Nachweis des Myon-Neutrinos

http://www.bnl.gov/bnlweb/history/nobel/images/Schwartz-335px.jpg

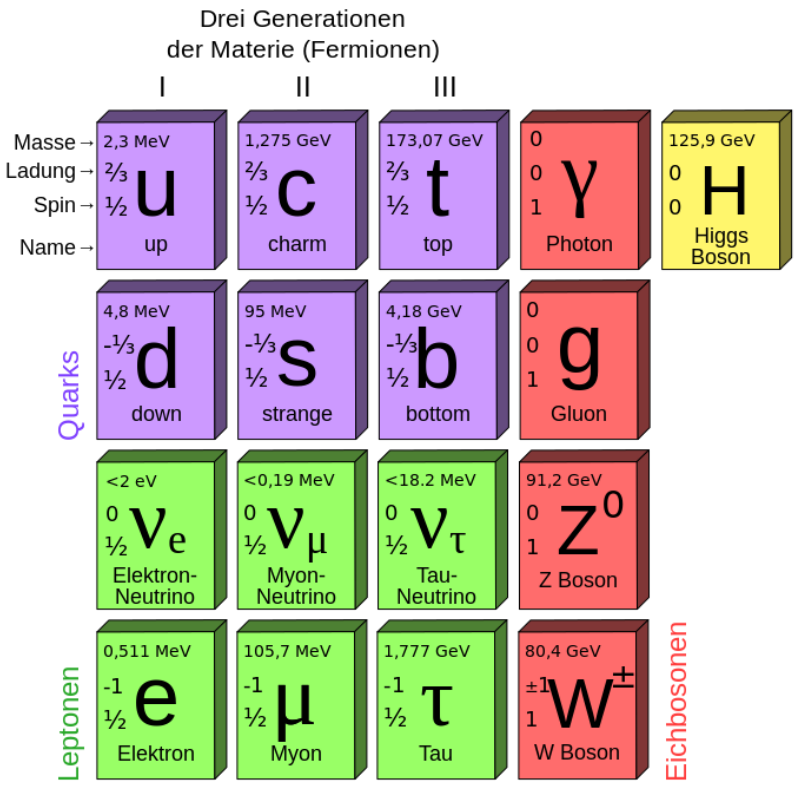
http://www.bnl.gov/physics/history/images/1980s/1988-nobel-470.jpg

Inhalt

- Neutrinos
- „Erfindung“ und Entdeckung des Neutrinos
- Verschiedenheit von Neutrinos
- Schlüsselexperiment
- Auswertung und Ergebnis

Neutrinos

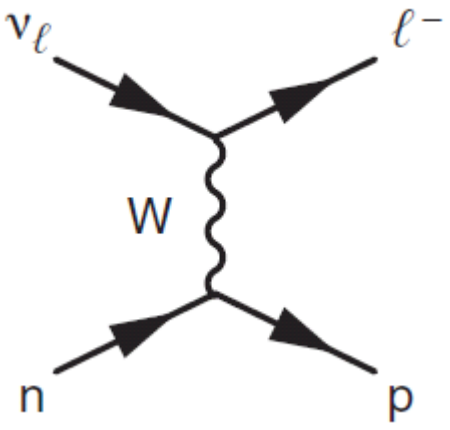
- Fermionen
  - Leptonen
- Drei Generationen der Fermionen



http://de.wikipedia.org/wiki/Lepton#mediaviewer/File:Standard_Model_of_Elementary_Particles-de.svg

Neutrinos

- Wechselwirkungen
  - Schwache WW
  - (Gravitation)
- Nachweis nur indirekt



ℓ : Leptonflavour (e, μ, τ)

Erfindung des Neutrinos

- scheinbare Verletzung von Erhaltungsgrößen beim β-Zerfall:

$$ {}^{A}_{Z}\mathrm{X} \rightarrow {}^{A}_{Z+1}\mathrm{Y} + \mathrm{e}^{-} $$

$$ \downarrow $$

$$ {}^{A}_{Z}\mathrm{X} \rightarrow {}^{A}_{Z+1}\mathrm{Y} + \mathrm{e}^{-} + \overline{\nu} $$

- Rettung durch „kleines Neutron“
  - 1930 postuliert durch Pauli

Nachweis des Neutrinos

- Nachweis 1956 durch Reines und Cowan
  - Nobelpreis 1995

$$\bar{\nu} + p \longrightarrow e^+ + n$$

$$e^+ + e^- \longrightarrow \gamma + \gamma$$

- Neutrinos aus Kernkraftwerk

Verschiedenheit von Neutrinos

- Unterscheid zw. Neutrino aus $\beta^{\pm}$-Zerfall und myonischen $\pi^{\pm}$-Zerfall?
  - Pontecorvo 1959

$$\pi^{+} \longrightarrow \mu^{+} + \nu$$

- Problem mit Verhältnis $\frac{\mu \to e + \gamma}{\mu \to e + \nu + \overline{\nu}}$
  - Schwartz 1960
- für $\nu_e = \nu_\mu$ Verhältnis ~ 10^{-4}
- Messungen: $\lesssim 10^{-8}$

Verschiedenheit von Neutrinos

- Worin könnten sich Neutrinos unterscheiden?
  → Leptonzahlen $L_{e,\mu}$ sind erhalten
- Idee für Experiment

$$\nu_\mu + n \rightarrow \mu^- + p$$
$$L_\mu = 1 + 0 = 1 + 0$$

$$\nu_\mu + n \rightarrow e^- + p$$
$$L_\mu = 1 + 0 \neq 0 + 0$$

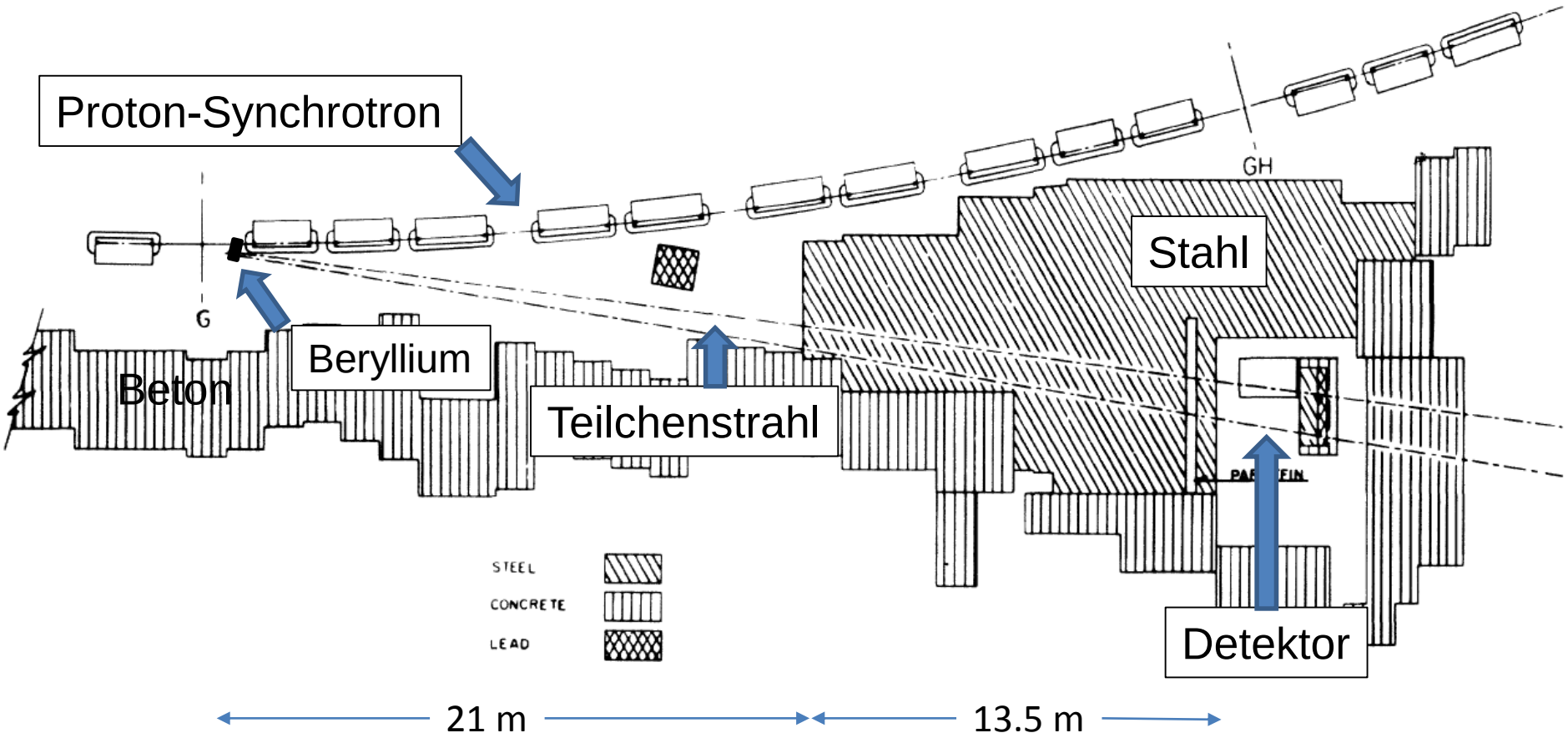
- Für $\nu_e \neq \nu_\mu$: keine Elektronen

Das Experiment

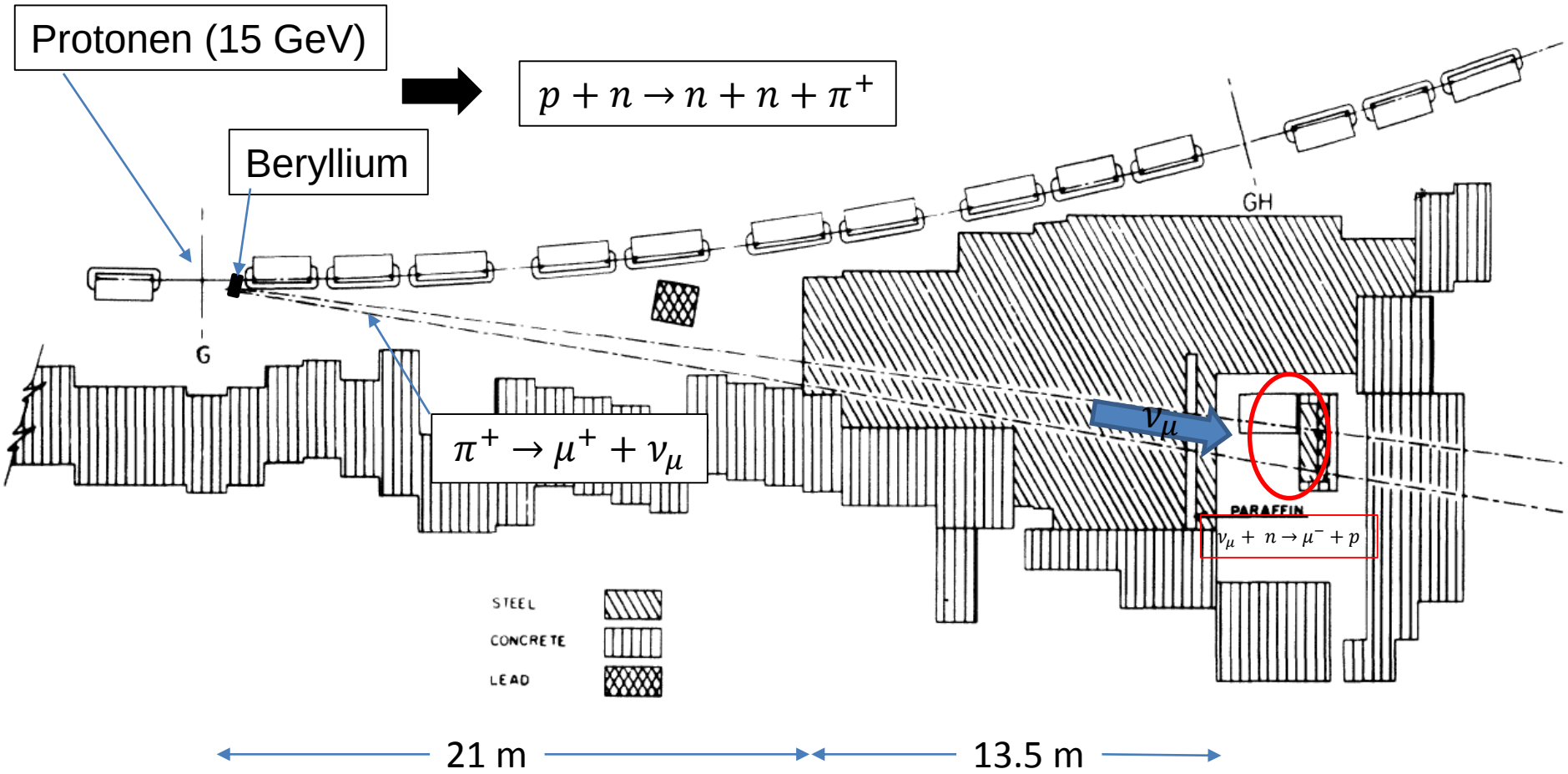
http://www.bnl.gov/rhic/AGS.asp

- Proton-Synchrotron
  - AGS Brookhaven
  - max. 33 GeV
  - 1962

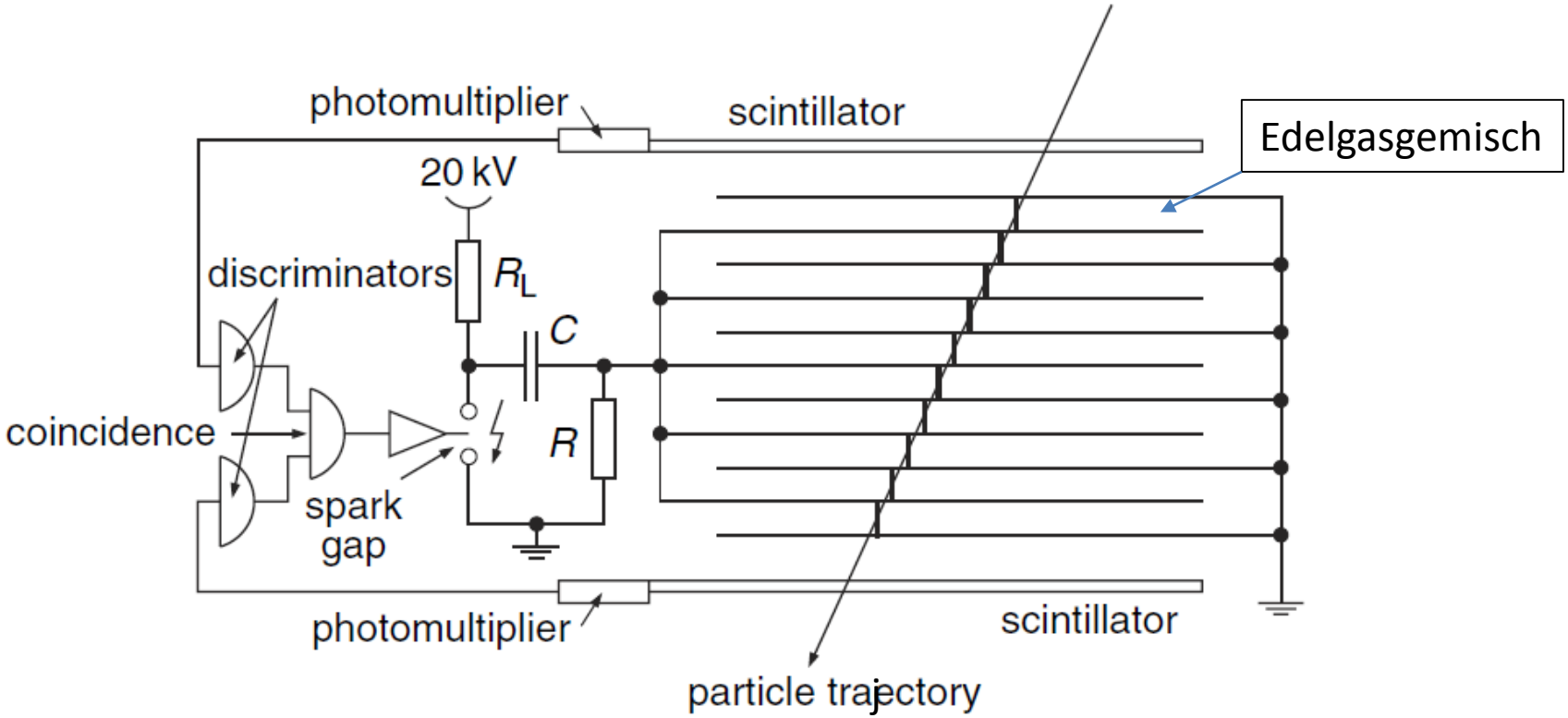
Das Experiment



Das Experiment



Funkenkammer



Grupen C, Shwartz BA. Particle detectors. New York, NY: Cambridge University Press; 2008.

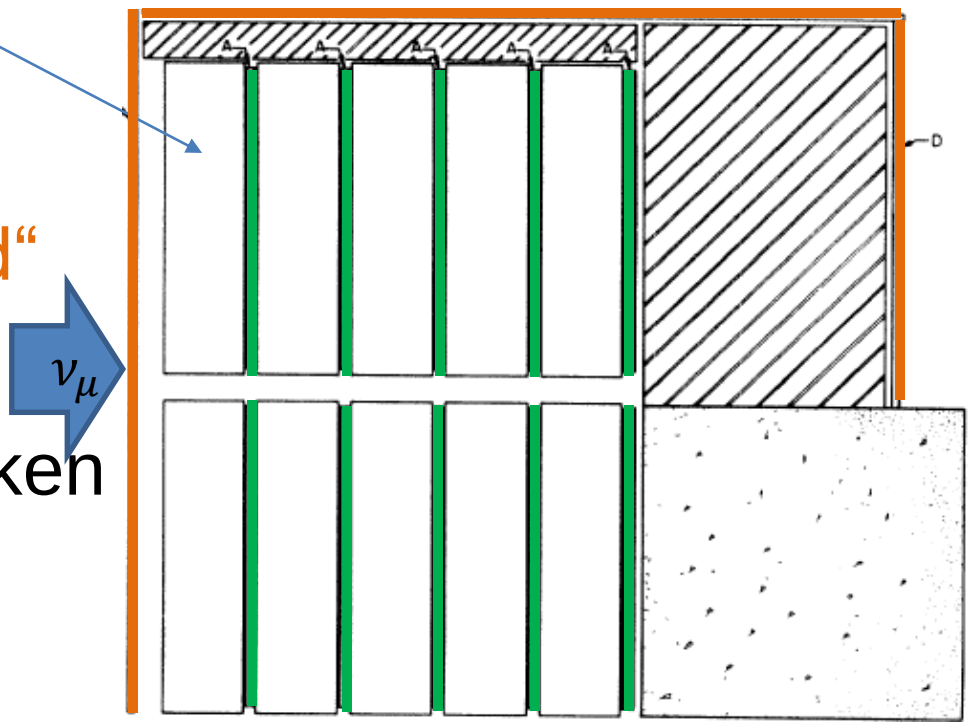
Funkenkammer

Kosmisches Myon

Grupen C, Shwartz BA. Particle detectors. New York, NY: Cambridge University Press; 2008.

Funkenkammer-Detektor

- 10 Funkenkammern à 1t
  - Je 9 Al-Platten
- Koinzidenz-Trigger
- Antikoinzidenz-“Schild“



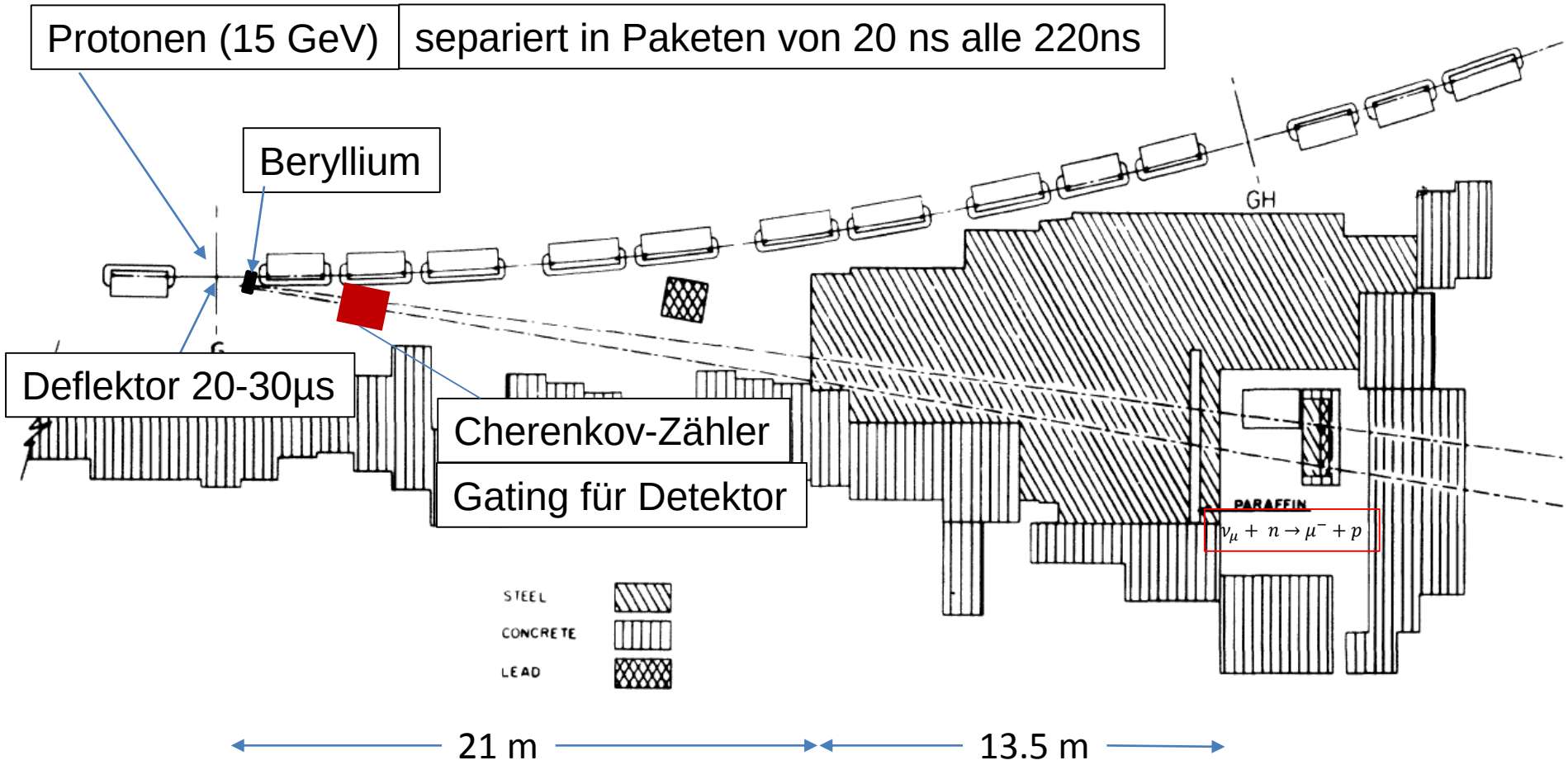
- Neutrinos wechselwirken in Aluminum

$$\nu_\mu + n \rightarrow p + \mu^-$$

Störquellen

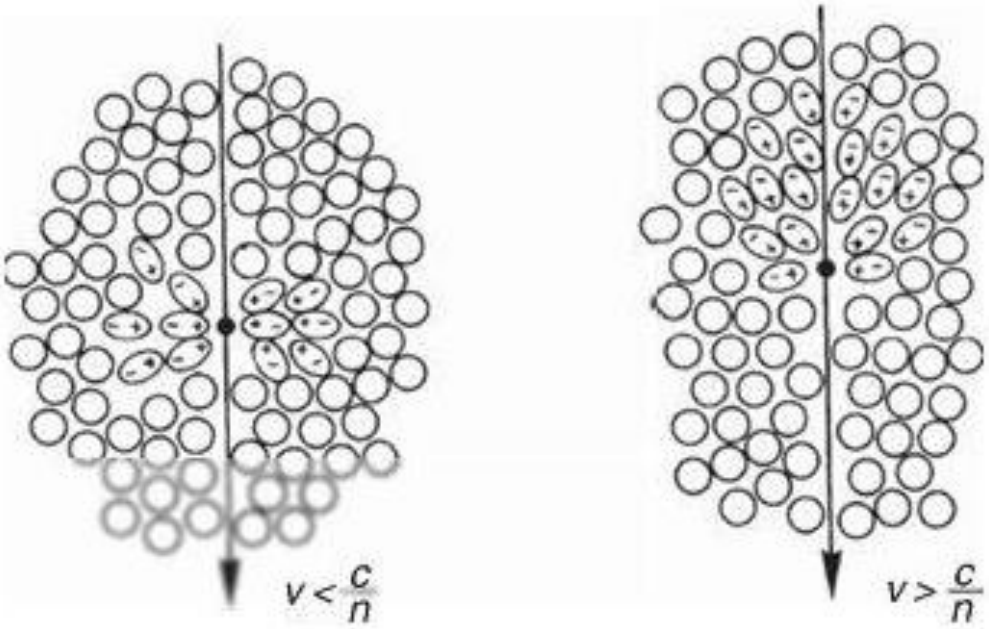
- Kosmische Strahlung
  - Myonen
- Neutronen
- Geladene Teilchen aus vorherigen Reaktionen
  - Myonen
  - Kaonen
  - Pionen

Das Experiment



Cherenkov-Zähler

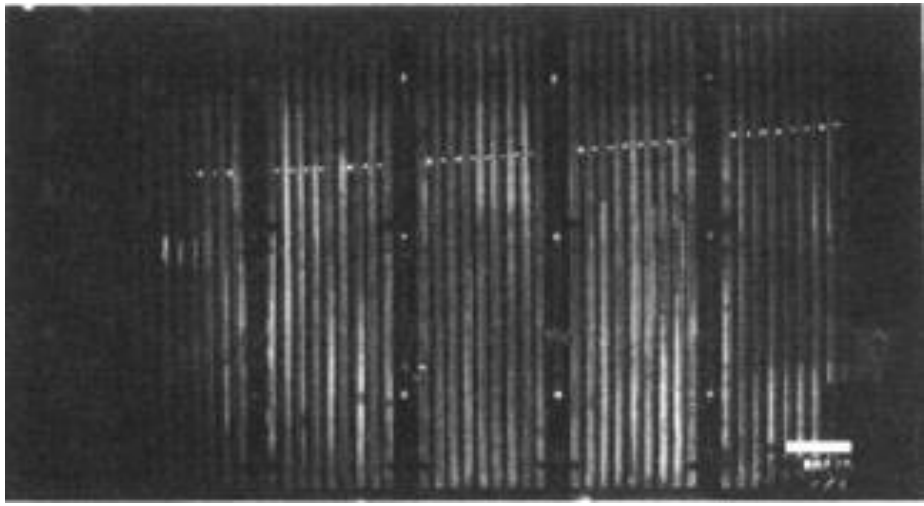
- Cherenkov-Strahlung
- Wenig Energieverlust des Teilchens



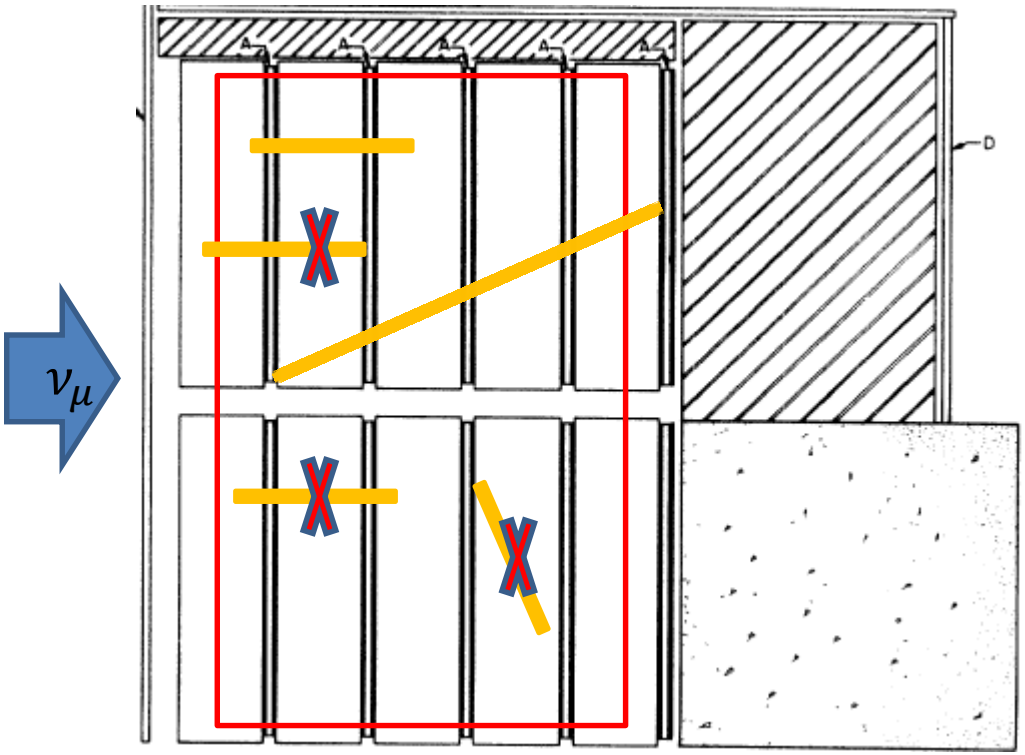
Auswertung

- Mehr als 300 Stunden reine Laufzeit
- 10 Trigger pro Stunde

- $3.48 \cdot 10^{17}$ Protonen
- 113 gültige Ereignisse



Auswertung

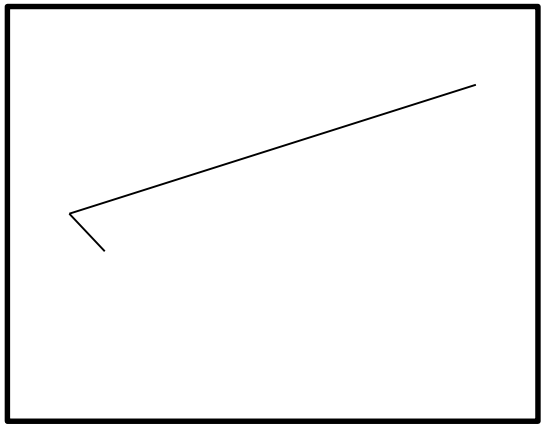


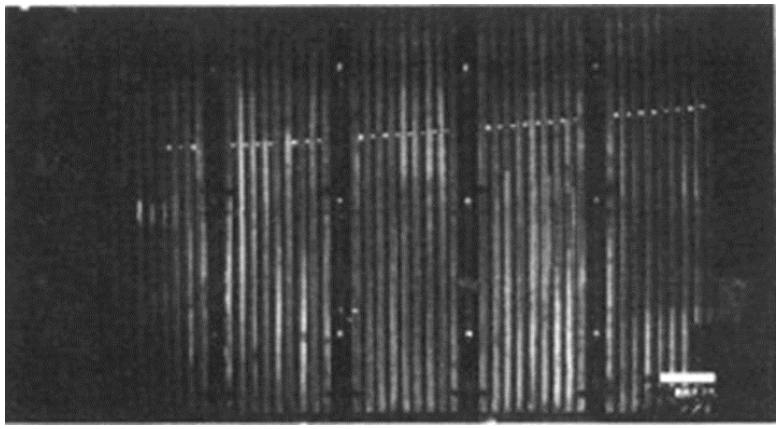
Ereignis-Klassifizierung

- Myonen wechselwirken kaum in Al
  - Gerader Durchgang
- Elektronen erzeugen Schauer
  - Viele Spuren
- Pionen wechselwirken
  - Mittlere freie Weglänge Pion in Al ~ 100cm

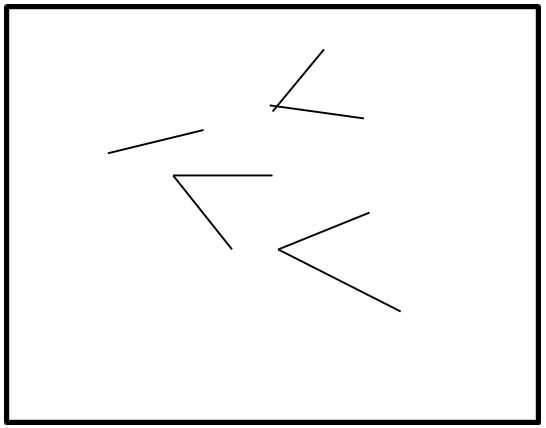
Ereignis-Klassifizierung

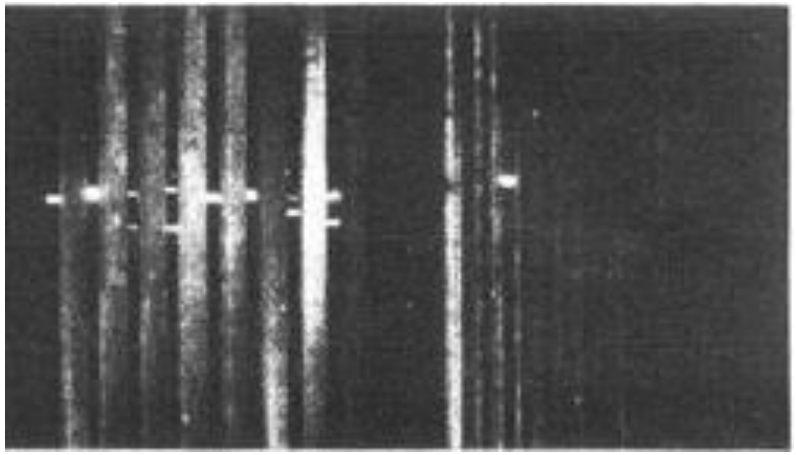
Myon
>300MeV





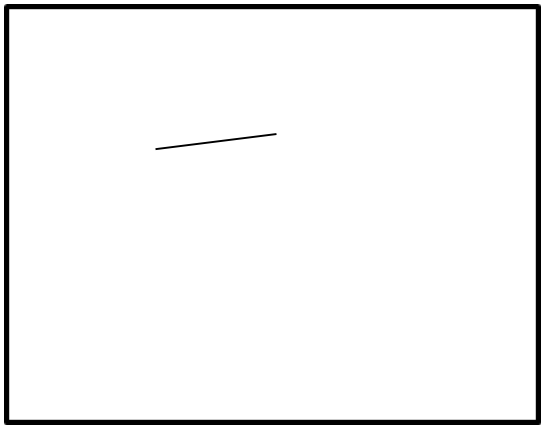
Elektron





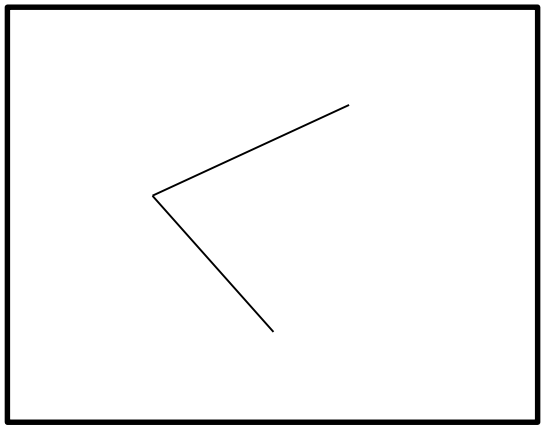
Ereignis-Klassifizierung

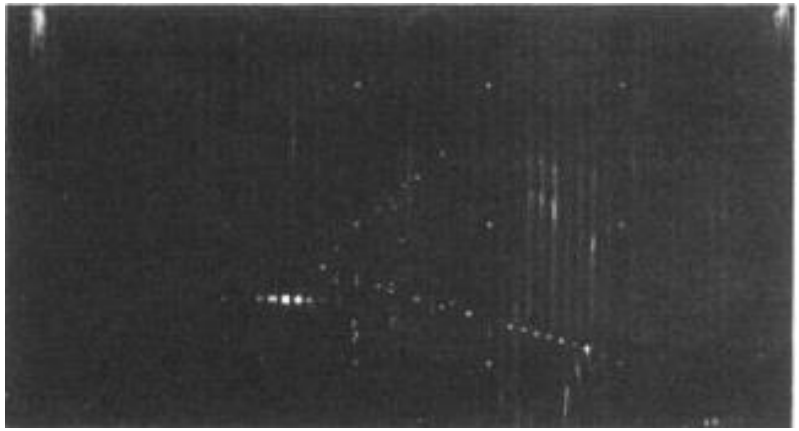
Myonen
<300MeV



Kein Bild

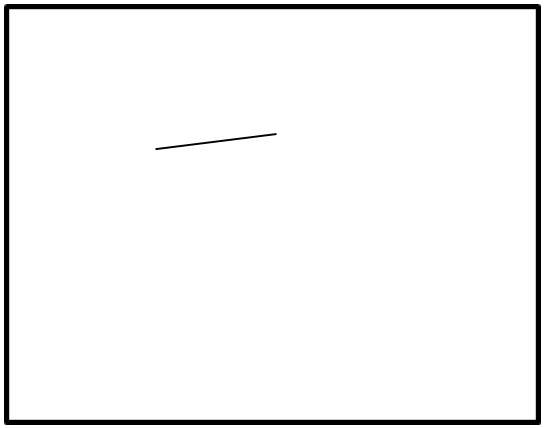
Vertex





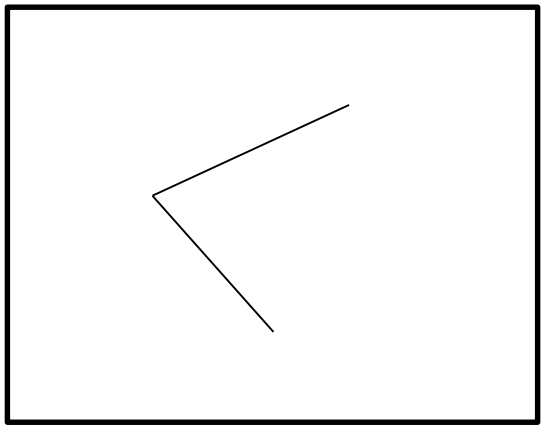
Ereignis-Klassifizierung

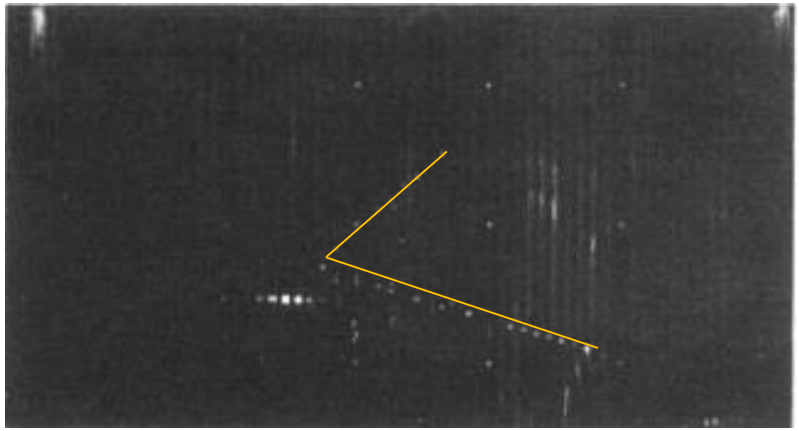
Myonen
<300MeV



Kein Bild

Vertex





Ereignis-Klassifizierung

- 113 Ereignisse
  - 49 short single tracks $p_\mu < 300\ MeV$
  - 34 „einzelne Myonen“ $p_\mu > 300\ MeV$
  - 22 Vertex-Ereignisse
  - 8 mögliche „Schauer“

Ausschluss Kosmischer Strahlung

- Test ohne Cherenkov-Zähler

➡ 80 Trigger pro Sekunde

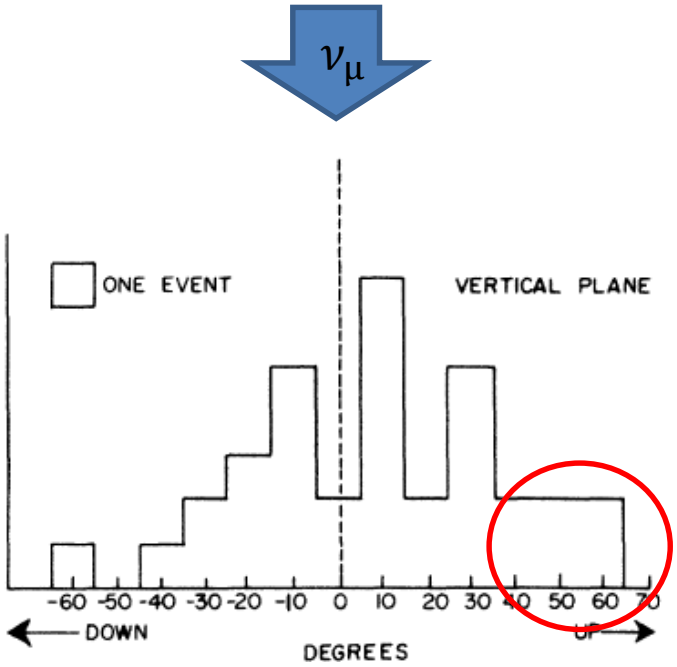
⬇

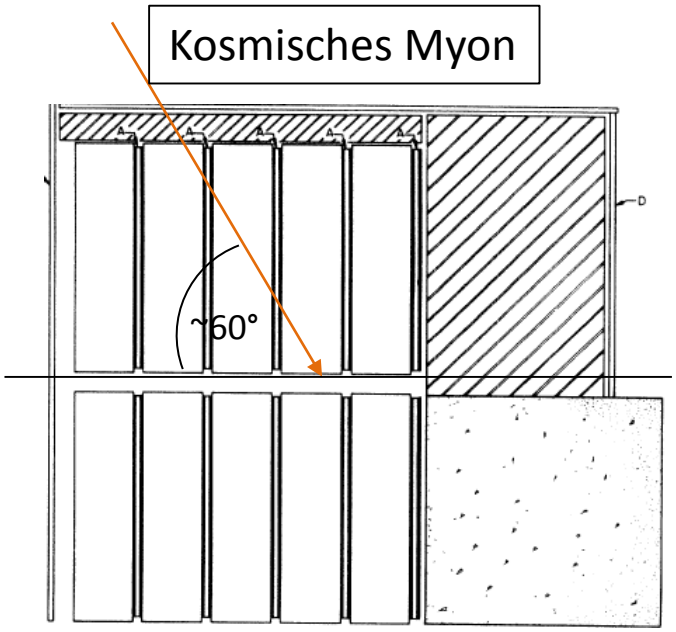
Vorher: 10 Trigger pro Stunde

- Detektor insgesamt 5.5s aktiv

➡ 5 ± 1 gültige Ereignisse durch kosmische Myonen

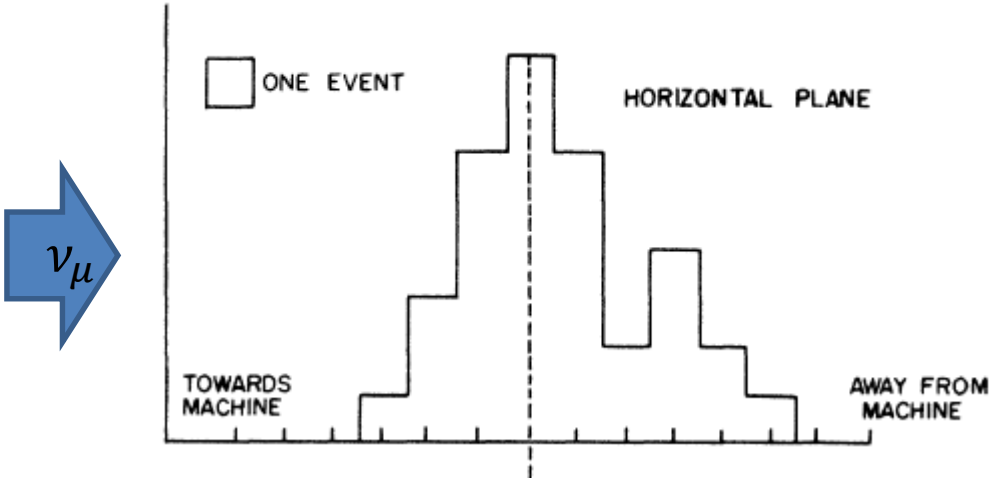
Ausschluss Kosmischer Strahlung





Ausschluss von Neutronen

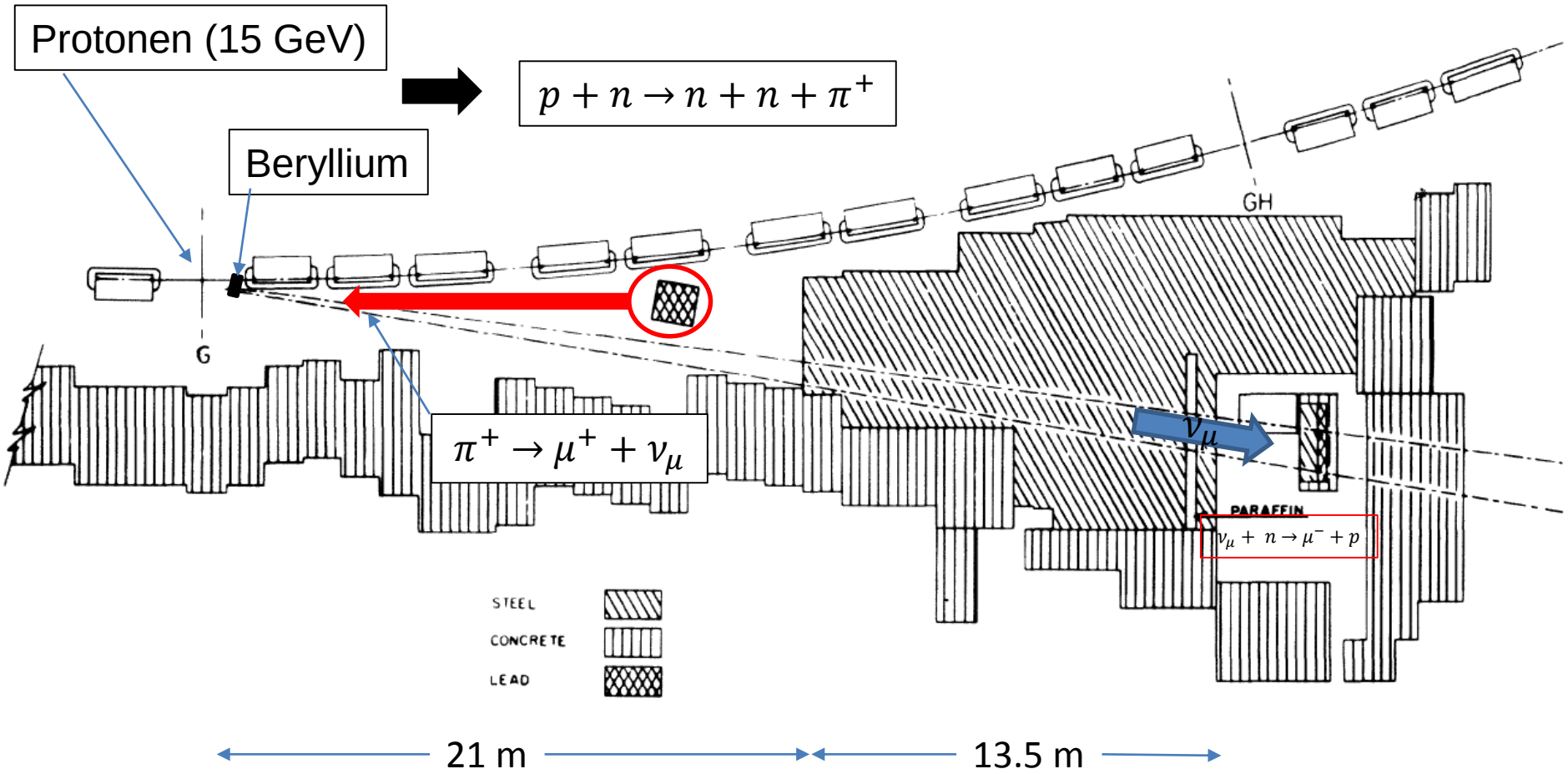
- Tendenz der Ereignisse zur letzten Funkenkammer
  - Aber: mittlere freie Weglänge in Al ~ 40cm



Ausschluss von Neutronen

- Tendenz der Ereignisse zur letzten Funkenkammer
  - Aber: mittlere freie Weglänge in Al ~ 40cm
- Keine Erhöhung der Ereigniszahl durch Verkürzung des Front-Schildes
- Kein Hinweis auf Neutronen von anderen Richtungen

Reaktionen durch Neutrinos?

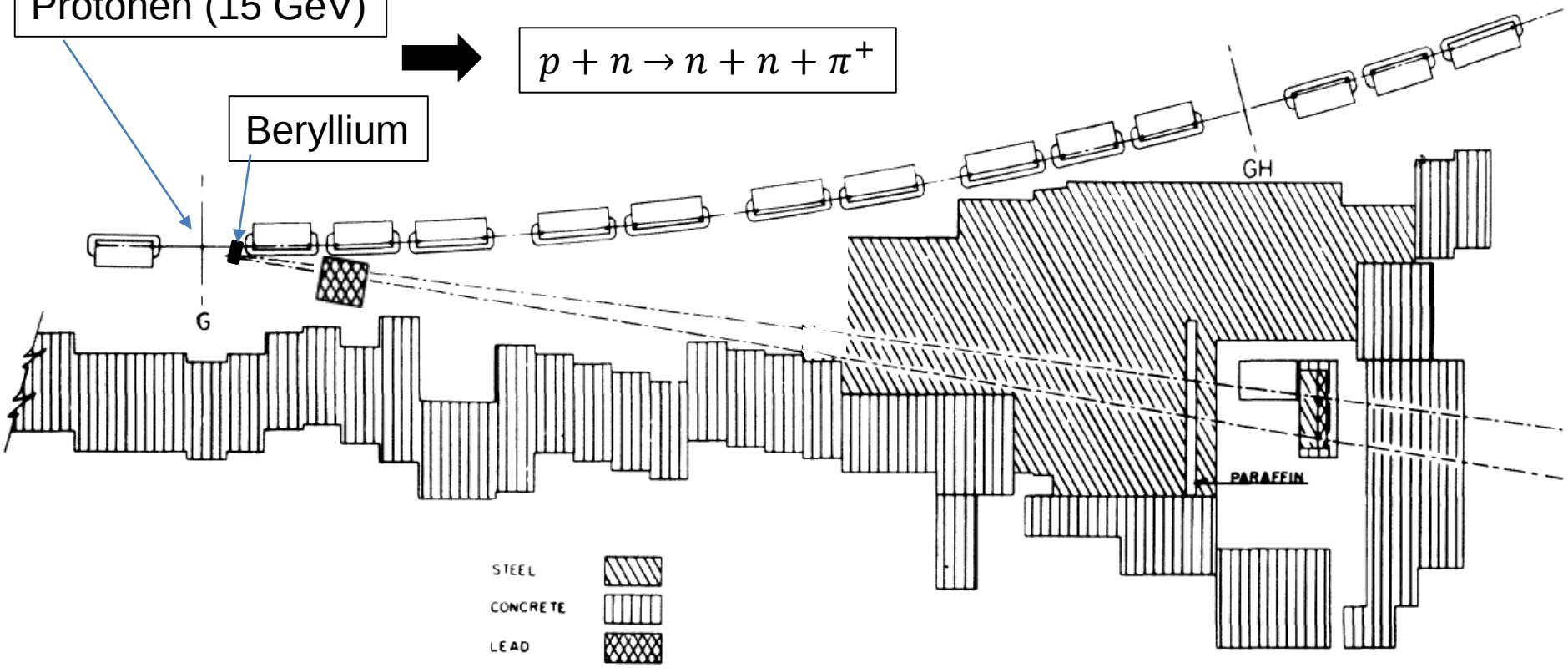


Reaktionen durch Neutrinos?

Protonen (15 GeV)

$$p + n \rightarrow n + n + \pi^+$$

Beryllium



21 m

13.5 m

Reaktionen durch Neutrinos?

- Abschwächung der Ereignisrate von

$$\frac{1.46 \pm 0.2}{10^{16} Protonen}$$

auf

$$\frac{0.3 \pm 0.2}{10^{16} Protonen}$$

- Reaktionen durch Zerfallsprodukte von Pionen (und Kaonen) ⟹ Neutrinos

Ergebnis

- 34 Myonen beobachtet
  - Davon 5 ± 1 kosmische Myonen
- Für $\nu_\mu = \nu_e$ etwa 29 Elektronen-Schauer
- 8 „Schauer“ beobachtet
  - 1 bis 2 durch Kaon-Zerfall

⇒ plausibelste Erklärung: $\boxed{\nu_\mu \neq \nu_e}$

Nobelpreis 1988

„für die Neutrinostrahlmethode und die Demonstration der Dublettstruktur der Leptonen durch die Entdeckung des Myonneutrinos“

Referenzen

- J.Beringer *et al.* (Particle Data Group), *Particle Physics Booklet* Phys. Rev. D **86**, 010001 (2012)
- G.Danby *et al*.: Phys. Rev. Lett. **9** (1962) 36.
- C. Grupen, *Teilchendetektoren*. Mannheim ; Leipzig ; Wien ; Zürich: BI-Wiss.-Verl., 1993.
- C. Grupen und B. A. Shwartz, *Particle detectors*, Bd. 26. New York, NY: Cambridge University Press, 2008.
- B. Povh, K. Rith, C. Scholz, F. Zetsche, und W. Rodejohann, *Teilchen und Kerne : Eine Einführung in die physikalischen Konzepte*. Berlin, Heidelberg: Springer Spektrum, 2009.
- N. Schmitz, *Neutrinophysik* : mit 23 Tabellen. Stuttgart: Teubner, 1997.
- M. D. Thomson, *Modern particle physics*. Cambridge [u.a.]: Cambridge University Press, 2013.
- http://de.wikipedia.org/wiki/Liste_der_Nobelpreisträger_für_Physik 08.11.2014

Anhang

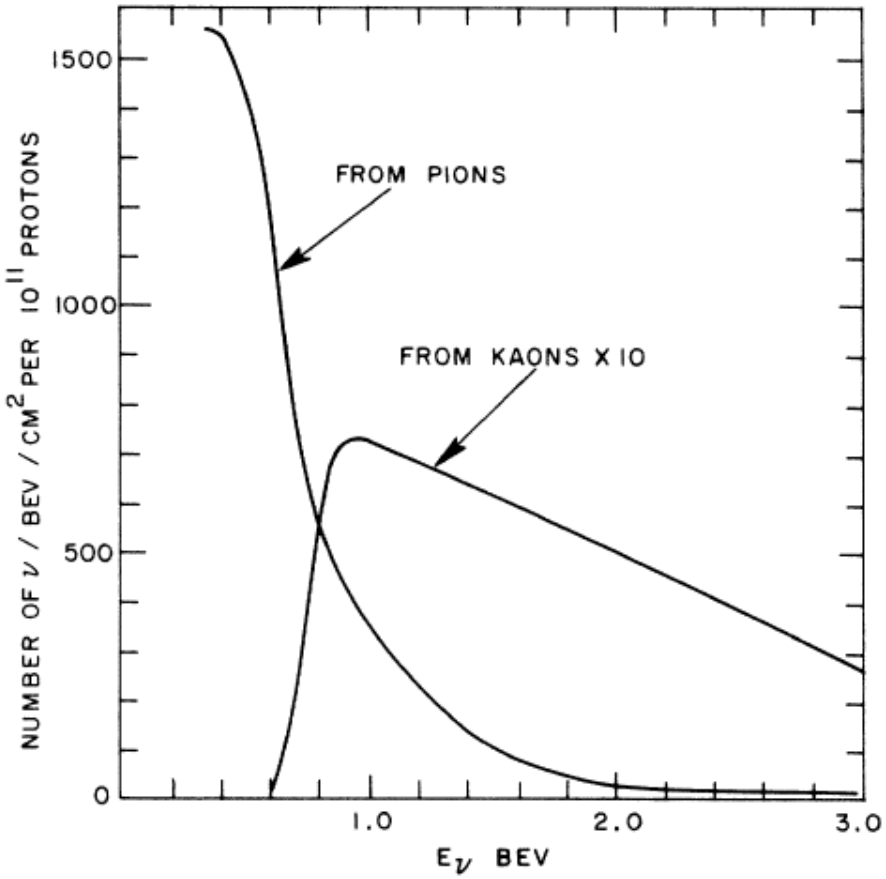


FIG. 2. Energy spectrum of neutrinos expected in the arrangement of Fig. 1 for 15-BeV protons on Be.

Anhang

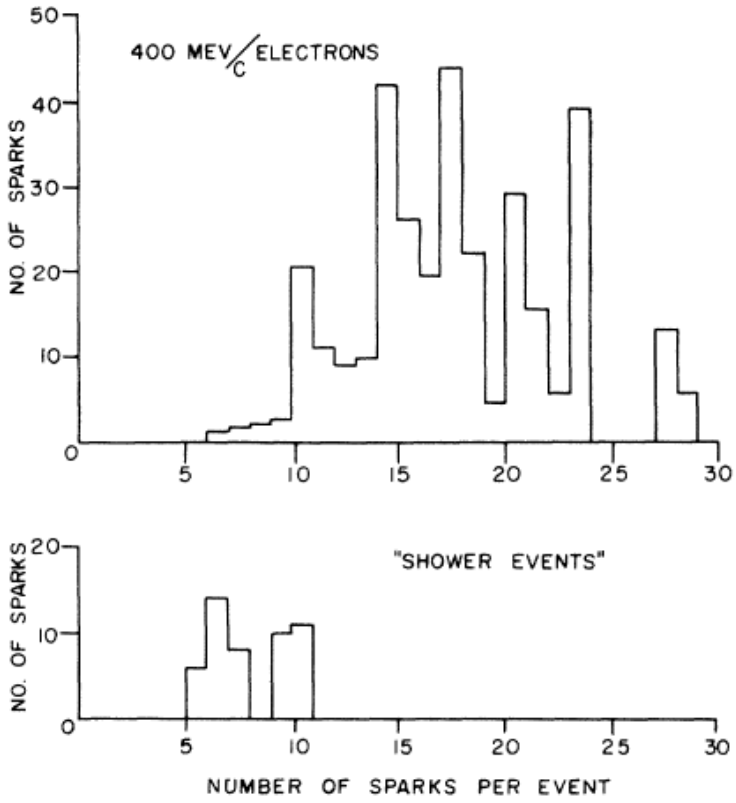


FIG. 9. Spark distribution for 400-MeV/c electrons normalized to expected number of showers. Also shown are the "shower" events.