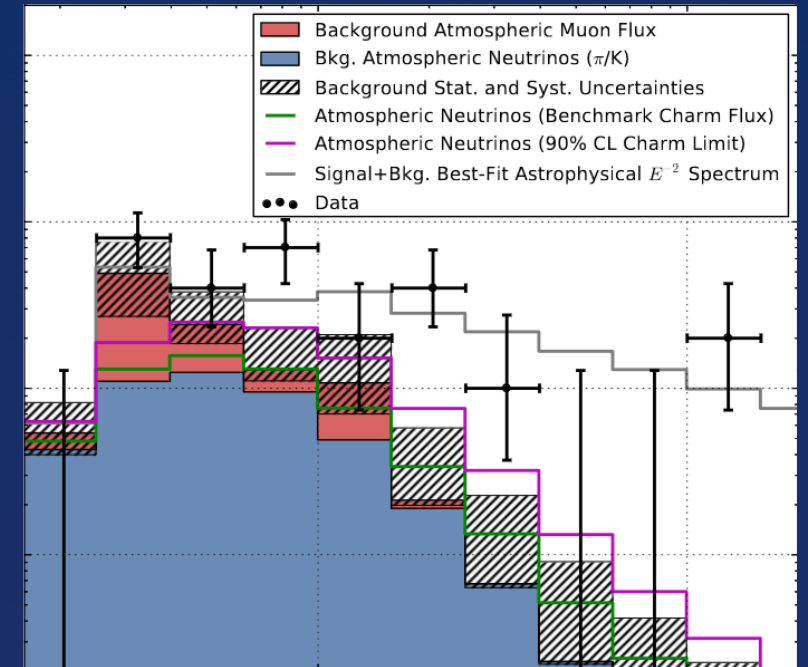
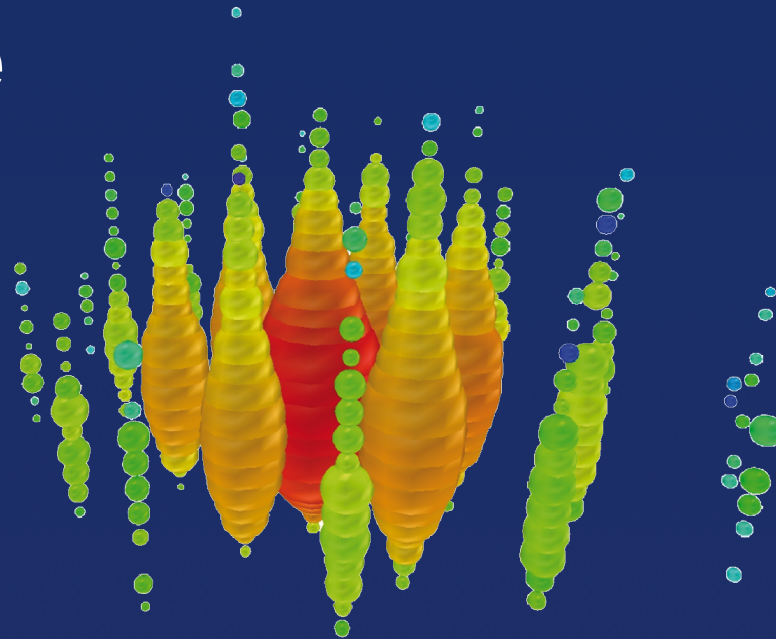




IceCube Masterclass 2026

Datenanalyse

Oliver Janik
Erlangen, 08.04.2026



- Jeder DOM registriert eigenständig Lichtsignale an seiner **Position (Zeit, Menge)**
- Wenn genügend DOMs “gleichzeitig” ein Signal melden bauen wir aus den Informationen aller DOMs ein **Event**



Wie sehen solche Events aus?

Event-Display

Each DOM is shown by a white dot

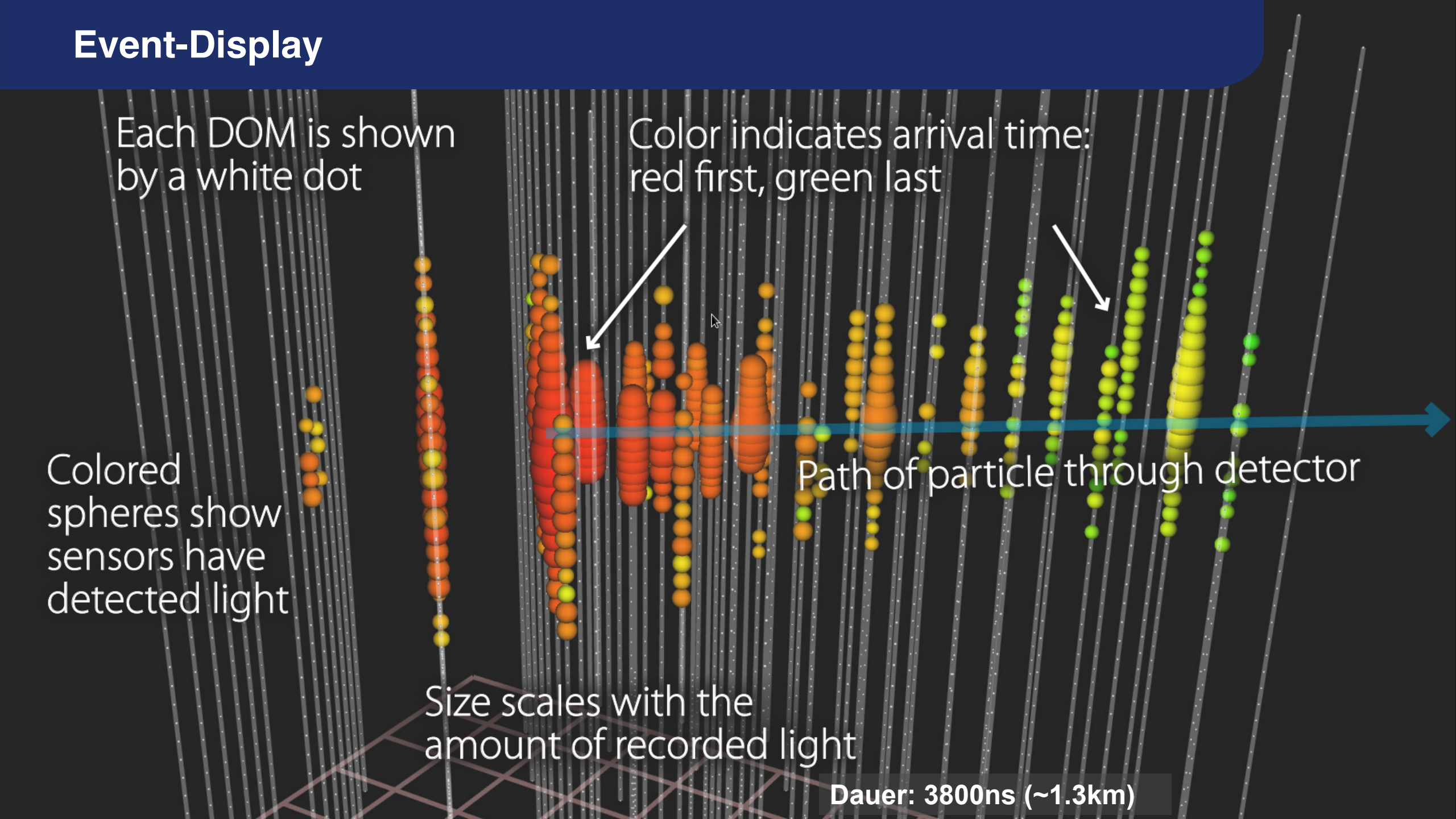
Color indicates arrival time: red first, green last

Colored spheres show sensors have detected light

Size scales with the amount of recorded light

Path of particle through detector

Dauer: 3800ns (~1.3km)

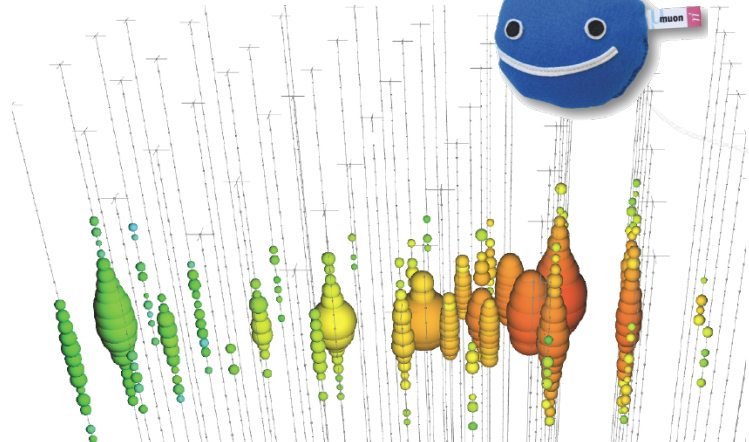
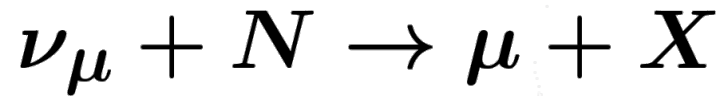


Signal



Spur (englisch Track):

Das Neutrino “stößt” durch
ein $W^{+/-}$ einen Kern an



**Gute Richtungsauflösung,
schlechte Energieauflösung**

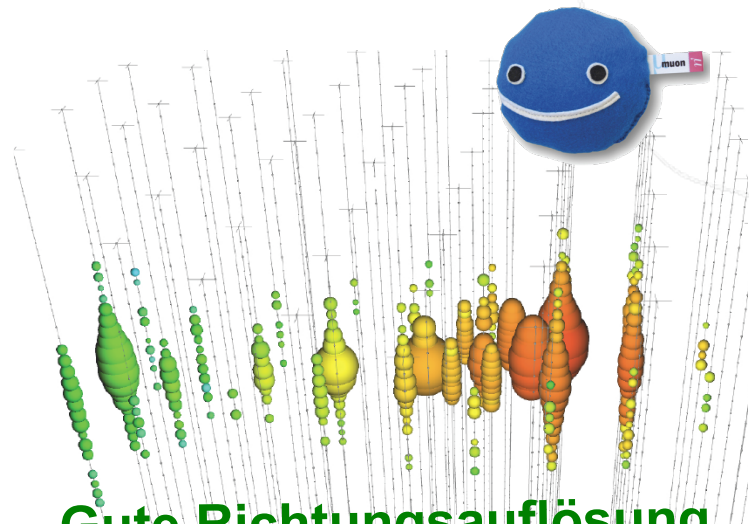
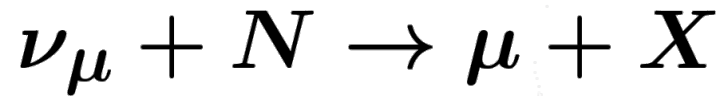
Erinnerung:
Das Neutrino an sich ist
unsichtbar. Wir sehen nur
Reaktionsprodukte

Signal



Spur (englisch Track):

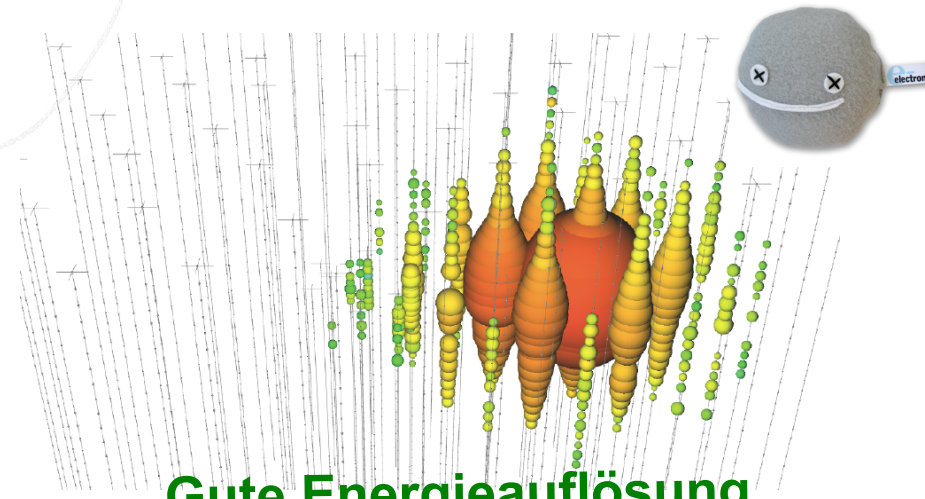
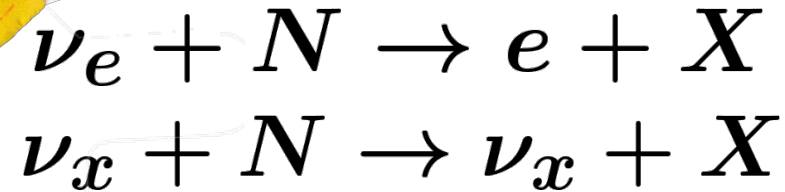
Das Neutrino “stößt” durch ein $W^{+/-}$ einen Kern an



**Gute Richtungsauflösung,
schlechte Energieauflösung**

Cascade:

Das Neutrino “stößt” durch ein $W^{+/-}$ oder Z^0 einen Kern an



**Gute Energieauflösung,
schlechte Richtungsauflösung**



~10 min

<http://icecube.wisc.edu/viewer/quiz>

?

?

Sind das alles Neutrinos?

?

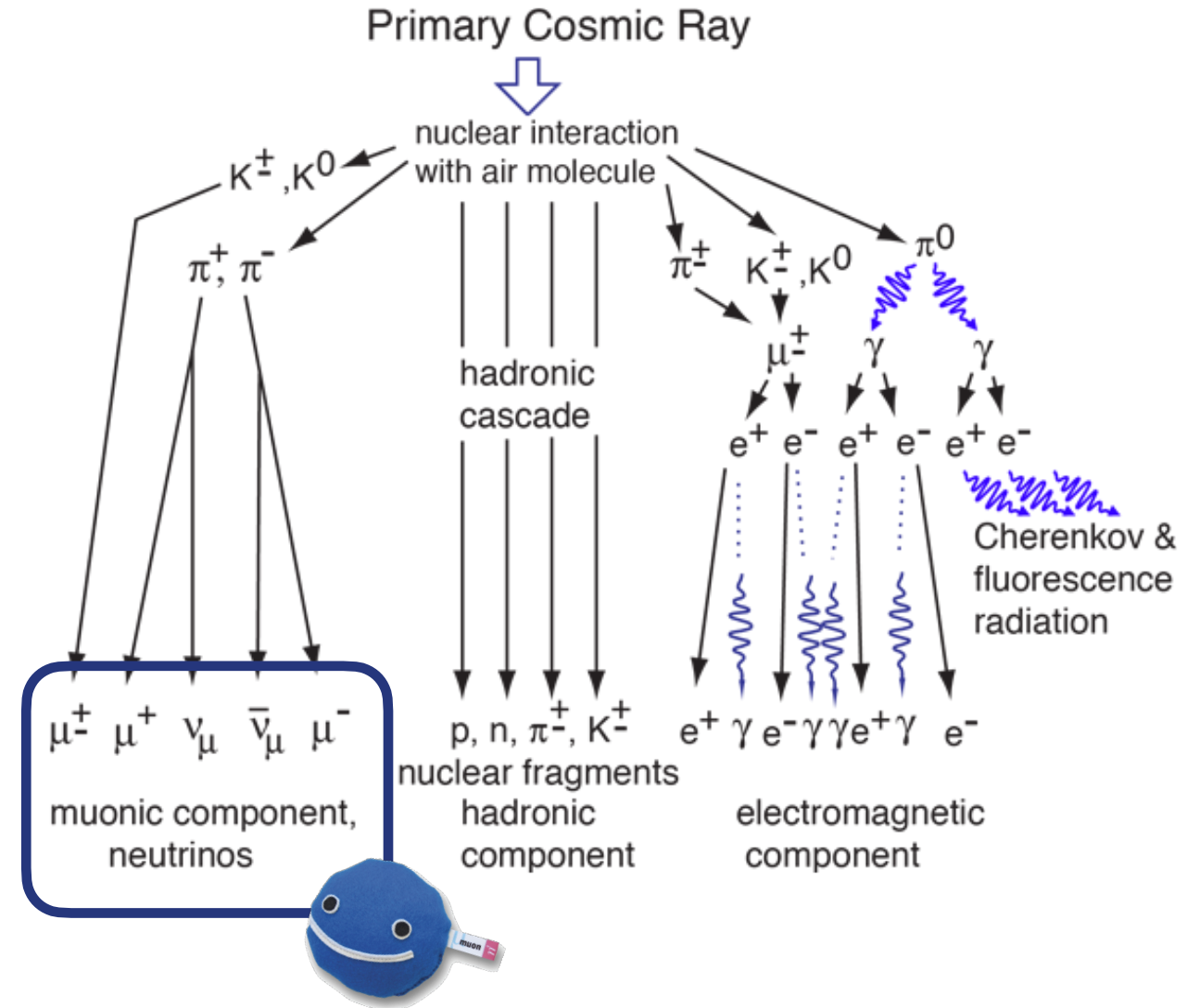
?

Untergrund



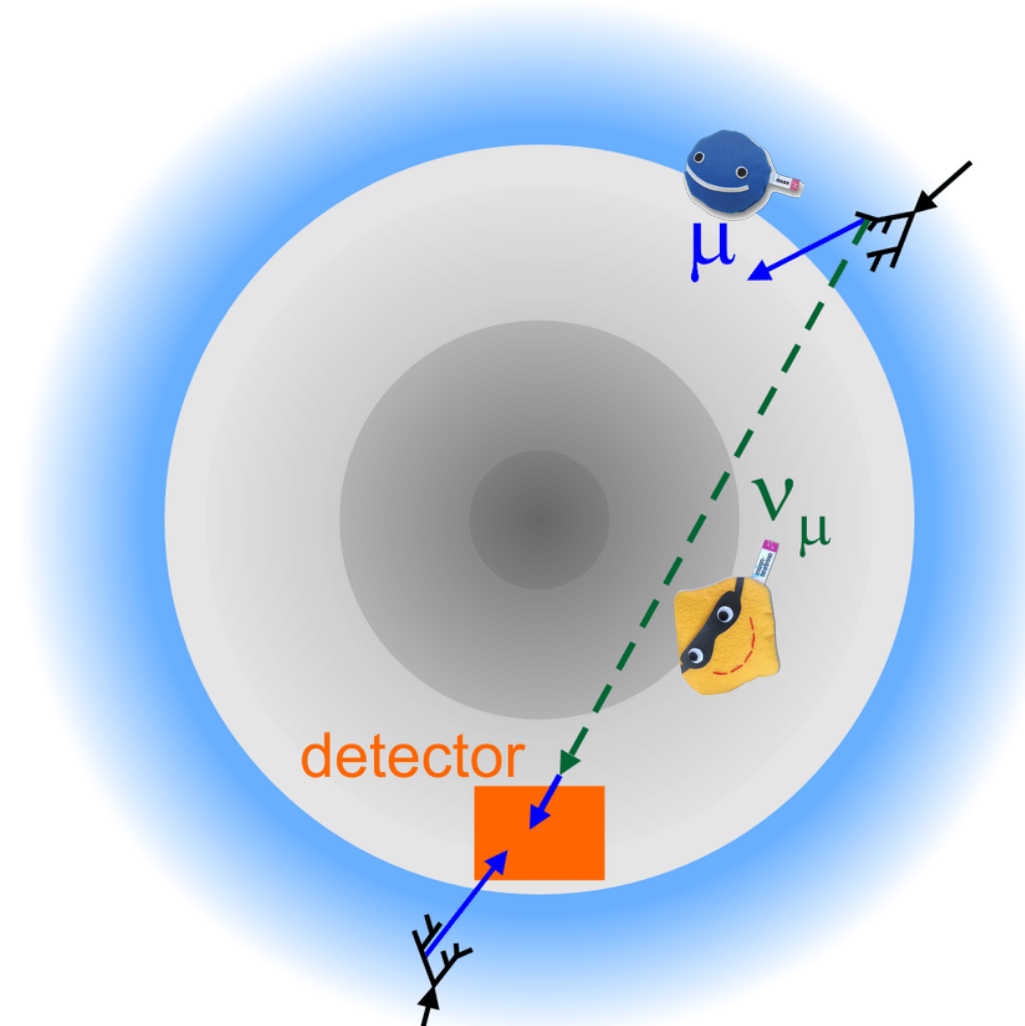
Wir wollen Neutrinos von außerhalb unseres Sonnensystems finden.

Problem: Wir haben verschiedene Arten von Untergrund.



Hochenergetische **atmosphärische Muonen** von Luftschauern können bis in den Detektor vordringen.

Atmosphärische Muonen können nur von oben kommen.



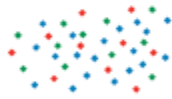
Atmosphärische Neutrinos aus Luftschauern können ebenfalls im Detektor reagieren.

Atmosphärische Neutrinos können von allen Seiten kommen.

Finding needles in a haystack



275 million atmospheric muons are detected daily, created by interactions of cosmic rays with the earth's atmosphere



8,250 atmospheric neutrinos are detected monthly



only 10s of cosmic neutrinos are detected per year



Habt ihr Ideen wie wir Untergrund von



Signal trennen können?



Untergrund-Vermeidung



Erlangen Centre
for Astroparticle
Physics



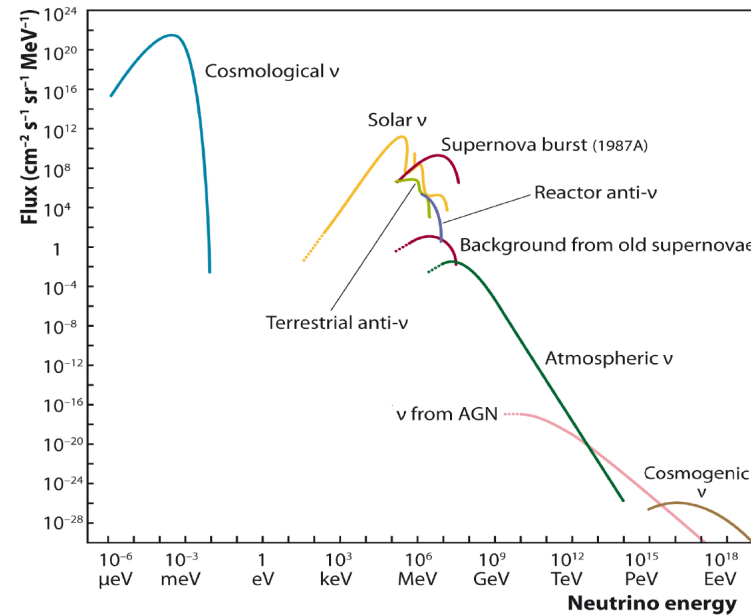
Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen-Nürnberg

Tipps:

Neutrinos produzieren kein Licht.

Wir können die Entwicklung des Events ns-genau auflösen.

Wir können die Energie messen.



?

Habt ihr Ideen wie wir Untergrund von
Signal trennen können?

?

?

?

Der HESE-Ansatz



Veto layer where no first hits
in time are allowed

Region where events
are allowed to start

Dust layer, added to the veto region

Vetoed Event

Starting track

Gefordert:

Das Event soll im Detektor starten

Genauer:

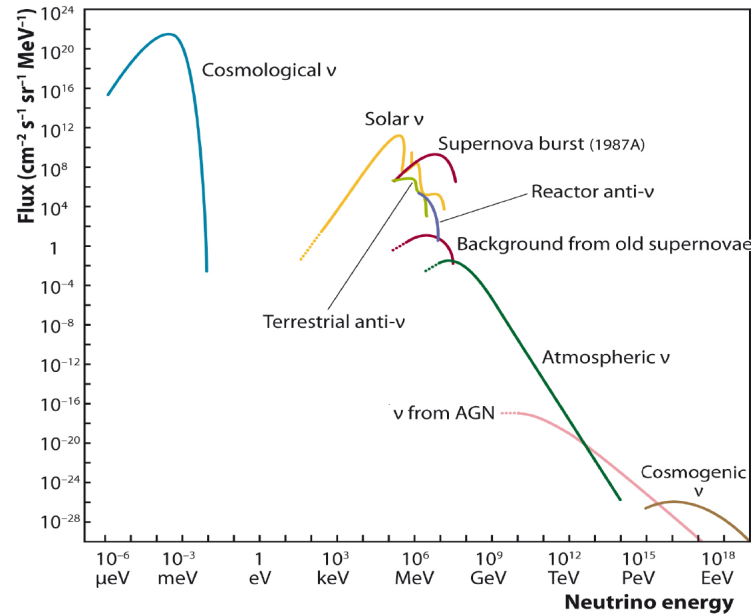
Im Vetobereich dürfen nur 3 PE der
frühesten 250 PE

Ergebnis:

Muonen der Höhenstrahlung werden
verworfen, Neutrinos (alle!!) überleben

Was ist mit den atmosphärischen
Neutrinos??

Der HESE-Ansatz



Dust layer, added to the veto region

Vetoed Event

Starting track

Gefordert:

Das Event soll im Detektor starten

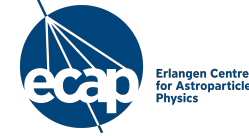
Gefordert:

Das Event soll hochenergetisch (mehr als 6000 PE) sein.

Ergebnis:

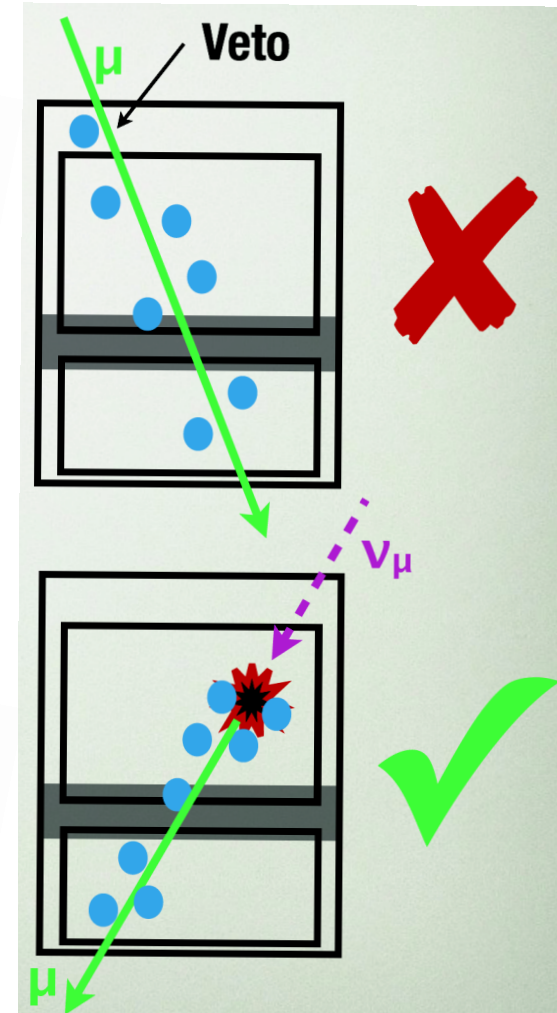
Großteil der atmosphärischen Neutrinos aber auch ein Teil des Signals wird verworfen.

Anwendung des HESE-Vetos



~15 min

<http://icecube.wisc.edu/viewer/training>



Datenanalyse



- Nach 5 Jahren haben wir 28 Ereignisse gemessen!
- Sind 28 Ereignisse signifikant?
- Wie viel (Untergrund) erwarten wir?

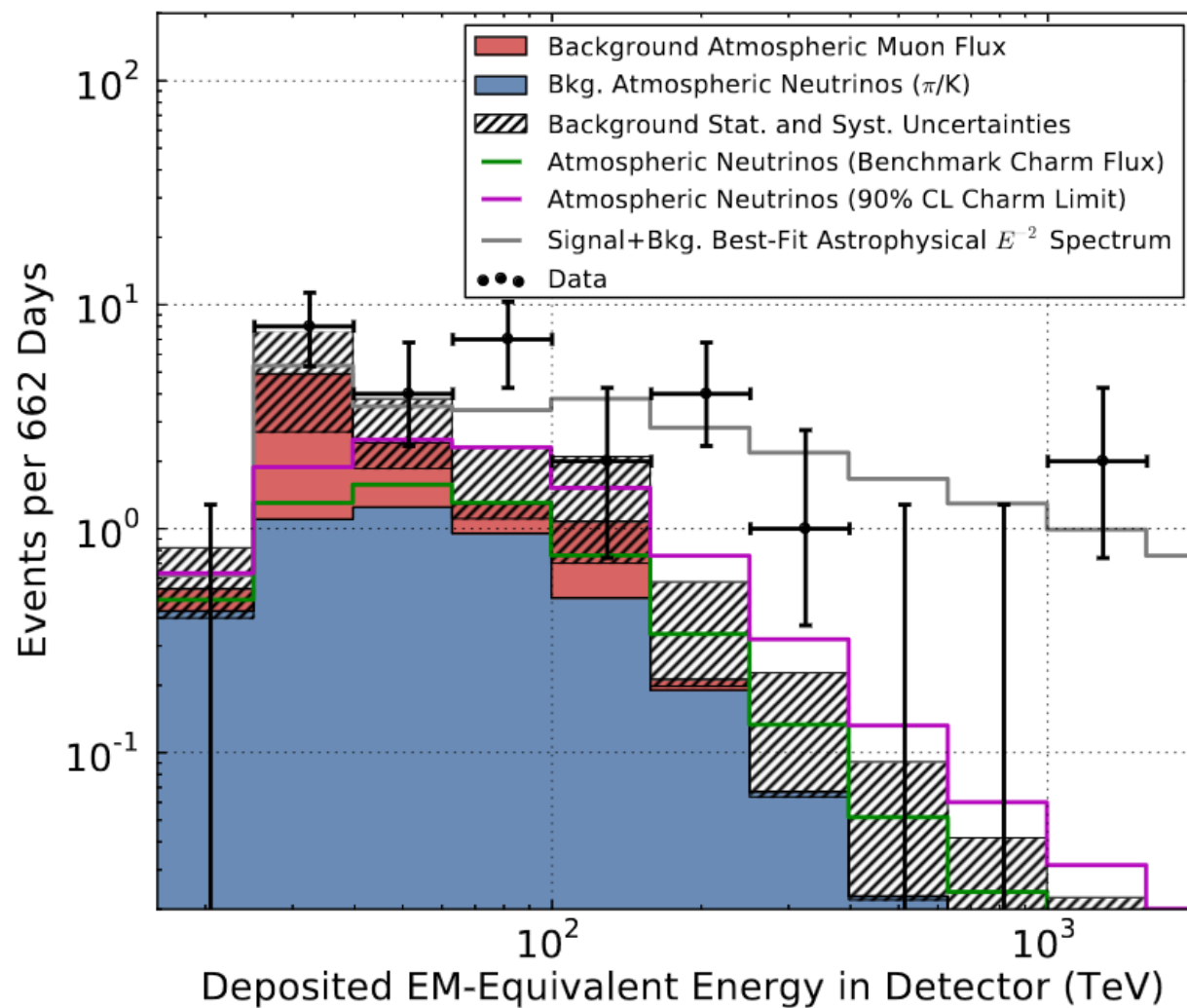
- Dazu haben wir eine komplette Computer-Simulation des Detektors und des bekannten Untergrunds!

- Es werden dann experimentelle mit simulierten Daten verglichen.

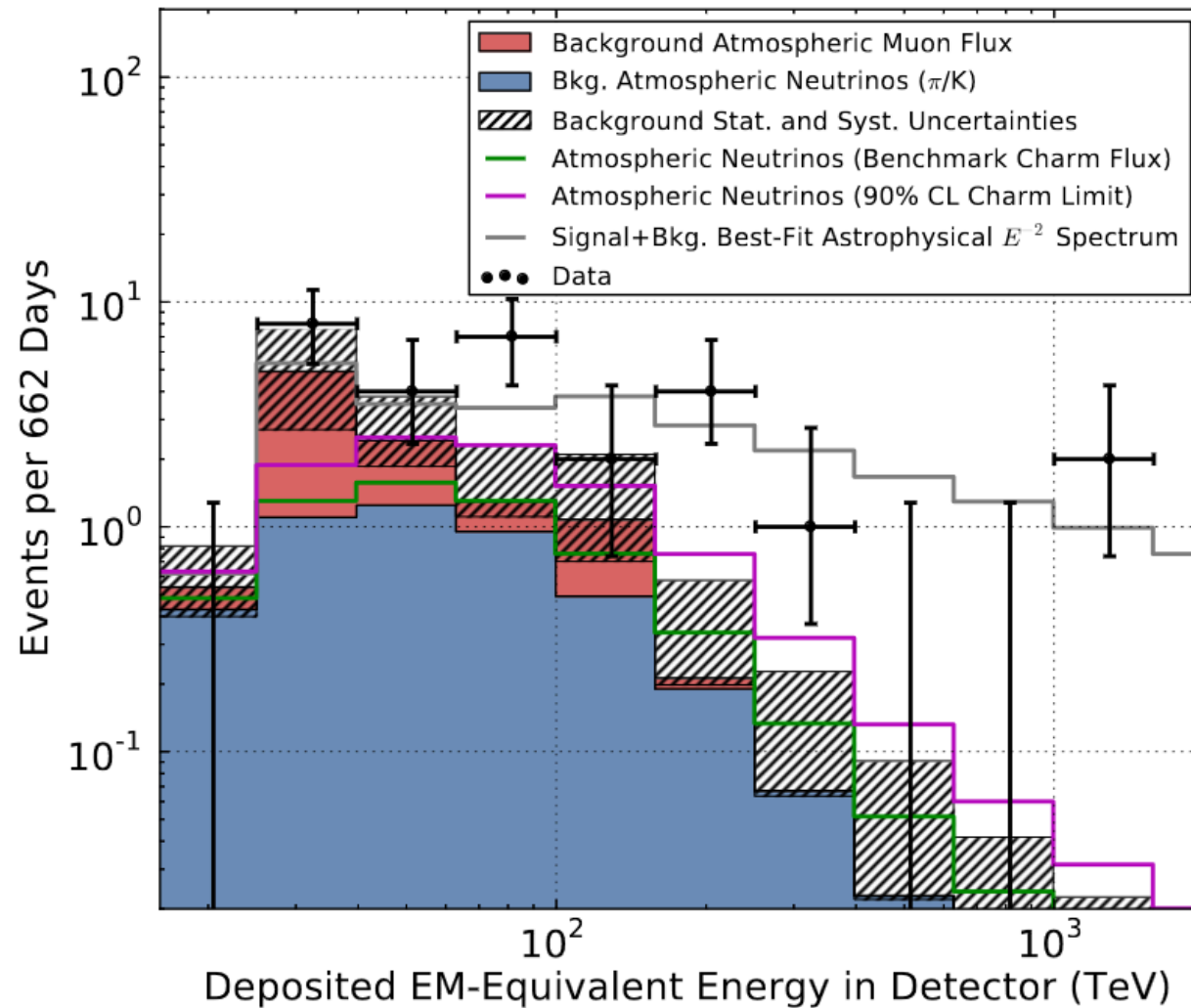
- ~11 000 CPU_s
- ~500 GPU_s
- ~6000 TB



Das Ergebnis!

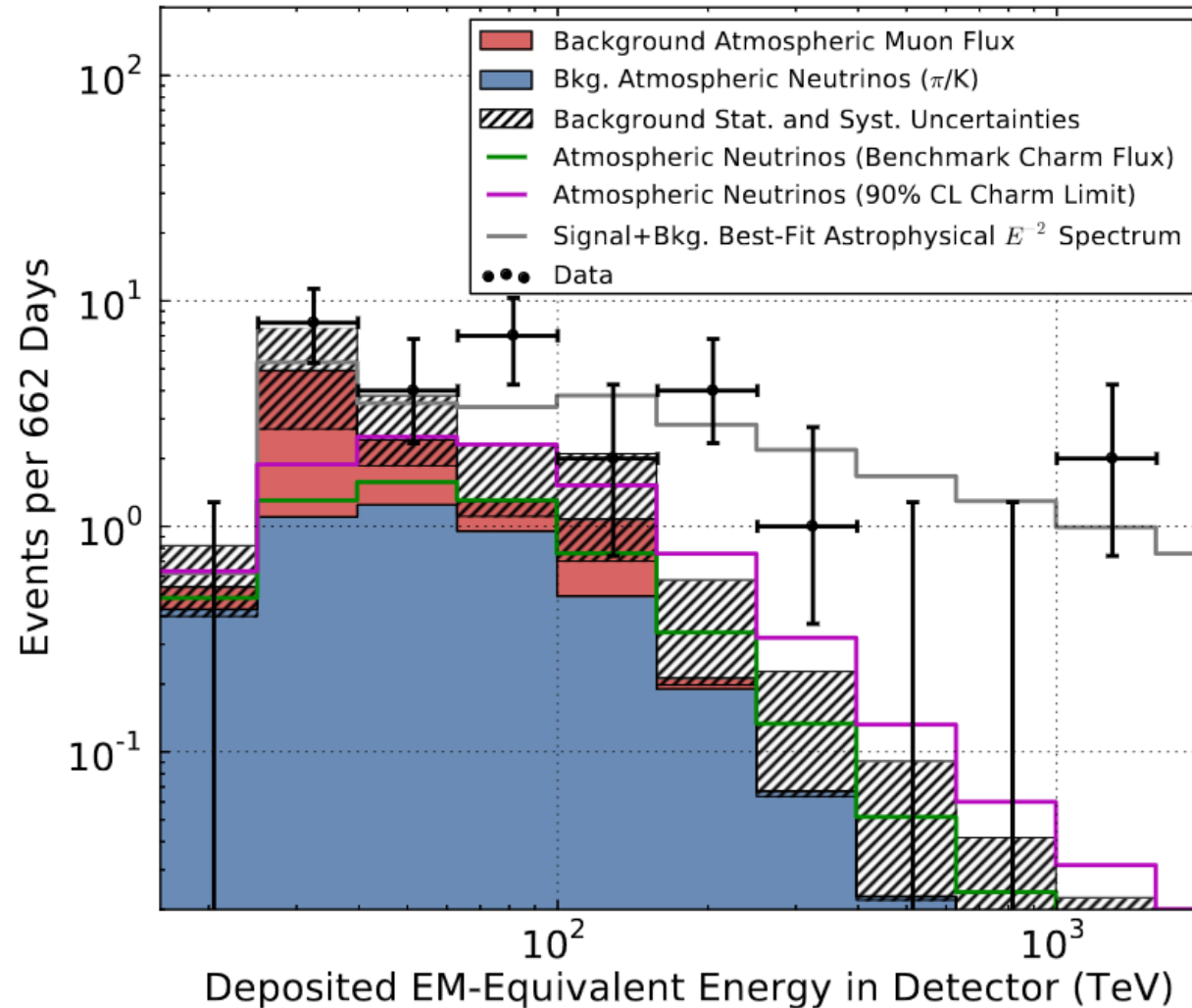


Das Ergebnis!



Toll!

Das Ergebnis!

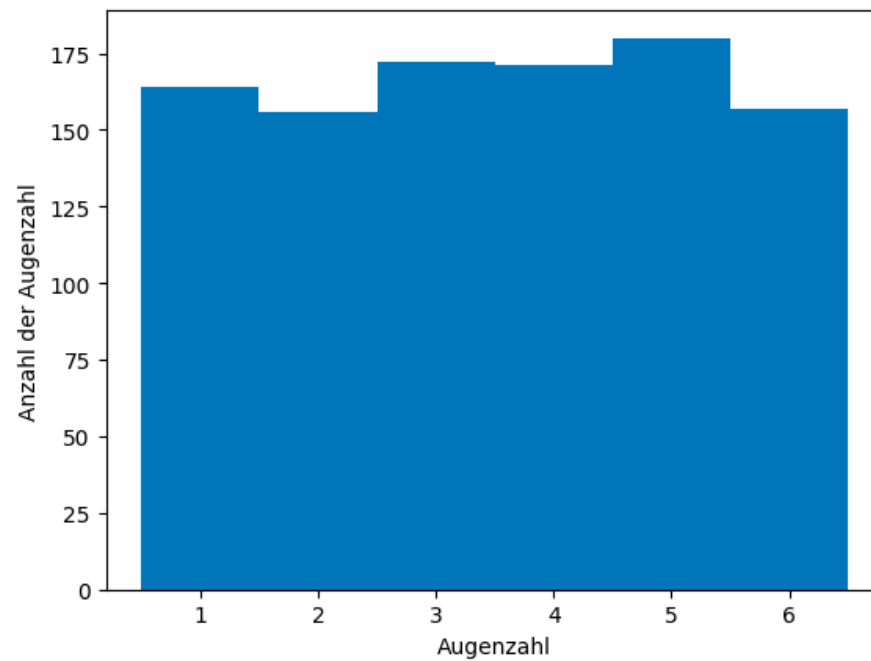


Toll!
Aber was bedeutet das?

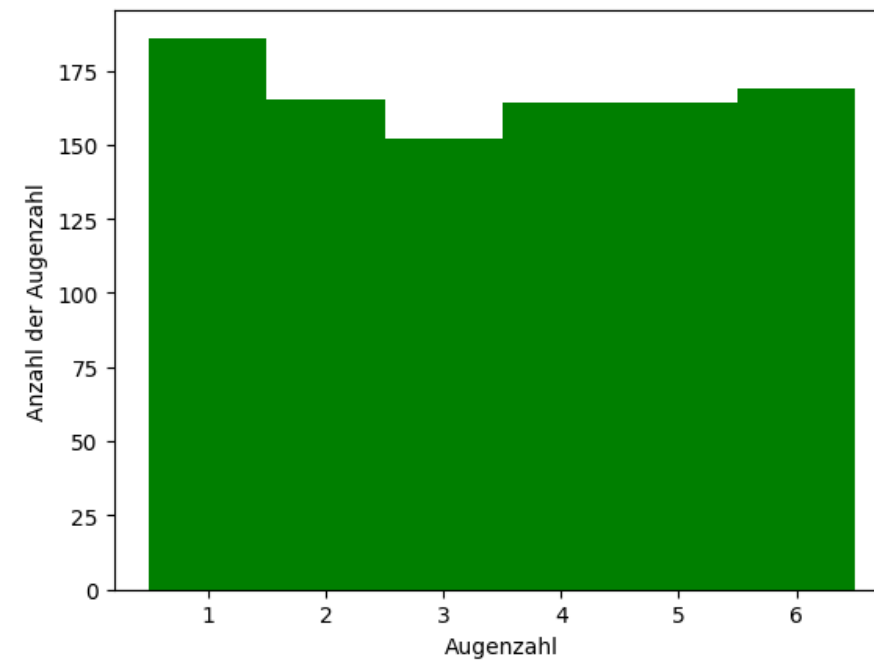
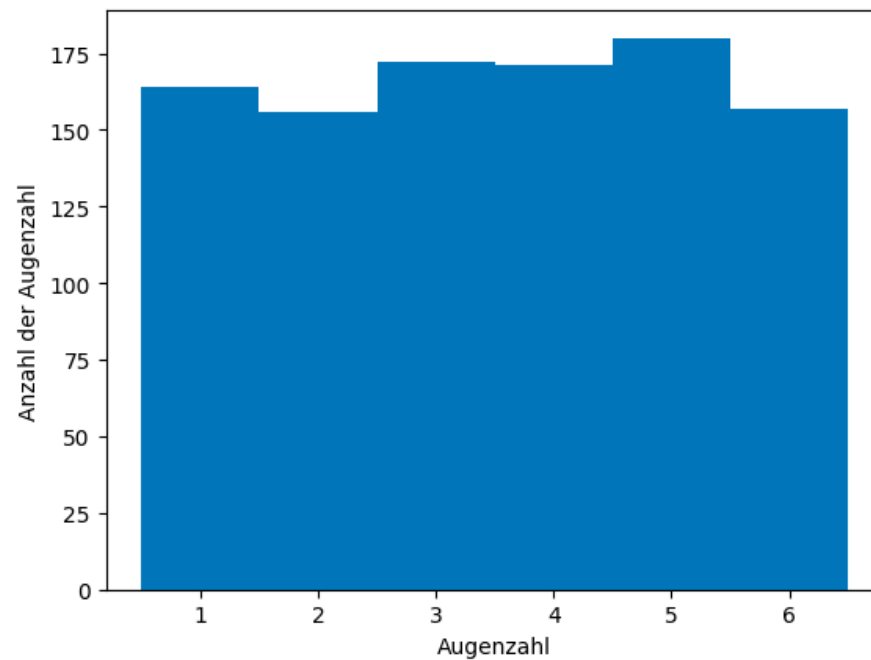
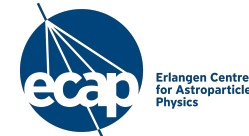
Histogramme



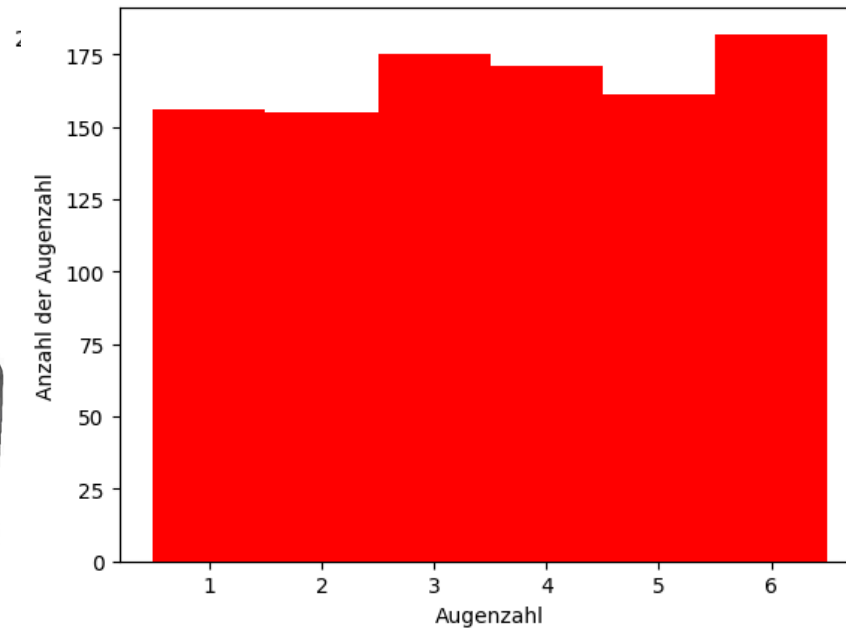
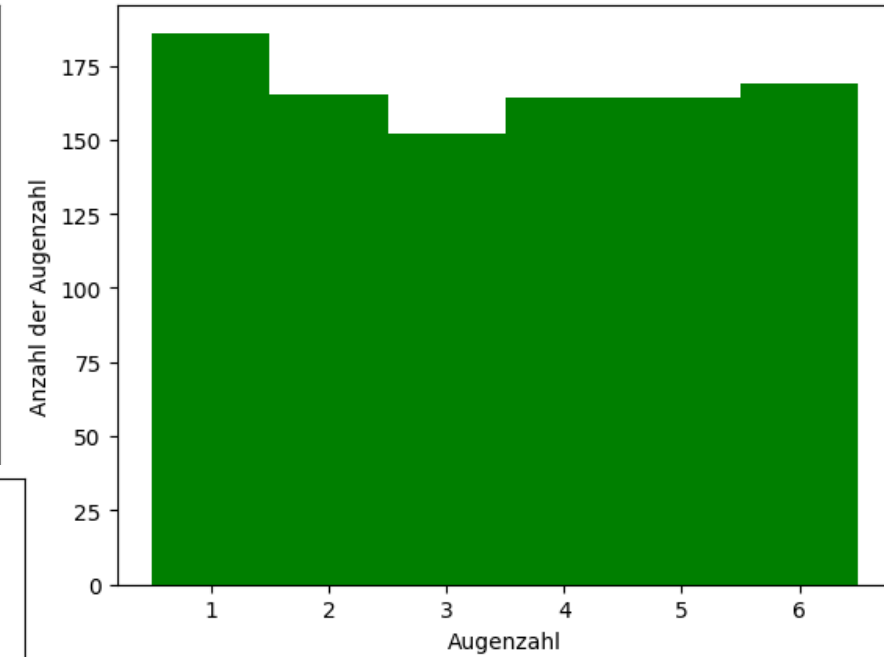
Histogramme



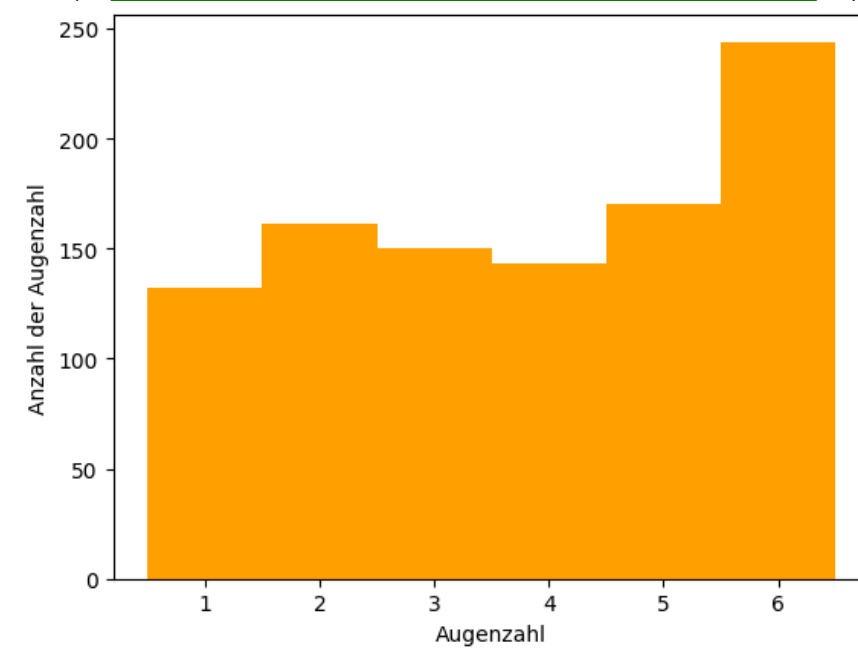
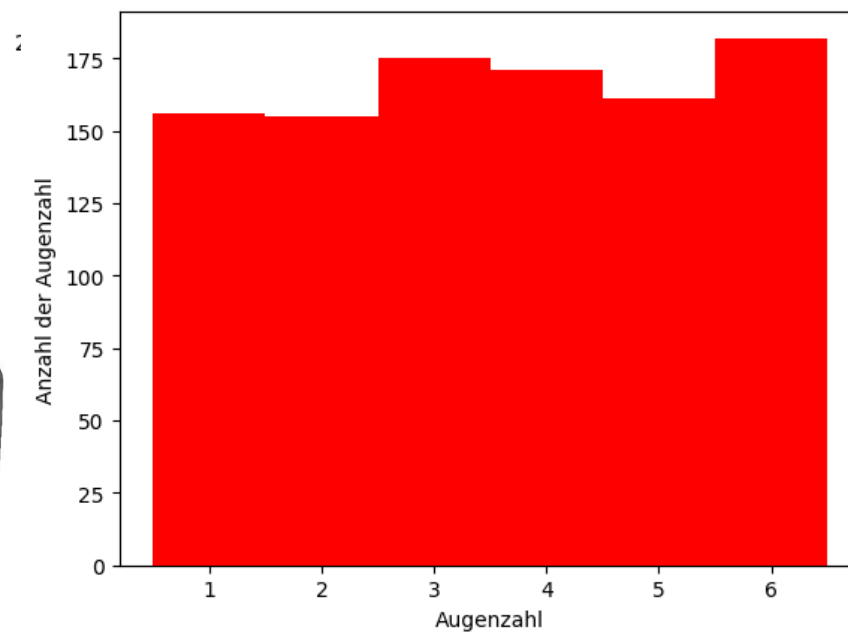
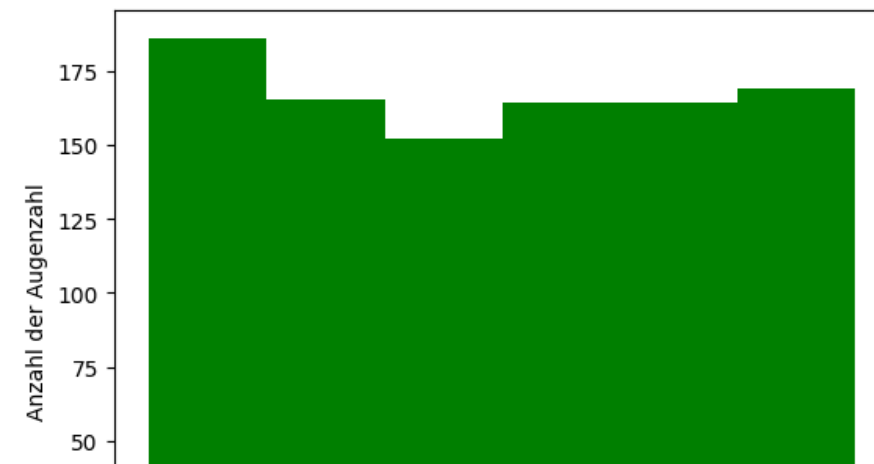
Histogramme



Histogramme



Histogramme





Histogramme

Wir wollen nun unsere Neutrino Ereignisse anhand ihrer Energie histogrammieren.

Problem: Die Energie ist kontinuierlich!

Beispiel: Körpergröße

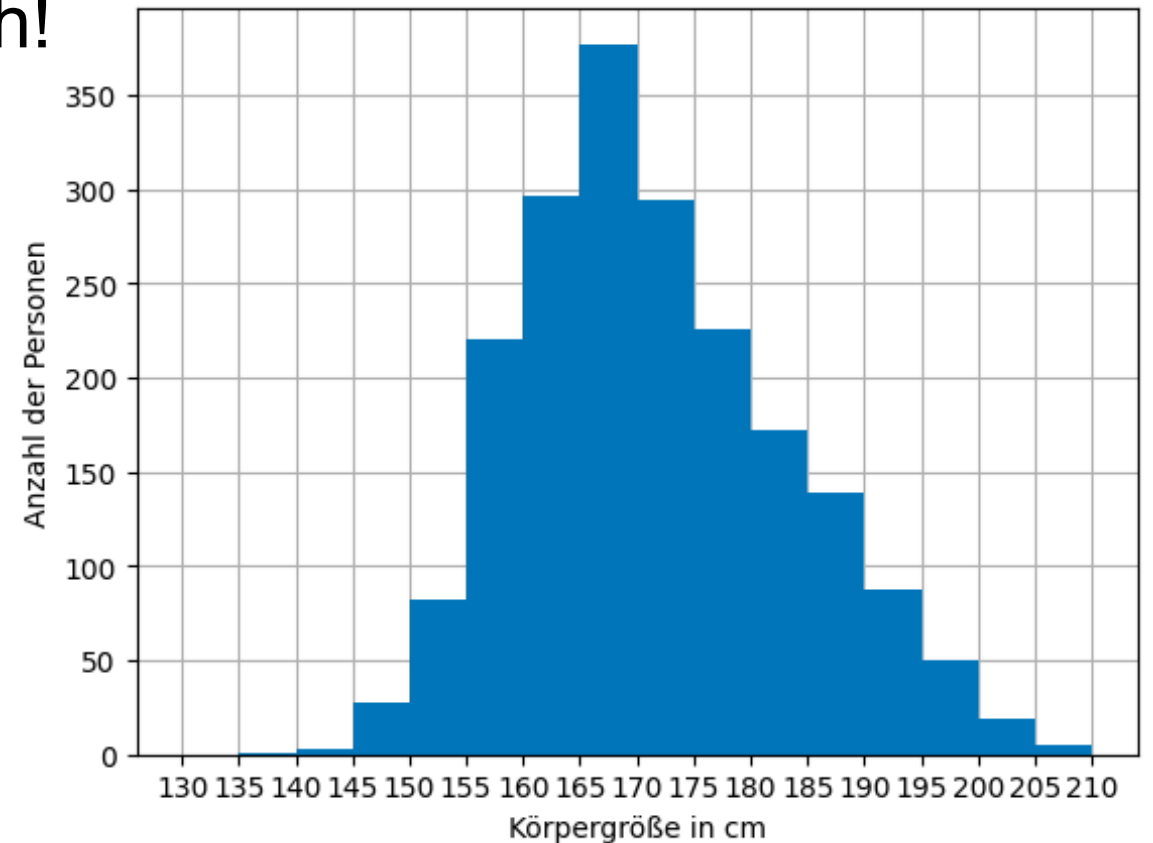


Histogramme

Wir wollen nun unsere Neutrino Ereignisse anhand ihrer Energie histogrammieren.

Problem: Die Energie ist kontinuierlich!

Beispiel: Körpergröße



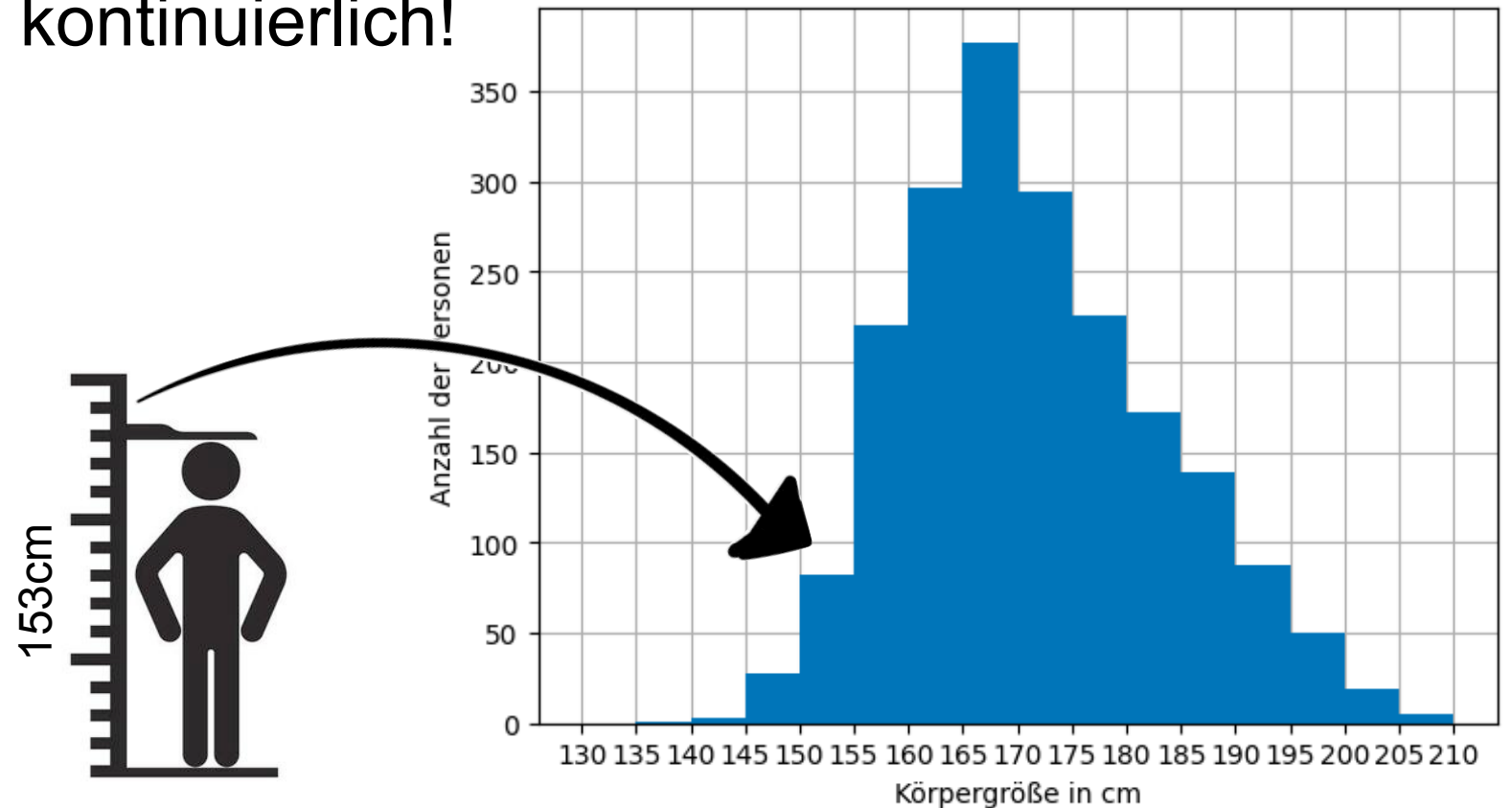


Histogramme

Wir wollen nun unsere Neutrino Ereignisse anhand ihrer Energie histogrammieren.

Problem: Die Energie ist kontinuierlich!

Beispiel: Körpergröße



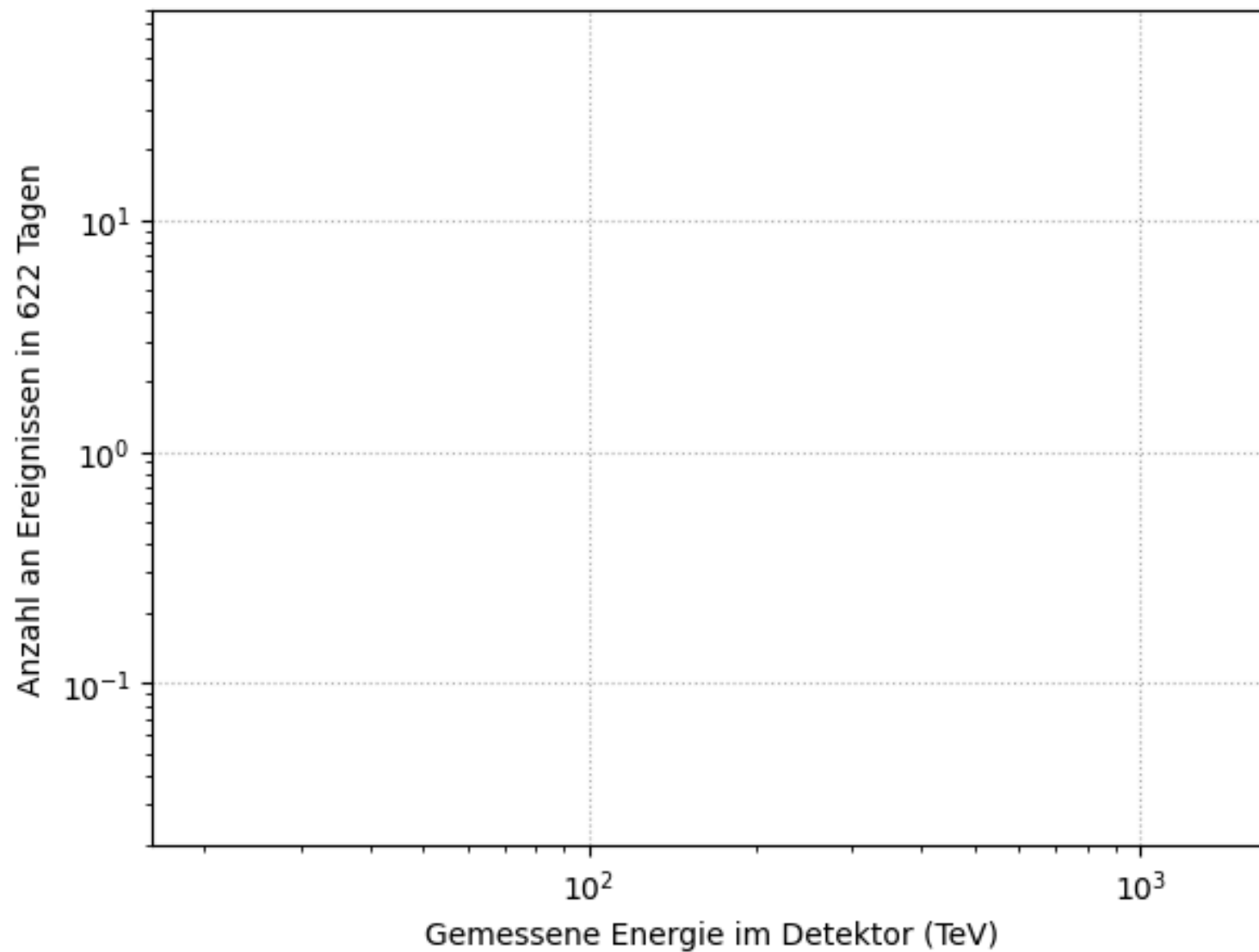
Neutrino Histogramm



Erlangen Centre
for Astroparticle
Physics



Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen-Nürnberg



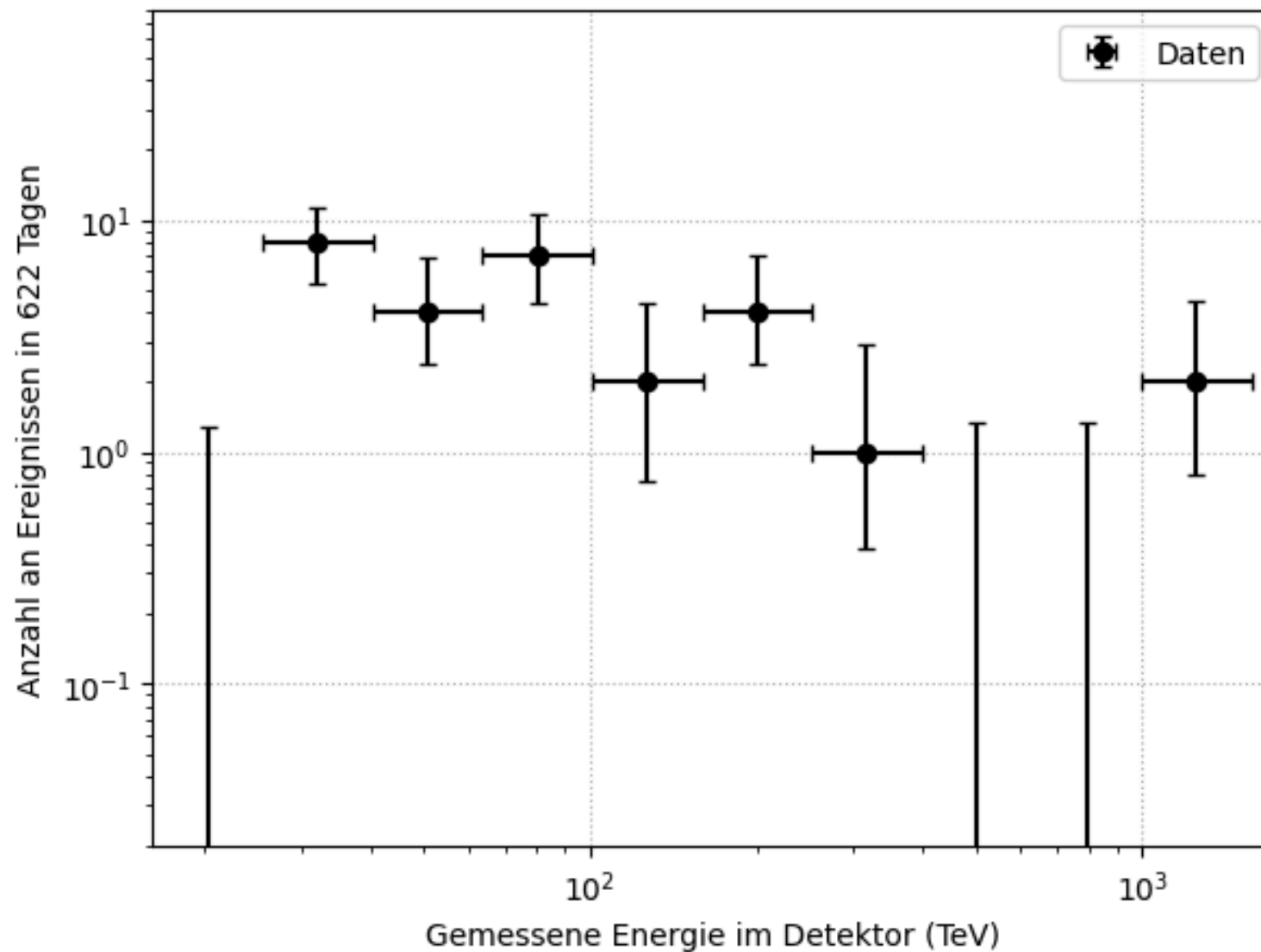
Neutrino Histogramm



Erlangen Centre
for Astroparticle
Physics



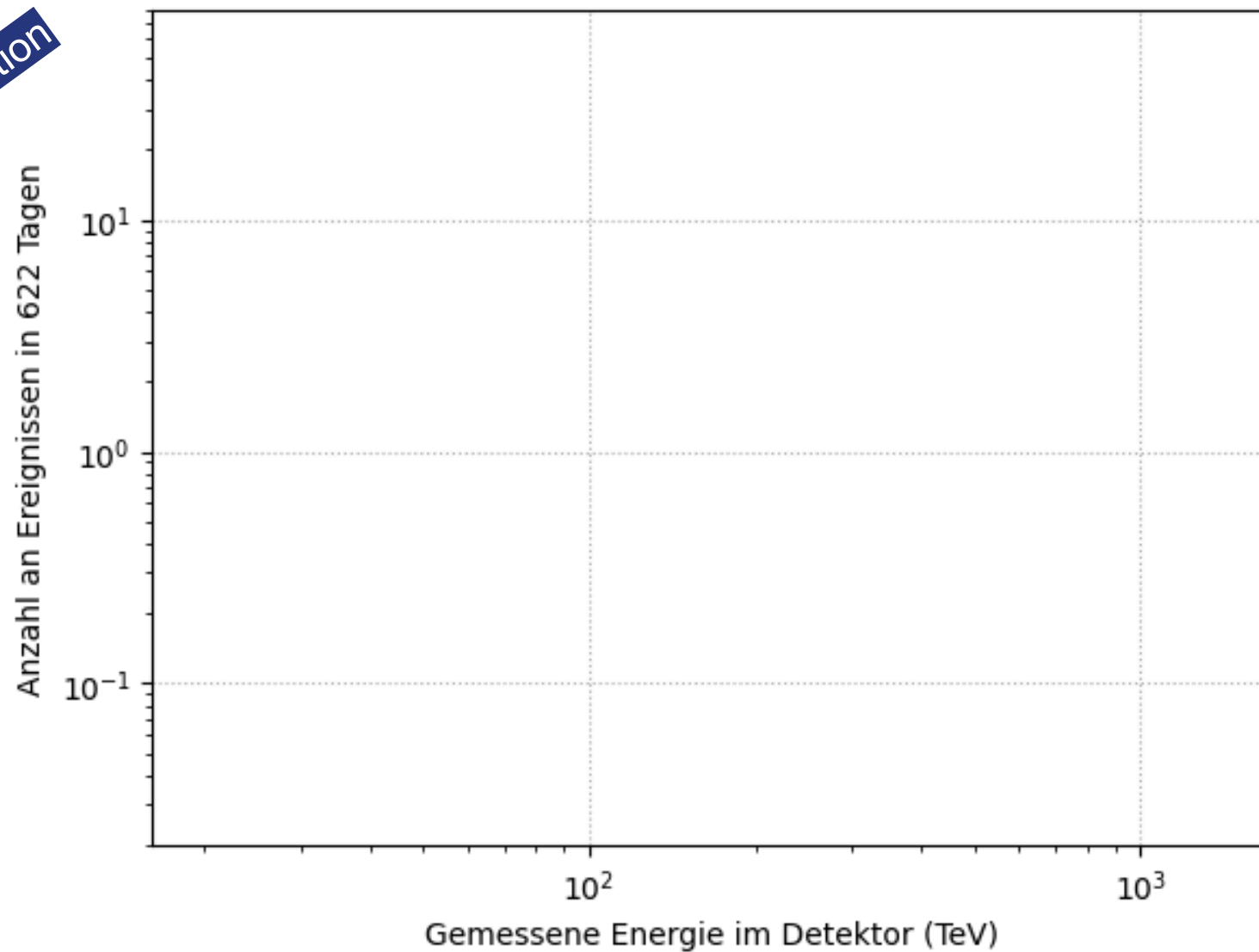
Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen-Nürnberg



Neutrino Histogramm



Vergleiche mit Simulation



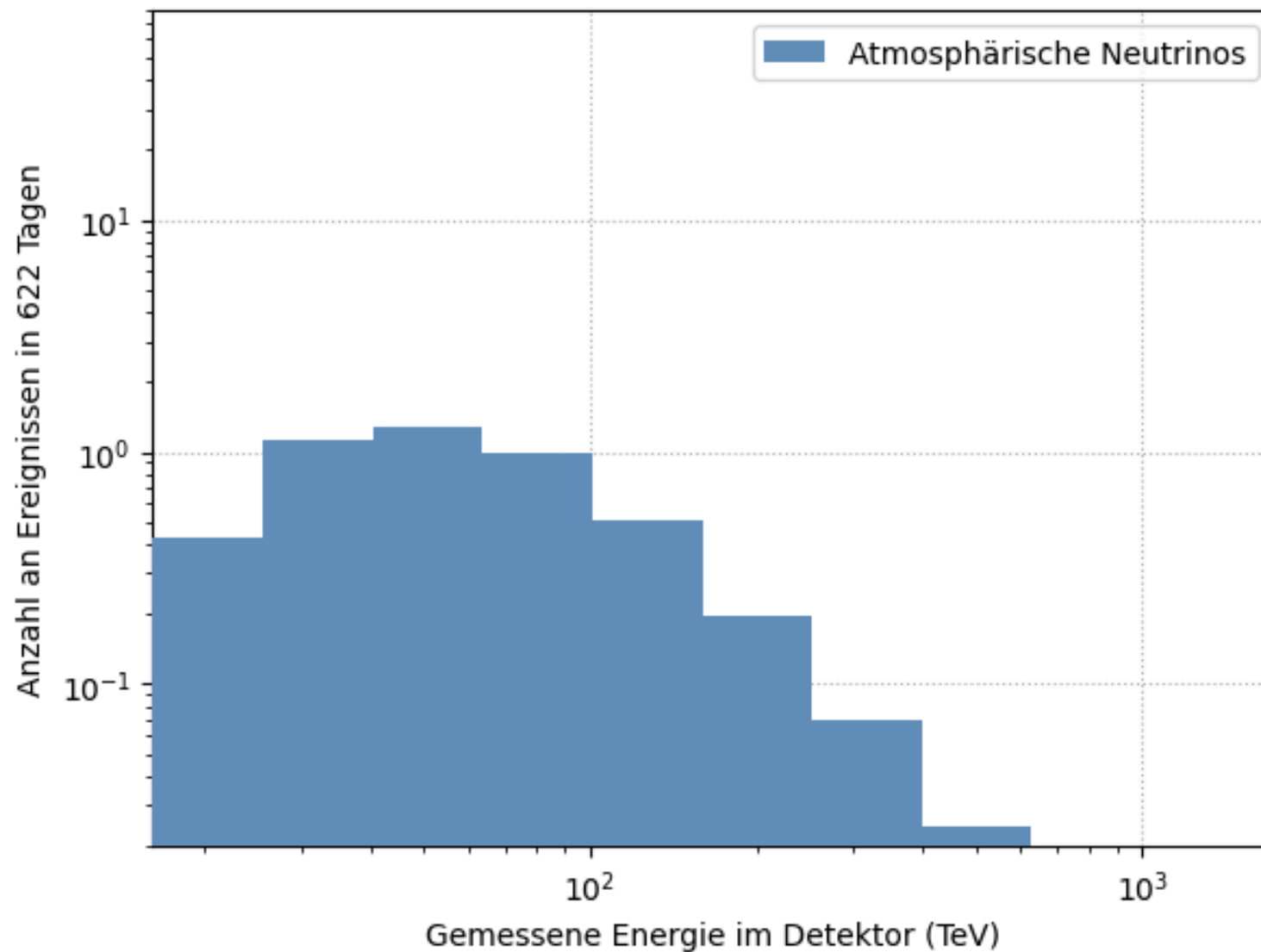
Neutrino Histogramm



Erlangen Centre
for Astroparticle
Physics



Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen-Nürnberg



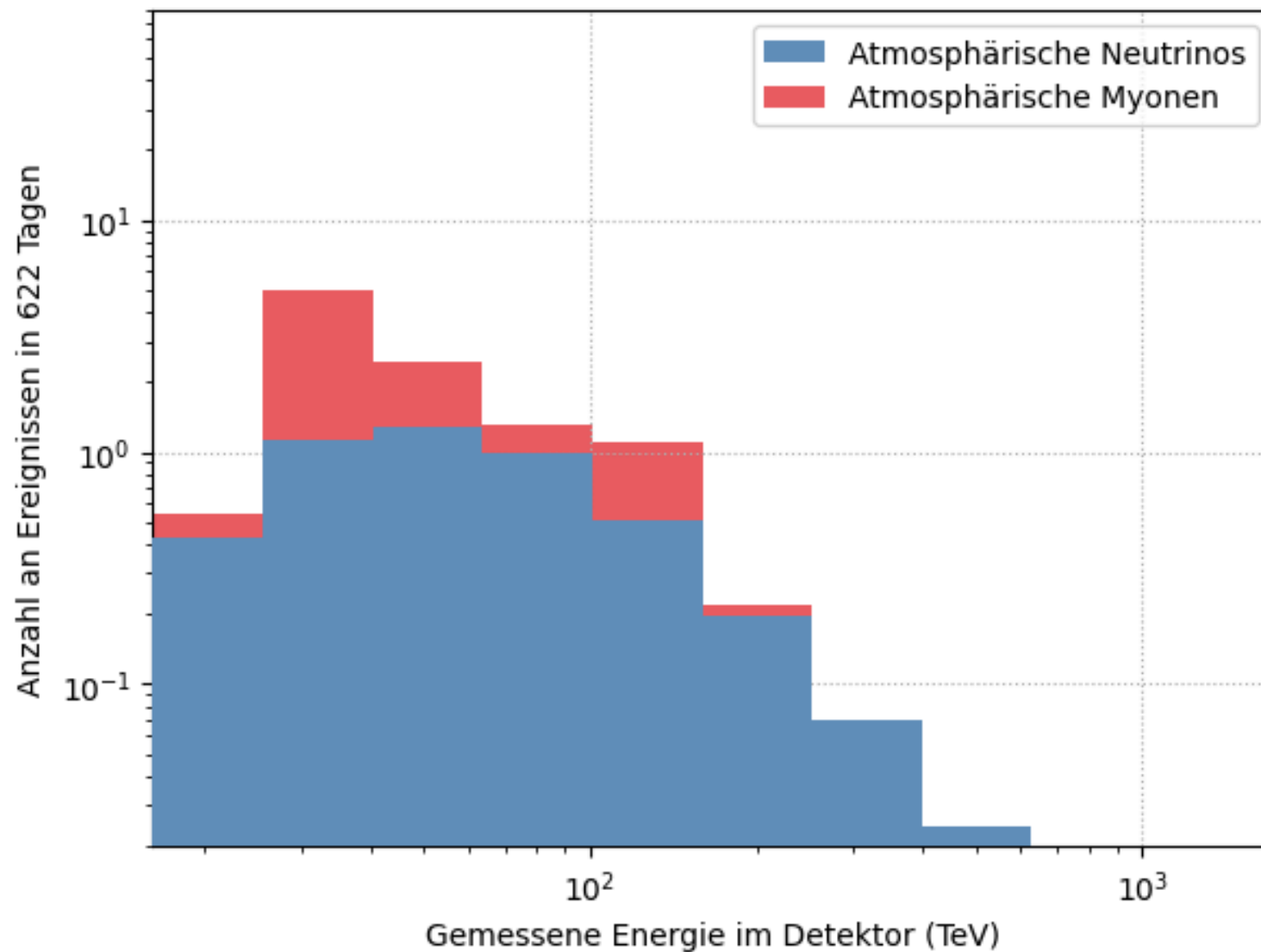
Neutrino Histogramm



Erlangen Centre
for Astroparticle
Physics



Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen-Nürnberg



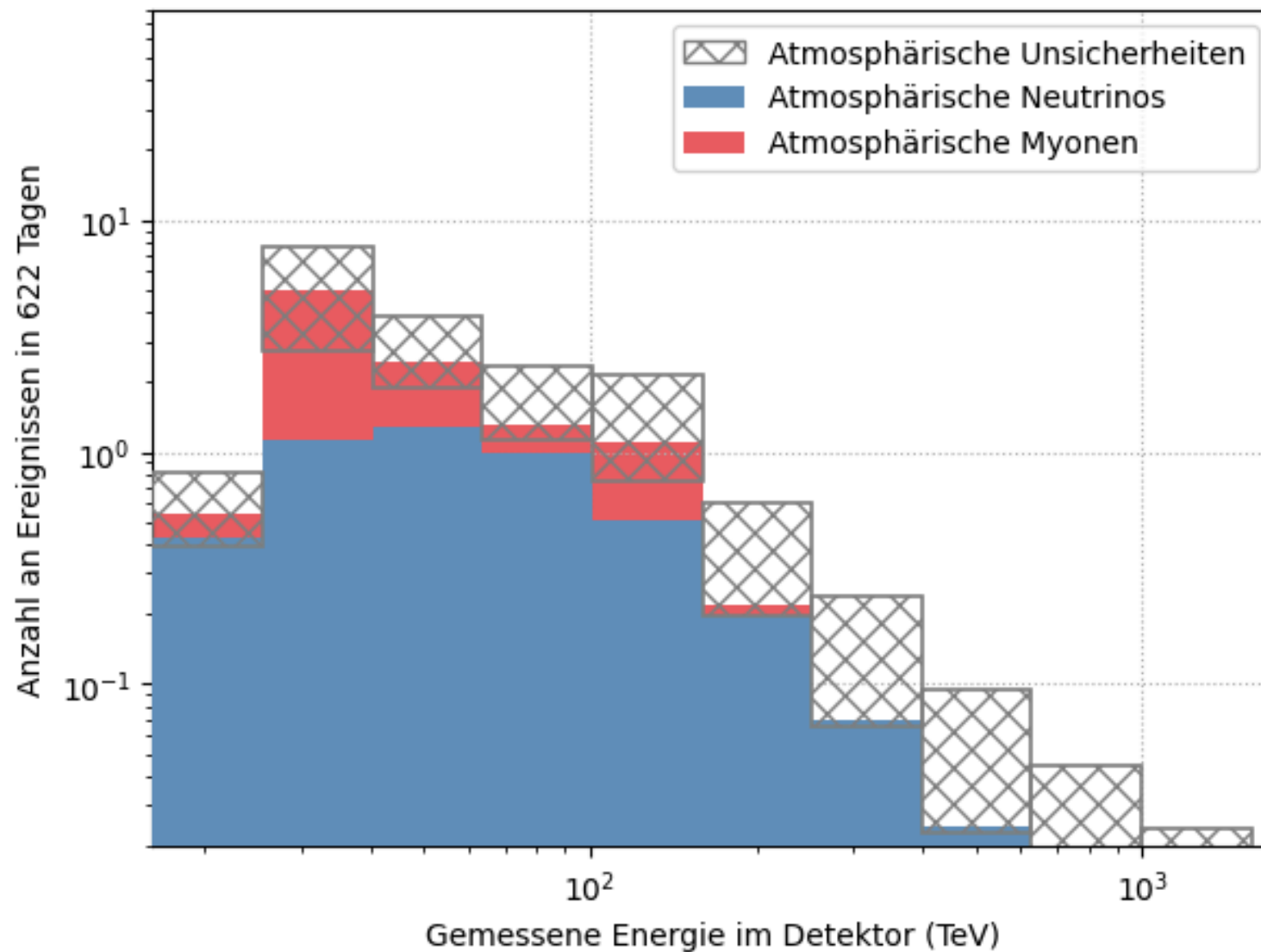
Neutrino Histogramm



Erlangen Centre
for Astroparticle
Physics



Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen-Nürnberg



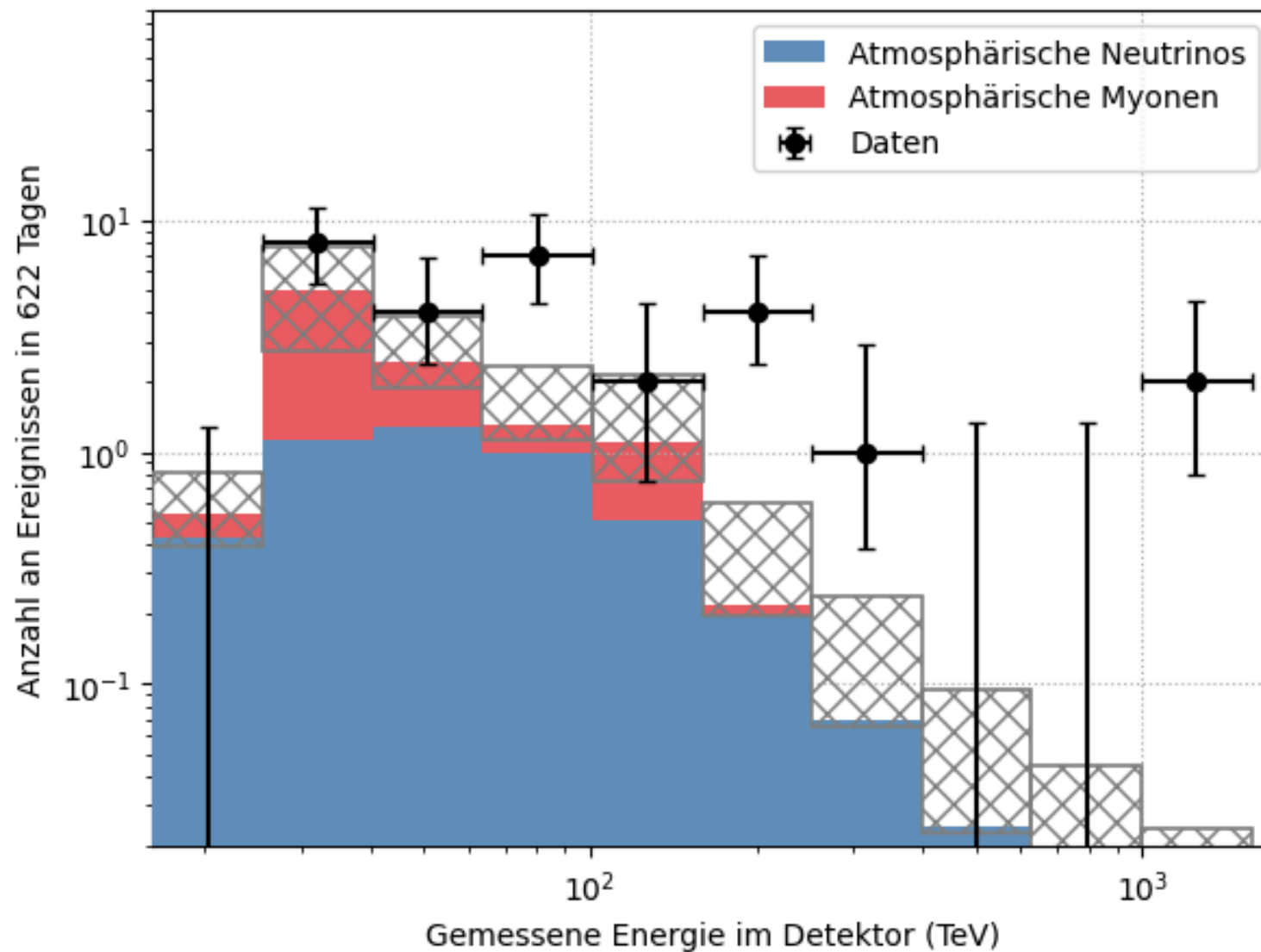
Neutrino Histogramm



Erlangen Centre
for Astroparticle
Physics



Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen-Nürnberg

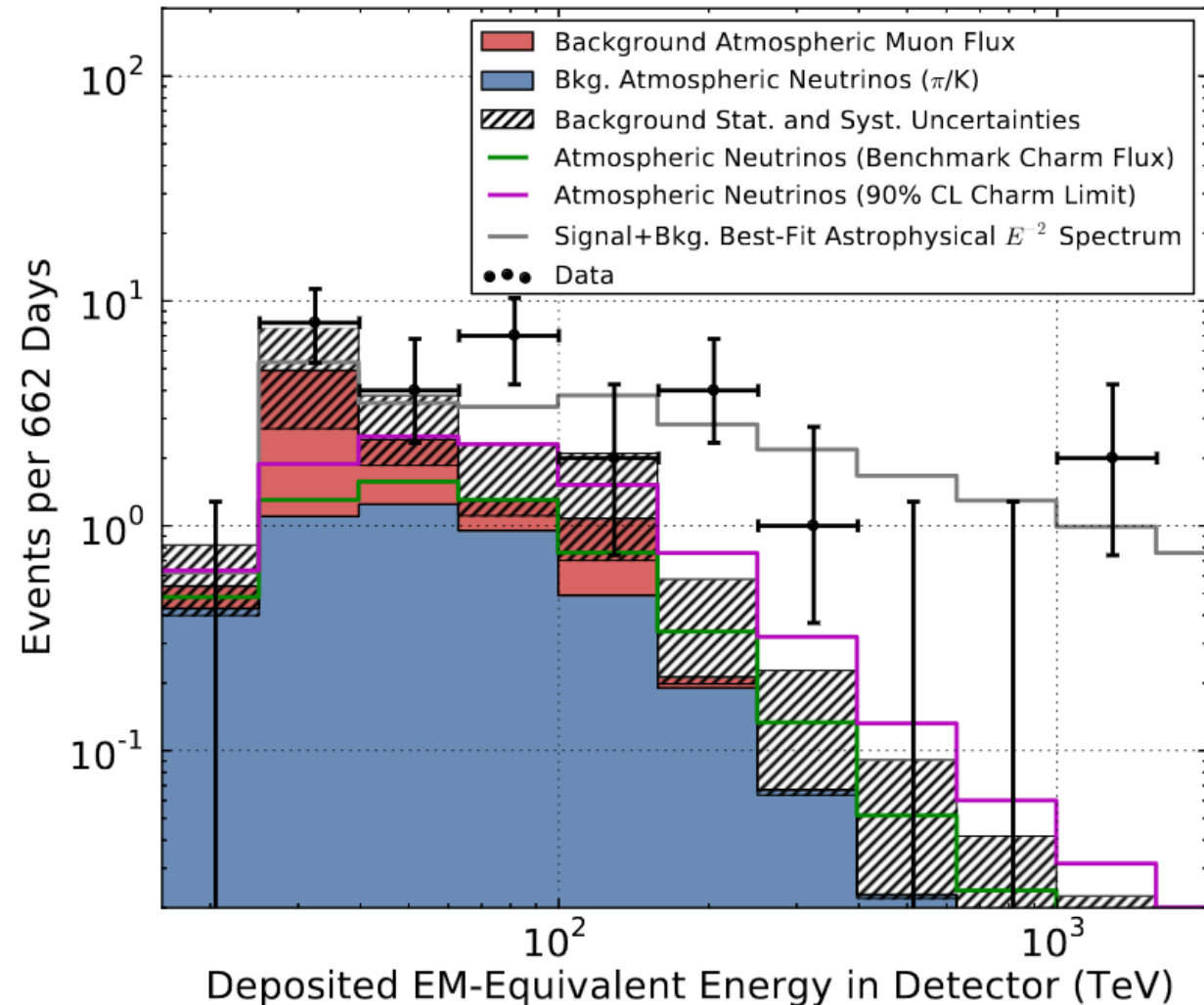


Datenanalyse



Gemessene Daten
lassen sich nicht alleine
durch atmosphärische
Muonen und
atmosphärische
Neutrinos erklären!

Entdeckung von
kosmischen Neutrinos!



Das ganze sieht noch
überzeugender aus mit
längerer Messzeit!

Entdeckung von
kosmischen Neutrinos!

