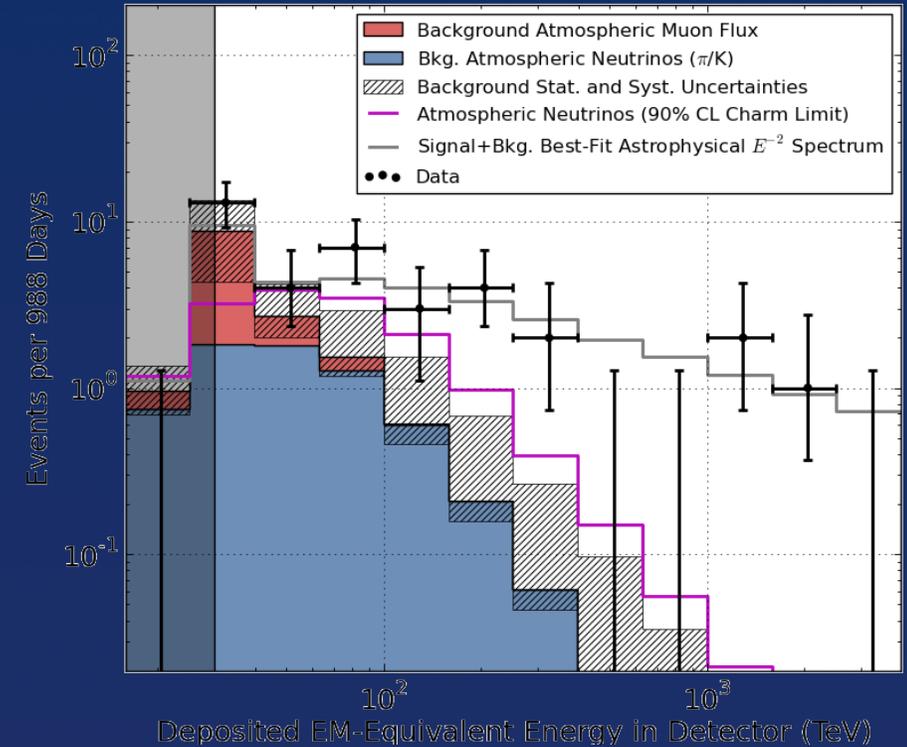
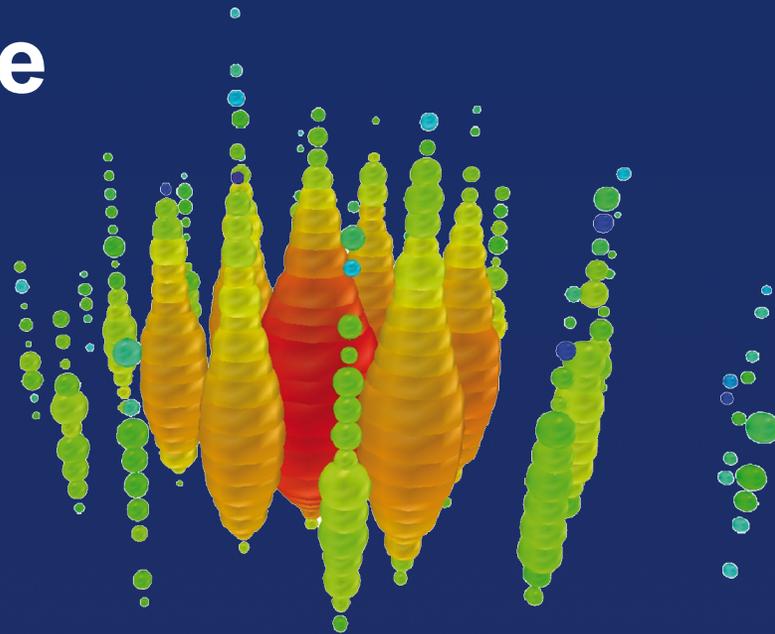


# IceCube Masterclass 2024 HESE-Analyse

Oliver Janik  
Erlangen, 28.03.24



- 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

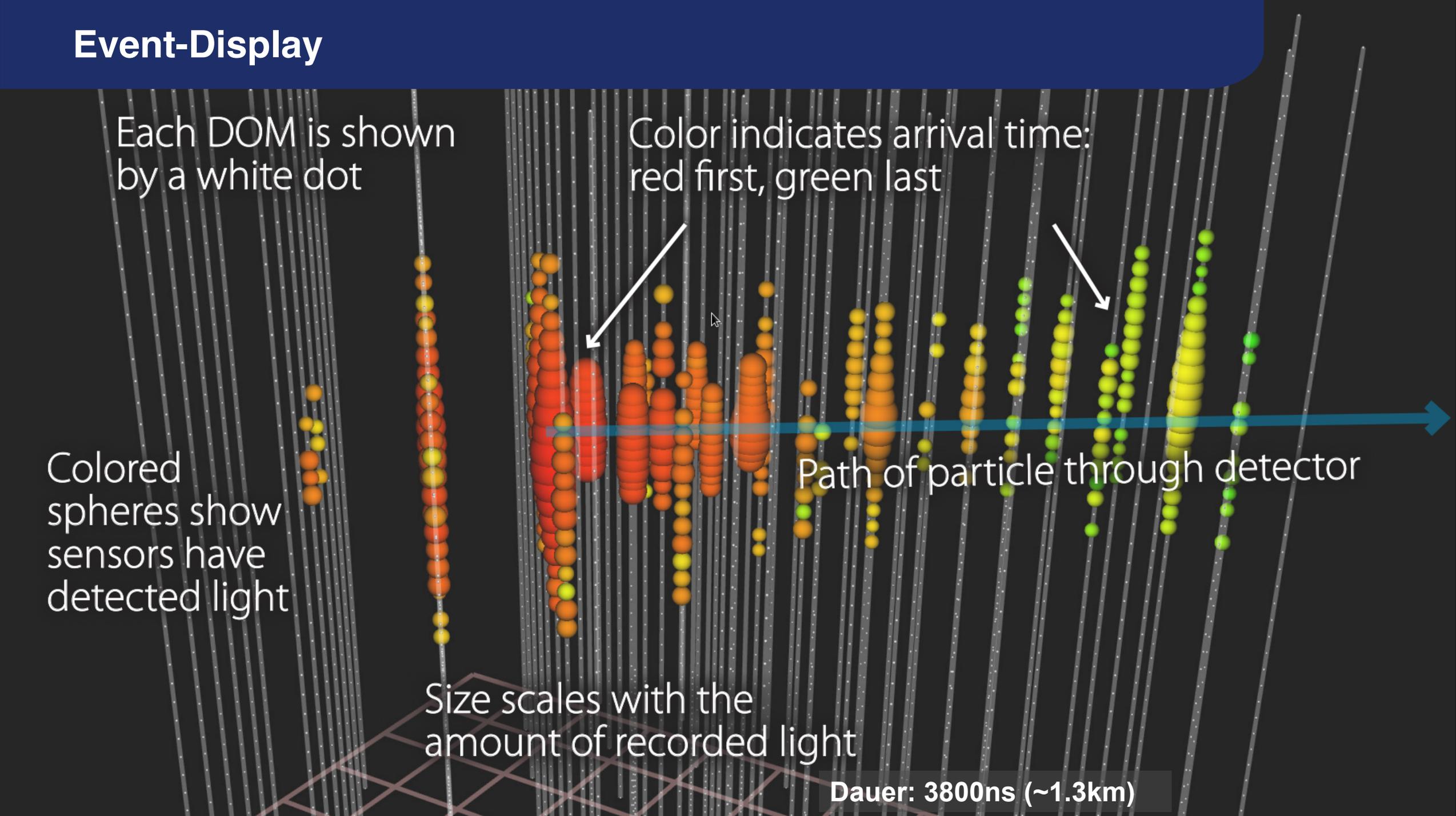
Color indicates arrival time: red first, green last

Colored spheres show sensors have detected light

Size scales with the amount of recorded light

Path of particle through detector

Dauer: 3800ns (~1.3km)

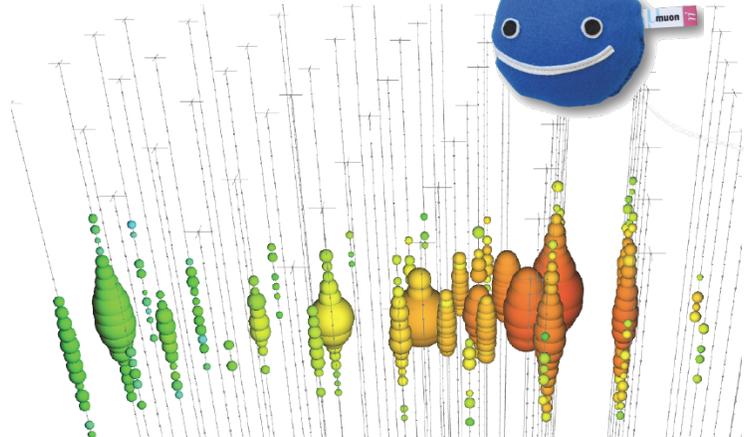
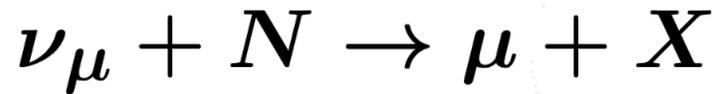


# Signal



## Spur (englisch Track):

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



**Gute Richtungsauflösung,  
schlechte Energieauflösung**

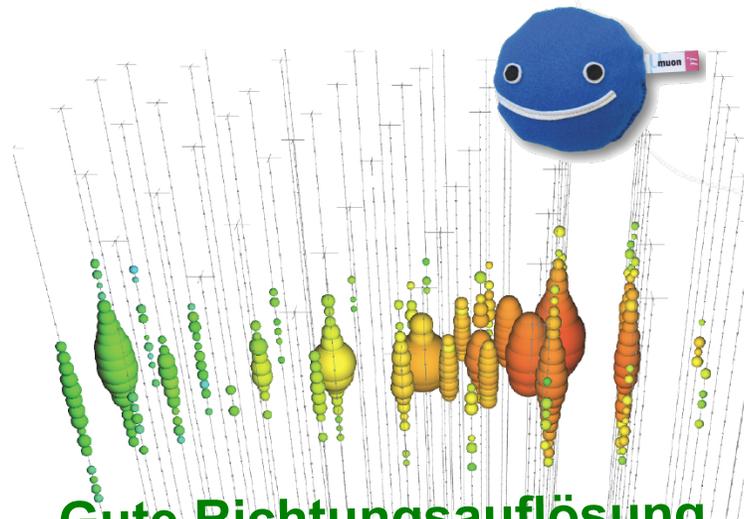
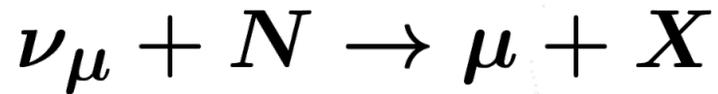
**Erinnerung:**  
Das Neutrino an sich ist  
unsichtbar. Wir sehen nur  
Reaktionsprodukte

# Signal



## Spur (englisch Track):

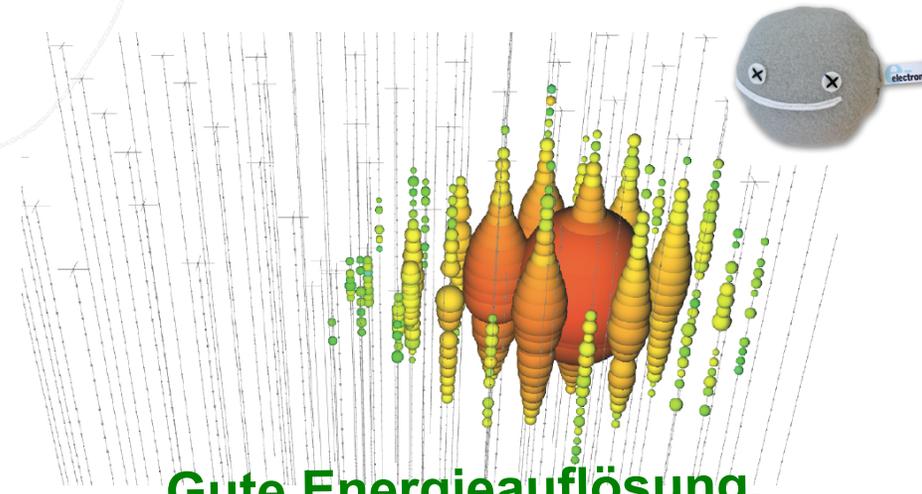
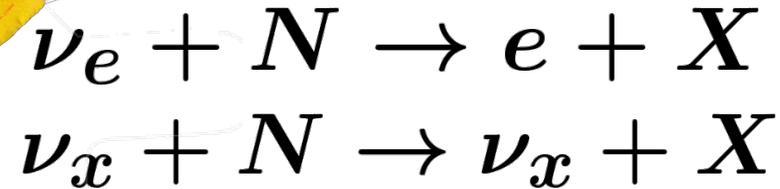
Das Neutrino “stößt” durch ein  $W^{+/-}$  einen Kern an



**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?

?

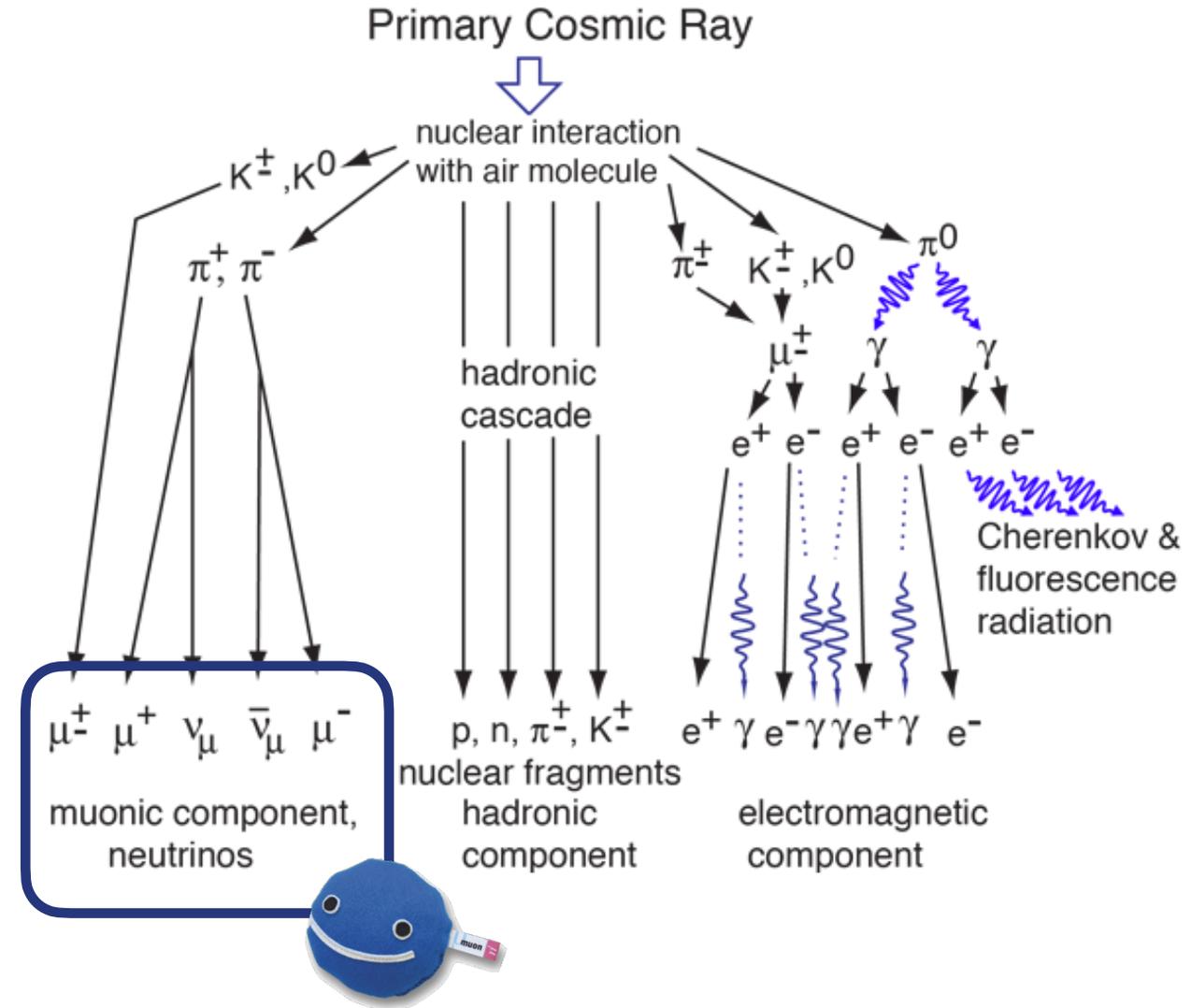
?

# Untergrund



Wir wollen Neutrinos von außerhalb unseres Sonnensystems finden.

Problem: Wir haben verschiedene Arten von Untergrund.

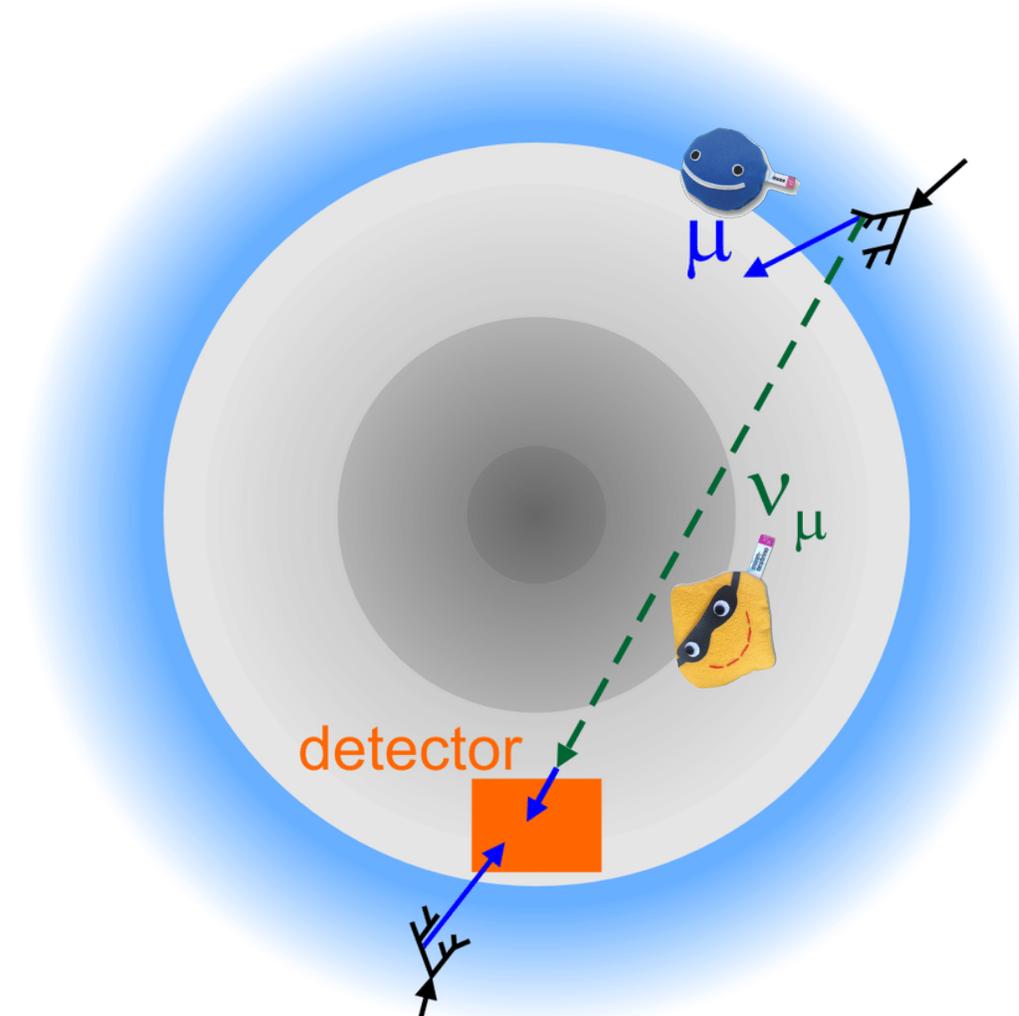


# Untergrund



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



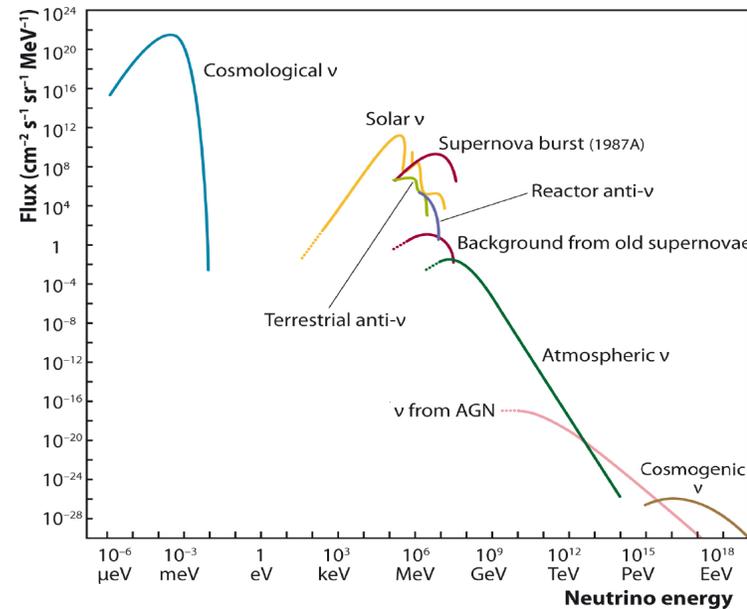
Friedrich-Alexander-Universität  
Erlangen-Nürnberg

## 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:

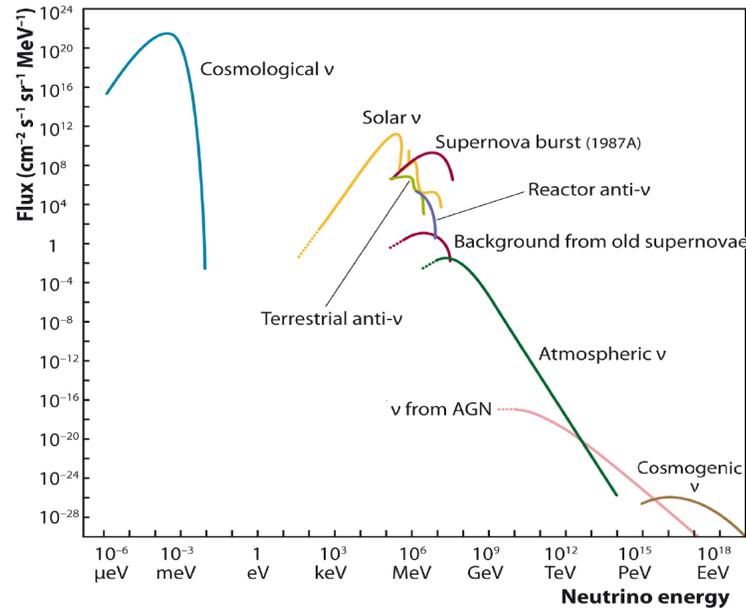
Im Vetobereich dürfen nur 3 PE der  
frühesten 250 PE

## 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:**

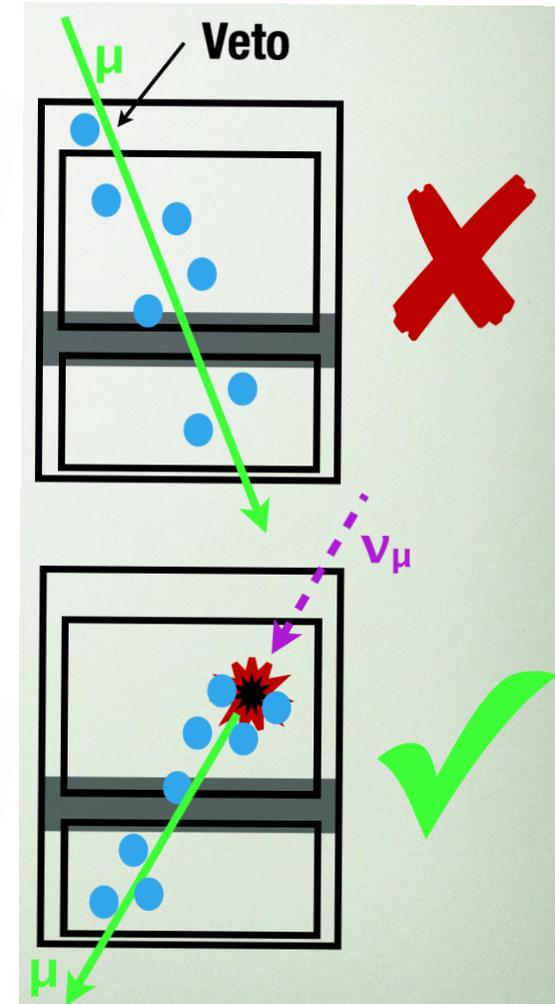
Großteil der atmosphärischen Neutrinos aber auch ein Teil des Signals wird verworfen.

# Anwendung des HESE-Vetos

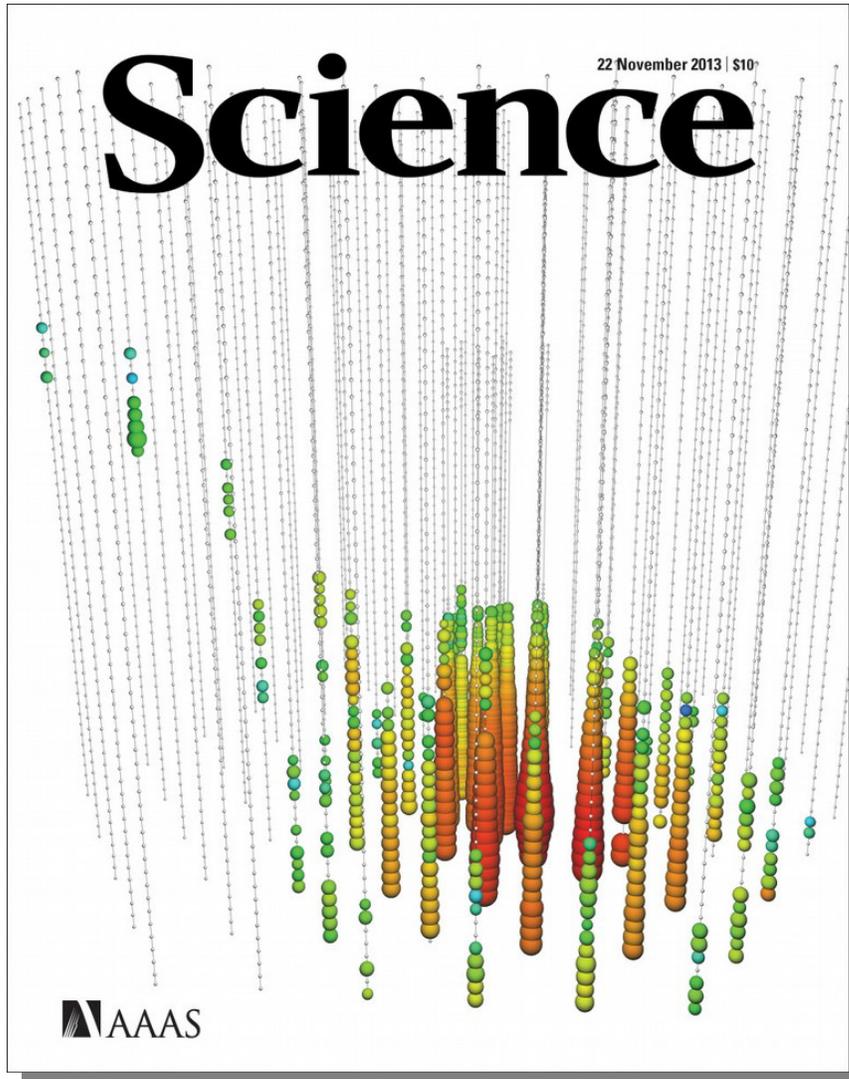


~15 min

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



# Die Nadel im Heuhaufen



In 2 Jahren (2010-2012) wurden 28 solcher Ereignisse gefunden.

Schaut sie euch an:

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

~10 min

**Wie heißt dieses Ereignis?  
Welche Energie hat es?**

# 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<sub>s</sub>
- ~500 GPU<sub>s</sub>
- ~6000 TB



# Datenanalyse



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

Entdeckung von  
kosmischen Neutrinos!

