

Einführung Datenanalyse

Nikolai Hartmann (slides von Uni Bonn)

LMU München

06. März 2023, Belle II International Masterclass

Was machen wir nun mit diesen Daten?

1. Sammeln die Signale
2. Rekonstruieren das Ereignis
3. Wiederholen dies so oft es geht

Warum reicht es nicht ein Event zu finden?

1. Sammeln die Signale
2. Rekonstruieren das Ereignis
3. Wiederholen dies so oft es geht

Warum reicht es nicht ein Event zu finden?

- Es gibt statistische Schwankungen
- Jede Messung beinhaltet Messfehler
- Je mehr Messpunkte desto kleiner der Fehler

WIE VIELE FARBEN HAT EIN QUARK?

- Letztes mal haben wir gelernt, wie der R-Wert und damit die Anzahl der Quark-Farben berechnet werden kann.

WIE VIELE FARBEN HAT EIN QUARK?

- Letztes mal haben wir gelernt, wie der R-Wert und damit die Anzahl der Quark-Farben berechnet werden kann.

$$R = \frac{N(\text{leichte Quarks})}{\frac{1}{2} \cdot [N(\text{Myonen}) + N(\text{Tauonen})]} = N_C \cdot \frac{10}{9}$$

WIE VIELE FARBEN HAT EIN QUARK?

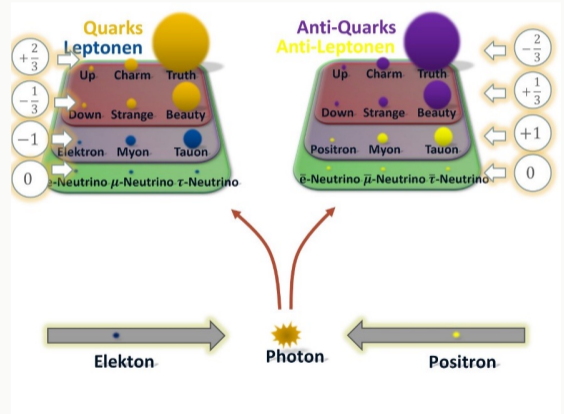
- Letztes mal haben wir gelernt, wie der R-Wert und damit die Anzahl der Quark-Farben berechnet werden kann.

$$R = \frac{N(\text{leichte Quarks})}{\frac{1}{2} \cdot [N(\text{Myonen}) + N(\text{Tauonen})]} = N_C \cdot \frac{10}{9}$$

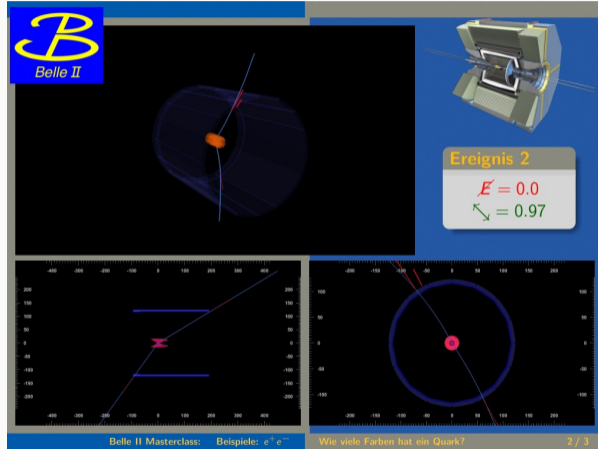
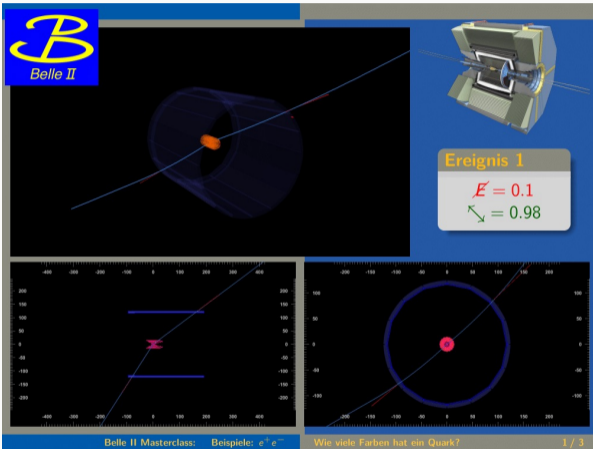
- Um die Anzahl der Farben zu bestimmen, müssen wir die Anzahl der verschiedenen Ereignisse bestimmen.
- Deswegen:
 - Wollen wir lernen, die einzelnen Ereignisse im Detektor voneinander zu unterscheiden

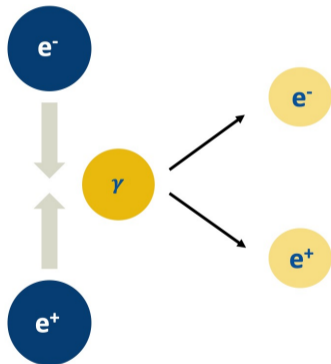
WAS PASSIERT HIER EIGENTLICH GENAU?

- $e^+e^- \rightarrow$ „reine Energie“ \rightarrow Teilchen/Antiteilchen
- Leptonpaare:
 - **Elektron-Positron** Ereignisse
 - **Myon-Antimyon** Ereignisse
 - **Tauon-Antitauon** Ereignisse
- Quarkpaare:
 - **Leichte Quark-Antiquark** Ereignisse
 - **$b\bar{b}$ Quark** Ereignisse



Elektron-Positron Ereignisse





- **Zwei** klar zu erkennende **Spuren**
- Energiedeposition im Kalorimeter (rotes Signal nahe der Spur)

Warum fehlen Elektron/Positron- Ereignisse in unserer Formel für den R-Wert?

$$R = \frac{N(\text{leichte Quarks})}{\frac{1}{2} \cdot [N(\text{Myonen}) + N(\text{Tauonen})]}$$

Warum fehlen Elektron/Positron- Ereignisse in unserer Formel für den R-Wert?

$$R = \frac{N(e^+e^- \rightarrow \gamma \rightarrow \bar{u}u, \bar{d}d, \bar{s}s, \bar{c}c)}{\frac{1}{2} [N(e^+e^- \rightarrow \gamma \rightarrow \mu^+\mu^-) + N(e^+e^- \rightarrow \gamma \rightarrow \tau^+\tau^-)]}$$

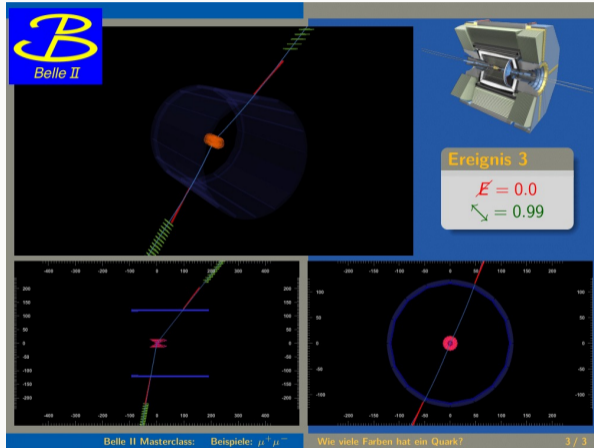
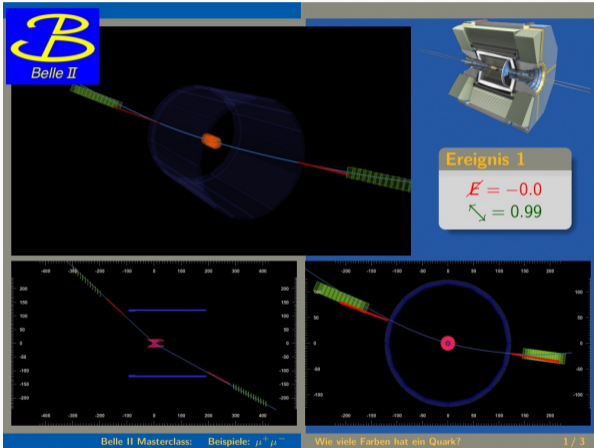
Warum fehlen Elektron/Positron- Ereignisse in unserer Formel für den R-Wert?

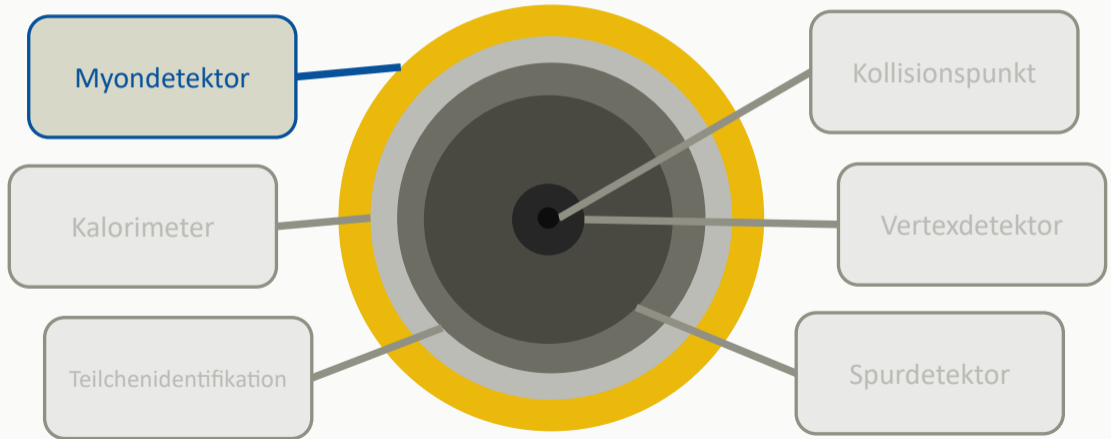
$$R = \frac{N(e^+e^- \rightarrow \gamma \rightarrow \bar{u}u, \bar{d}d, \bar{s}s, \bar{c}c)}{\frac{1}{2} [N(e^+e^- \rightarrow \gamma \rightarrow \mu^+\mu^-) + N(e^+e^- \rightarrow \gamma \rightarrow \tau^+\tau^-)]}$$

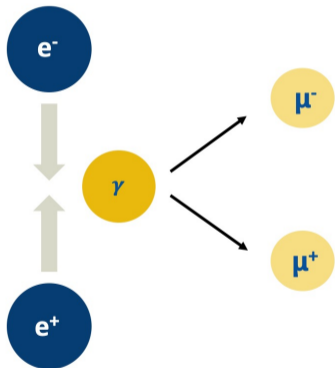
→ Häufig Elektron/Positron- Streuung

Muon-Antimuon Ereignisse

MYON/ANTIMYON-EREIGNISSE

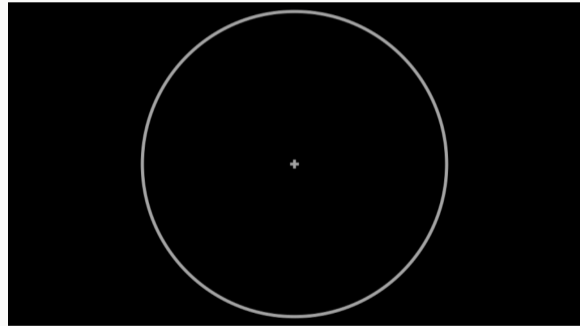
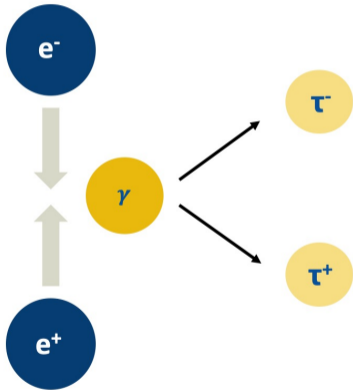


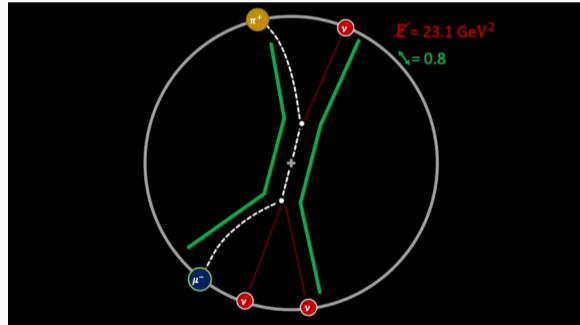
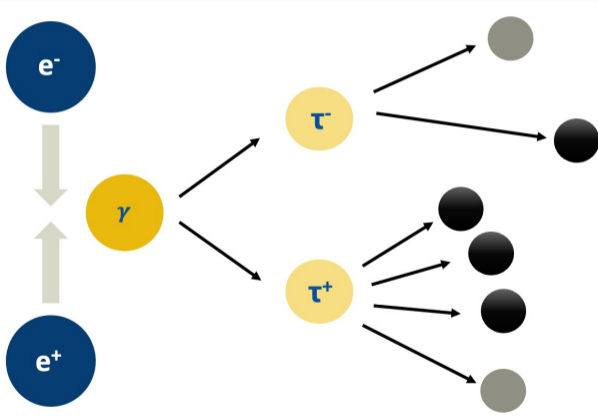




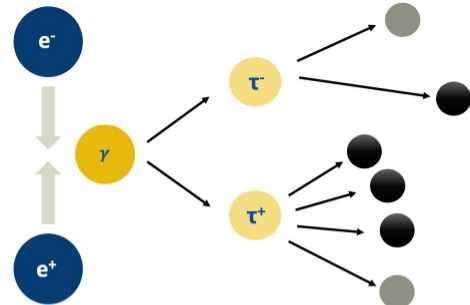
- **Zwei** klar zu erkennende **Spuren**
- Energiedeposition im Kalorimeter (rotes Signal nahe der Spur)
- Energiedeposition im Myondetektor (**grünes Signal nahe der Spur!**)

Tauon/Antitauon Ereignisse

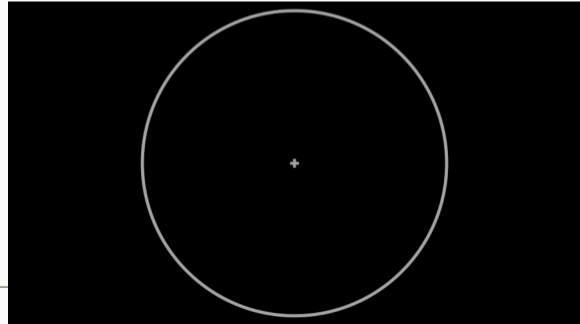
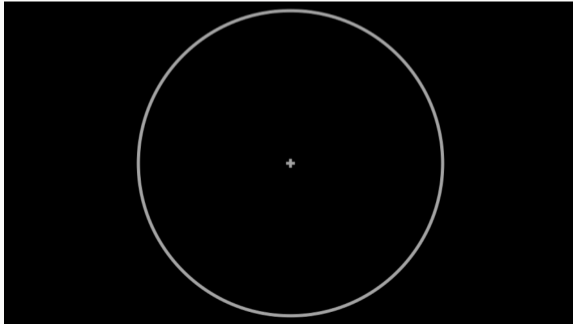




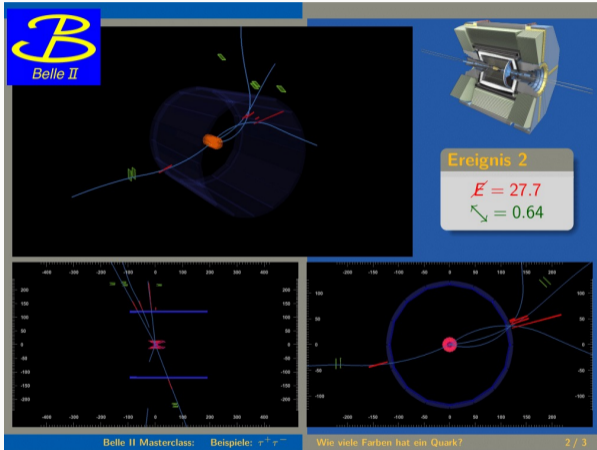
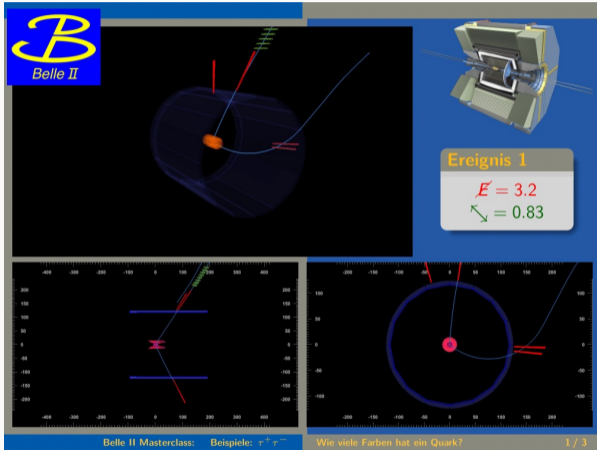
- Die Tauonen **zerfallen** kurz nach ihrer Entstehung im Detektor.
- Gibt mehrere Zerfallsmöglichkeiten:
- In geladene Leptonen + Neutrinos

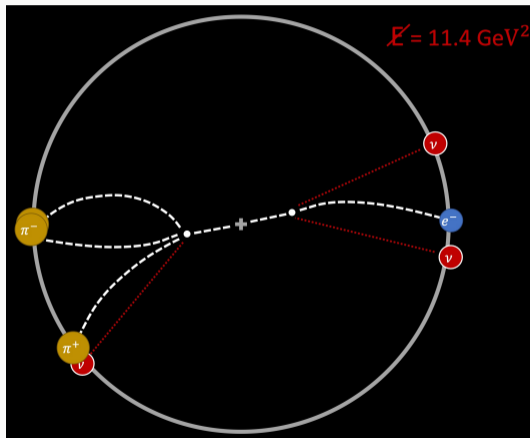


- In leichte Quarks + Neutrinos

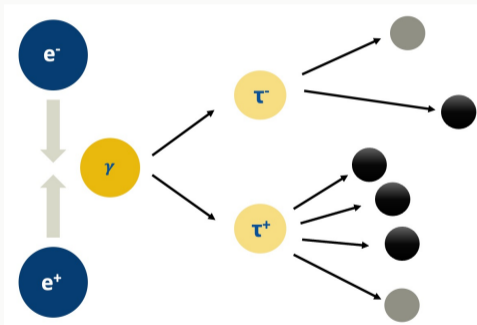


TAUON/ANTITAUON-EREIGNISSE





- **Neutrinos wechselwirken nicht** und sind nicht detektierbar \rightarrow Teilchen gehen verloren
- Wir kennen die Energie im Beschleuniger (Anfangszustand)
- **Energie-/Impulserhaltung $\rightarrow \cancel{E}$**

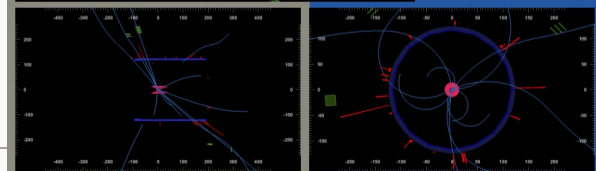
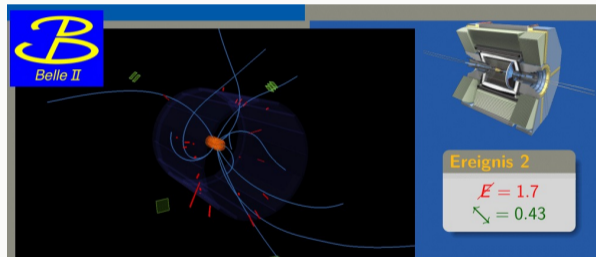
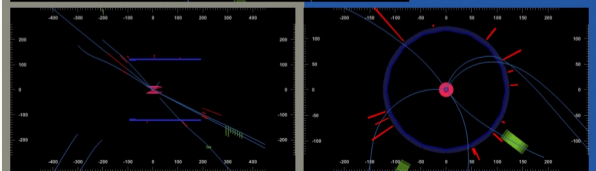
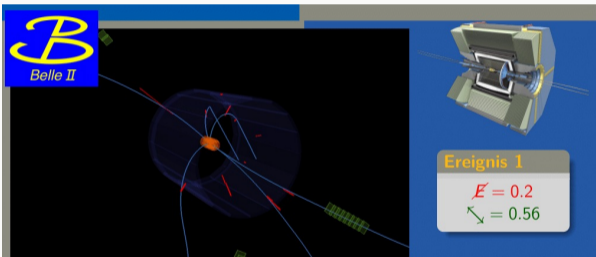
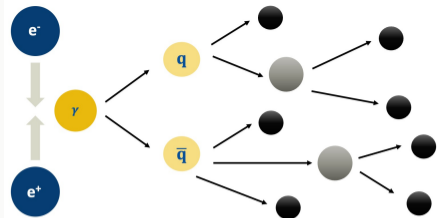


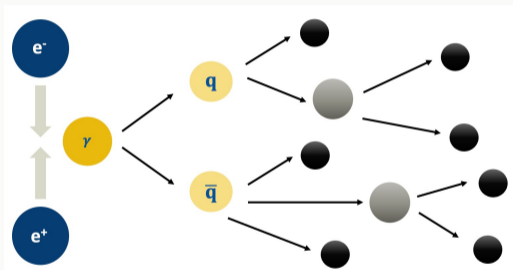
- Zerfälle führen zu **keiner einheitlichen Spuranzahl**
 - **2 oder 4 (+ Gabelstruktur)** am häufigsten
- Abhängig vom Zerfall Energiedeposition in Kalorimeter und Myondetektor
- **Hohe fehlende Energie** (durch beim Zerfall entstehende Neutrinos)

Leichte Quark/Antiquark Ereignisse

LEICHTE QUARK/ANTIQUARK-EREIGNISSE

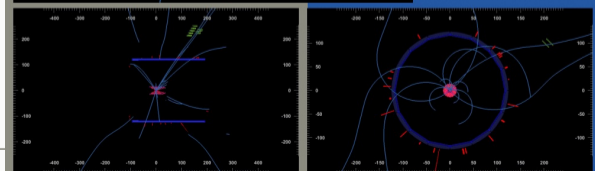
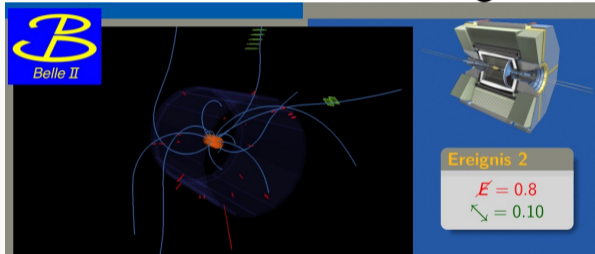
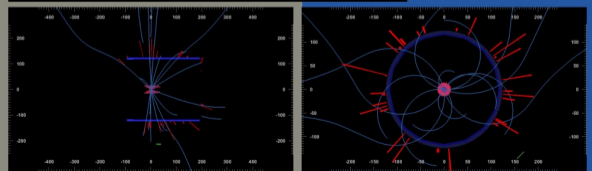
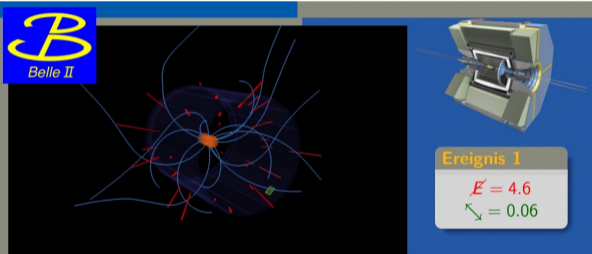
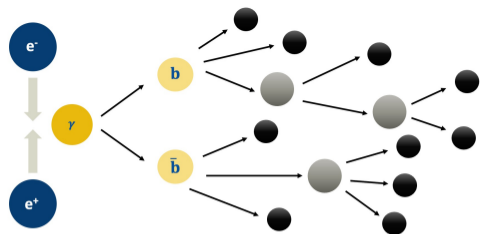
- Zerfall in viele mögliche Endzustände



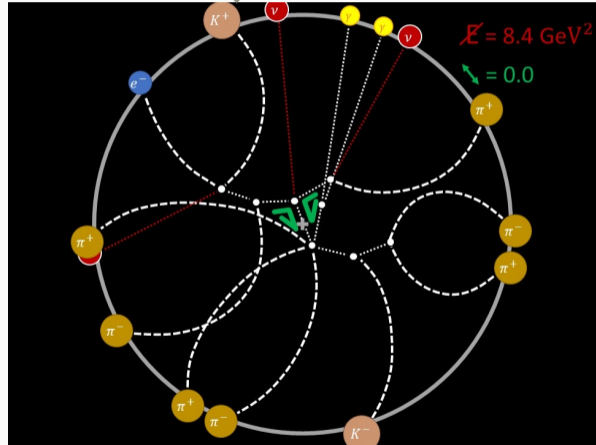
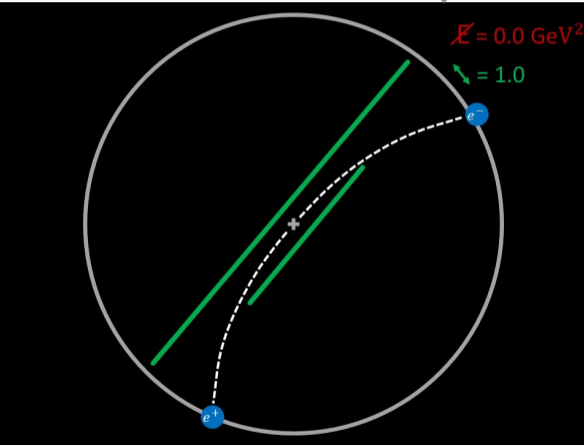


- Zerfallskaskaden führen zu **keiner einheitlichen Spuranzahl**
- **Hohe Anzahl** häufig
- Weniger fehlende Energie durch weniger Neutrinos
- Zerfälle in mehr verschiedene Richtungen als bei den Leptonen

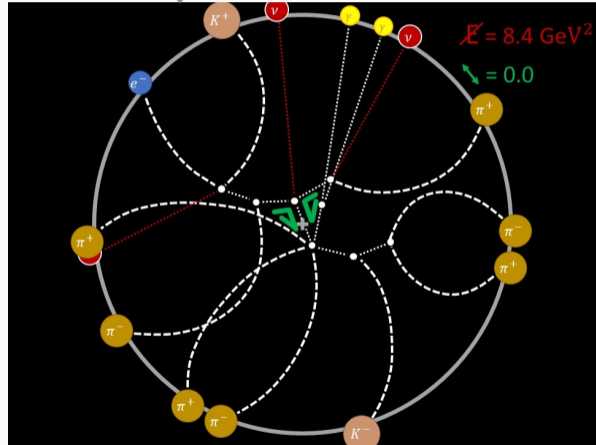
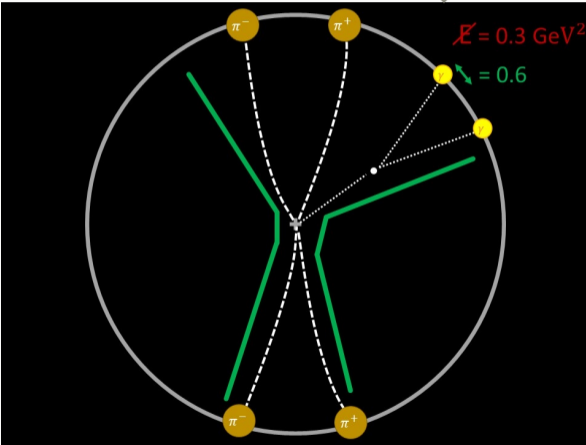
b-Quark/Anti-b-Quark Ereignisse



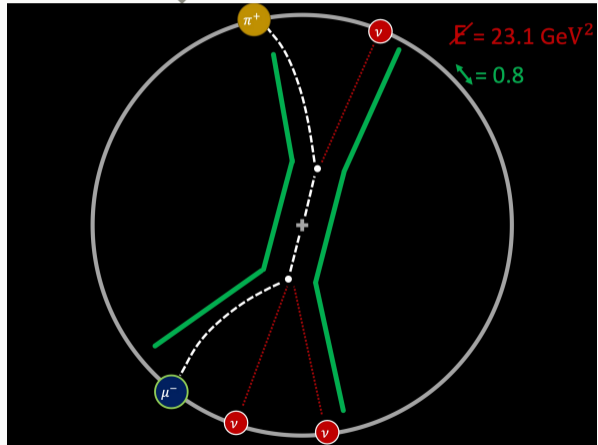
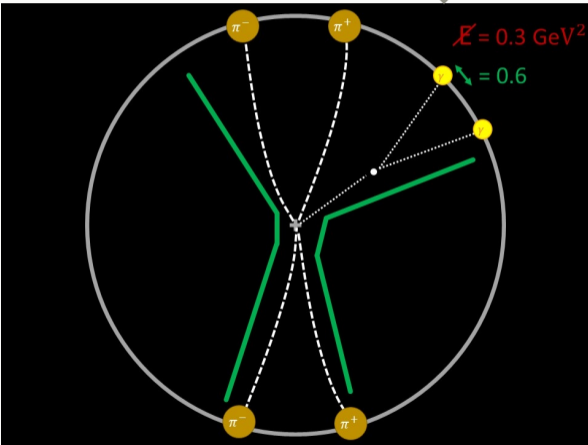
GERADLINIGKEIT: ↗
ELEKTRON/POSITRON VS b-QUARKS

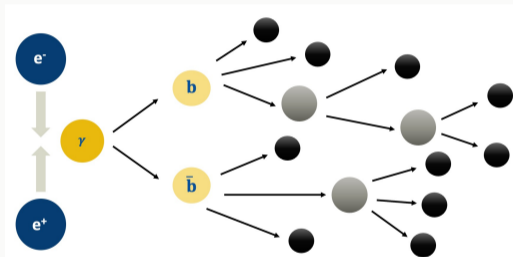


GERADLINIGKEIT: ↗
LEICHTE QUARKS VS b-QUARKS



GERADLINIGKEIT: ↗
LEICHTE QUARKS VS TAUONEN





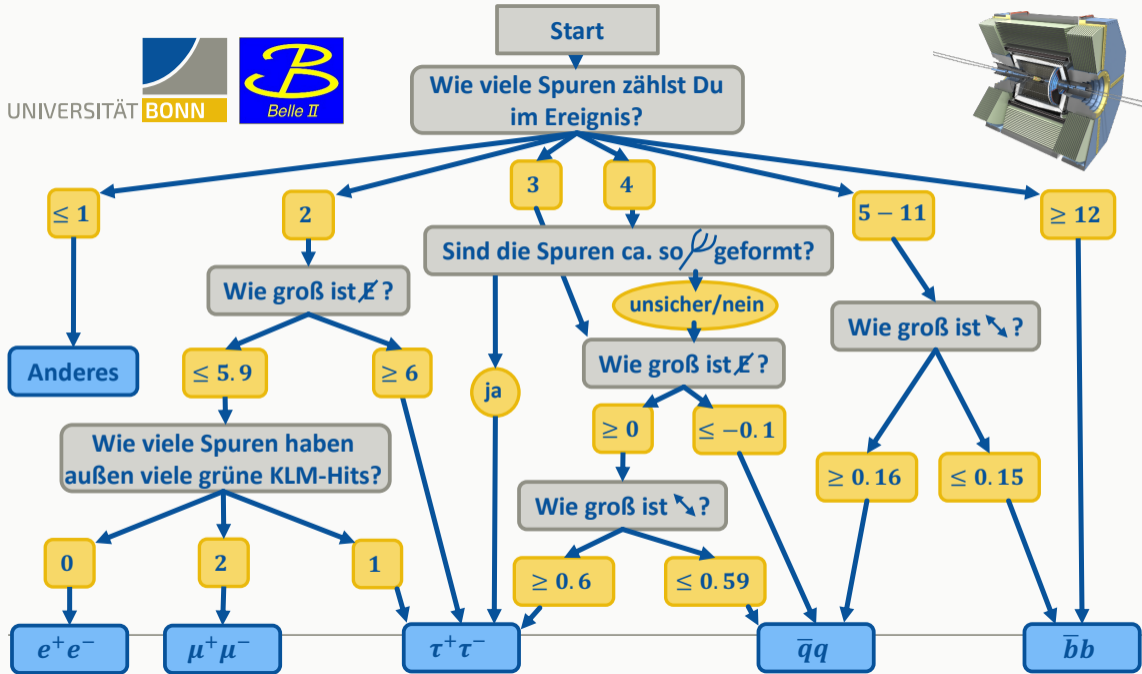
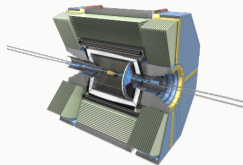
- Schwerstmögliche Teilchen
- Zerfallen in viele Teilchen und **alle Richtungen**
- Viel Energie \rightarrow viele Teilchen \rightarrow **viele Spuren**
- **Niedrige Geradlinigkeit** ↘

b-Quark- Antiquark- Ereignisse sind auch nicht in der R-Wert Formel enthalten!

$$R = \frac{N(e^+e^- \rightarrow \gamma \rightarrow \bar{u}u, \bar{d}d, \bar{s}s, \bar{c}c)}{\frac{1}{2} [N(e^+e^- \rightarrow \gamma \rightarrow \mu^+\mu^-) + N(e^+e^- \rightarrow \gamma \rightarrow \tau^+\tau^-)]}$$

→ Belle-II ist „B-Fabrik“: Produziert häufig schwere „B-Mesonen“ mit b-Quarks
(Kollisionsenergie des SuperKEKB- Beschleunigers „auf Resonanz eingestellt“)

NOCHMAL ALLES IM ÜBERBLICK



Ihr seid an der Reihe!