

# Auswertung Auger Daten mit Microsoft Excel 2010

## Öffentlicher Ereignisbetrachter

Die Pierre-Auger-Kollaboration hat entschieden, 1 % der Daten öffentlich verfügbar zu machen. Unter <http://auger.uni-wuppertal.de/ED/> können die einzelnen Ereignisse und eine Zusammenfassung aller Ereignisse unter 50 EeV und einem Zenitwinkel kleiner als  $60^\circ$  eingesehen werden. Zur Auswertung sollte man einen Teilchenschauer bevorzugen, der mindestens 10 Stationen getroffen hat und mindestens 10 EeV in den Detektoren deponiert hat. Je weniger Stationen getroffen wurden, umso ungenauer ist die spätere Richtungsrekonstruktion des Schauers. Je geringer die deponierte Energie, desto ungenauer ist Auswertung des mittleren Auftrefforts und der lateralen Verteilung des Schauers.

## Struktur der ASCII-Daten

Die Daten der Schauer sind in Textdateien festgehalten. In der ersten Spalte steht die Stationsnummer des Detektors, der vom Schauer getroffen wurde. In der zweiten Spalte ist die jeweilige Signalstärke in VEM eingetragen. In der dritten und vierten Spalte steht die Zeit, wann der Detektor getroffen wurde. Die Zeit in Sekunden ist dabei für einen Schauer immer gleich, erst bei der Zeit in Nanosekunden lassen sich Unterschiede feststellen. Die Zeit ist im sogenannten Unixzeitformat angegeben, also die Zeit in Sekunden, die seit dem 1.1.1970 vergangen ist. In den letzten drei Spalten sind die UTM Koordinaten der Station aufgelistet und beschreiben Ost- und Nordkoordinate sowie Höhe der Station über dem Meeresspiegel.

## Importieren der Daten aus \*.txt-Datei

In **Excel** kann unter **Daten** → **Aus Text**  die Datei importiert werden. Als Dateityp wählt man **getrennt** und als Dateiursprung **Unicode (UTF-8)**. Anschließend mit **weiter** zum nächsten Feld wechseln. Als **Trennzeichen** das **Leerzeichen** wählen und wieder mit **weiter** bestätigen. Unter **weitere** als **Dezimaltrennzeichen** den **Punkt** auswählen und als **1000-er Trennzeichen** das **Komma** setzen. Zum Schluss mit **OK** und **Fertigstellen** bestätigen und man erhält eine ordentlich formatierte Tabelle. Die erste Zeile ist dabei um eine Stelle nach rechts verschoben, was per Hand korrigiert werden sollte. Dazu mit der rechten Maustaste auf die erste Zeile in der ersten Spalte klicken und **Zellen löschen** wählen. Im Auswahlménü dann **Zellen nach links verschieben** und mit **OK** bestätigen.

Zur besseren Übersicht sollten Easting und Northing in km umgerechnet werden und für die Zeit in ns die Zeitdifferenzen zum zeitlich ersten Event ausgerechnet werden. In **Excel** kann der Zellenbezug fixiert werden, indem man F4 drückt.

## A1,a) Signalstärke Diagramm

In **Excel** unter **Einfügen** → **Weitere**  → **Blase**  auswählen. Rechtsklick auf das noch leere Diagramm und **Daten auswählen**  öffnet ein neues Dialogfenster. Unter **Hinzufügen**  können nun die Daten für die  $x$ - und  $y$ -Achse, sowie für die Blasengröße ausgewählt werden. Dafür klickt man jeweils auf das Symbol  rechts von der leeren Zeile und markiert anschließend die entsprechende Spalte. Mit einem Klick auf das Symbol  rechts von der Zeile bestätigt man seine Auswahl. Auf der  $x$ -Achse sollte Easting und auf der  $y$ -Achse Northing aufgetragen werden. Für die Blasengröße nimmt man das Signal in VEM. Reihenname gibt die Bezeichnung der Daten für die Legende an. Anschließend zweimal mit **OK** bestätigen.

Die Größe des Diagramms kann mit der Maus an den Ecken oder der Mitte der Kanten so verändert werden, dass die Unterteilungen der  $x$  und  $y$ -Achse gleich sind. Mit einem Klick in das Diagramm erscheint in der Leiste oben das Menü **Layout** (**Excel 2013/16**: Design/Format

bzw. Buttons  rechts oben vom Diagramm), unter dem Diagrammtitel, Achsentitel, Legende, Gitternetzlinien usw. verwaltet werden können. Mit Doppelklick auf die Blasen kann die Blasengröße angepasst werden.

### A1,b) Mittlerer Auftreffpunkt des Schauers

Der gewichtete Mittelwert einer Größe  $x$  mit dem Gewicht  $w$  ergibt sich aus:

$$\bar{X} = \frac{\sum w_i \cdot x_i}{\sum w_i}$$

Das gewichtete Mittel wird für Easting und Northing einzeln berechnet. Dafür wird die jeweilige  $x$  oder  $y$ -Koordinate mit der zugehörigen Signalstärke  $s$  gewichtet:

$$\bar{X} = \frac{\sum s_i \cdot x_i}{\sum s_i} \quad \bar{Y} = \frac{\sum s_i \cdot y_i}{\sum s_i}$$

Mit Rechtsklick auf das Signalstärke Diagramm und **Daten auswählen**  → **Hinzufügen**  kann der gewichtete Mittelwert für Easting und Northing in das Diagramm eingefügt werden. Für die Reihenblasengröße kann eine feste Zahl gewählt werden. Mit Doppelklick auf den neu eingezeichneten Punkt im Diagramm kann die Farbe angepasst werden. In Abbildung 1 ist für einen Schauer dargestellt, wie das resultierende Diagramm aussieht.

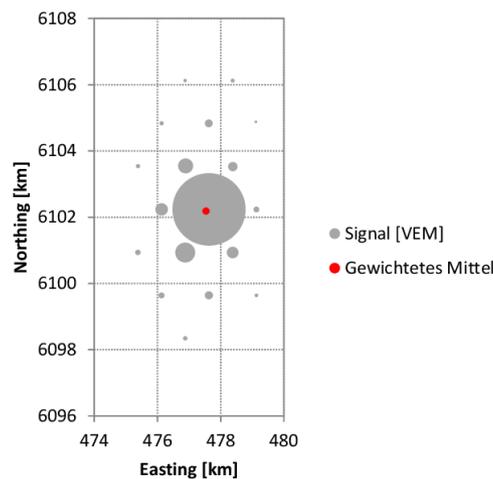


Abbildung 1: Signalstärkediagramm mit mittlerem Auftreffpunkt des Schauers.

### A2+A3: Diagramme für 3D Bild der Schauerfront

Um mit Holzspießen auf Styroporplatten ein 3D Bild der Schauerfront zu basteln, benötigt man zwei Diagramme. Ein Diagramm enthält die Positionen der Stationen, die vom Schauer getroffen wurden und wird auf die Styroporplatte gelegt. Das zweite Diagramm gibt vor, auf welche Länge die Holzspieße eingekürzt werden müssen, die in die Styroporplatte in die jeweilige Station gesteckt werden.

Das erste Diagramm wird analog zum Signalstärke Diagramm erstellt. Als Blasengröße wählt man statt der Signalstärke die Stations ID. Mit Doppelklick auf die Blasen kann die Blasengröße angepasst werden. Die Blasen sollten hier nicht viel größer als der Durchmesser der Holzspieße sein. Mit Rechtsklick auf die Blasen kann man mit **Datenbeschriftungen hinzufügen** die einzelnen Stationen beschriften. Mit Doppelklick auf die Beschriftung kann die Beschriftung auf **Blasengröße** geändert werden. Nun werden die Stations IDs an den jeweiligen Punkten angezeigt. Abbildung 2 (links) zeigt die Lage der Stationen.

Das zweite Diagramm ist ein **Säulendiagramm** . **Reihenname** bleibt frei, als **Reihenwerte** werden die berechneten Zeitdifferenzen gesetzt. Unter **horizontale Achsenbeschriftung** → **Bearbeiten** kann man die Spalte mit den Stations IDs auswählen. Mit Doppelklick auf die  $y$ -Achse kann unter **Achsenoptionen** Minimum und Maximum der Achse festgelegt werden.

Es empfiehlt sich als Minimum einen negativen Wert zu wählen, das ist die Länge des Holzspießes, welche in der Styroporplatte steckt. Mit Doppelklick auf die  $x$ -Achse kann bei den **Achsenoptionen** die Achsenbeschriftung von **achsennah** auf **niedrig** geändert werden. Bei **Ausrichtung** → **Textrichtung** kann die Achsenbeschriftung gedreht werden. In Abbildung 2 (rechts) ist das fertige Säulendiagramm gezeigt.

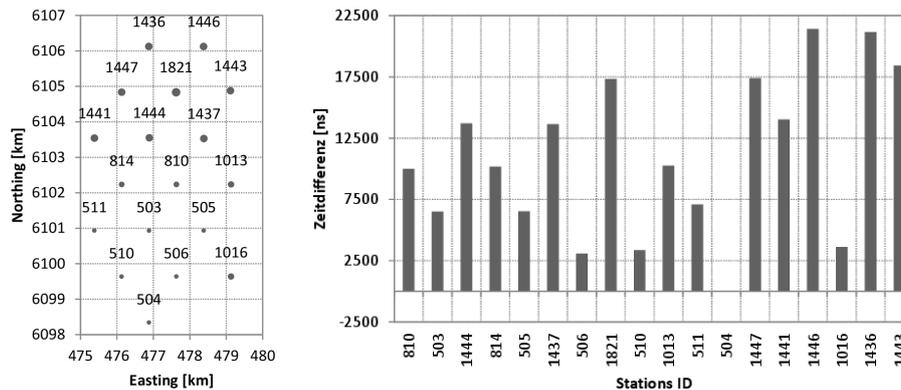


Abbildung 2: Diagramme für das Erstellen eines 3D-Modells der Schauerfront. Links: Lage der Stationen, rechts: Zeitdifferenzen der Ereignisse in den einzelnen Stationen.

Zum Ausdrucken kopiert man die beiden erstellten Diagramme am besten in eine neue Tabelle. Eine A4-Seite erstreckt sich in der Regel von Spalte A-G und Zeile 1-50. Dann kann man über **Datei** → **speichern unter** als **Dateityp PDF** auswählen und unter **Optionen** → **Was veröffentlichen** → **Aktive(s) Blatt/Blätter** setzen. Die erstellte PDF kann dann wie gewohnt gedruckt werden.

#### A4: Richtungsrekonstruktion

Das Diagramm für den Zeitunterschied, wann die Stationen vom Schauer getroffen wurden, lässt sich analog zur Signalstärke erstellen. Die Schauerfront kann als Vereinfachung als Ebene angesehen werden, der Normalenvektor dieser Ebene beschreibt die Einfallsrichtung des Schauers. Die Richtung des Schauers kann, wie in Abbildung 4 dargestellt, mit zwei Winkeln beschrieben werden, dem Azimutwinkel  $\phi$  und dem Zenitwinkel  $\theta$ . In Abbildung 3 ist das Diagramm für die Zeitdifferenz der Ereignisse in den Stationen dargestellt.

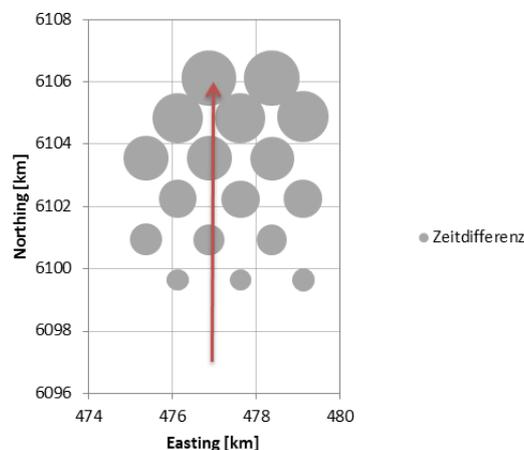


Abbildung 3: Zeitdifferenz der Ereignisse in den einzelnen Stationen mit Einfallsrichtung  $\phi$  (roter Pfeil).

a) Zunächst wird der Zenitwinkel  $\theta$  berechnet. Dazu wählt man sich zwei Stationen wie in Abbildung 4 angedeutet und bestimmt den Abstand  $d$  der beiden Stationen, wobei man die zeitlich zuerst getroffene Station als Referenzpunkt  $(x_0, y_0)$  wählen kann:

$$d = \sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2}$$

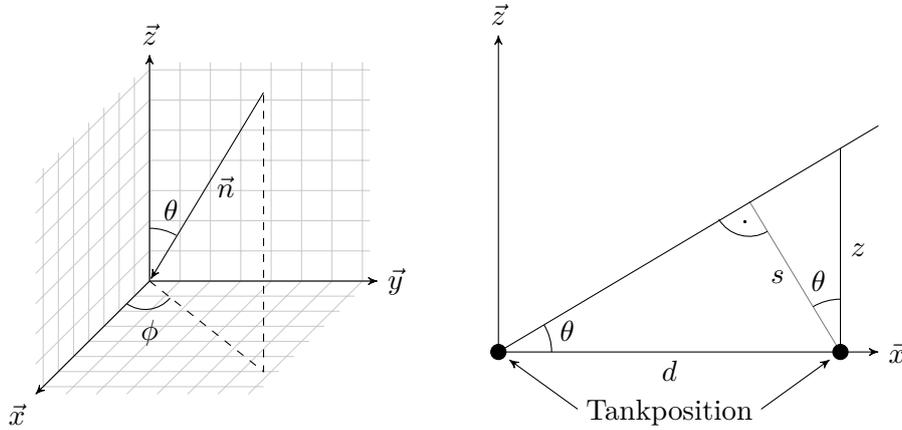


Abbildung 4: Die Richtung des Schauers kann mit  $\phi$  und  $\theta$  beschrieben werden.

Aus der Zeitdifferenz  $\Delta t$ , wann die beiden gewählten Stationen getroffen wurden, lässt sich die Länge der Strecke  $s$  berechnen, wenn man annimmt, dass sich die Schauerfront mit Lichtgeschwindigkeit bewegt:  $s = \Delta t \cdot c$  mit  $c = 3 \cdot 10^8$  m/s. Damit kann man den Zenitwinkel  $\theta$  berechnen:

$$\sin \theta = \frac{s}{d}$$

Hat man sich zwei Stationen gewählt, deren Zeitdifferenz zum zeitlich ersten Event relativ gleich ist, dann ist  $\theta$  deutlich kleiner als für zwei Stationen mit sehr unterschiedlichen Zeitdifferenzen, da nur die Neigung der Schauerfront zwischen diesen zwei Stationen betrachtet wird. Im Idealfall würde man sich zwei Stationen wählen, die auf einer Linie zur Einfallsrichtung des Schauers liegen. In diesem Fall wäre  $\theta$  am größten, insofern man die Krümmung des Schauers vernachlässigt. Man kann also  $\theta$  für viele Stationenpaare bestimmen und den größten Wert als wahren Wert annehmen. **Excel** rechnet dabei Winkel standardmäßig in Radiant und nicht in Grad.

b) Mit Hilfe von  $\theta$  kann man nun, wie in Abbildung 4 gezeigt, die Höhe  $z$  der Schauerfront über der Station bestimmen:

$$z = \frac{s}{\cos \theta}$$

Mit dem Easting  $x$ , Northing  $y$  und der Höhe  $z$  kann die Schauerfront vollständig als Ebene im Raum beschrieben werden. Um die Dreipunkteform der Ebenengleichung aufzustellen, wählt man drei Punkte im Raum  $(x, y, z)$ , die nicht auf einer Linie liegen. Damit ergibt sich für die Ebenengleichung für den Ortsvektor  $\vec{x}$  mit den drei gewählten Punkten  $\vec{p}$ ,  $\vec{q}$  und  $\vec{r}$ :

$$\vec{x} = \vec{p} + a_1 \cdot (\vec{q} - \vec{p}) + a_2 \cdot (\vec{r} - \vec{p})$$

Für die Berechnung des Normalenvektors  $\vec{n}$  der Ebene werden nur die Richtungsvektoren  $\vec{u} = \vec{q} - \vec{p}$  und  $\vec{v} = \vec{r} - \vec{p}$  benötigt:  $\vec{n} = \vec{u} \times \vec{v}$ .

Dabei sollte man  $\vec{u}$  und  $\vec{v}$  so wählen, dass der aus der Dreifingerregel resultierende Normalenvektor tatsächlich in Richtung der einfallenden Schauerfront zeigt und nicht dahin, wo der Schauer hergekommen ist, da man ansonsten den Azimutwinkel  $\phi$  zu  $180^\circ - \phi$  berechnet.

Der Azimutwinkel  $\phi$  berechnet sich nach der Notation vom Pierre Auger Observatorium (Abbildung 5) als der Winkel zwischen der Projektion des Normalenvektors auf die  $x - y$ -Ebene und dem Vektor der nach Westen zeigt, wie in Abbildung 4 dargestellt:

$$\cos \phi = \frac{\vec{e}_W \cdot \vec{n}}{|\vec{e}_W| \cdot |\vec{n}|} \quad \text{mit} \quad \vec{e}_W = \begin{pmatrix} -1 \\ 0 \end{pmatrix}$$

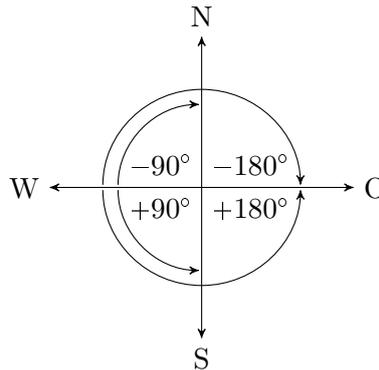


Abbildung 5: Konvention für den Azimutwinkel  $\phi$  nach dem Pierre Auger Observatorium.

Um die Einfallsrichtung in das Diagramm einzutragen, wählt man sich einen geeigneten Punkt  $(x_1, y_1)$  und berechnet einen zweiten Punkt  $(x_2, y_2) = (x_1, y_1) + a \cdot \vec{n}$  mit sinnvollem  $a$ , sodass der zweite Punkt auch im Diagramm liegt. Die  $z$ -Komponente vom Normalenvektor  $\vec{n}$  kann dabei vernachlässigt werden. Leider scheint es mit **Excel** nicht möglich zu sein eine Linie mit den zwei bestimmten Punkten in das bestehende Diagramm einzuzeichnen. Man kann lediglich per Hand über **Einfügen** → **Formen** → **Linien** einen Pfeil von Punkt 1 zu 2 zeichnen, wie in Abbildung 4 angedeutet.

## A5: Laterale Verteilung

Die Signalstärke nimmt mit dem Abstand zur Schauerachse ab. Dazu soll der Abstand auf der Schauerfront zur Mitte des Schauers bestimmt werden. Die Schauerachse wird durch den mittleren Auftreffort  $\vec{m}$  und den Normalenvektor  $\vec{n}$  der Schauerfront beschrieben. Die Schauerfront wird durch die bereits aufgestellte Ebenengleichung dargestellt. Wenn man den Schnittpunkt der Schauerachse mit der Ebene bestimmt, erhält man die Mitte des Schauers auf der Ebene. Dazu setzt man Schauerachse und Ebene gleich:

$$\vec{m} + a_0 \cdot \vec{n} = \vec{p} + a_1 \cdot \vec{u} + a_2 \cdot \vec{v}$$

Das Gleichungssystem stellt man in folgende Form um:

$$\begin{pmatrix} a_0 \cdot \vec{n} - a_1 \cdot \vec{u} - a_2 \cdot \vec{v} \\ \vec{p} - \vec{m} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \end{pmatrix}$$

Um ein solches Gleichungssystem mit **Excel** zu lösen, trägt man die linke Matrix  $(\vec{n}, \vec{u}, \vec{v})$  in eine  $3 \times 3$  Tabelle und die rechte Matrix  $(\vec{p} - \vec{m})$  in eine Spalte daneben. Dann markiert man sich eine Spalte mit drei leeren Zellen und benutzt folgende Funktion:

$$= \text{MMULT}(\text{MINV}(n_x:v_z); p_x - m_x:p_z - m_z)$$

Die Matricelemente in der Funktion müssen mit den jeweiligen Zellenposition ersetzt werden. Zur Bestätigung drückt man **STRG+SHIFT+ENTER** und es sollten in den drei Zellen die Lösungen für  $a_0, a_1$  und  $a_2$  erscheinen. Durch Einsetzen von  $a_0$  in die Schauerachsegleichung erhält man die Koordinaten  $(x_s, y_s, z_s)$  des Schnittpunkts mit der Schauerfront.

Um den Abstand zur Schauerachse zu bestimmen, kann man nicht einfach den Abstand der Station auf dem Boden zur Schauerachse benutzen. Stattdessen muss man mit  $\theta, \phi$  und der Zeitdifferenz  $\Delta t$  berechnen, wo sich der Punkt auf der Schauerfront befand, der später die Station getroffen hat.

$$\begin{aligned} s &= c \cdot \Delta t \\ x &= x_0 + s \cdot \sin \theta \cdot \cos \phi \\ y &= y_0 + s \cdot \sin \theta \cdot \sin \phi \\ z &= z_0 + s \cdot \cos \theta \end{aligned}$$

Ist der Winkel  $\phi$  negativ, dann muss er auch mit negativem Vorzeichen in die obigen Formeln eingesetzt werden. Der Abstand zur Schauerachse auf der Schauerfront kann mit dem Satz des Pythagoras im dreidimensionalen Raum berechnet werden:

$$a_s = \sqrt{(x - x_s)^2 + (y - y_s)^2 + (z - z_s)^2}$$

Die Signalstärke kann über den Abstand zur Schauerachse als **Punktplot**  aufgetragen werden. Mit Doppelklick auf die Achse der Signalstärke kann man unter Achsoptionen auch eine logarithmische Skalierung auswählen. Unter **Layout** → **Fehlerindikatoren** → **Weitere Fehlerindikatoroptionen** lassen sich lassen auf Wunsch auch Y-Fehlerbalken einfügen. Die Unsicherheit auf die Signalstärke kann dabei als die Quadratwurzel des Signals abgeschätzt werden. Dafür den **Fehlerbetrag** auf **Benutzerdefiniert** stellen und mit Klick auf **Wert angeben** die entsprechende Spalte in der Tabelle auswählen. Das resultierende Diagramm ist in Abbildung 6 dargestellt.

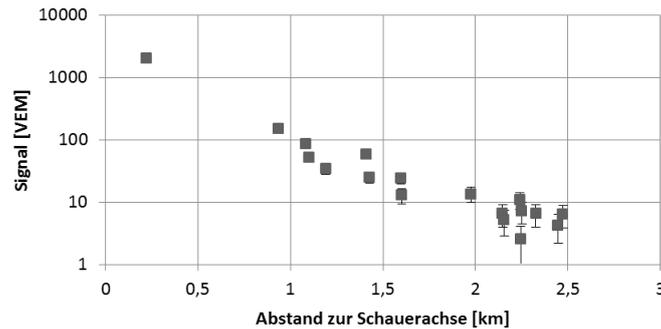


Abbildung 6: Laterale Verteilung der Signalstärke in Abhängigkeit vom Abstand der Station zur Schauerachse.

Ansprechpartner:	Birgit Schneider	Birgit.Schneider@tu-dresden.de
------------------	------------------	--------------------------------