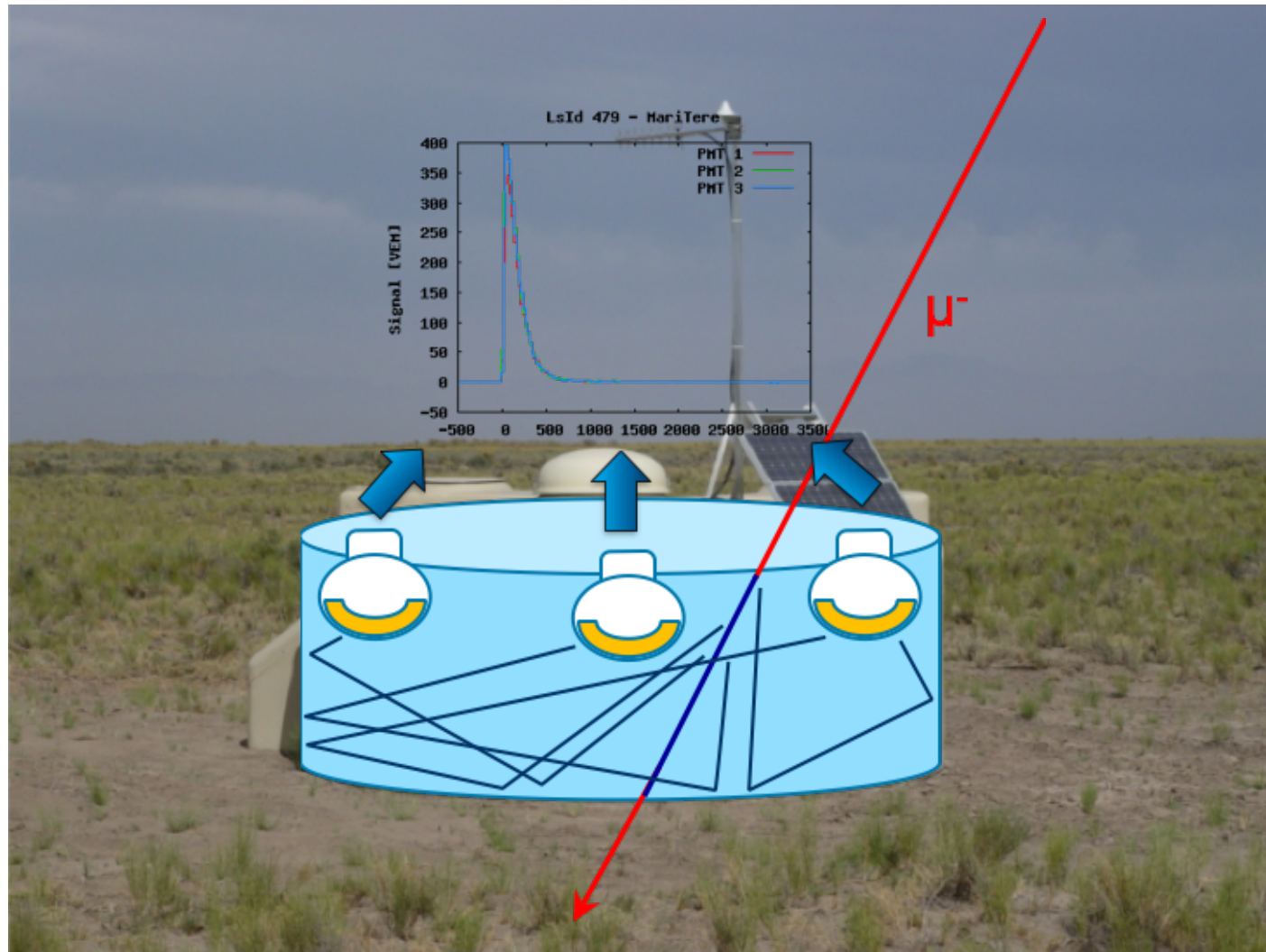
- ▶ geladenes Teilchen schneller als Licht (im Medium)
- ▶ kurzzeitige Polarisation
- ▶ Lichtemission



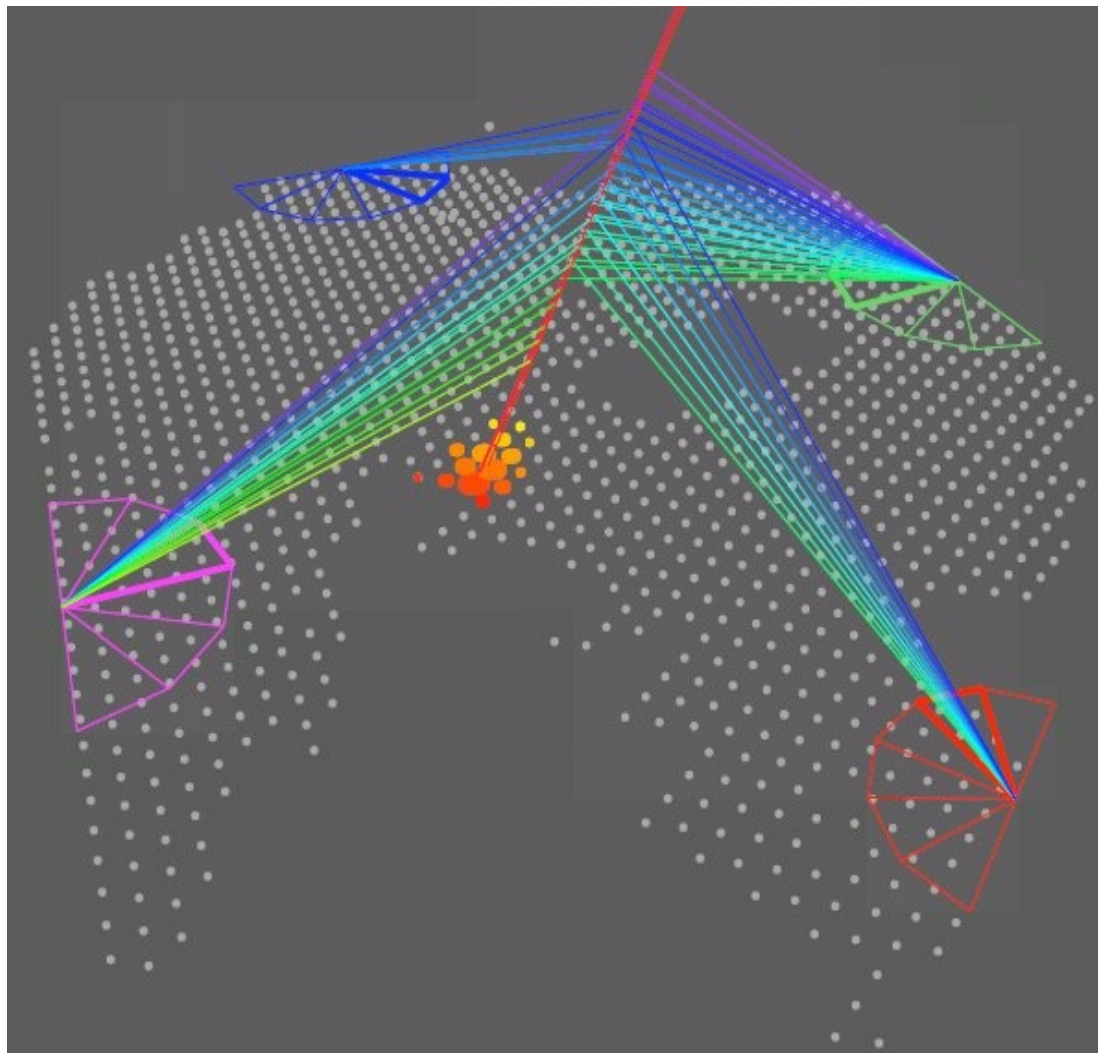
Der SD Detektor



Der SD Detektor



Schauer rekonstruieren



Teil 3: Die Analyse von Luftschauern





Das öffentliche Eventdisplay

Stellt 1% der Daten der Öffentlichkeit zur Verfügung

<http://auger.uni-wuppertal.de/ED/>



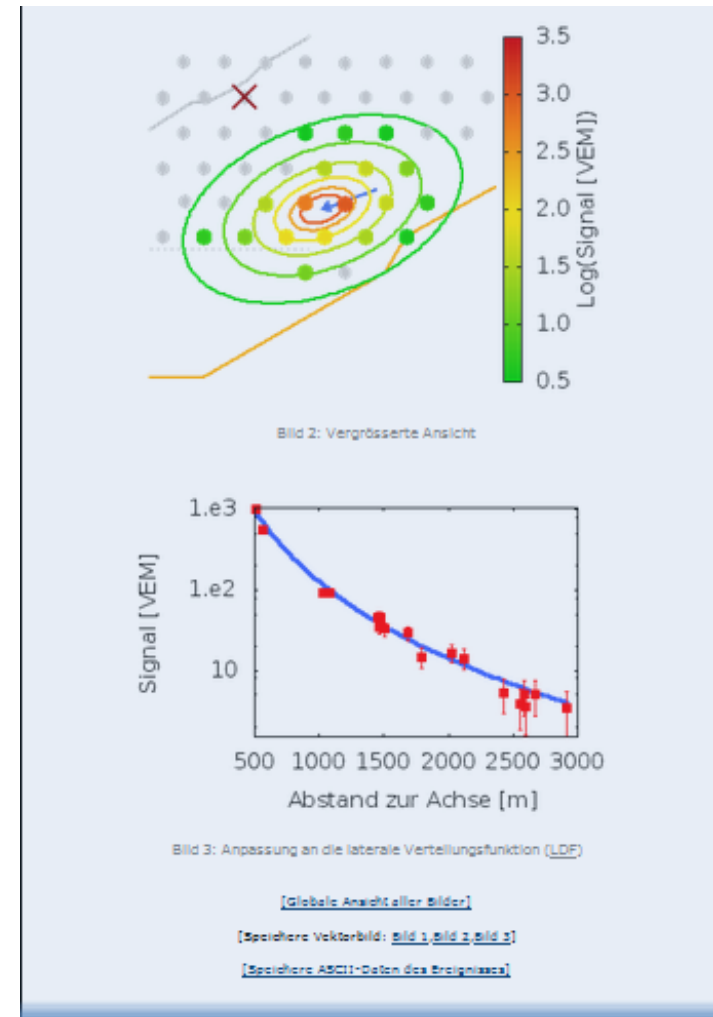
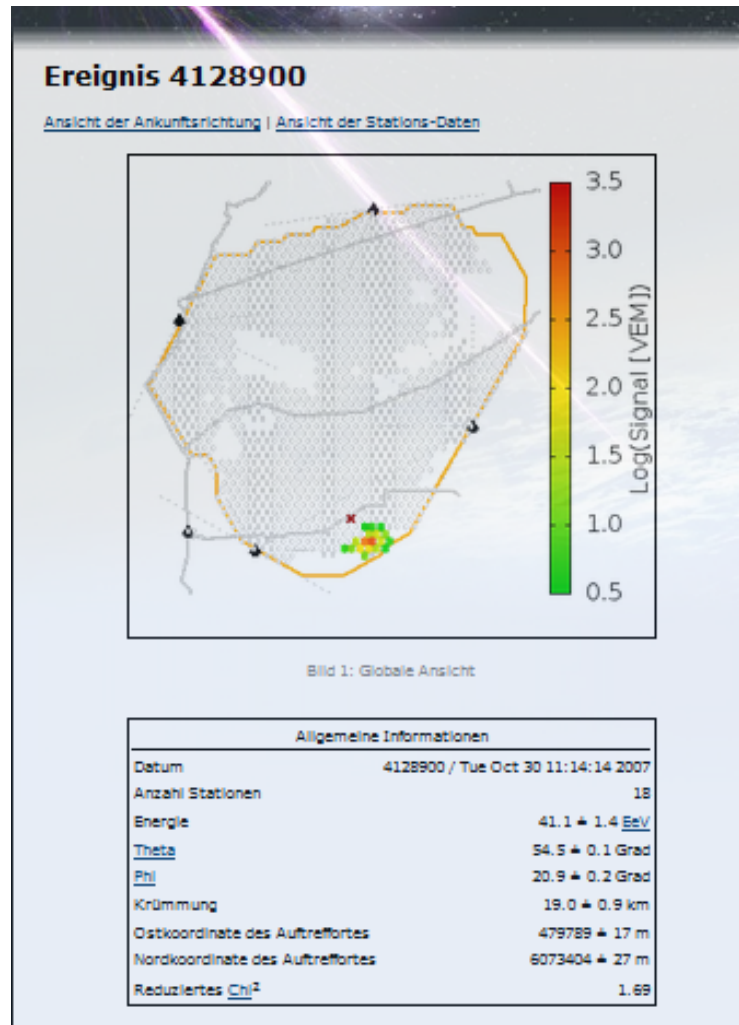
Das öffentliche Eventdisplay

```
#####  
#  
# Auger oeffentliche Daten, produziert: wed, 09 Sep 2015 08:35:32  
#  
#####  
#  
# spalten:  
#  
# 1: Ereignis ID  
# 2: Stationenanzahl des Ereignisses  
# 3: Rekonstruiertes Theta der einlaufenden kosmischen Strahlung  
# 4: Rekonstruiertes Phi of der einlaufenden kosmischen Strahlung  
# 5: Rekonstruierte Energy (Eev)  
# 6: Unix-Zeit in Sekunden (Sekunden seit 1.1.1970, ohne Schaltsekunden)  
# 7: Galaktische Laenge (grad)  
# 8: Galaktische Breite (grad)  
#  
#####  
#  
620400 3 26.5493 -101.793 0.355824 1072964627 -41.5095 -2.20715  
620800 3 22.8513 -30.7643 0.613304 1073009810 -108.484 -24.8681  
621400 3 43.2542 44.717 0.750664 1073079948 155.424 -60.5928  
622200 3 24.0715 26.1113 0.283069 1073168340 -158.134 -72.3622  
622800 3 22.2321 -154.025 0.333237 1073236969 -10.8102 -7.61925  
625800 3 34.3342 -128.556 0.352308 1073583032 -25.9536 -11.497  
626100 3 42.2737 61.8223 0.314971 1073619805 -145.182 10.558  
626500 3 5.18422 -100.752 0.725942 1073664627 -4.89939 -15.6009  
627500 3 41.2253 134.881 0.362134 1073775906 91.8644 -62.5636  
628700 3 22.0331 141.632 0.376104 1073910275 -36.1408 39.8032  
629700 3 29.5092 -149.164 0.398716 1074022716 -5.48645 -31.2578  
630000 3 14.5099 -99.7381 0.742202 1074054246 -100.064 -18.4359  
631500 3 28.4256 -72.1031 0.341655 1074217013 -89.604 -30.8884  
633900 3 36.7799 89.2826 0.572328 1074437485 28.9803 10.8923  
634200 3 30.0855 -8.48538 0.350214 1074469715 -121.689 -30.8815  
635100 5 43.5976 153.295 1.74086 1074552841 74.3913 -65.1718  
636700 3 28.1557 41.568 0.958131 1074668768 -76.985 45.8491  
637600 3 42.9675 117.154 0.405111 1074752265 -138.936 24.0769  
638500 3 30.971 108.793 0.428863 1074831469 -139.917 1.50234  
638700 3 24.8878 -101.938 0.316926 1074843192 -74.7992 -1.59771
```

Daten seit 2004



Betrachtung von einem Ereignis





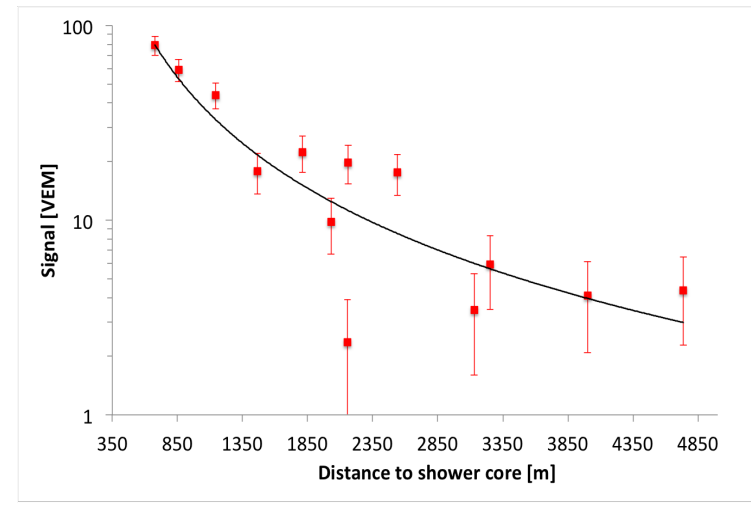
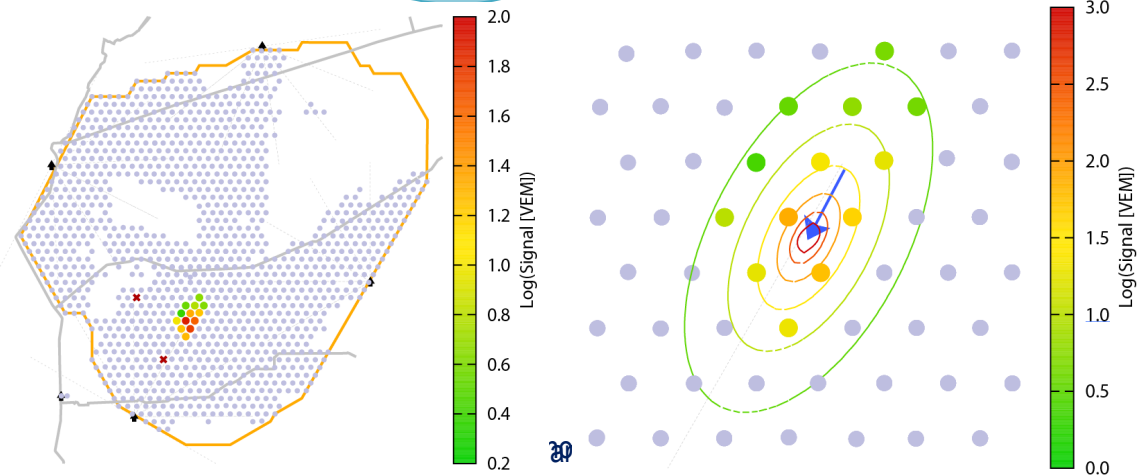
Datensatz

```
# Id signal(VEM) Zeit(sec) Zeit(ns) Easting(m) Northing(m) Height(m)
150 79.11 1176629455 412891827 467878.3 6087951.94 1393.44
143 59.13 1176629455 412894155 468632.71 6086649.48 1390.46
144 43.92 1176629455 412889838 469382.27 6087951.52 1390.84
102 22.3 1176629455 412887588 468627.23 6089249.33 1394.15
149 19.81 1176629455 412898525 467878.43 6085350.1 1388.93
148 17.85 1176629455 412896183 467132.16 6086643.91 1392.01
105 17.57 1176629455 412885584 470122.31 6089278.38 1391.84
158 9.81 1176629455 412894124 466376.12 6087945.37 1393.4
138 5.91 1176629455 412883425 469377.96 6090546.53 1394.15
139 4.37 1176629455 412879462 470131.53 6091848.8 1394.02
140 4.11 1176629455 412881682 470893.43 6090547.29 1391.66
131 3.46 1176629455 412885564 467873.99 6090554.71 1395.07
151 2.36 1176629455 412889975 467118.74 6089231.88 1394.93
```

Wie kommen
Wissenschaftler
zu diesen
Informationen?

Allgemeine Informationen	
Datum	3330400 / Sun Apr 15 09:31:09 2007
Anzahl Stationen	13
Energie	9.7 ± 0.6 EeV
<u>Theta</u>	59.2 ± 0.1 Grad
<u>Phi</u>	62.2 ± 0.2 Grad
Krümmung	21.2 ± 2.0 km
Ostkoordinate des Auftreffortes	468352 ± 51 m
Nordkoordinate des Auftreffortes	6087466 ± 58 m
Reduziertes <u>Chi</u> ²	2.33

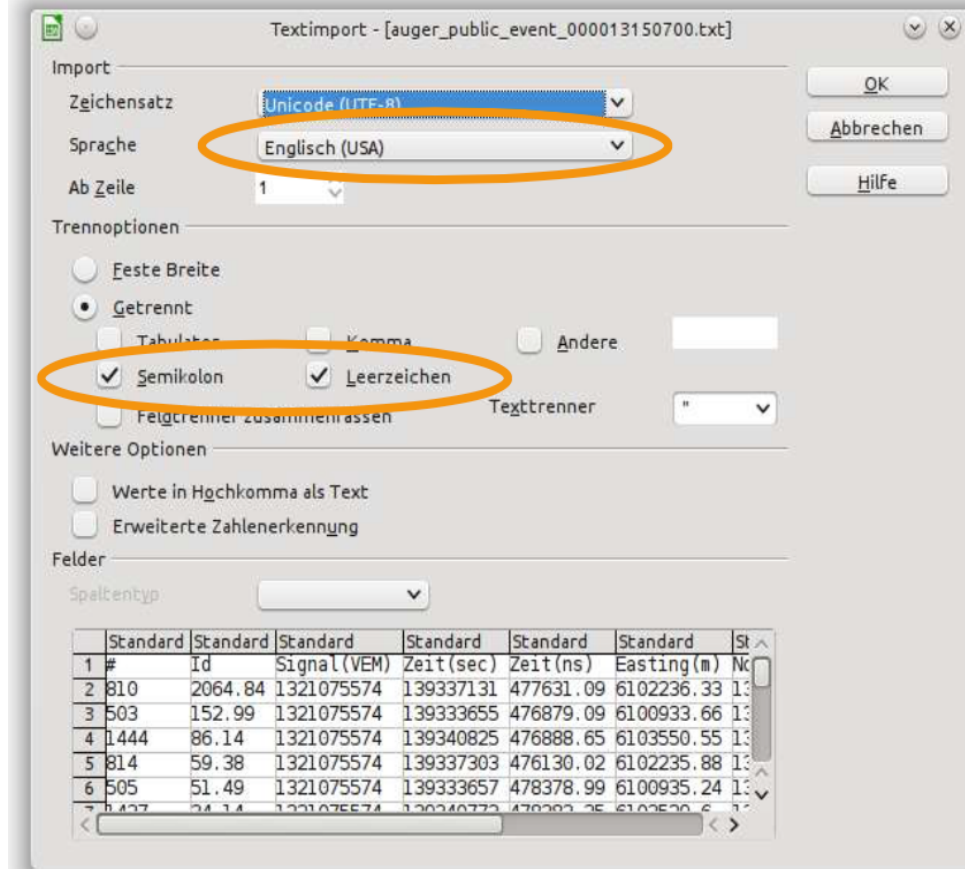
Wie erstellen
Wissenschaftler diese
Bilder?





Datenformat in OpenOffice

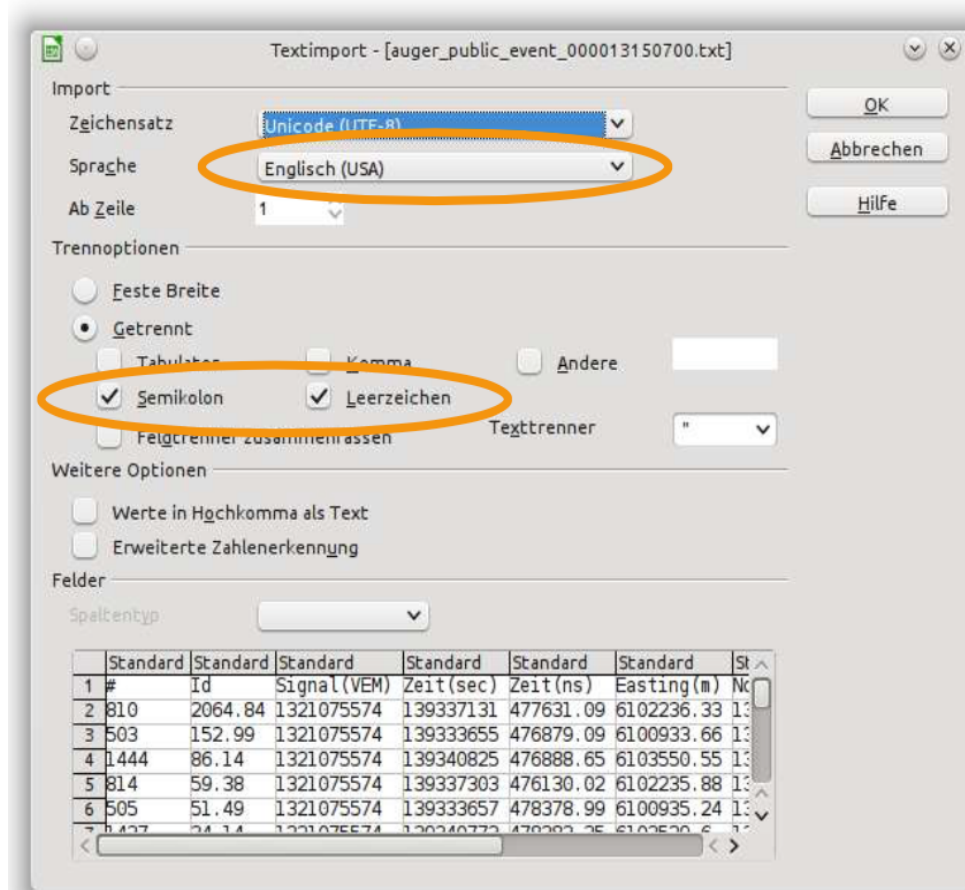
- ▶ Mit Libre Office importieren
- ▶ Sprache ggf. auf Englisch umstellen
- ▶ Achtung: Spaltenüberschriften sind beim Importieren um eine Spalte nach rechts verschoben
- ▶ Beispielergebnisse:
 - 1234800
 - 2918500
 - 15279100





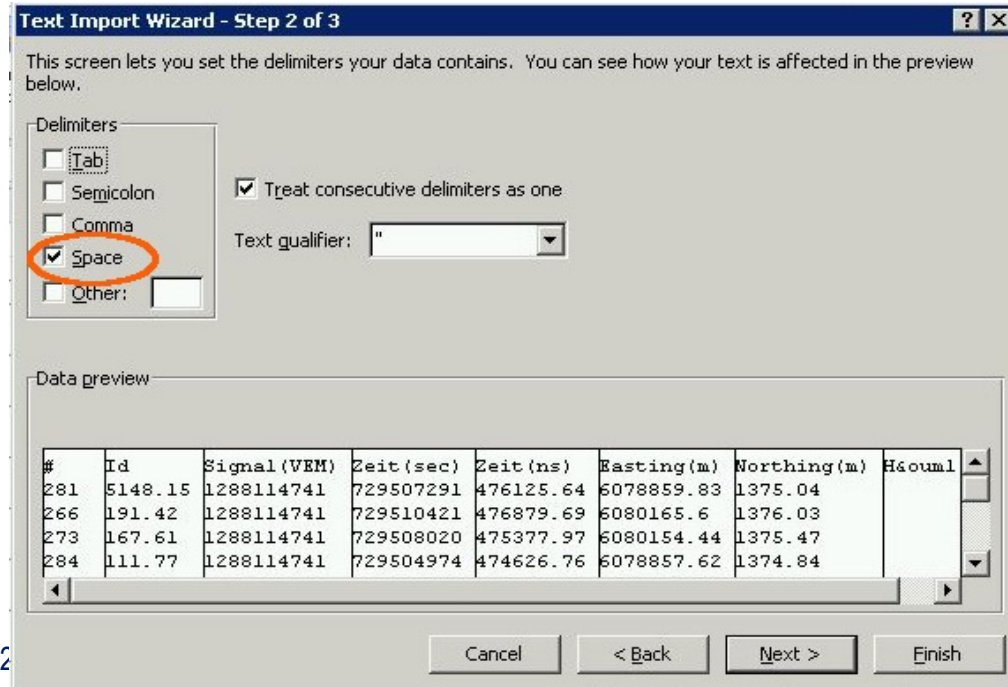
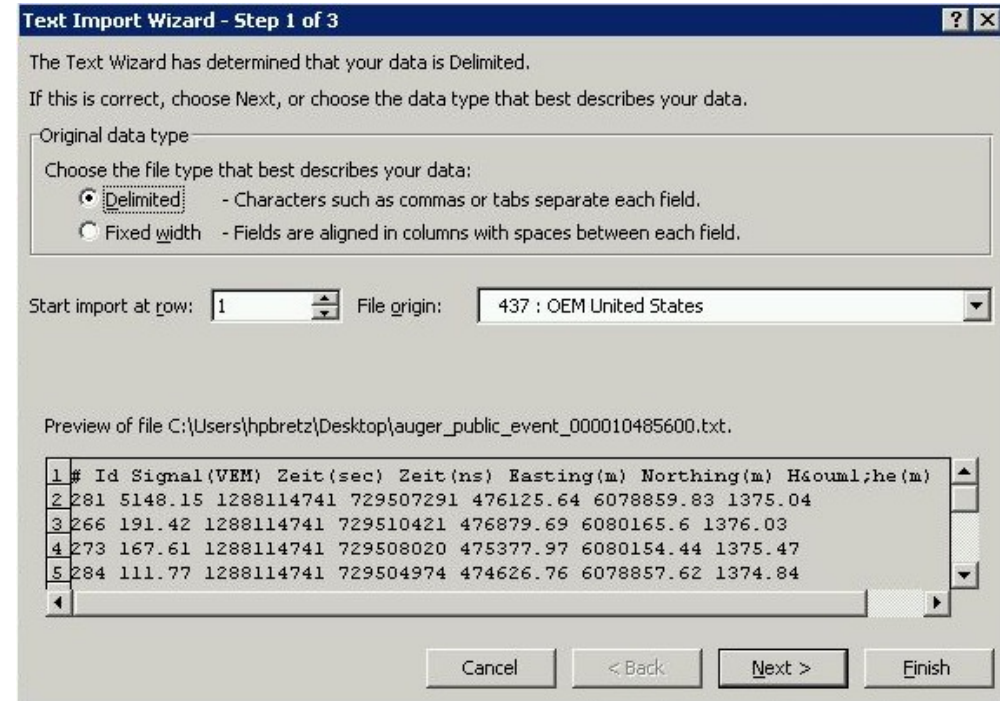
Datenformat

- ▶ ID des Tanks
- ▶ Signalstärke in VEM
- ▶ Absolute Zeit des Events
- ▶ Relative Zeit in Nanosekunden
- ▶ Position in Ost (Easting) und Nord (Northing) Koordinaten
- ▶ Höhe des Tanks



Datenformat in Excel

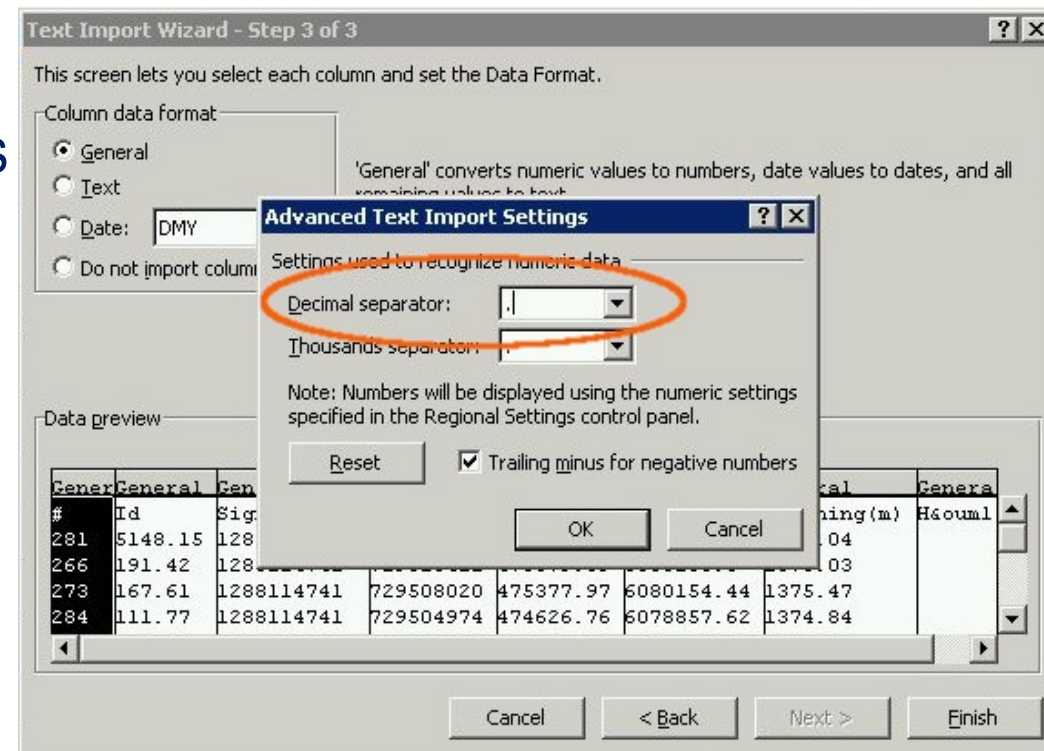
- ▶ Mit Excel importieren
- ▶ Sprache ggf. auf Englisch umstellen
- ▶ Achtung: Spaltenüberschriften sind beim Importieren um eine Spalte nach rechts verschoben
- ▶ Beispielergebnisse:
 - 1234800
 - 2918500
 - 15279100





Datenformat

- ▶ ID des Tanks
- ▶ Signalstärke in VEM
- ▶ Absolute Zeit des Events
- ▶ Relative Zeit in Nanosekunden
- ▶ Position in Ost (Easting) und Nord (Northing) Koordinaten
- ▶ Höhe des Tanks





Daten in der Tabelle

The screenshot shows the Microsoft Excel interface with the following data table:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	#	Id	Signal	Zeit(sec)	Zeit(ns)	Easting(m)	Northing(m)	Height(m)	
2	281	5148,15	1,29E+09	7,3E+08	476125,6	6078860	1375,01		
3	266	191,42	1,29E+09	7,3E+08	476879,7	6080166	1376,03		
4					475378	6080154	1375,47		
5					474626,8	6078858	1374,84		
6	280	50,91	1,29E+09	7,3E+08	475376	6077556	1373,09		
7	276	45,78	1,29E+09	7,3E+08	477627	6078852	1373,62		
8	291	19,33	1,29E+09	7,3E+08	476879,1	6077565	1373,52		
9	272	17,43	1,29E+09	7,3E+08	478377,3	6080155	1374,26		
10	1332	11,94	1,29E+09	7,3E+08	473877,9	6080153	1378,1		
11	275	8,12	1,29E+09	7,3E+08	476129,1	6081458	1376,65		
12	282	6,98	1,29E+09	7,3E+08	473857,8	6077493	1374,17		
13	228	6,03	1,29E+09	7,3E+08	477618,5	6081457	1376,73		
14	326	4	1,29E+09	7,3E+08	473125,5	6076259	1376,33		
15									

Verschieben der Kopfzeile um eine Zelle nach Links und '#' Löschen!



Aufgabe: Auftreffpunkt des Schauers

- ▶ Wie kann man den Auftreffpunkt des Teilchenschauers berechnen?
- ▶ Welche Informationen erhalte ich dadurch?
 - Energie des Primärteilchens
- ▶ Während der Schauerentwicklung können die Teilchen im Schauer zerfallen oder mit Luftmolekülen kollidieren.
- ▶ Dadurch sind sie zufällig um die Schauerachse verteilt.

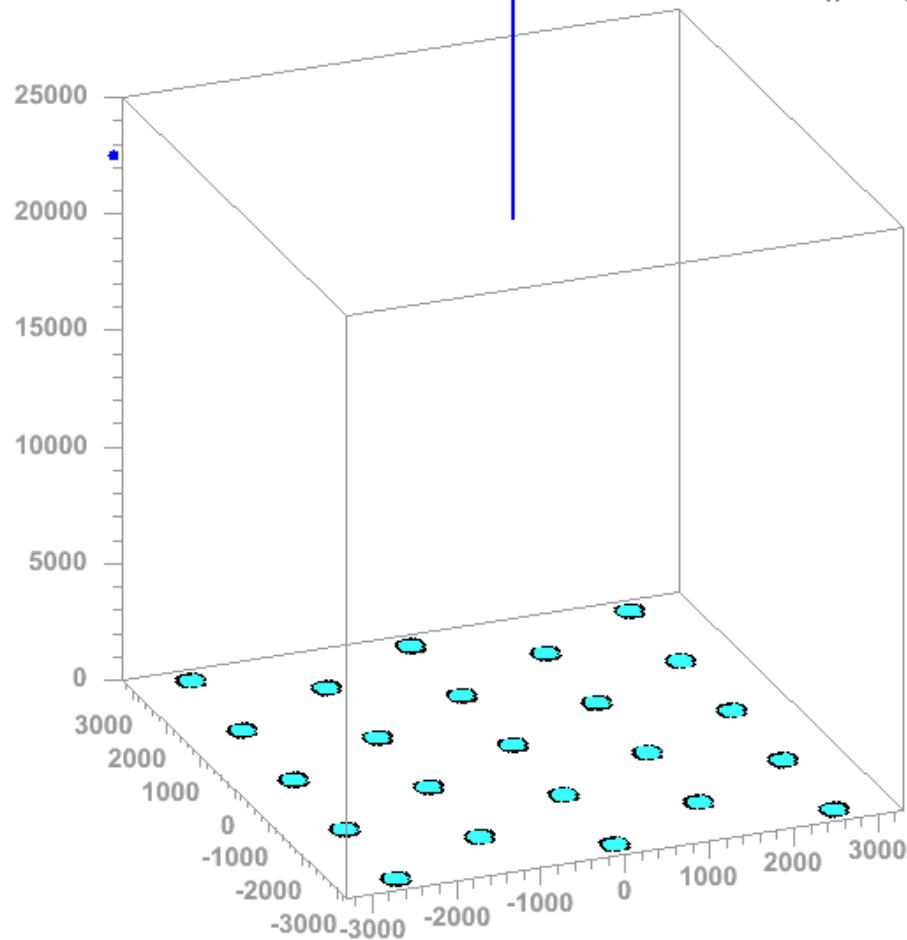
Auftreffpunkt des Schauers (Erklärung)

hadrons muons electrs neutrs

$0.00 \cdot 10^{-6}$ sec

Proton 10^{15} eV

$h^{1st} = 22489$ m



J.Oehlschlaeger,R.Engel,FZKarlsruhe



Auftreffpunkt des Schauers (**Erklärung**)

- ▶ Während der Schauerentwicklung können die Teilchen im Schauer zerfallen oder mit Luftmolekülen kollidieren.
- ▶ Dadurch sind sie zufällig um die Schauerachse verteilt.
- ▶ Um den Auftreffpunkt zu bestimmen, kann man daher messen, wo die Teilchen des Schauers im Mittel ankommen.
- ▶ Dazu kann man den Mittelwert der Positionen der Tanks bestimmen, gewichtet nach dem Signal, das sie jeweils messen.



Auftreffpunkt des Schauers (**Durchführung**)

► Mittelwert

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

► Gewichteter Mittelwert der Position

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

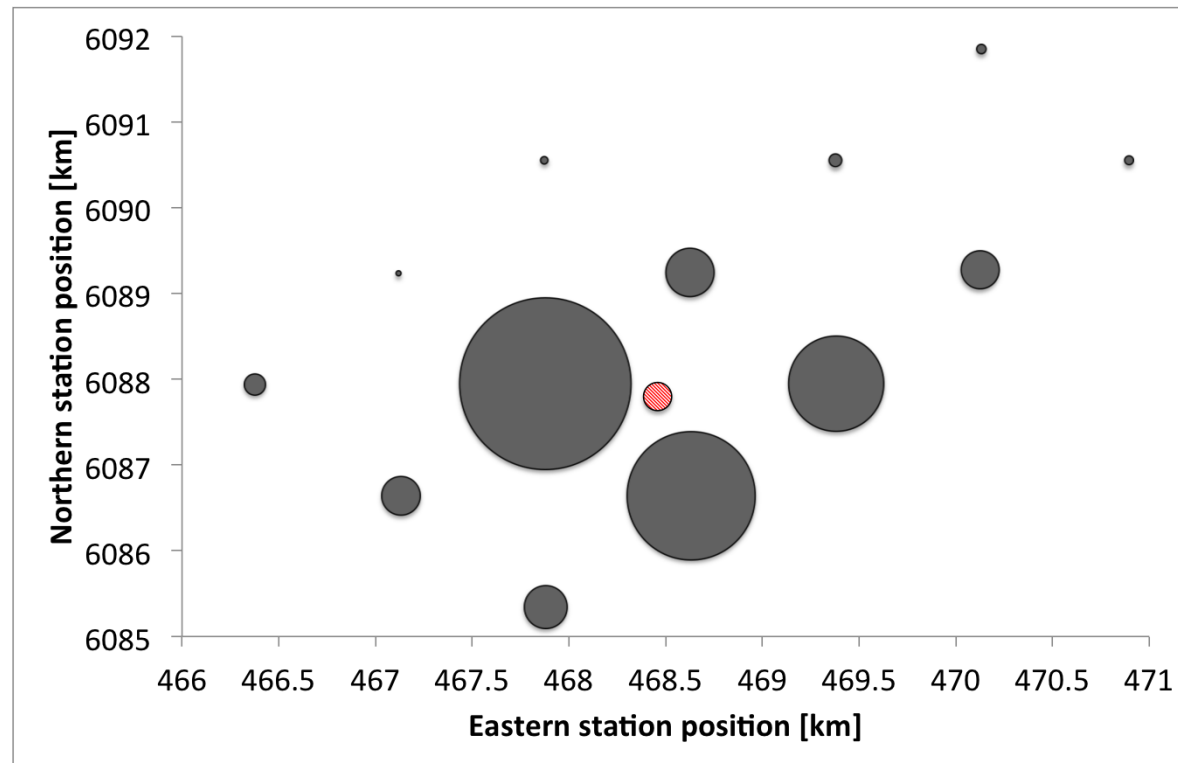
Signal

Position

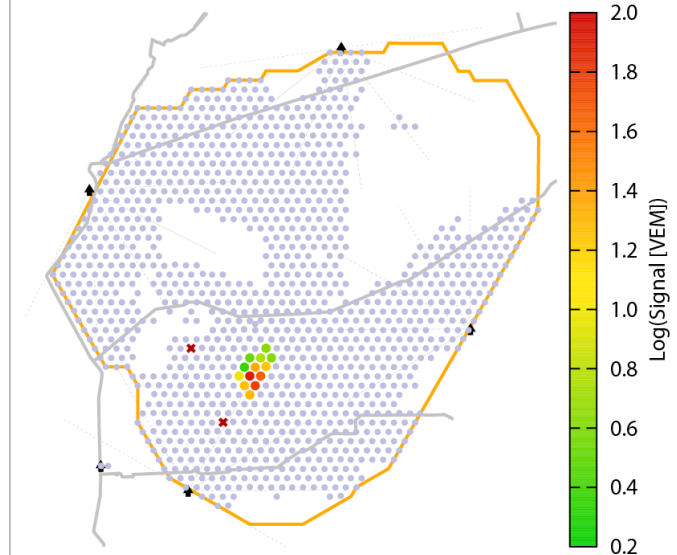
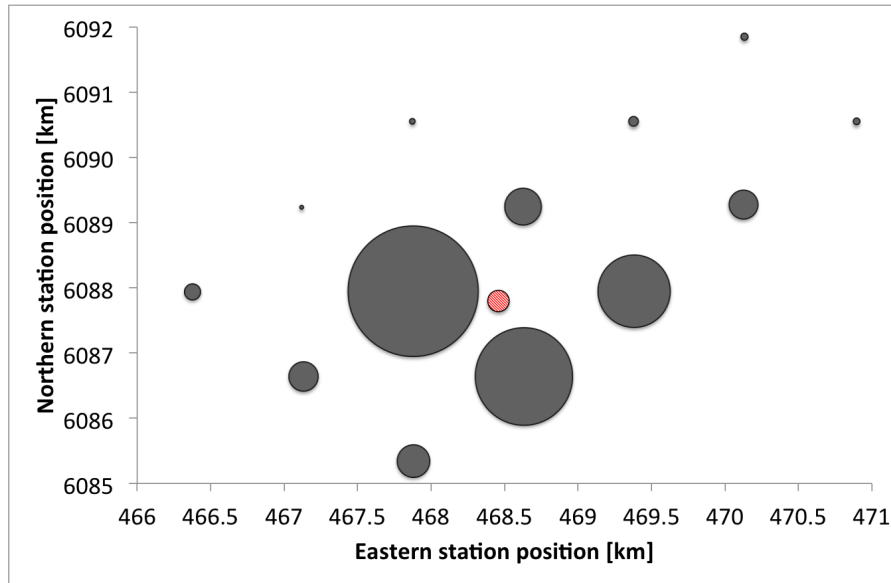
Beachten: zwei Koordinaten
notwendig; Ost- und Nordposition!

Auftreffpunkt des Schauers (Ergebnis)

- ▶ Die Position der Kreise entsprechen den Positionen der Tanks, die Größe der Kreise entspricht dem Signal, das sie gemessen haben.



Auftreffpunkt des Schauers (Interpretation)



Allgemeine Informationen	
Datum	3330400 / Sun Apr 15 09:31:09 2007
Anzahl Stationen	13
Energie	9.7 ± 0.6 EeV
<u>Theta</u>	59.2 ± 0.1 Grad
<u>Phi</u>	62.2 ± 0.2 Grad
Krümmung	21.2 ± 2.0 km
Ostkoordinate des Auftreffortes	468352 ± 51 m
Nordkoordinate des Auftreffortes	6087466 ± 58 m
Reduziertes <u>Chi</u> ²	2.33



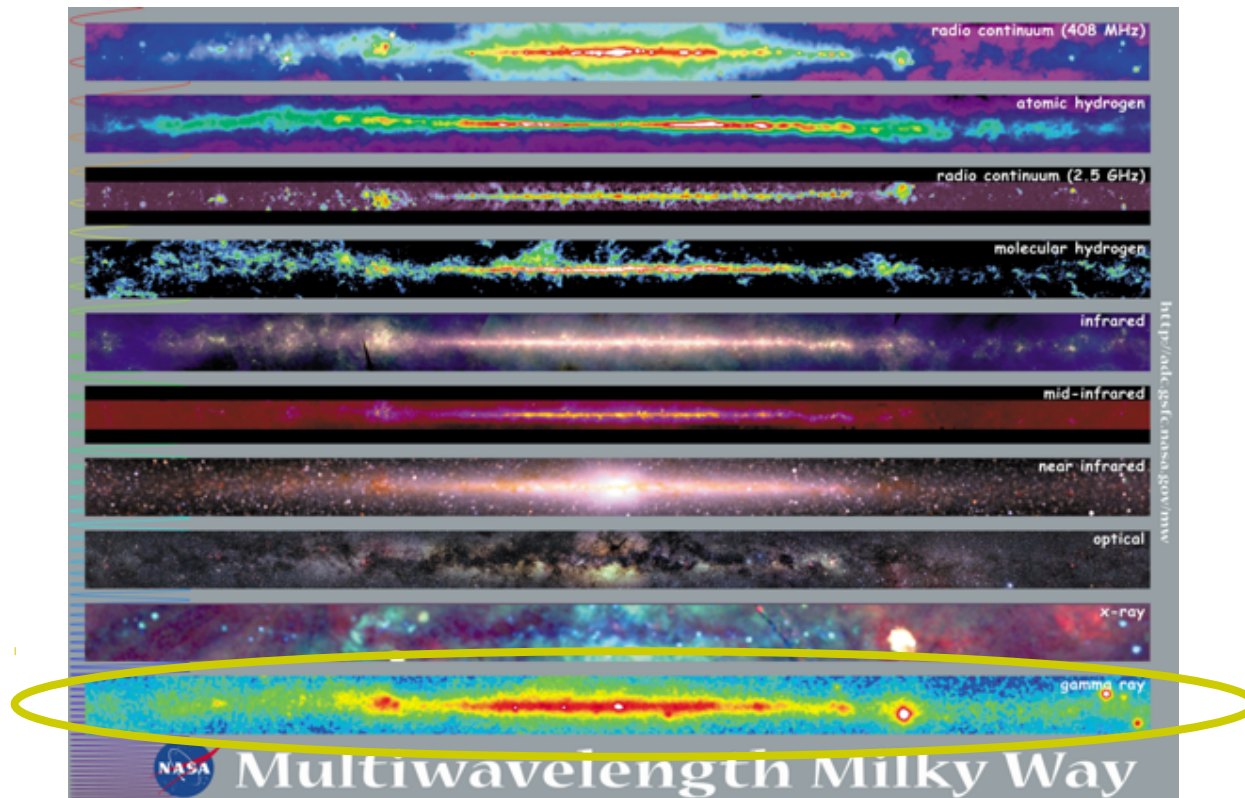
Aufgabe: Ankunftsrichtung des Schauers

- ▶ Wie kann man die einfallende Richtung des Teilenschauers bestimmen?
- ▶ Welche Informationen erhalte ich dadurch?
 - Aus welcher Richtung am Himmel stammt das Primärteilchen?
 - Ist die kosmische Strahlung isotrop verteilt?
 - Gibt es eine bevorzugte Ankunftsrichtung?
 - Von welchen astrophysikalischen Quellen kommen die Primärteilchen?



Aufgabe: Ankunftsrichtung des Schauers

- Die Milchstraße im *elektromagnetischen* Spektrum:



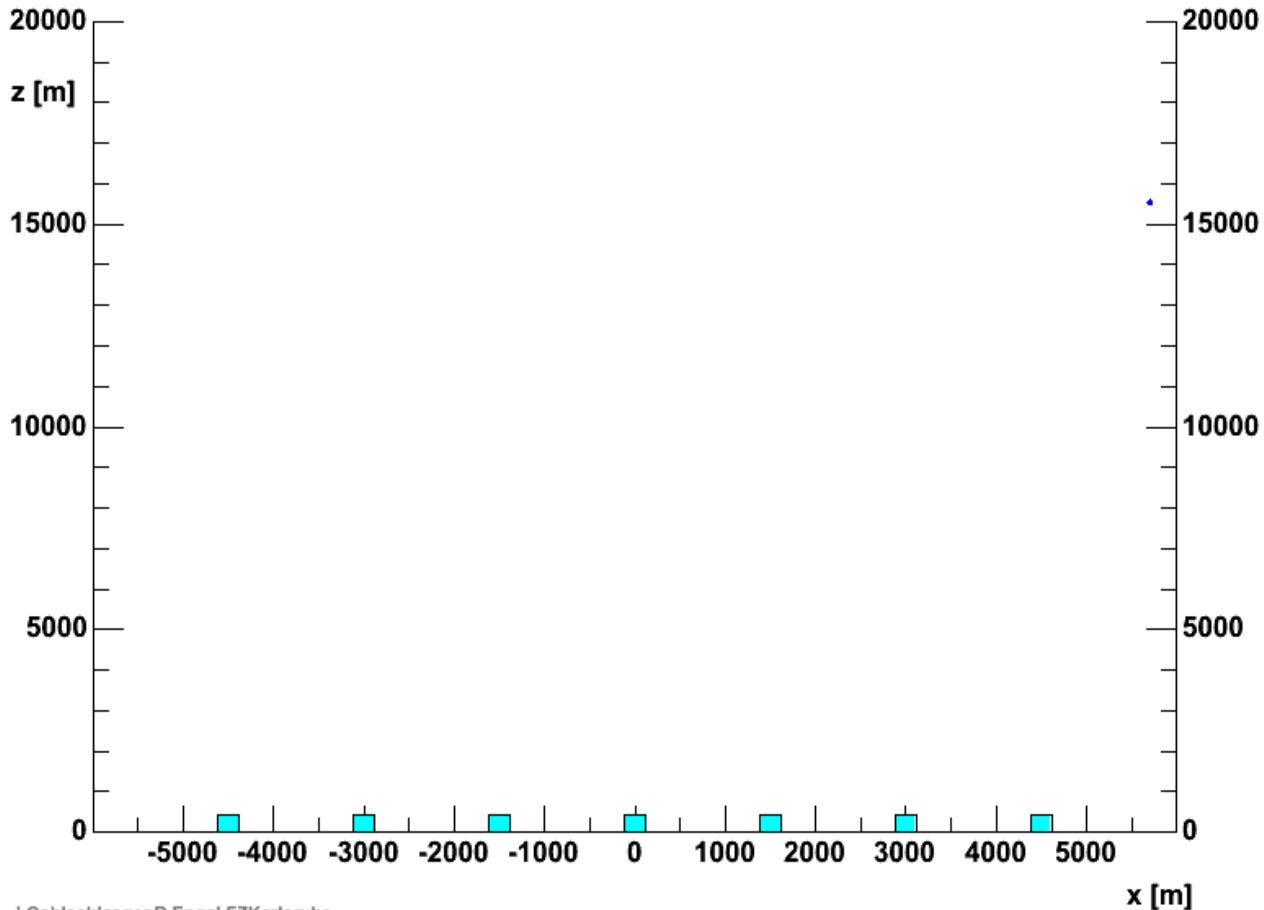
- Sind dies auch die Quellen der kosmischen Teilchen (p, e)?

Ankunftsrichtung des Schauers (Erklärung)

hadrons muons electrs neutrns

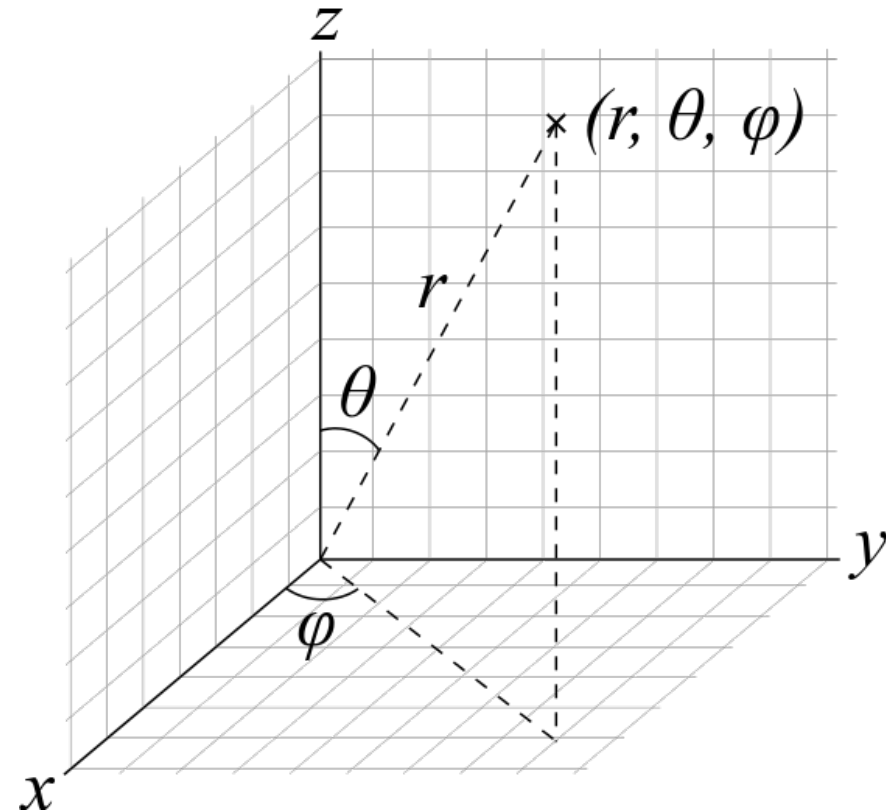
15514

Proton 10^{15} eV



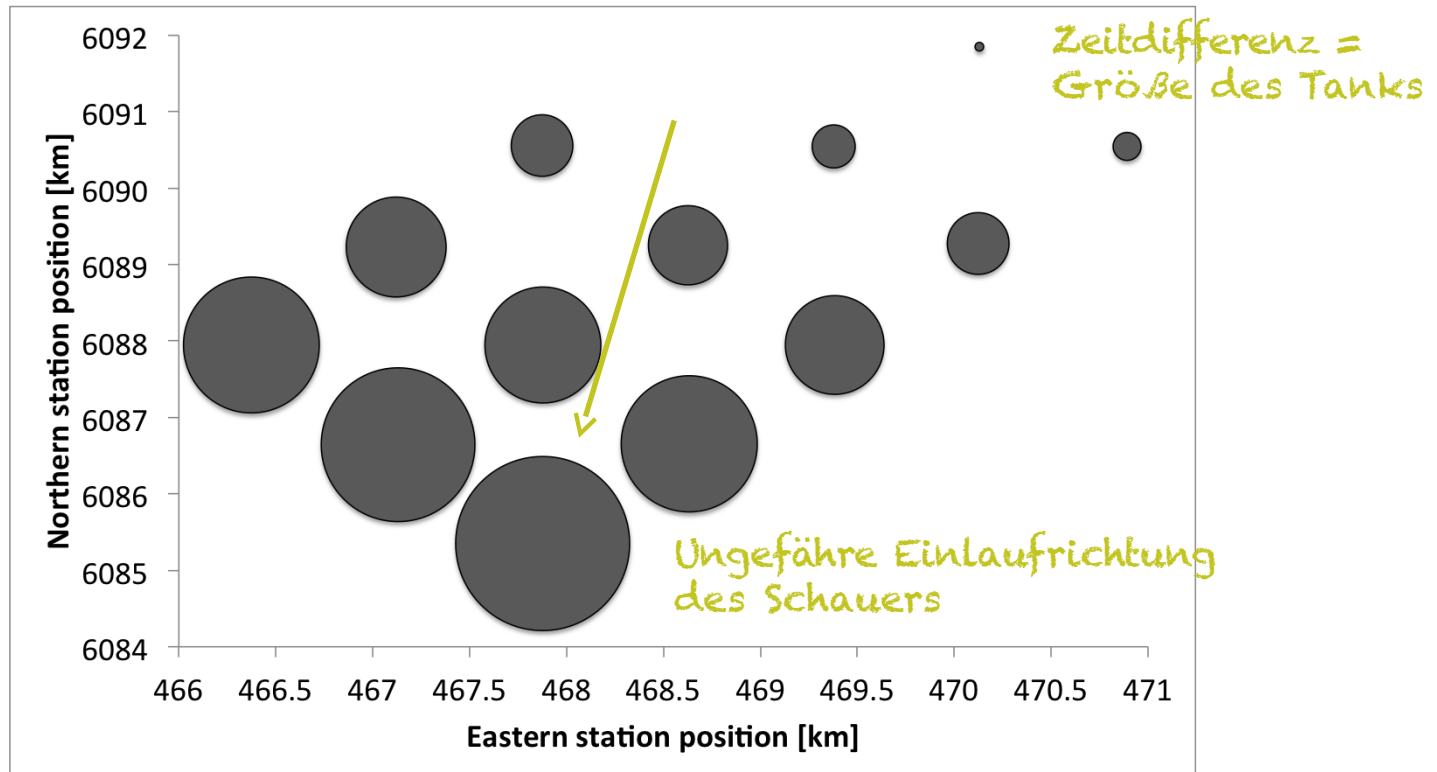
Ankunftsrichtung des Schauers (**Durchführung**)

- ▶ Die Richtung des Schauers kann durch zwei Winkel festgelegt werden, den **Azimutwinkel** φ und den **Zenitwinkel** θ .
- ▶ Der Azimutwinkel gibt dabei die Richtung der xy -Eben an, während der Zenitwinkel angibt, wie schräg der Luftschauer eintrifft.

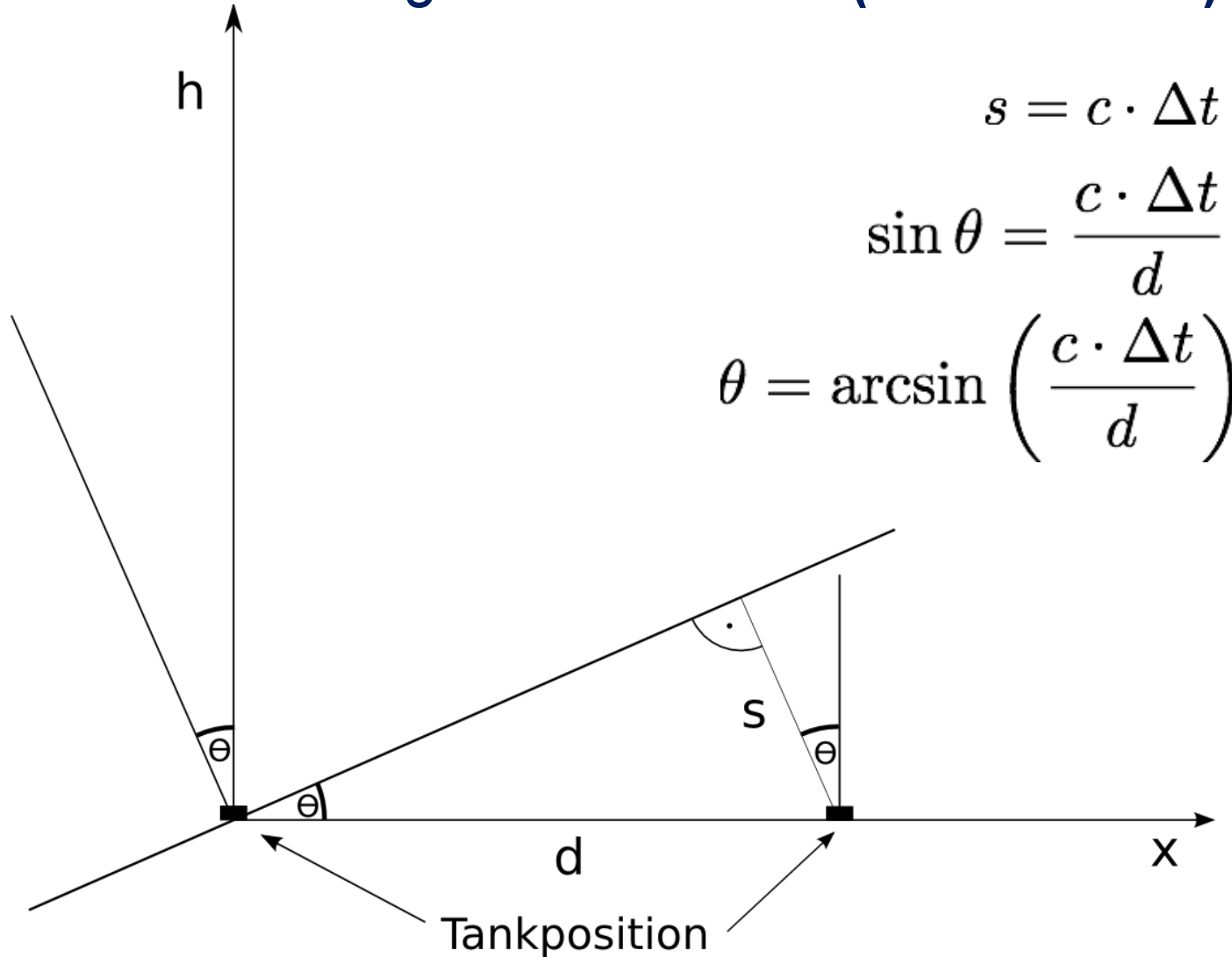


Ankunftsrichtung des Schauers (Azimutwinkel)

- ▶ Alle Tanks, die auf einer Linie senkrecht zur Schauerachse liegen, sollten dabei ihr Signal zur gleichen Zeit gemessen haben.



Ankunftsrichtung des Schauers (Zenitwinkel)





Aufgabe: Ankunftsrichtung berechnen

- Berechnung mit Online-Tool www.stargazing.net/mas/al_az.htm

User Date	October / / user input
User Time	: : user input
Time Zone Offset (HH)	0 east west of Greenwich
Daylight Savings Time (HH)	0 subtract add to time zone
Latitude (DD MM SS)	° ' " north south
Longitude (DD MM SS)	° ' " east west
Local Sideral Time (HH:MM:SS)	9:10:32
Epoch Year (YYYY)	2000 user input
Right Ascension (HH MM SS)	h ' " user input
Declination (DD MM SS)	° ' " user input
Altitude (DD MM SS)	° ' " user input
Azimuth (DD MM SS)	° ' " user input
Tirion 2000 page	14
Uranometria 2000 page	283 Vol II
Millennium page	797 Vol II
Calculate	

Datum des Ereignisses
Uhrzeit des Ereignisses
Uhrzeit ist schon UTC=0

Geografische Koordinaten
Von Pierre Auger

= 90° - Zenitwinkel
= 90° - Azimutwinkel

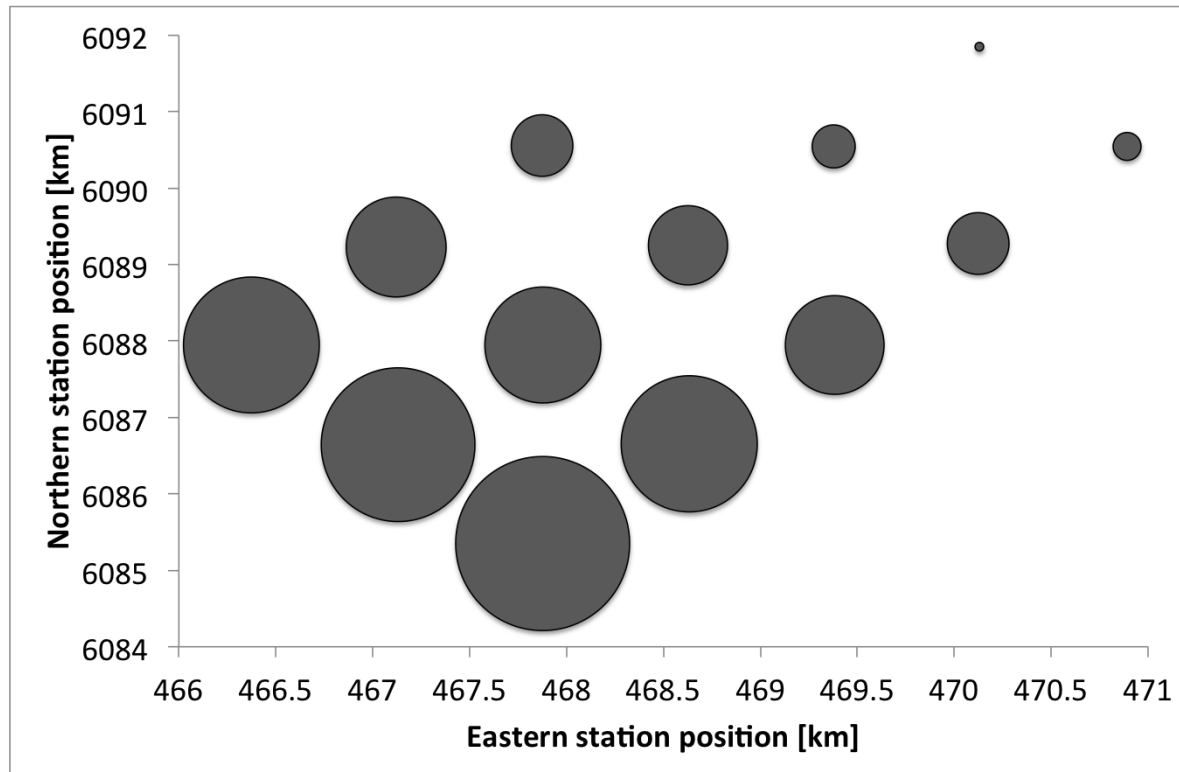
1 Grad = 60' (Minuten)
1' = 60" (Sekunden)

Berechne
Himmelskoordinaten

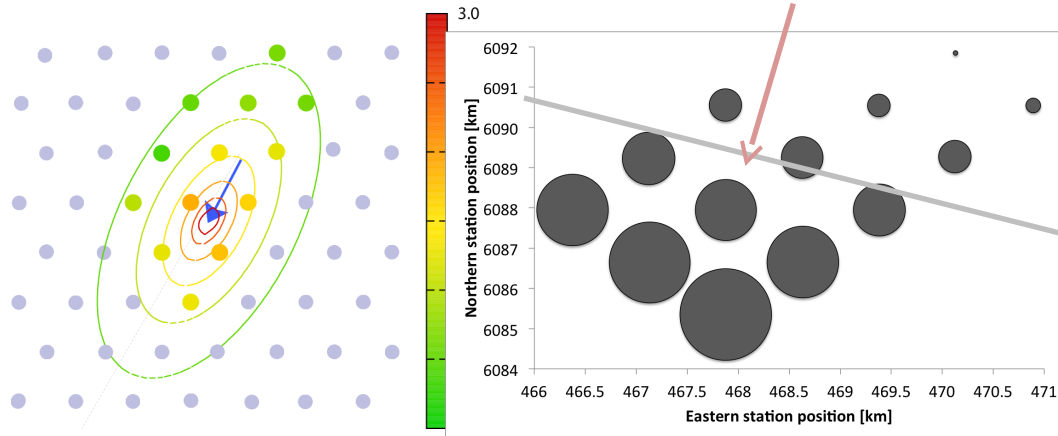
Himmels-
koordinaten

Ankunftsrichtung des Schauers (Ergebnis)

► Übertragen auf xy-Ebene:



Ankunftsrichtung des Schauers (Interpretation)



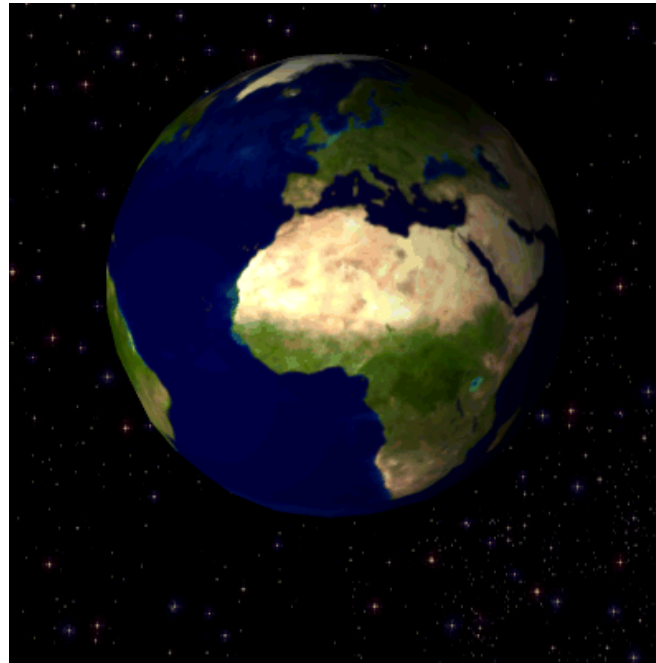
Azimutwinkel durch Abschätzung (oder über Koordinaten- und Vektorgleichung berechnen)

Zenitwinkel durch Überlegung und Sinusfunktion berechnen

Allgemeine Informationen	
Datum	3330400 / Sun Apr 15 09:31:09 2007
Anzahl Stationen	13
Energie	9.7 ± 0.6 EeV
<u>Theta</u>	59.2 ± 0.1 Grad
<u>Phi</u>	62.2 ± 0.2 Grad
Krümmung	21.2 ± 2.0 km
Ostkoordinate des Auftreffortes	468352 ± 51 m
Nordkoordinate des Auftreffortes	6087466 ± 58 m
Reduziertes <u>Chi</u> ²	2.33

Ankunftsrichtung des Schauers (**Interpretation**)

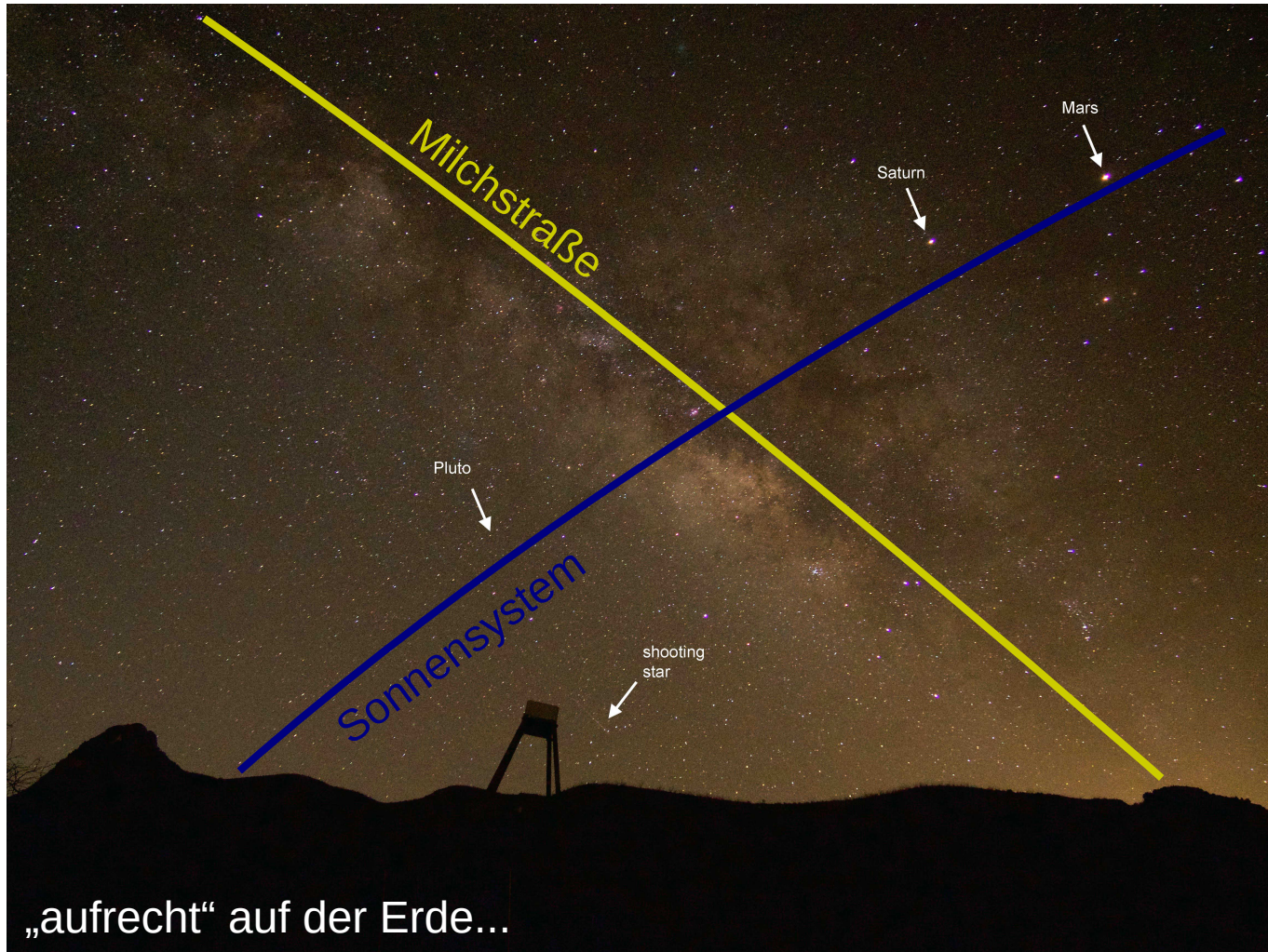
- ▶ Aus welcher Richtung im All kommt nun das Teilchen?



Ankunftsrichtung des Schauers (**Interpretation**)



Ankunftsrichtung des Schauers (Interpretation)

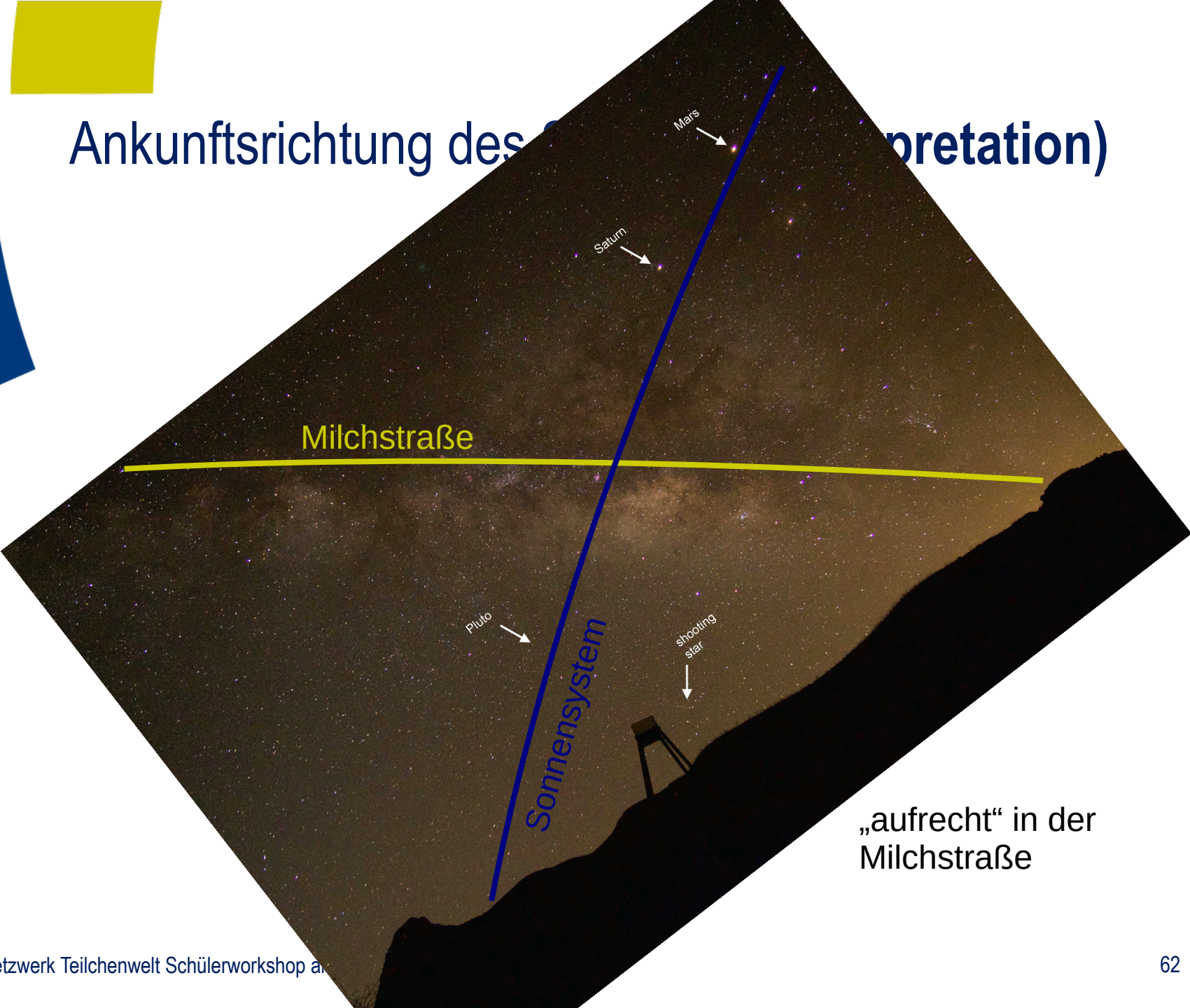


Ankunftsrichtung des Quasars (Interpretation)



„aufrecht“ im Sonnensystem...

Ankunftsrichtung des (Interpretation)



Milchstraße

Sonnensystem

Mars

Saturn

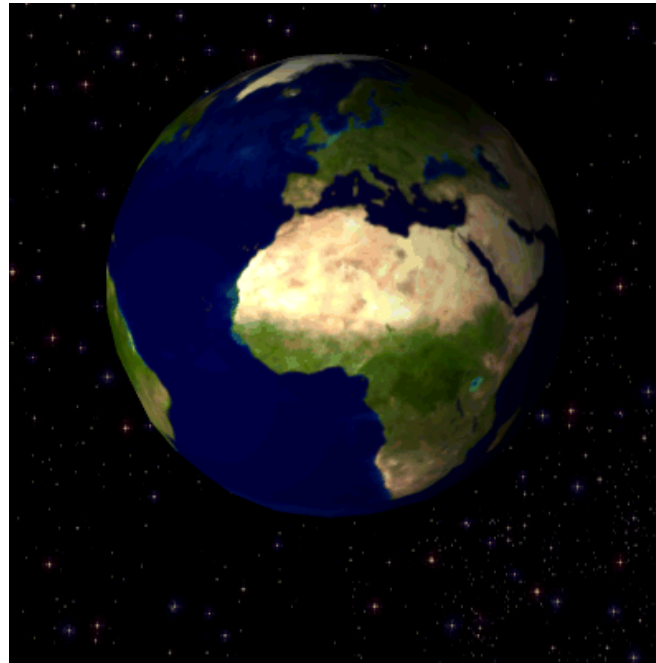
Pluto

shooting star

„aufrecht“ in der Milchstraße

Ankunftsrichtung des Schauers (Interpretation)

- ▶ Aus welcher Richtung im All kommt nun das Teilchen?



- ▶ Kann berechnet werden aus Azimut- und Zenitwinkel
- ▶ Man benötigt zusätzlich die **Uhrzeit** und **Ortskoordinaten**



Aufgabe: Alle Teilchen gemeinsam betrachten

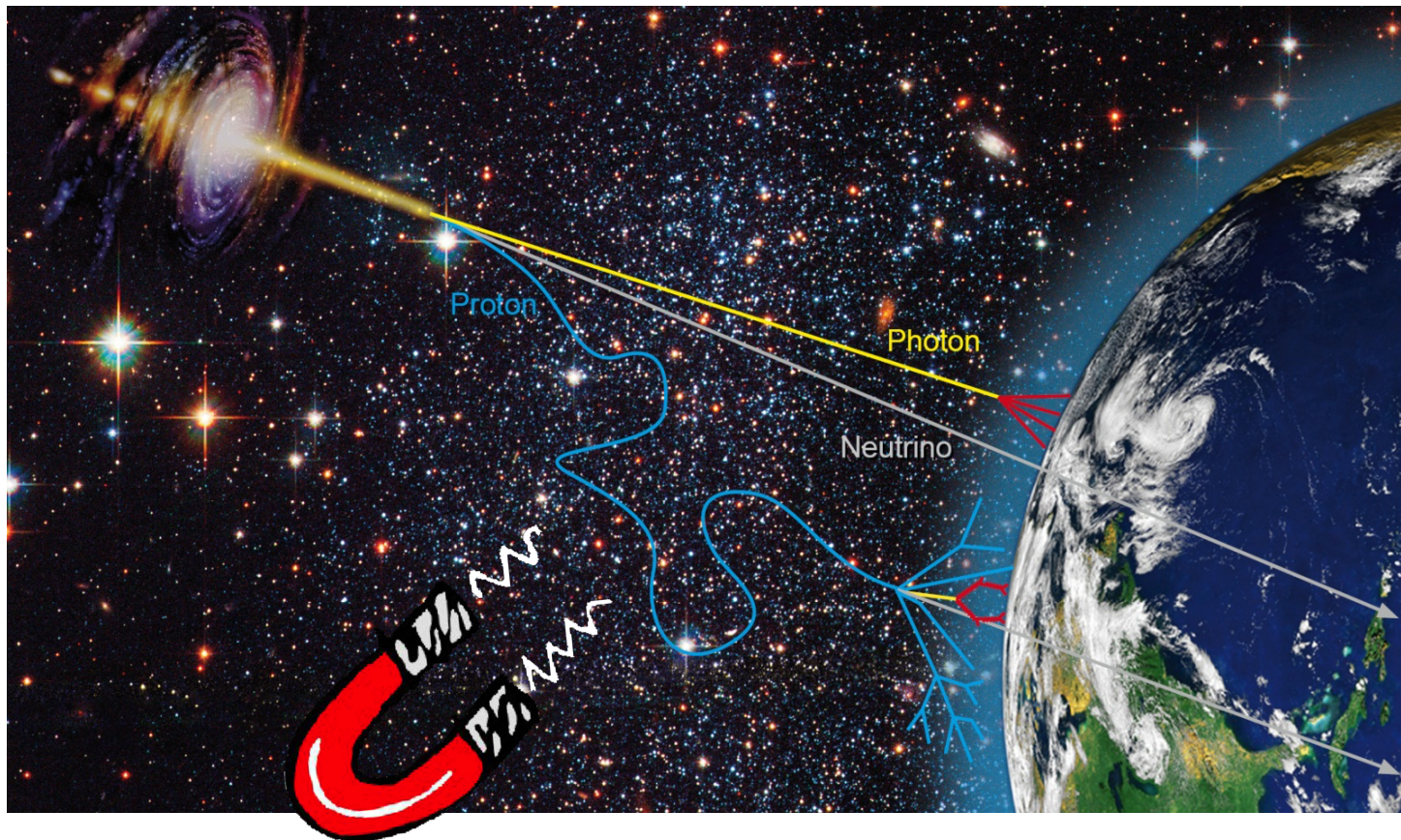
- ▶ Kommen eure Teilchen aus der Richtung der Milchstraße?



- ▶ Zusammentragen der Ergebnisse

Ankunftsrichtung vieler Schauer (Ergebnis)

- ▶ Das galaktische Magnetfeld verschmiert die Ankunftsrichtungen



Ankunftsrichtung vieler Schauer (Ergebnis)

► Pierre-Auger Kollaboration 2015:

231 höchstenergetische Ereignisse:

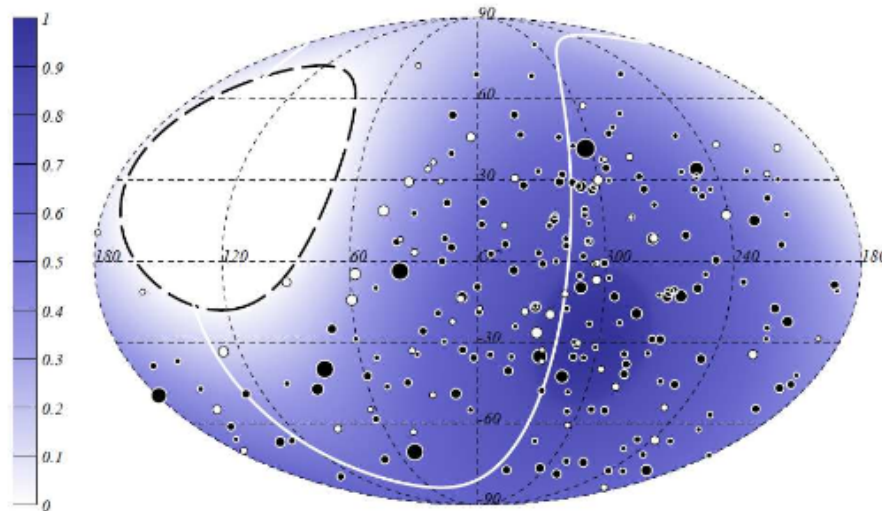


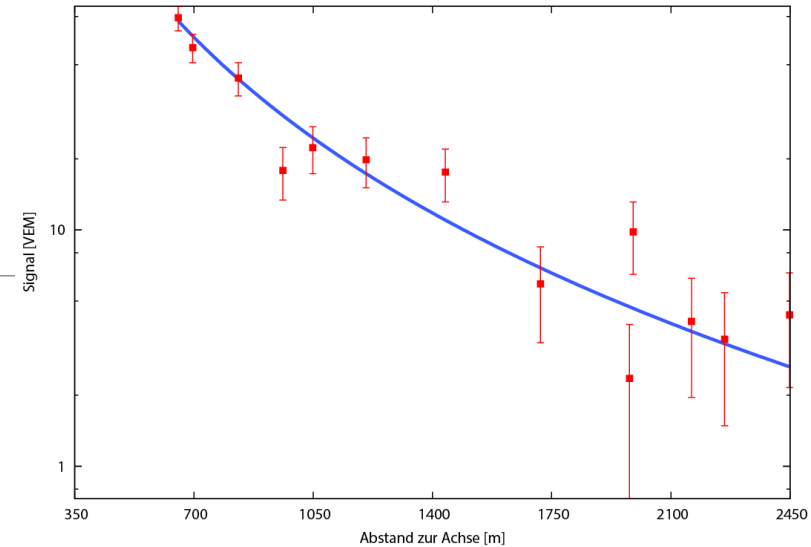
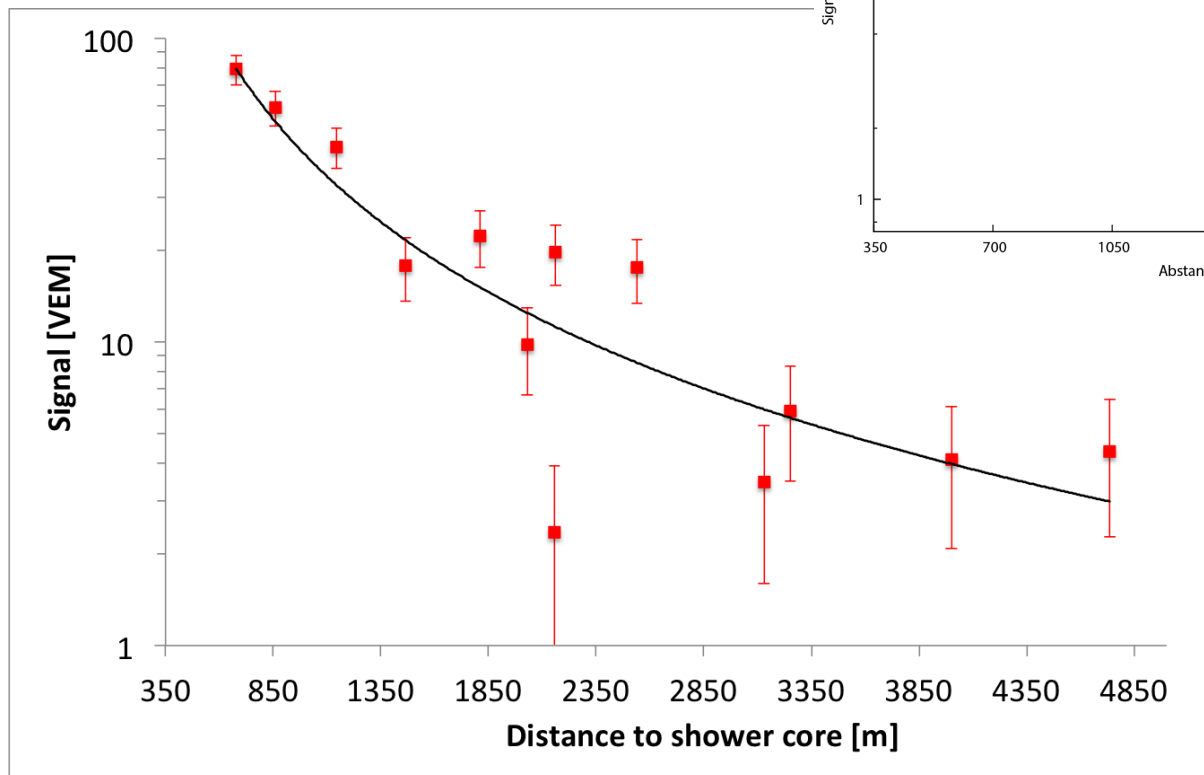
Fig. 11.— Map in Galactic coordinates of the arrival directions of the events with $E \geq 52$ EeV. The black (white) circles correspond to *vertical* (*inclined*) events. The size of each circle scales with the energy of the event. The color scale is proportional to the relative exposure.

► Noch immer nicht klar, woher diese Teilchen kommen!



Laterale Verteilungsfunktion

- über Berechnung Abstand Tank zum Auftreffpunkt



Zum Schluss: ein Quiz





Regeln

- ▶ 10 Multiple-Choice Fragen (+ 1 Stichfrage)
- ▶ ca. 30 Sekunden Zeit zum Antworten
- ▶ Antworten auf Blatt Papier notieren
- ▶ Greift zu Zettel und Stift!
- ▶ Hauptsache: Viel Spaß!



Frage 1

Wohin schickt die Auger-Kollaboration regelmäßig ihre Mitglieder?

- 1) dahin, wo der Pfeffer wächst
- 2) in die Pampa
- 3) hinter die 7 Berge
- 4) auf den Mond



Frage 2

Was gibt es nicht?

- 1) Auger-Honig
- 2) Auger-Briefmarke
- 3) Miss Auger
- 4) Auger-Sammelbilder



Frage 3

Wie kamen die Wassertanks von Auger zu ihren Namen?

- 1) benannt durch argentinische Kinder
- 2) nach Kindern der Wissenschaftler benannt
- 3) benannt durch Sponsoren
- 4) einfach nur durchnummeriert



Frage 4

Wie groß ist die Fläche von Auger ungefähr?

- 1) Bayreuth
- 2) Saarland
- 3) Bayern
- 4) Deutschland



Frage 6

Von wem wurde die kosmische Strahlung entdeckt?

- 1) Albert Einstein
- 2) Pierre Auger
- 3) Enrico Fermi
- 4) Viktor Hess



Frage 7

Womit wurde die kosmische Strahlung entdeckt?

- 1) Freiheitsstatue und Zeppelin
- 2) Eiffelturm und Heißluftballon
- 3) Neuschwanstein und Eisenbahn
- 4) Chinesische Mauer und Drachenboot



Frage 5

Was ist der Hauptbestandteil der primären kosmischen Strahlung?

- 1) Protonen
- 2) Eisen
- 3) Higgs-Bosonen
- 4) α -Teilchen



Frage 8

Womit kann man den Cherenkov-Effekt vergleichen?

- 1) Leuchtende Fische
- 2) Blitz
- 3) Überschallknall
- 4) Polarlicht



Frage 9

Mit welchem Gegenstand kann man kosmische Strahlung messen?

- 1) Mülltonne
- 2) Nudelsieb
- 3) Handtuch
- 4) Regenschirm



Frage 10

Wer vermittelt die elektromagnetische Wechselwirkung?

- 1) Photonen
- 2) Melonen
- 3) Zylonen
- 4) Hadronen

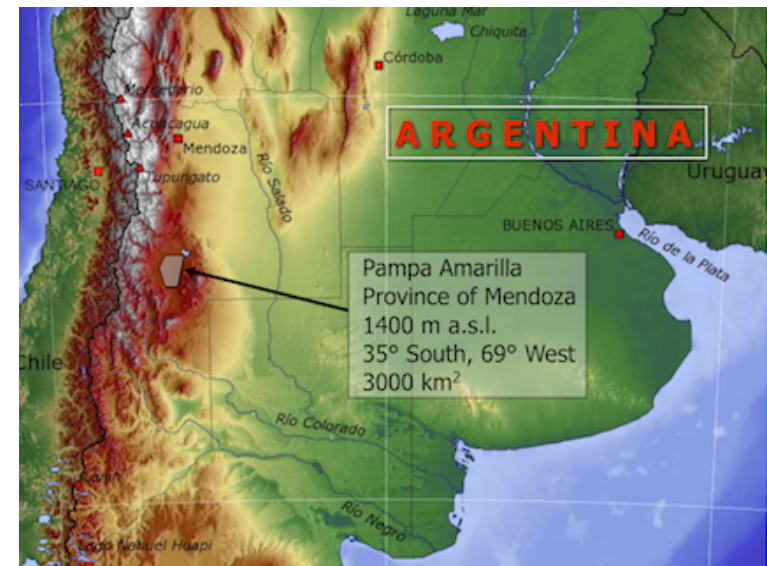
Die Antworten



Antwort 1

Wohin schickt die Auger-Kollaboration regelmäßig ihre Mitglieder?

- 1) dahin, wo der Pfeffer wächst
- 2) in die Pampa
- 3) hinter die 7 Berge
- 4) auf den Mond



Antwort 2

Was gibt es nicht?

- 1) Auger-Honig
- 2) Auger-Briefmarke
- 3) Miss Auger
- 4) Auger-Sammelbilder





Antwort 3

Wie kamen die Wassertanks von Auger zu ihren Namen?

- 1) benannt durch argentinische Kinder
- 2) nach Kindern der Wissenschaftler benannt
- 3) benannt durch Sponsoren
- 4) einfach nur durchnummeriert

Antwort 4

Wie groß ist die Fläche von Auger ungefähr?

- 1) Bayreuth
- 2) Saarland
- 3) Bayern
- 4) Deutschland



Antwort 5

Was ist der Hauptbestandteil der primären kosmischen Strahlung?

- 1) Protonen
- 2) Eisen
- 3) Higgs-Bosonen
- 4) α -Teilchen



Antwort 6

Von wem wurde die kosmische Strahlung entdeckt?

- 1) Albert Einstein
- 2) Pierre Auger
- 3) Enrico Fermi
- 4) Viktor Hess



Antwort 7

Womit wurde die kosmische Strahlung entdeckt?

- 1) Freiheitsstatue und Zeppelin
- 2) **Eiffelturm und Heißluftballon**
- 3) Neuschwanstein und Eisenbahn
- 4) Chinesische Mauer und Drachenboot



Antwort 8

Womit kann man den Cherenkov-Effekt vergleichen?

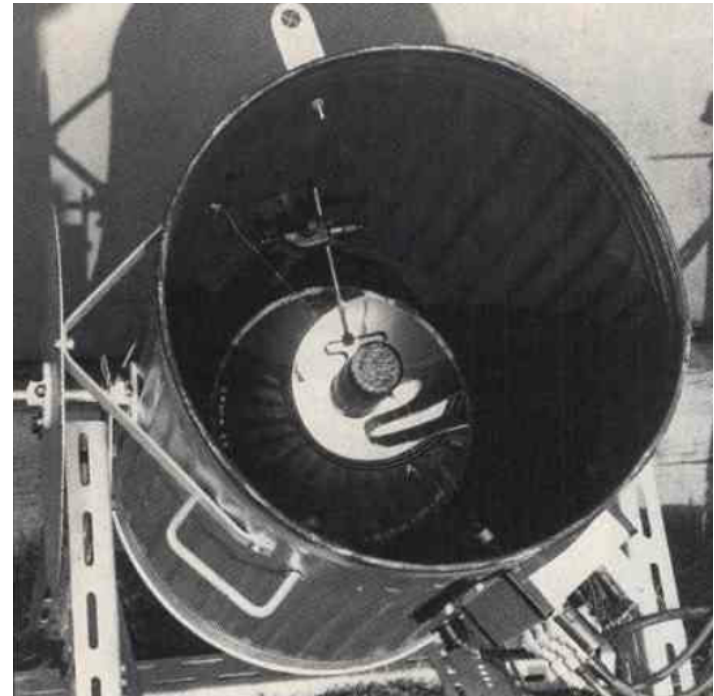
- 1) Leuchtende Fische
- 2) Blitz
- 3) Überschallknall
- 4) Polarlicht



Antwort 9

Mit welchem Gegenstand kann man kosmische Strahlung messen?

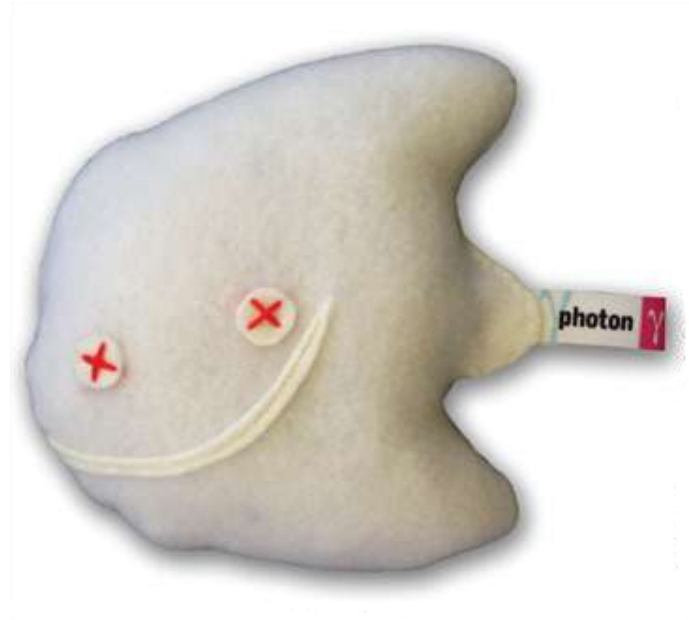
- 1) Mülltonne
- 2) Nudelsieb
- 3) Handtuch
- 4) Regenschirm



Antwort 10

Wer vermittelt die elektromagnetische Wechselwirkung?

- 1) Photonen
- 2) Melonen
- 3) Zylonen
- 4) Hadronen



Masterfrage



Masterfrage

Wie viele Kühe leben bei Auger auf einem km^2 ?



Masterfrage

Wie viele Kühe leben bei Auger auf einem km^2 ?

6 Stück pro einem km^2 !



Fragen und Anregungen

www.teilchenwelt.de

ORIGINALSCHAUPLATZ



SCHIRMHERRSCHAFT



PROJEKTLEITUNG



GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

JOACHIM
HERZ
STIFTUNG

