

Demo zur Datenanalyse

Thomas Lück

November 5, 2020



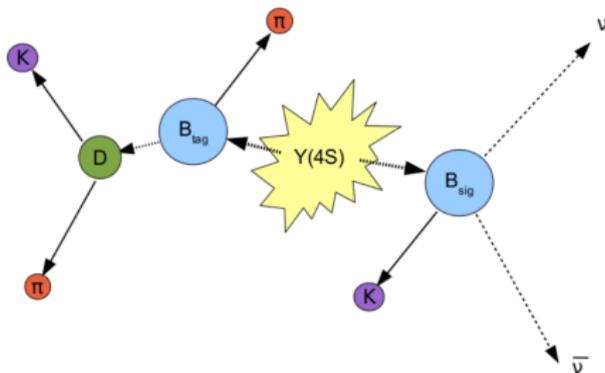
Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



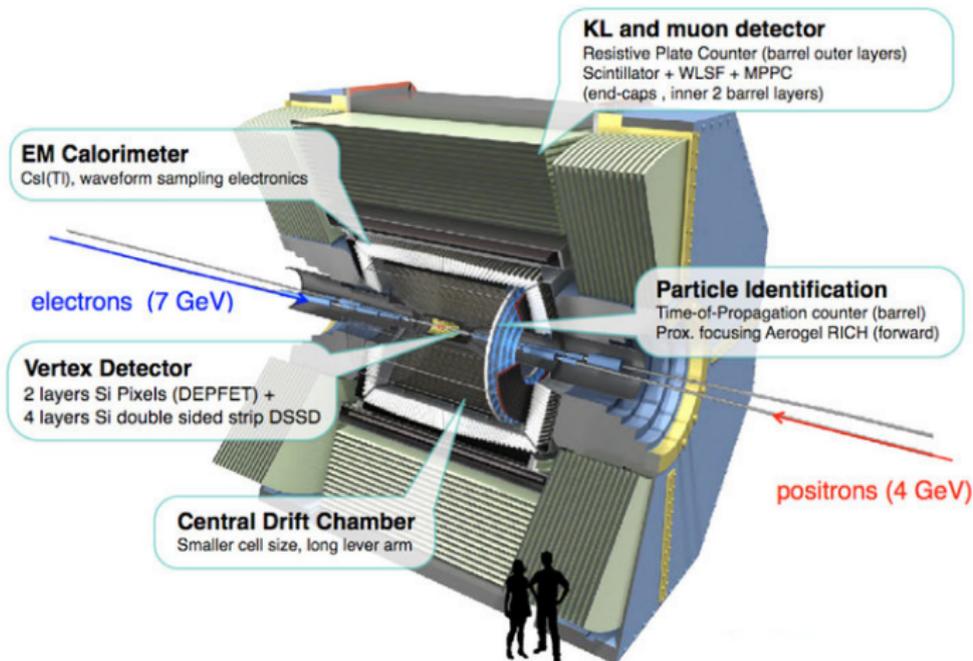
- Einführung
- Analysetechniken
- Einführung in die Onlineanalyse
- Demonstration der Onlineanalyse
- Zusammenfassung

Einführung

- Elektronen und Positronen werden innerhalb vom Belle II Detektor zur Kollision gebracht
- diese annihilieren und erzeugen neue Teilchen, wie z.B.
 $e^+e^- \rightarrow \Upsilon(4S)$
- jede Kollision bezeichnen wir als **Ereignis** (event)
- die meisten erzeugten Teilchen zerfallen sofort wieder (Flugweite $< 200\mu m$) in "stabile" Teilchen ($e, \mu, \pi, \rho, K, \gamma, \nu$)
- wir sehen also nur die Zerfallsprodukte von der eigentlichen Reaktion



- die Zerfallsprodukte fliegen dann durch den Belle II Detektor und hinterlassen Signale (hits) in den Subdetektoren



- die Signale werden dann durch einen speziellen Algorithmus rekonstruiert

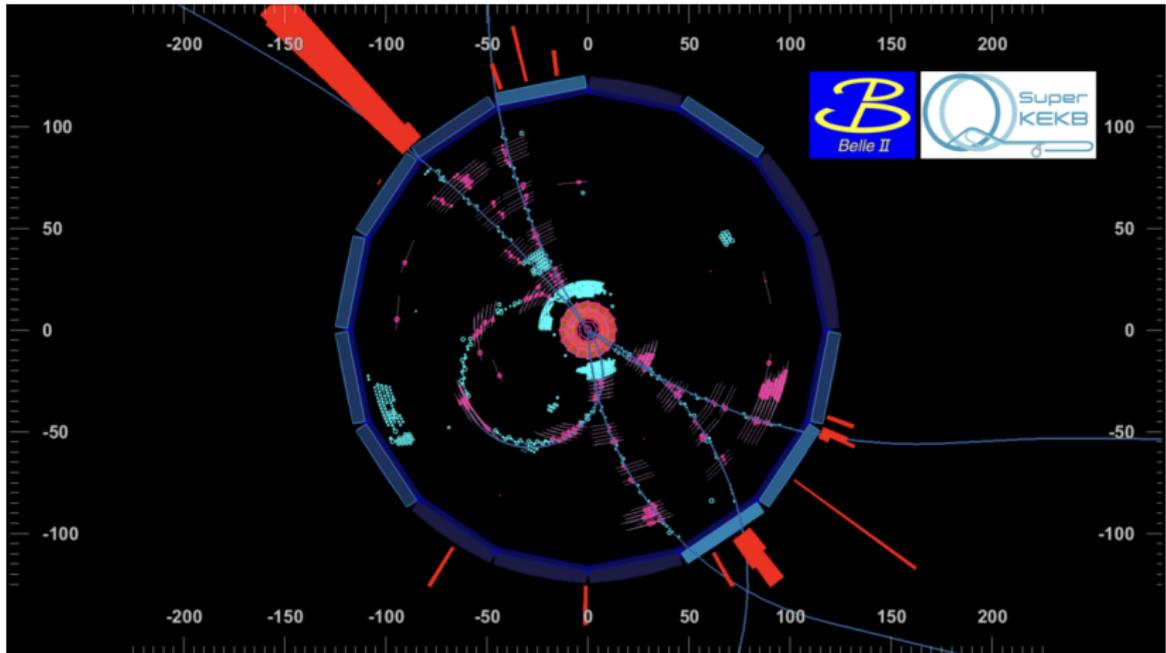
Geladene Teilchen

- Einzelne Signale (hits) werden zu Spuren zusammengefügt
- aus der Krümmung der Spur wird der Impuls bestimmt
- aus Richtung der Krümmung (links, rechts) wird Ladung bestimmt
- aus Energieverlust der Teilchen und Messung des Cherenkov-Winkel wird die wahrscheinliche Teilchenart abgeleitet

Neutrale Teilchen

- aus den Signalen im Kalorimeter wird die deponierte Energie bestimmt
- Dies ist der Startpunkt einer jeden Analyse

Beispiel eines rekonstruierten Ereignis in Belle II



Was wir wissen

- für geladene Teilchen (Spuren) kennen wir Impuls, deren Ladung, und die wahrscheinliche Teilchenart (nicht immer eindeutig)
- wir wissen für neutrale Teilchen (hauptsächlich Photonen) wo und wieviel Energie im Kalorimeter deponiert wurde

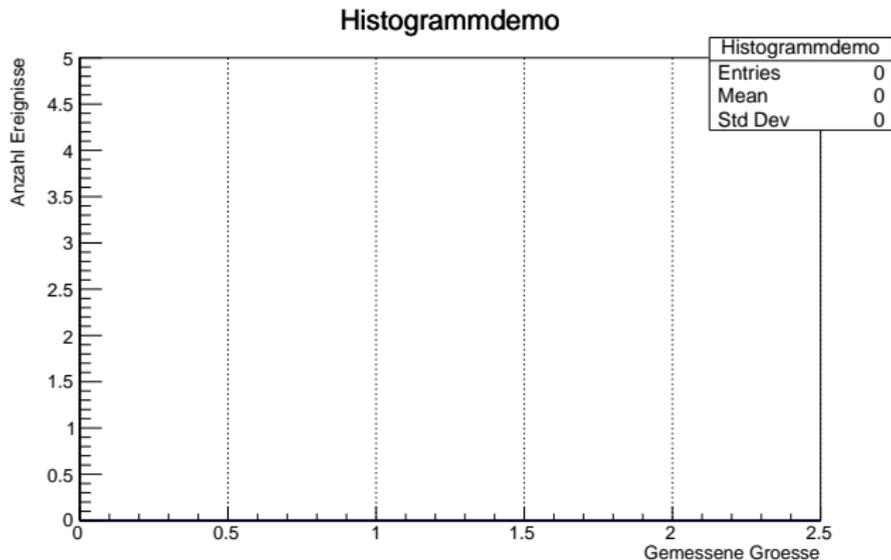
Was wir nicht wissen

- von welchem Zerfall stammen die aufgezeichneten Teilchen: War es ein für uns interessanter Zerfall (**Signal**), oder ein uninteressanter Zerfall (**Untergrund**).
- **Aufgabe der Analyse ist es diese Information zu interpretieren, und den ursprünglichen Zerfall zu rekonstruieren.**

- einzelne Messungen, z.B. der Masse, sind sehr ungenau
 - Misrekonstruktion: der Zufall wurde falsch Rekonstruiert
 - Messungengenauigkeiten: Impuls und Energie können nur mit einer bestimmten Genauigkeit bestimmt werden
 - Quantennatur von Teilchen: Zufallskomponente in Teilchenzerfällen
 - das Ereignis enthält gar kein Signal
- deshalb statistische Analysen: das heisst man misst eine Größe sehr oft (oft mehrere Millionen mal)
- jede Messung (Ereignis) liefert ein Ergebnis, woraus sich die Verteilung der Ergebnisse ergibt
- daraus können wir Informationen extrahieren
- zu den Verteilungen tragen üblicherweise Signal und Untergrund bei
- Form für Signal und Untergrund sind üblicherweise unterschiedlich

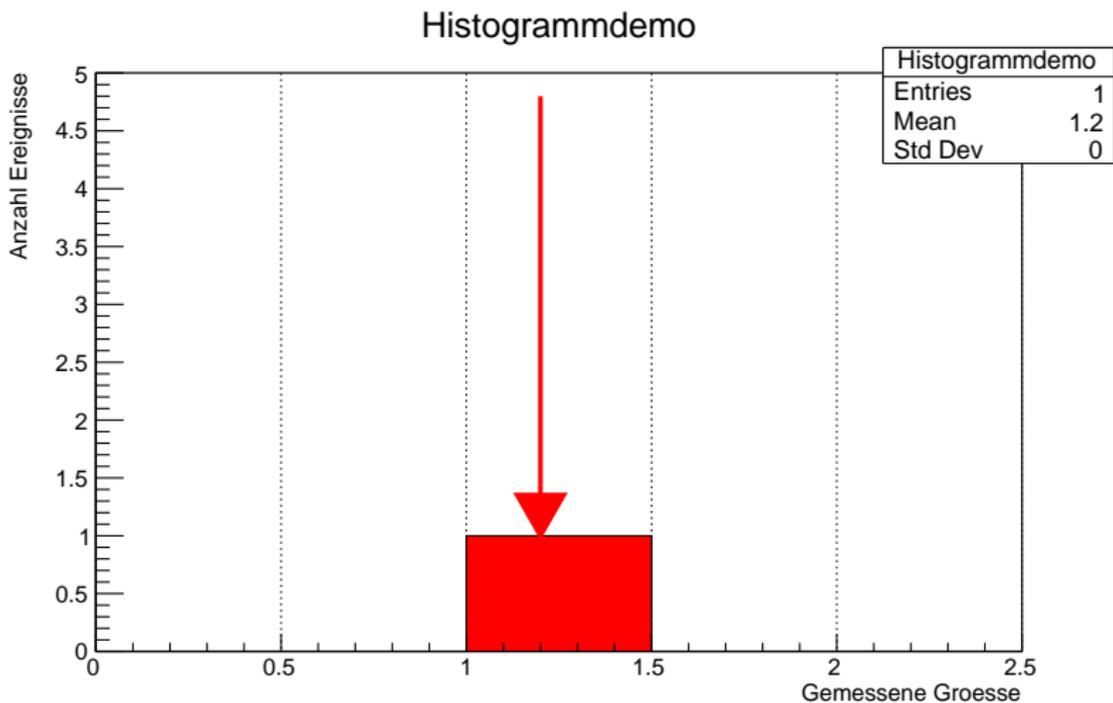
Histogramme

- x-Achse aufgetragen: gemessener Wert, unterteilt in Intervalle (bins)
- auf der y-Achse aufgetragen die Anzahl der Aufgetretenen Messungen im entsprechenden Intervall
- folgendes Beispiel: 5 Intervalle von 0 bis 2.5, Messwerte: 1.20; 0.54; 1.30; 2.10; 1.80; 1.30; 2.40



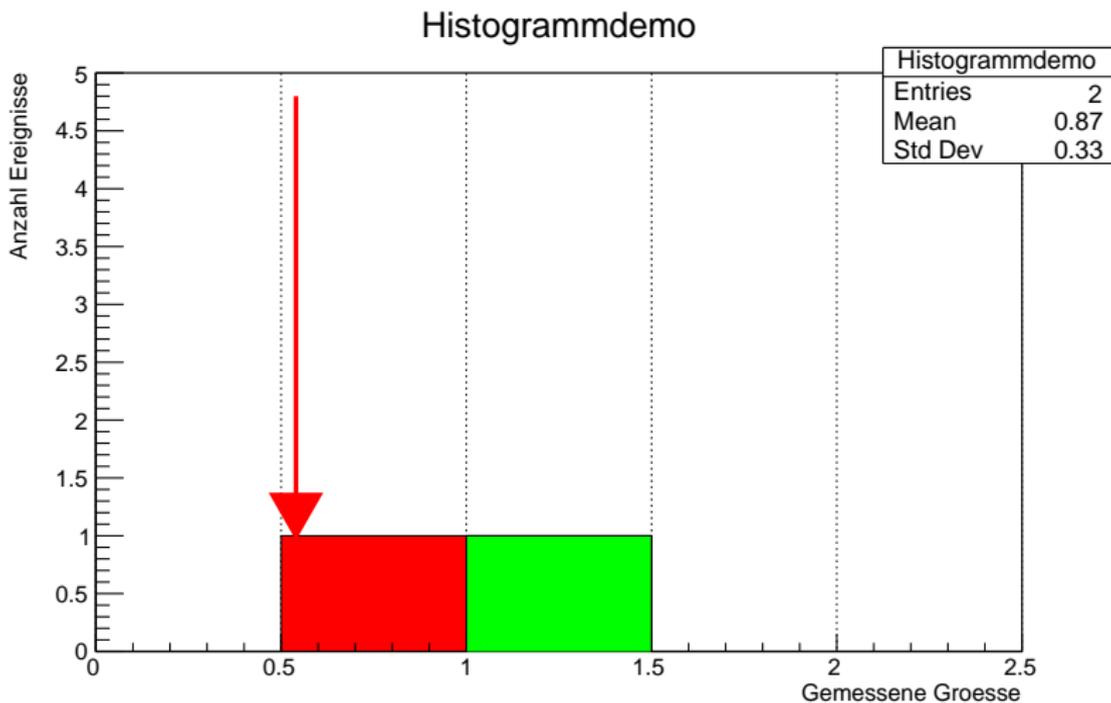
Histogramm-Demo: Histogramm füllen

- Messwerte: 1.20; 0.54; 1.30; 2.10; 1.80; 1.30; 2.40



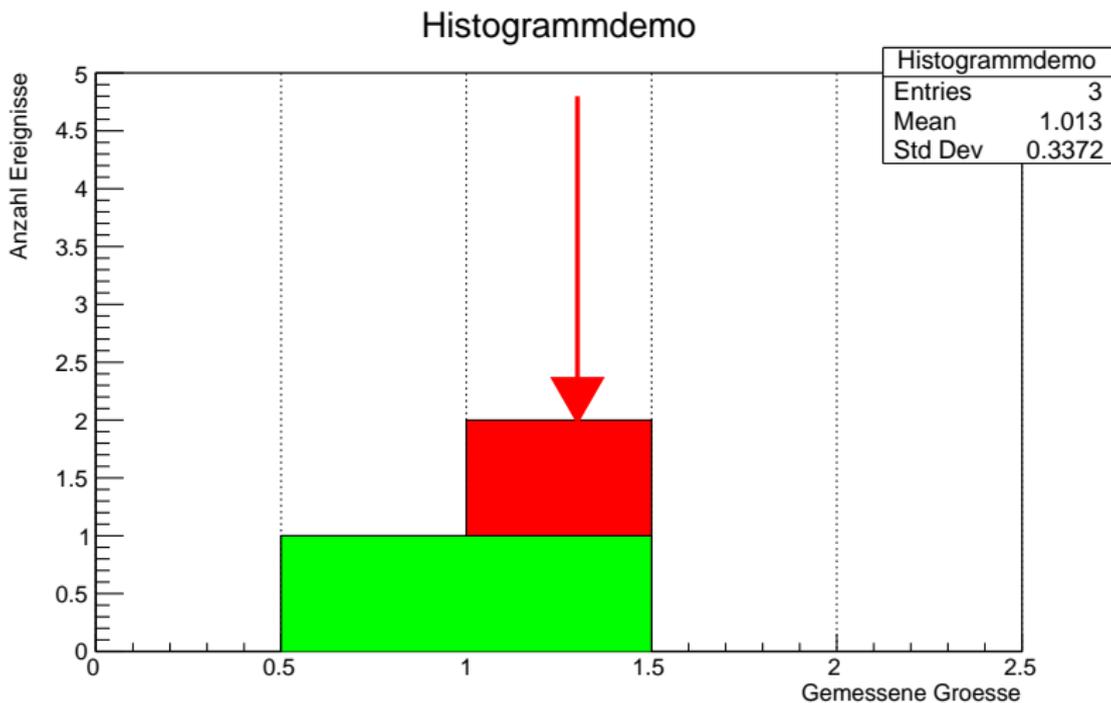
Histogramm-Demo: Histogramm füllen

- Messwerte: 1.20; 0.54; 1.30; 2.10; 1.80; 1.30; 2.40



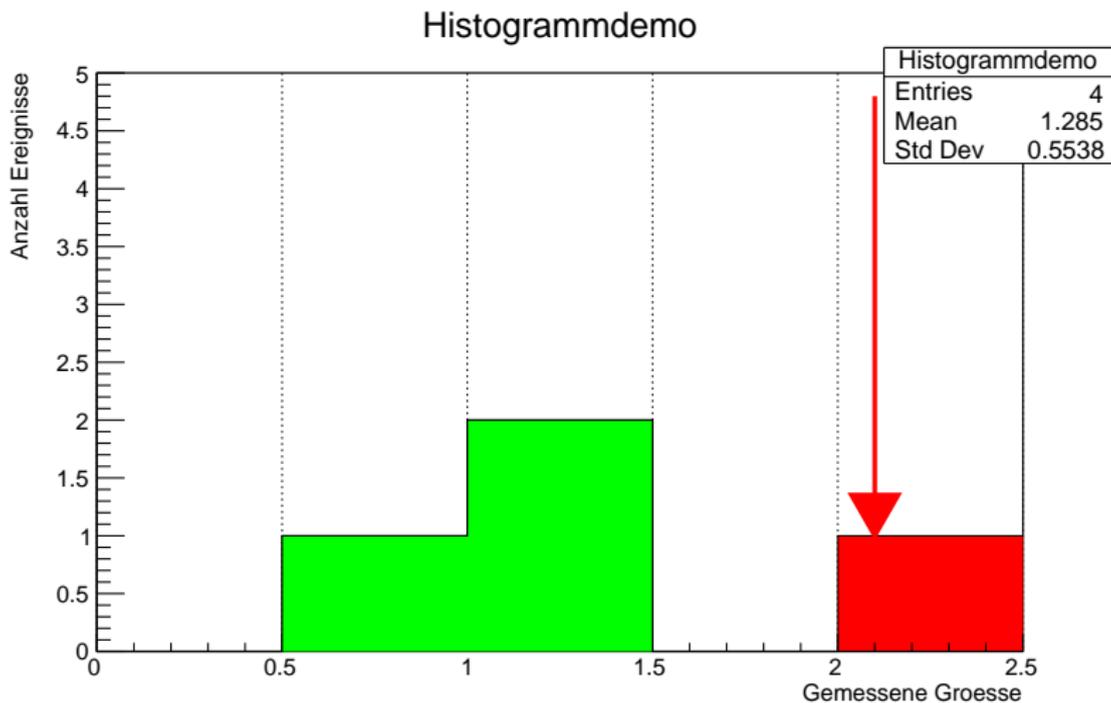
Histogramm-Demo: Histogramm füllen

- Messwerte: 1.20; 0.54; 1.30; 2.10; 1.80; 1.30; 2.40



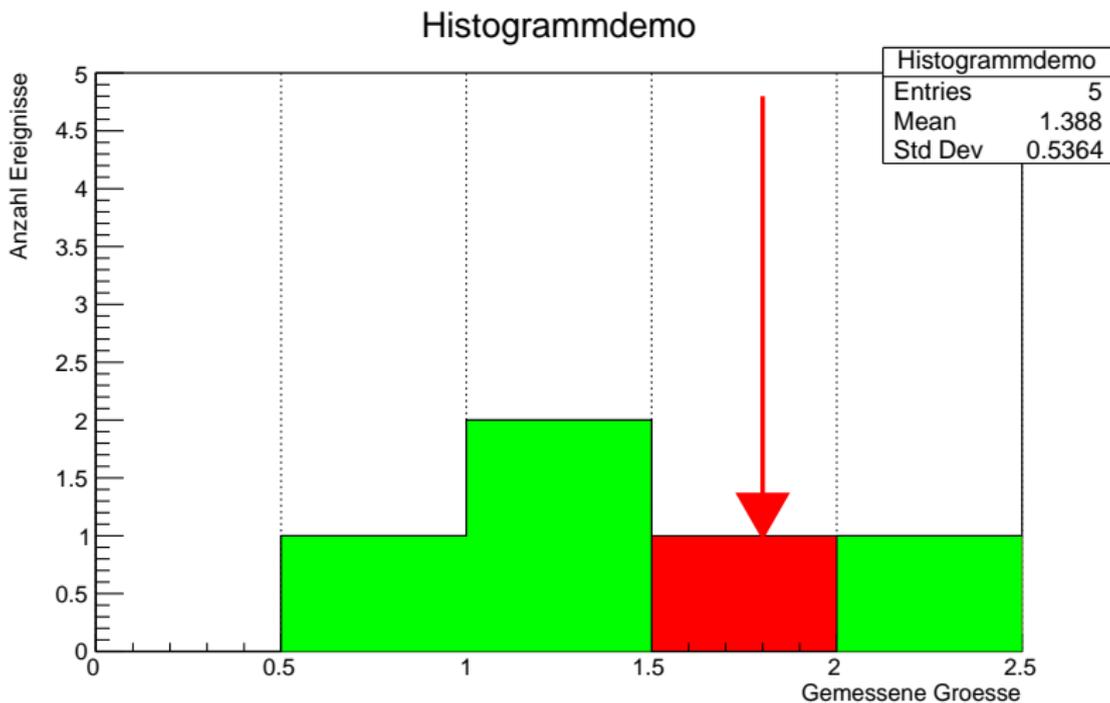
Histogramm-Demo: Histogramm füllen

- Messwerte: 1.20; 0.54; 1.30; 2.10; 1.80; 1.30; 2.40



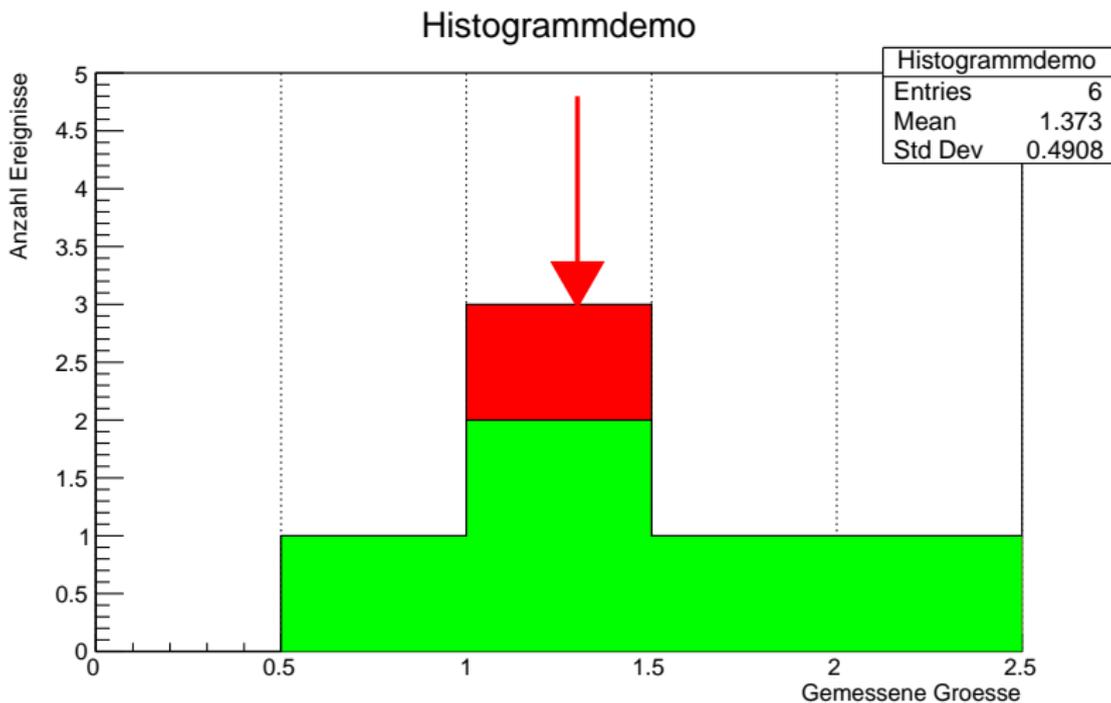
Histogramm-Demo: Histogramm füllen

- Messwerte: 1.20; 0.54; 1.30; 2.10; 1.80; 1.30; 2.40



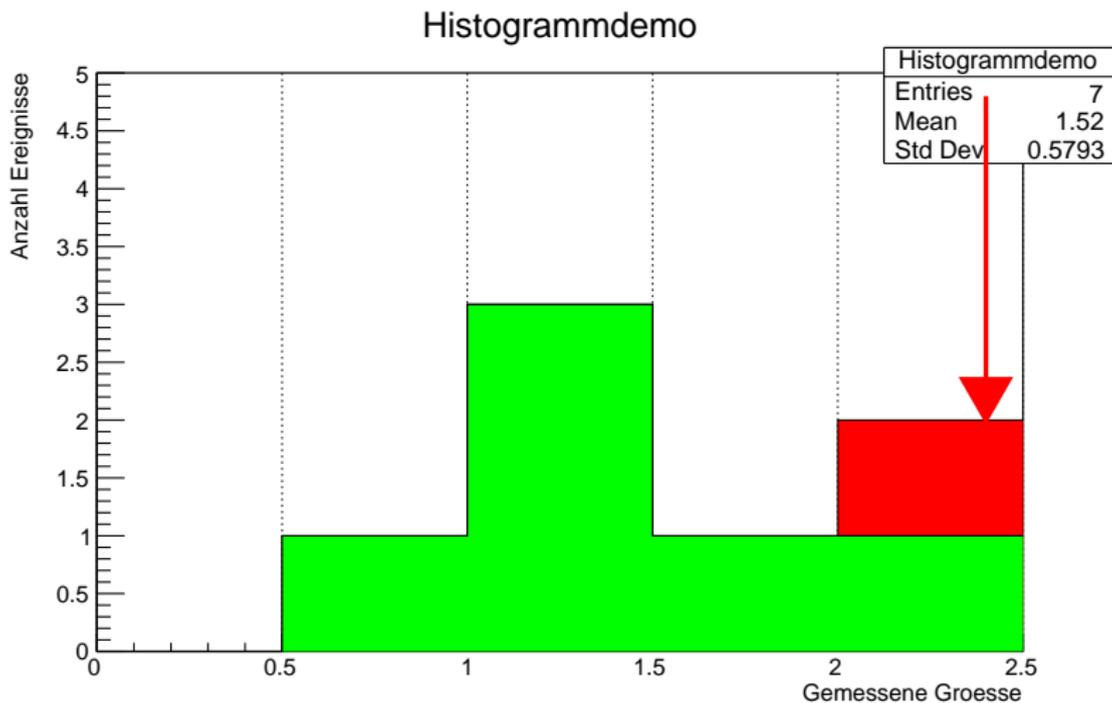
Histogramm-Demo: Histogramm füllen

- Messwerte: 1.20; 0.54; 1.30; 2.10; 1.80; 1.30; 2.40



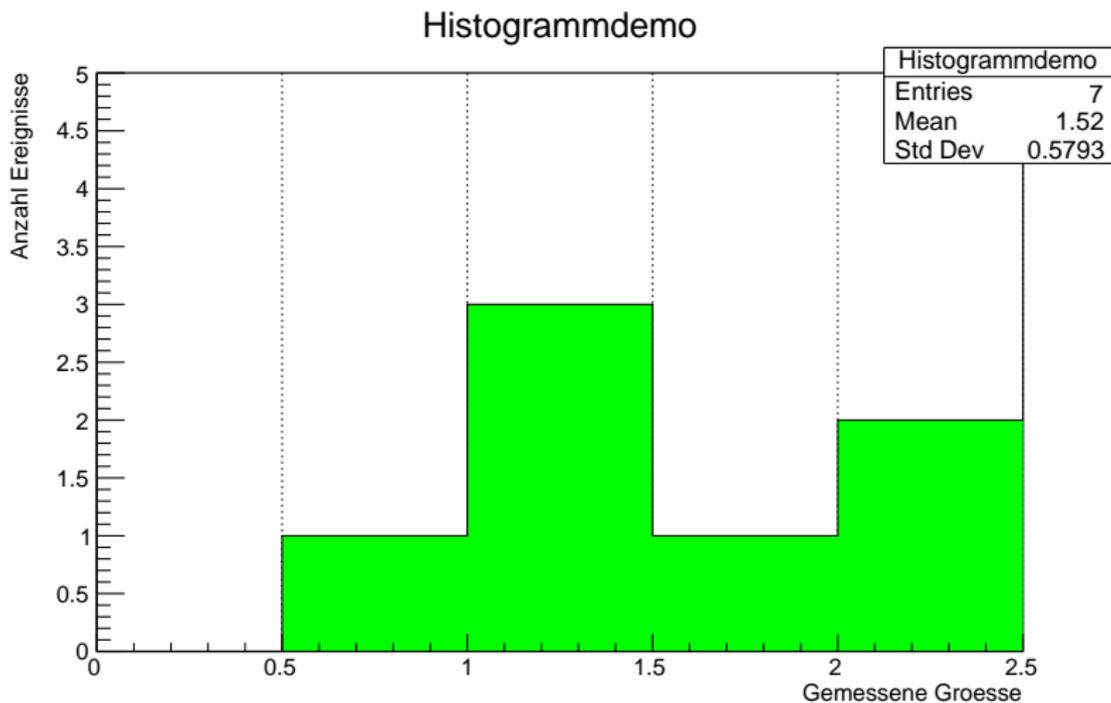
Histogramm-Demo: Histogramm füllen

- Messwerte: 1.20; 0.54; 1.30; 2.10; 1.80; 1.30; 2.40



Histogramm-Demo: finales Resultat

- Messwerte: 1.20; 0.54; 1.30; 2.10; 1.80; 1.30; 2.40



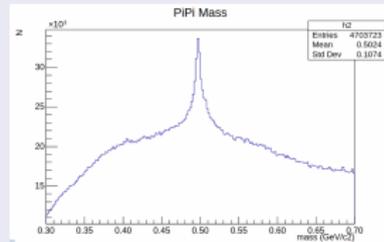
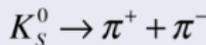
relativistische Energie eines Teilchen

- aus der Masse m und Impuls \vec{p} berechnet (c ist die Lichtgeschwindigkeit): $E = \sqrt{(mc^2)^2 + (\vec{p}c)^2}$
- Spezialfall Teilchen in Ruhe, also $\vec{p} = 0$, dann reduziert sich obige Formel zu dem allgemein bekannten: $E = mc^2$
- somit ergibt sich $mc^2 = \sqrt{E^2 - (\vec{p}c)^2}$
- Energie und Impuls können wir Messen somit können wir die Massen von Teilchen bestimmen
- bzw. Annahme einer Teilchenhypothese und Impuls liefert Energie

Rekonstruktion von instabilen Teilchen

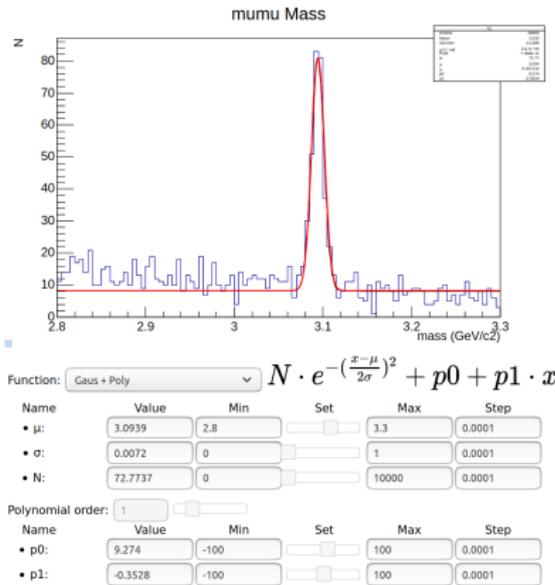
- wie gesagt wir "sehen" nur die stabilen Teilchen
- Rekonstruktion instabiler Teilchen durch Kombination aller Tochterteilchen
- Ausnutzung von Energie- und Impulserhaltung um Energie und Impuls des Mutterteilchens aus Tochterteilchen zu bestimmen (hier 2 Töchter)
 - $E = E_1 + E_2$
 - $\vec{p} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2$
- somit ergibt sich Masse des Mutterteilchens:
$$m c^2 = \sqrt{(E_1 + E_2)^2 - (\vec{p}_1 c + \vec{p}_2 c)^2}$$

Beispiel: Rekonstruktion von K_{short}^0



<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/Particles/imgpar/kaon.png>

- Ziel ist Bestimmung von Parametern: z.B. die Masse eines Teilchens
- Beschreibung einer Verteilung mit einer Funktion
- Funktion wird beschrieben durch Parameter
- **Fitten**: automatisierte Methode die Parameter zu finden, für welche die Funktion die Verteilung am besten beschreibt



- Onlineanalysetool zur einfachen Rekonstruktion von Daten
- Analysetool läuft in einem Web-Browser (keine Installation von Software)
- beinhaltet verschiedene Tools für verschiedene Aufgaben
- diese können beliebig kombiniert werden um den gewünschten Zerfall zu rekonstruieren
- ein kleiner Datensatz von Belle II -Daten (2019) bereitgestellt

Belle II Masterclass

Number of events: 5000

First event: 0

Data Source BelleII.root ▾

Print particle list? No ▾

Particle List

Hauptmodul

- Aufgabe: Laden der Daten
- **Number of events**: Anzahl der zu verarbeitenden Ereignisse
- **Data source**: Auswahl des Datensatz (Belle II, oder zwei Belle Daten)
- **Print particle list?**: gibt die Liste der gefundenen Teilchen je Ereignis aus
- **First event**: Ereignis bei dem die Analyse anfängt

Select Particles Simple

Particle

Charge

Type

Histograms

Teilchenselektor

- Aufgabe: Selektion der gewünschten Teilchensorte
- **Charge**: Auswahl Ladung des Teilchens
- **Type**: Auswahl Art des Teilchens
- **Histogram**: Platz um ein Histogramm einzufügen (optional)

Teilchenkombinierer

Combine 2 particles

Particle 1

Particle 2

Same particle lists? **No**

Set identity to **electron**

Min mass [GeV/c²] : **0**

Max mass [GeV/c²] : **5**

Histograms

- Aufgabe: Kombinieren von Tochterpartikeln, um das Mutterpartikel zu rekonstruieren
- **Particle 1; Particle 2**: Partikel die kombiniert werden sollen (Partikelselektor oder -kombinierer)
- **same particle list?**: "Yes" für **Particle 1 = Particle 2** sonst "No"
- **Set identity to**: den Partikeltyp des rekonstruierten Partikels setzen
- **Min , Max mass**: minimale und maximale Masse des rekonstr. Partikels
- **Histograms**: Option ein Histogramm zu erzeugen

Histogram Title **Mass** Number of bins **200** Min: **0** Max: **5** Variable **mass** ▾

Tool zum Erstellen von Histogrammen

- Aufgabe: füllen von Histogrammen mit den gewünschten Informationen
- **Title**: kurze Beschreibung des Histogramms (optional)
- **Number of bins**: Anzahl der Intervalle (bins) des Histogramms
- **Min; Max**: minimale und maximale Wert der Variable
- **Variable**: Auswahl der Variable die in das Histogramm gefüllt wird

- Einzelne Tools können beliebig kombiniert werden um den gesuchten Zerfall zu rekonstruieren

Belle II Particle Discovery: Describe process → Analyse → Fit results → Discover

Full Applog | Clear Diagram | Reset Diagram | Hide Tool | Help | About | 2 recent deconstructions | Get-Widget-Map

Main Blocks
Selectors
Combiners

Belle II Masterclass
Number of events: 10000
First event: 0
Data Source: hadrom1.root
Print particle list? No
Particle List

Combine 2 particles

Particle 1

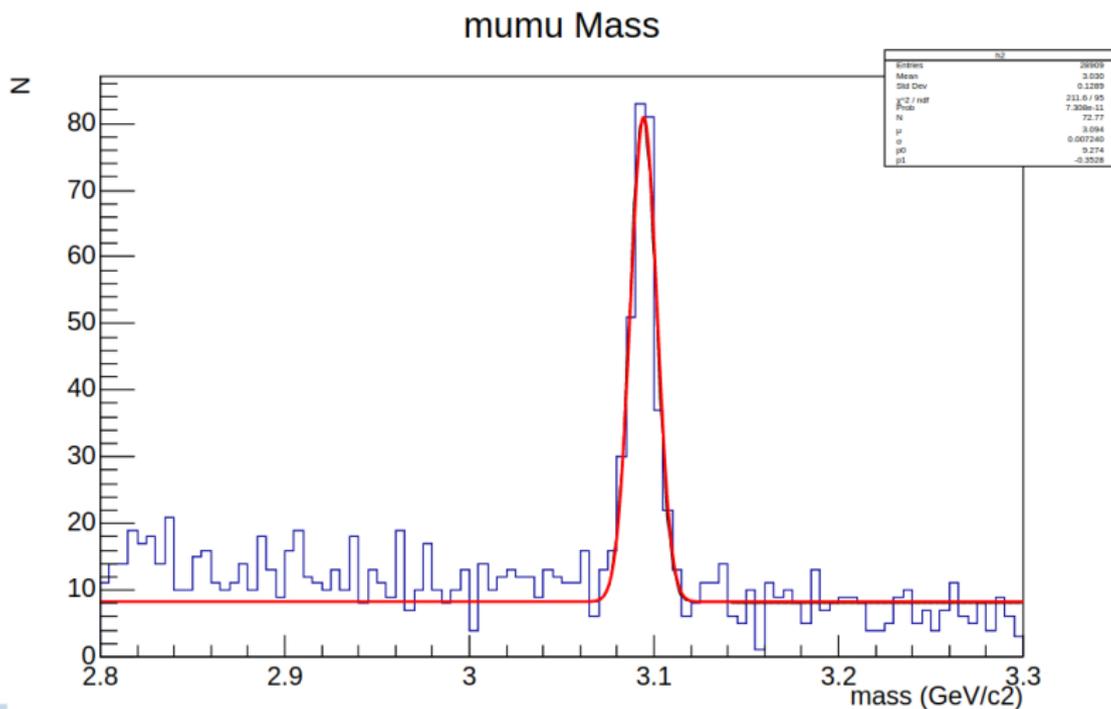
Select Particles Simple
Particle
Charge -1
Type muon
Histograms
Histogram Title mu_neg Mass Number of bins 40 Min: 0 Max: 5 Variable mass

Particle 2

Select Particles Simple
Particle
Charge 1
Type muon
Histograms
Histogram Title mu_pos Mass Number of bins 100 Min: 0 Max: 5 Variable mass

Same particle lists? No
Set identity to fPsi meson
Min mass (GeV/c²) 1
Max mass (GeV/c²) 4
Histograms
Histogram Title mumu Mass Number of bins 100 Min: 1 Max: 4 Variable mass

- Beispiel für das Ergebnis eines Durchlaufs der Analyse



Rekonstruktion von D^* - Mesonen in Belle II Daten

- $D^{*-} \rightarrow D^0 \pi^-$
- wobei $D^0 \rightarrow K^+ \pi^-$

Hands-On-Session am Freitag

- Angebot: Hands-on-Session am Freitag 10:00 bis ca. 12:00 Uhr
- Durchführen einer eigenen Teilchenrekonstruktion mit dem Onlineanalysetool
- Anleitung durch Tutoren in kleinen Gruppen
- Ihr könnt alle Fragen was ihr je über Teilchenphysik wissen wolltet.
- Online meeting über Zoom (siehe Info email):
 - <https://lmu-munich.zoom.us/j/94946870580?pwd=NkQvbGJ3OG9pVW03YUVzO>

Informationen zum Analysetool

- Server ist schon online und darf genutzt werden:
 - <https://kuhrios.universe-cluster.de/masterclass/index.php>
 - login: *****
 - Passwort: *****
 - **ACHTUNG: Passwörter werden nicht online gestellt! Also bitte aufschreiben.** Oder per email anfragen: thomas.lueck@lmu.de

- Ich hoffe ich konnte einen Eindruck vermitteln wie die Analyse von Daten an Hochenergieexperimenten funktioniert.
- Hinweis: Hands-On-Session Freitag 10:00 Uhr
- Der Server für die Onlineanalyse steht frei zur Nutzung (wenigstens für die nächsten Tage)
- Frohes Analysieren!

Backup: Liste von Zerfällen die man im Belle II Datensatz finden kann (Belle2.root)

- $J/\Psi \rightarrow e^+ e^-$
- $J/\Psi \rightarrow \mu^+ \mu^-$
- $\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$
- $\pi^0 \rightarrow e^+ e^- \gamma$
- $D^0 \rightarrow K^+ \pi^-$
- $D^{*+} \rightarrow D^0 \pi^+$
- $\Lambda \rightarrow p \pi^-$
- $B^+ \rightarrow J/\Psi K^+$
- $K_S^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$

- links zu Youtube tutorials zur Masterclass:
 - Start: https://youtu.be/q6M2_dnp3pl
 - Particle distribution: https://youtu.be/q6M2_dnp3pl
 - J/psi to mumu: <https://youtu.be/xUYmXoPfZOU>
 - J/psi to ee: <https://youtu.be/3TGsHJ8j8pE>
 - Fit: <https://youtu.be/wWbjWYHVLaLU>
 - B to J/psi K <http://youtube.com/watch?v=e-GErqzY3HM>