



**Universität
Zürich** ^{UZH}

Physik-Institut, Science Lab UZH

CMS Ereignisse

Katharina Müller, Science Lab UZH



Verschiedene Vorhersagen des Standard Models testen:

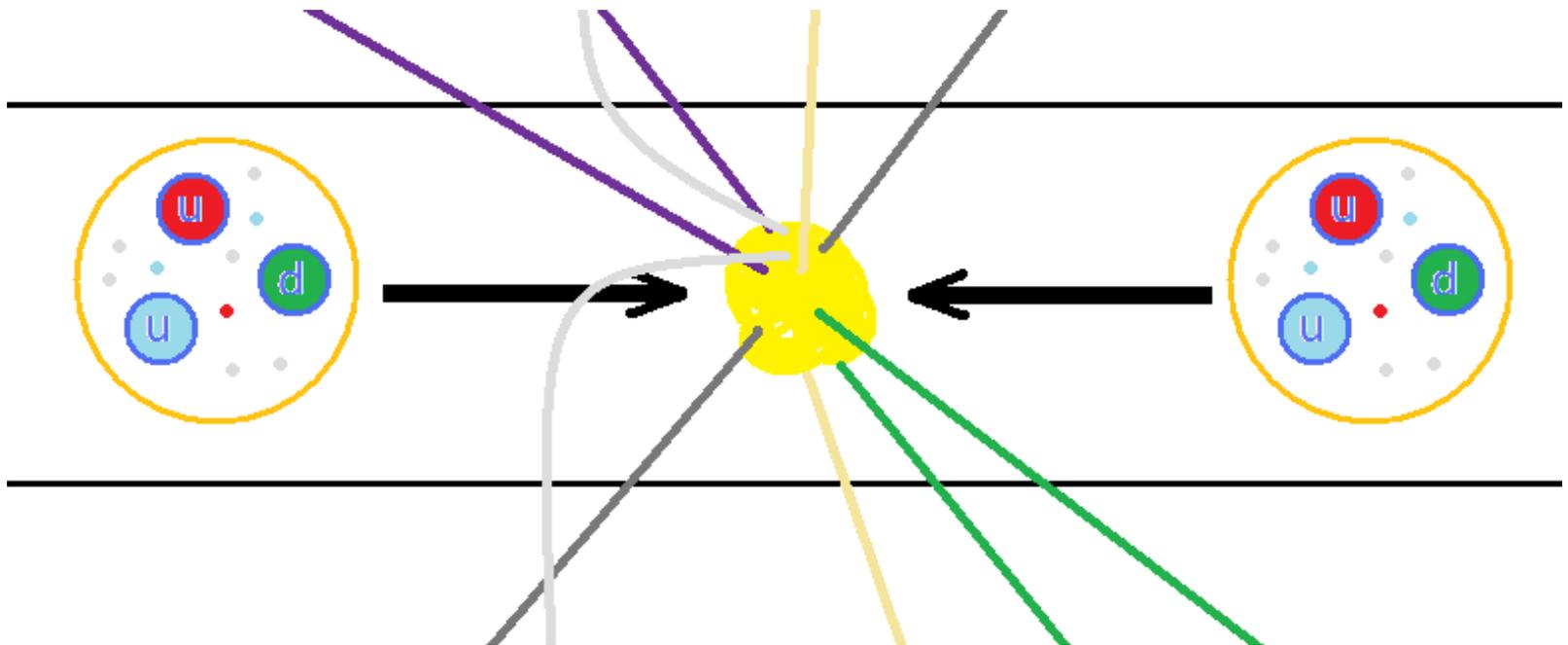
- Häufigkeit von Elektronen und Myonen in W und Z Zerfällen
- Unterschied zwischen der Anzahl an produzierten W^+ und W^- Bosonen
- Verhältnis zwischen der Anzahl an produzierten W und Z Bosonen
- Bestimmung der Masse des Z und Higgs Bosons



Proton Energie 7.5 TeV \rightarrow Kollisionsenergie 13 TeV

In der Kollision können neue schwere Teilchen erzeugt werden, die in der Regel schnell in leichtere Teilchen zerfallen

Energieerhaltung \rightarrow ein neu erzeugtes Teilchen hat eine Energie < 13 TeV

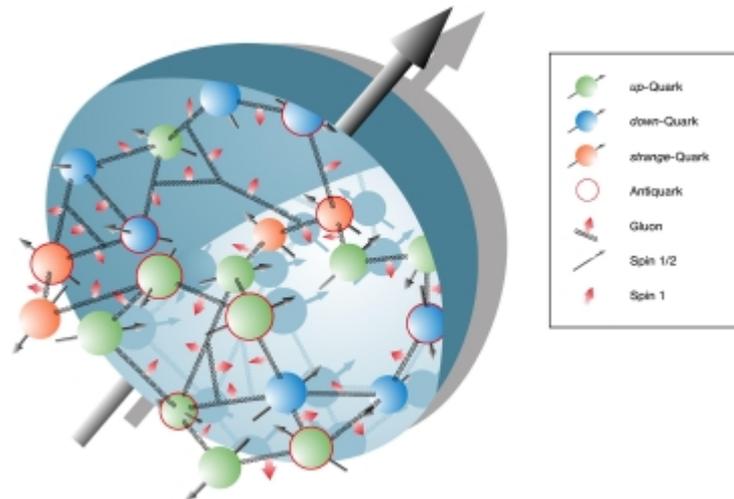




Klassisch: ein Proton besteht aus drei Quarks up, up, down

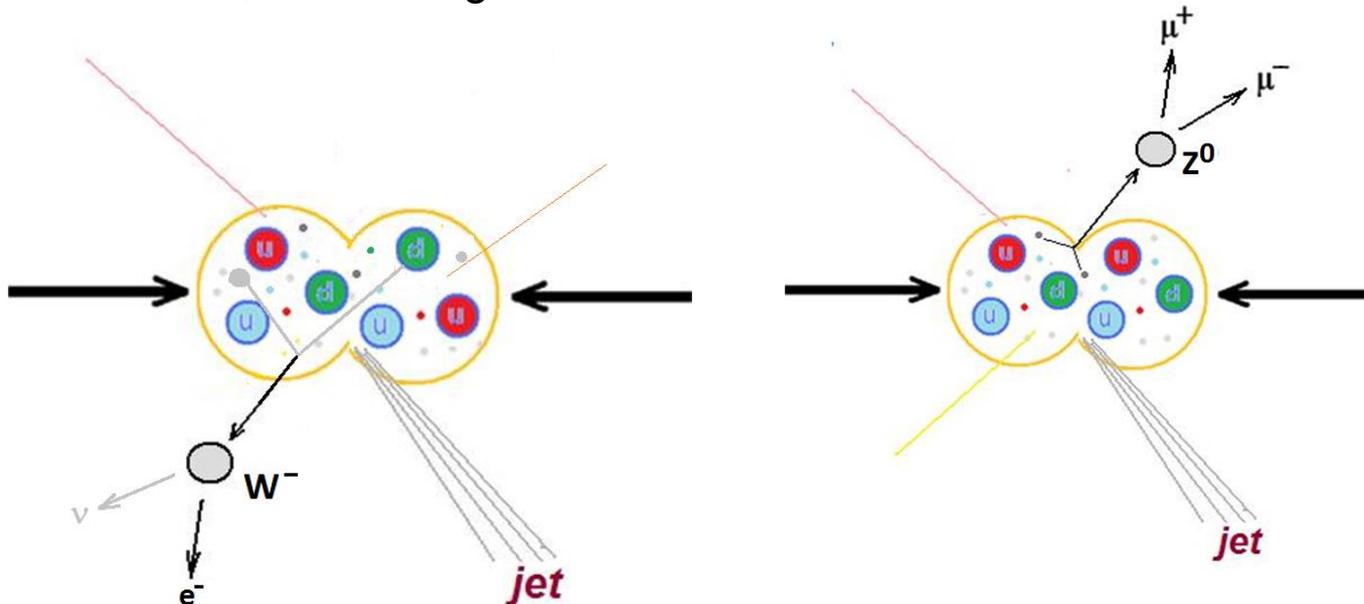
Aber – ein Proton ist viel komplizierter, für kurze Zeit können weitere Quark-Antiquark-Paare entstehen, die sich wieder vernichten

bei Proton-Proton Kollisionen am LHC können Kollisionen mit diesen zusätzlichen Quarks oder Antiquarks stattfinden



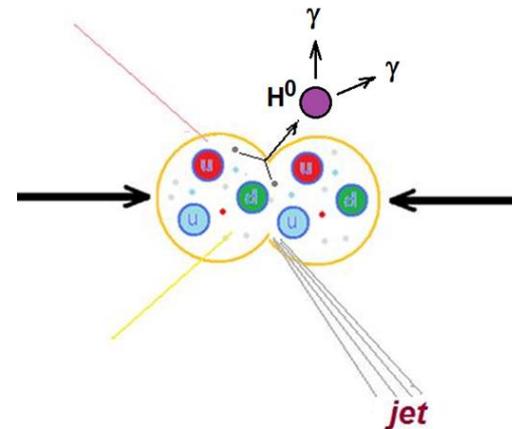
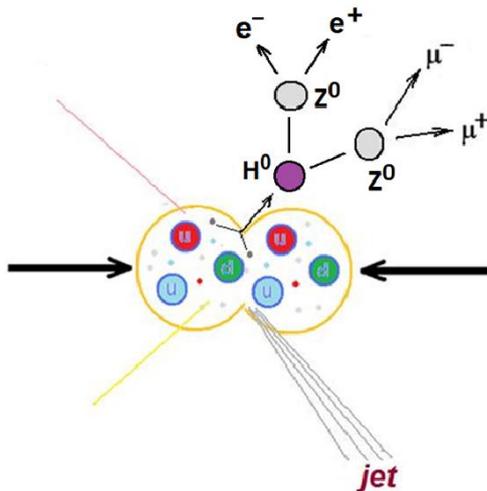
W und Z Teilchen sind

- Austauscheteilchen der schwachen Wechselwirkung
- Sehr schwer: W: 80 GeV, Z 91 GeV
- **W Teilchen sind positiv oder negativ geladen, Z sind neutral**
- sehr kurzlebig, Lebensdauer $\approx 3 \cdot 10^{-25}$ s
→ sie zerfallen, bevor sie gemessen werden können



sehr selten kann auch ein Higgs Teilchen erzeugt werden

- ist Teil vom Higgs-Mechanismus → Masse von Teilchen
- schwer: 125 GeV
- sind neutral
- sehr kurzlebig, Lebensdauer $\approx 3 \cdot 10^{-22}$ s
- können zum Beispiel in zwei Z Teilchen oder zwei Photonen zerfallen





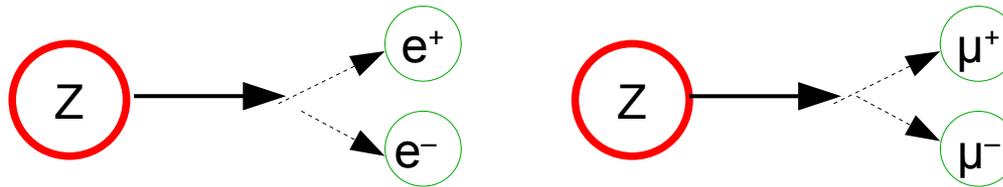
Higgs, Z und W Bosonen

zerfallen bevor sie detektiert werden können → Suche nach Zerfallsprodukte

Zerfall zB in Elektronen, Myonen und Neutrinos sowie deren Anti-Teilchen.

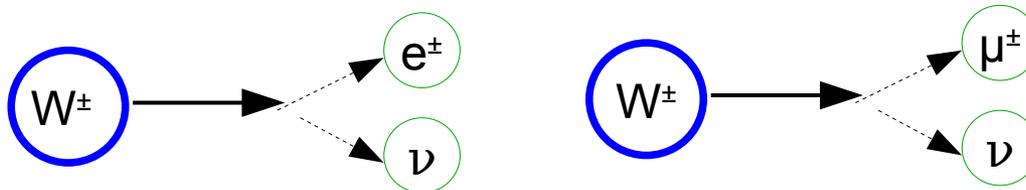
Z-Boson ist neutral → Zerfall in ein **Paar Leptonen** mit gegensätzliche Ladung (z.B. e^- und e^+)
Energie- und Impulserhaltung

→ Masse des Z-Bosons kann aus Energie und Impuls der Zerfallsprodukte bestimmt werden



W-Bosonen sind elektrisch geladen

→ Zerfall: ein **geladenes Lepton** (Elektron oder Myon) sowie ein **Neutrino**
das Neutrino erkennen wir dadurch, dass etwas fehlt

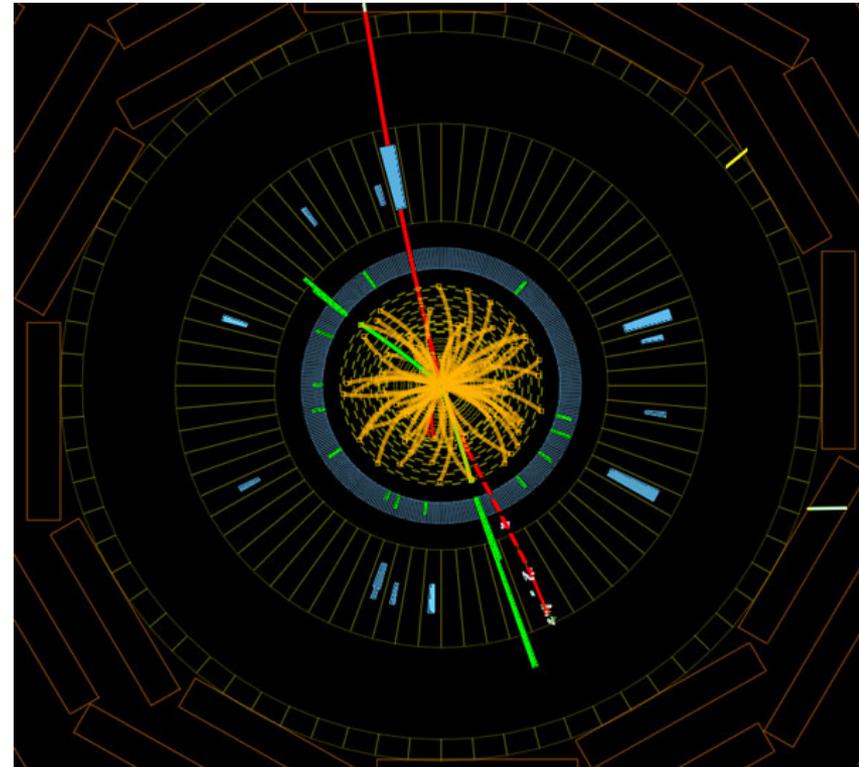


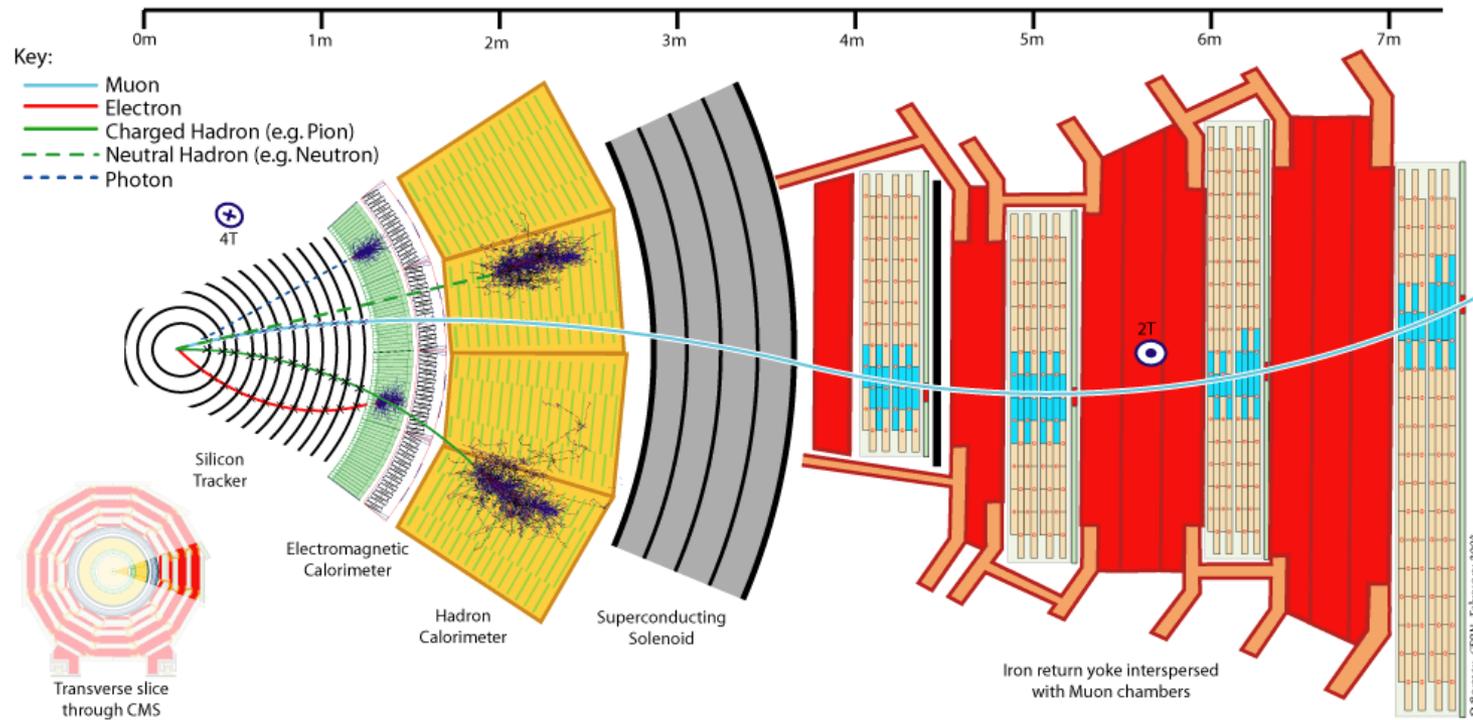


Elektronen und Muonen hinterlassen Spuren im inneren Detektor. Das starke Magnetfeld des Detektors krümmt die Spuren dieser Teilchen

Das Magnetfeld zeigt aus der Ebene hinaus!

- Negativ geladene Teilchen werden nach links abgelenkt **gegen Uhrzeigersinn**
- Positiv geladene Teilchen werden nach rechts abgelenkt **im Uhrzeigersinn**



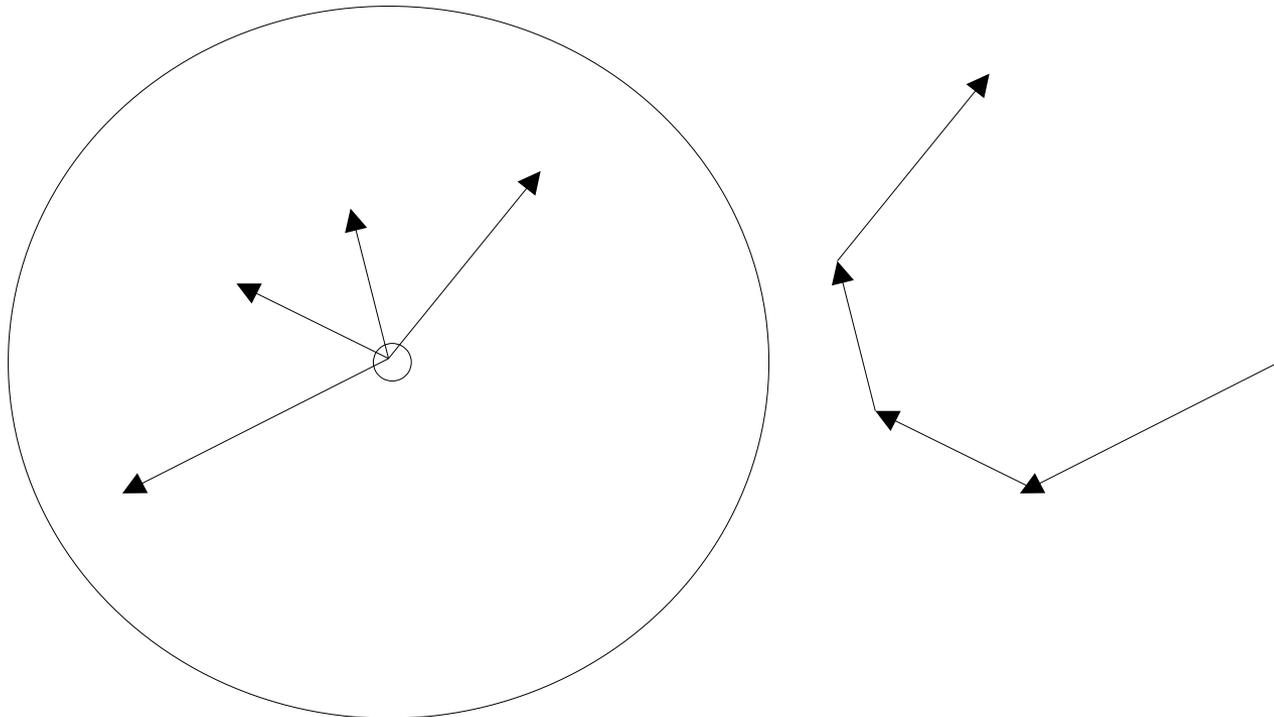




Neutrinos können nicht detektiert werden → Berechnung des fehlenden transversalen Impulses (MET)

Transversale Impuls ($\sim m \cdot \sim v_{\perp}$) Grösse, die auf der Fläche, die senkrecht zur Strahlachse 0 sein sollte

MET ist der Vektor der fehlt, damit der gesamte transversale Impuls null ist

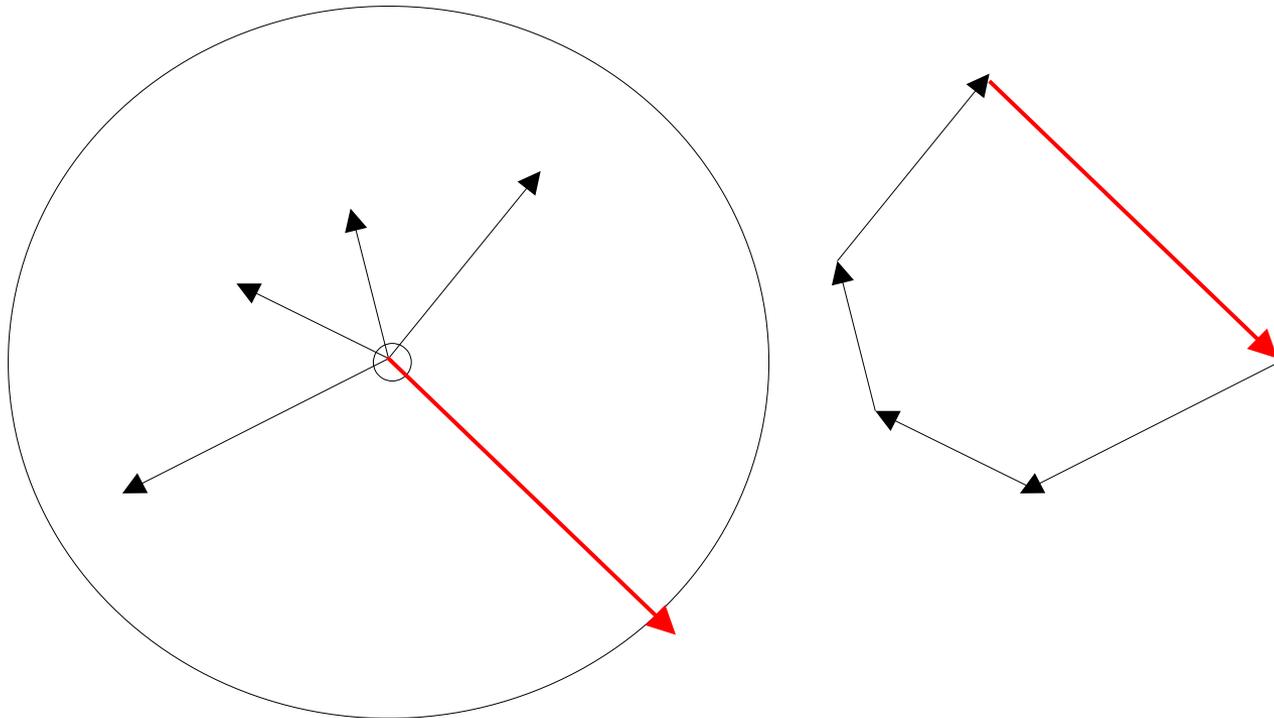


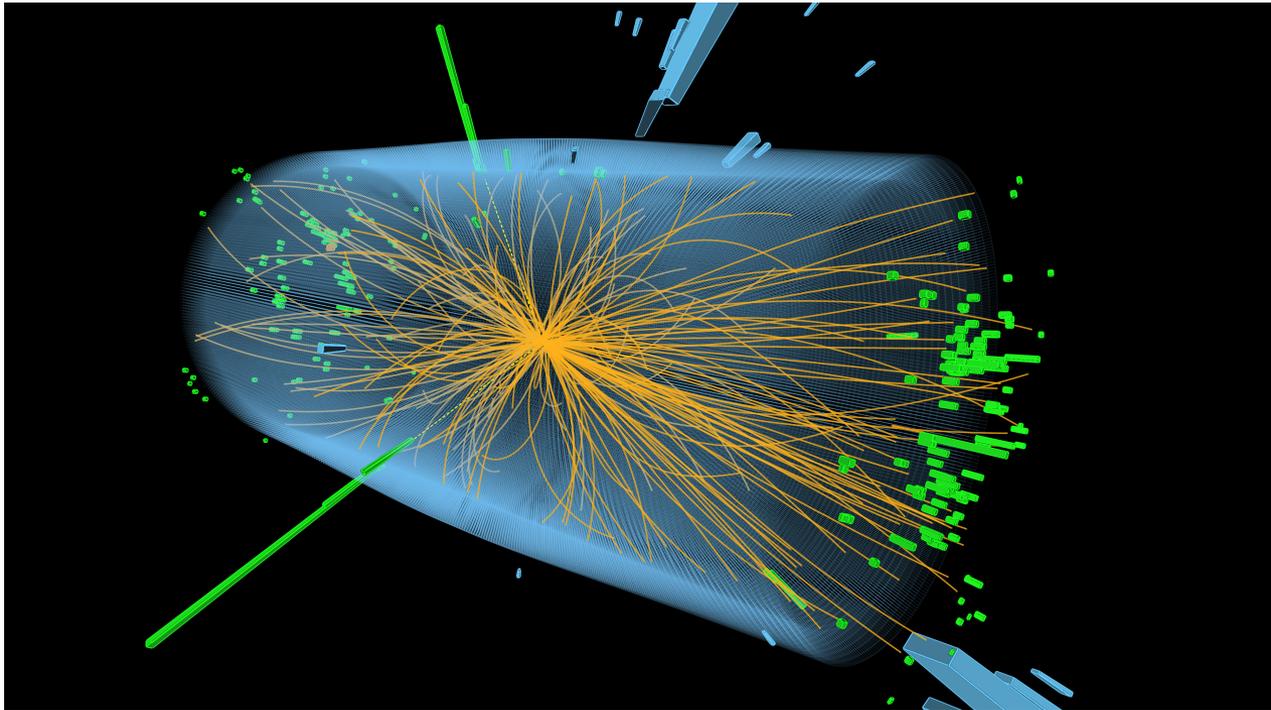


Neutrinos können nicht detektiert werden → Berechnung des fehlenden transversalen Impulses (MET)

Transversale Impuls ($\sim m \cdot \sim v_{\perp}$) Grösse, die auf der Fläche, die senkrecht zur Strahlachse 0 sein sollte

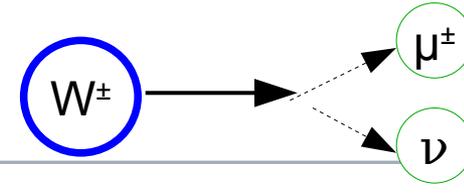
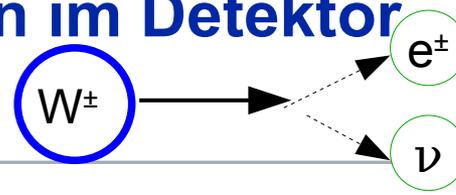
MET ist der Vektor der fehlt, damit der gesamte transversale Impuls null ist



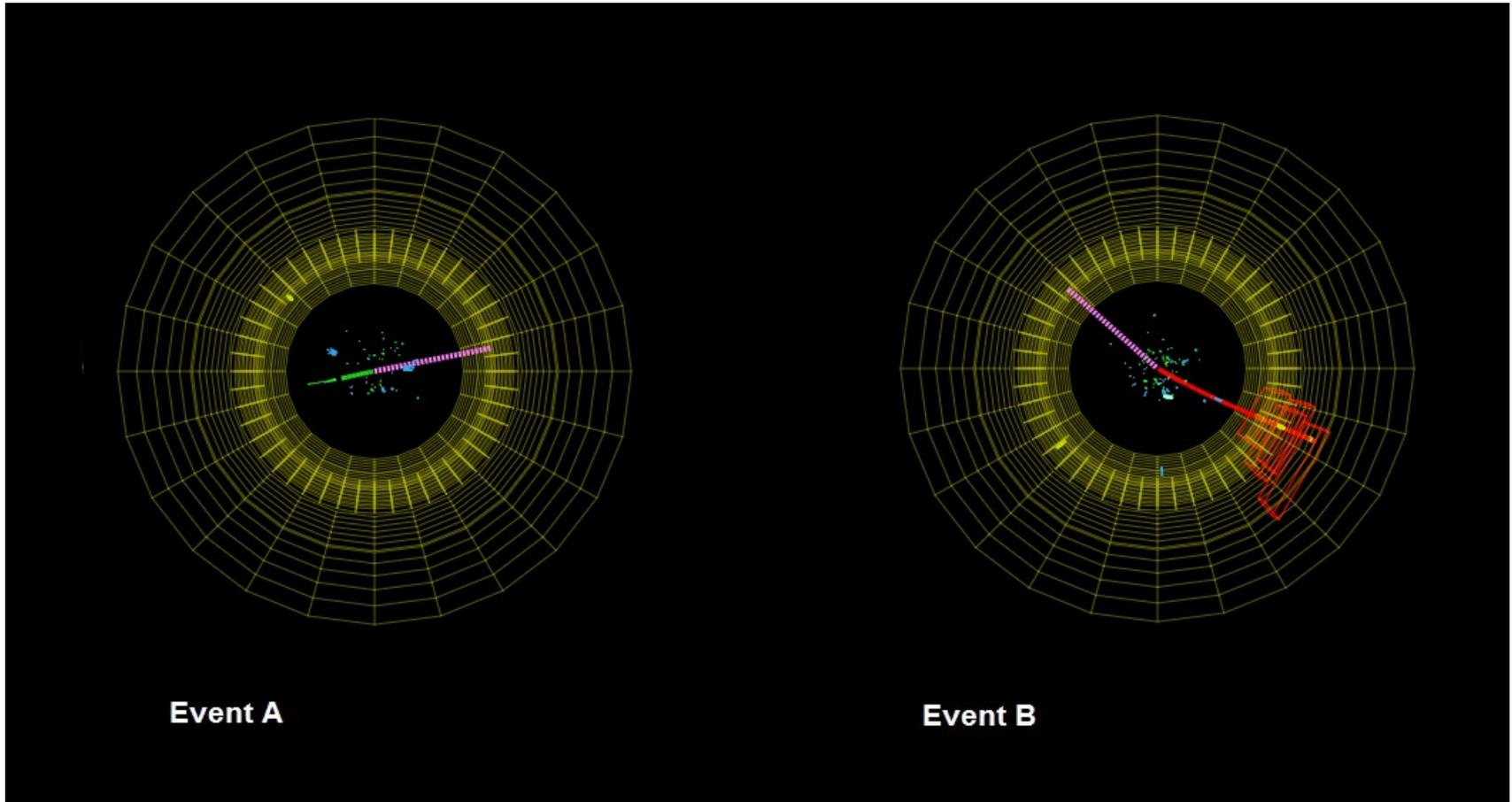




W Bosonen im Detektor



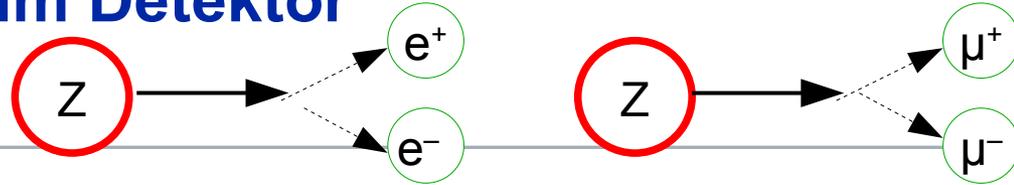
W: Muon plus Neutrino oder Elektron plus Neutrino



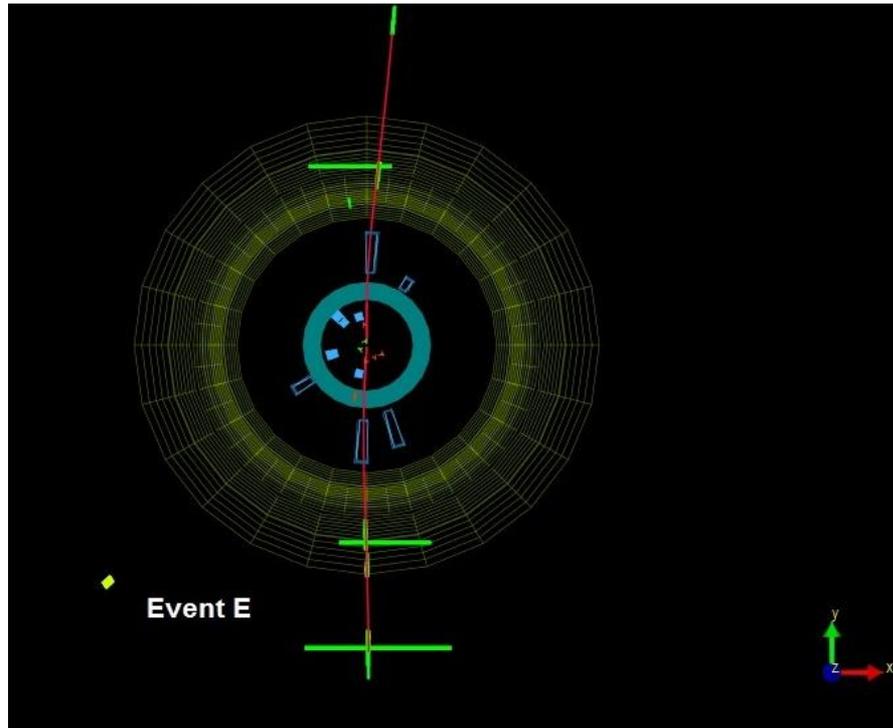
Ladung: Krümmung



Z Bosonen im Detektor

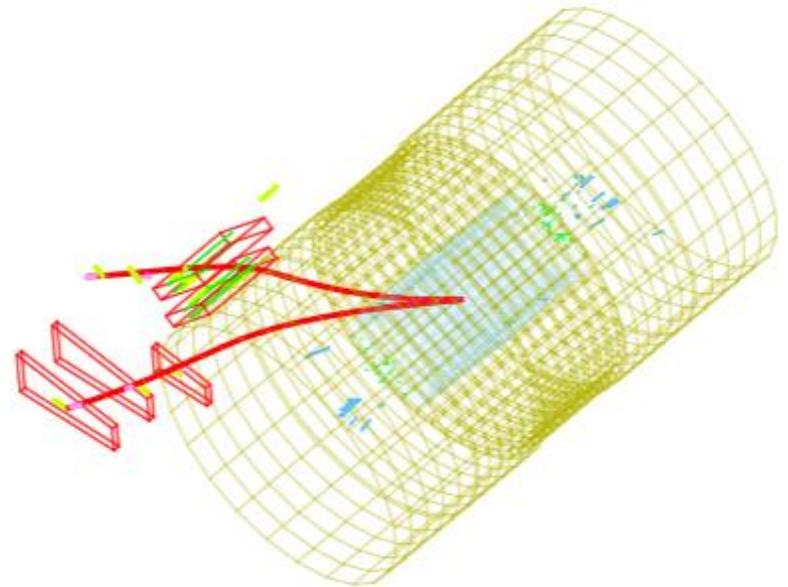
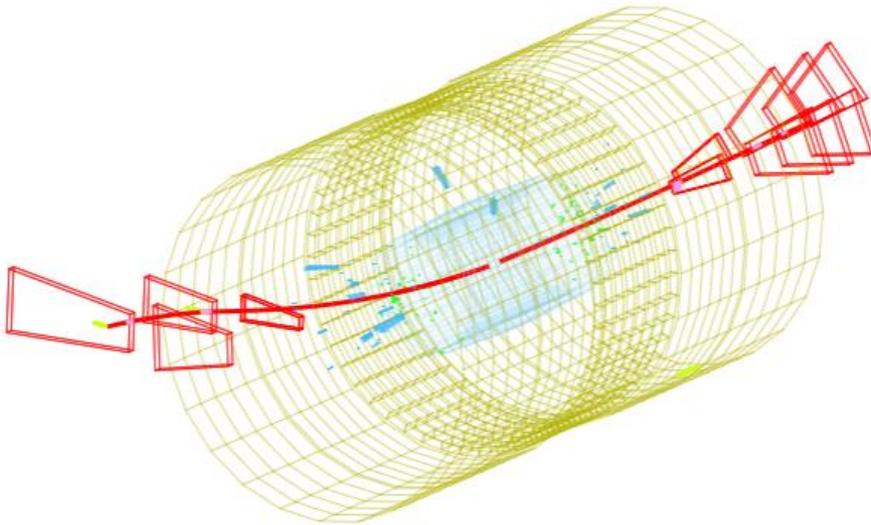


Elektron-Antielektron oder Muon-Antimuonpaar
Kein (wenig) fehlender Transversalimpuls





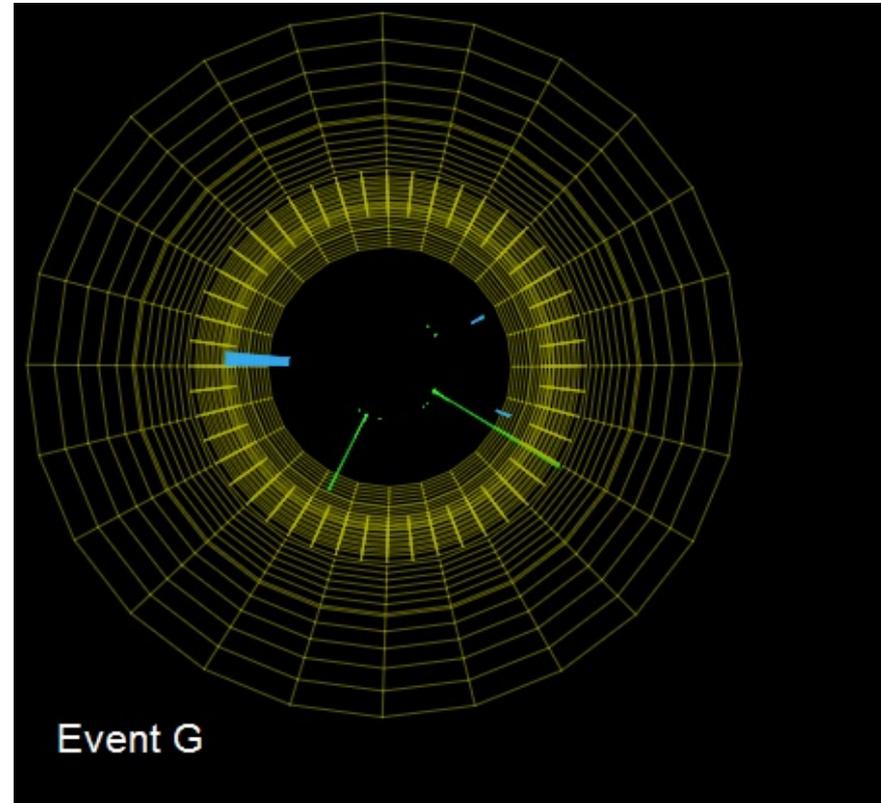
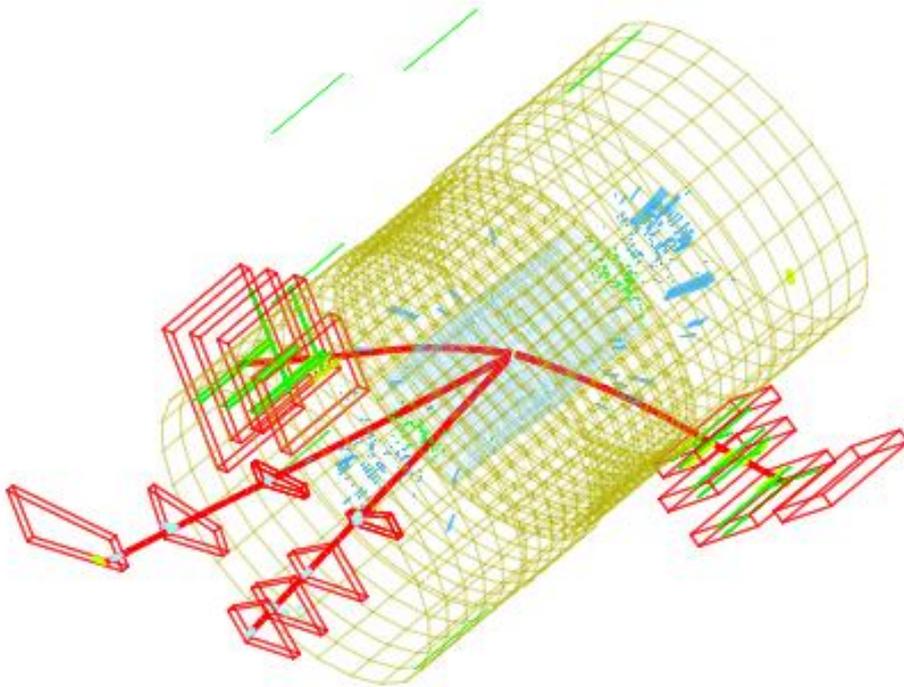
Z- Bosonen zerfallen in ein Elektron-Positron oder Muon(-)-Muon(+) Paar
Die Ereignisse haben keinen oder nur einen kleinen fehlenden Transversalimpuls





Higgs- Bosonen im Event Display

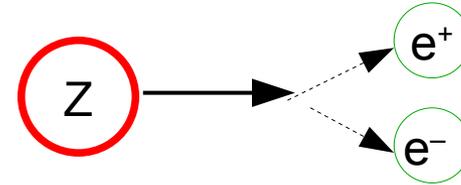
Higgs Boson zerfällt in 2 Photonen (Energie im Kalorimeter, keine Spur)
Oder Higgs zerfällt in zwei Z-Bosonen, die jeweils in 2 Leptonen zerfallen



Und sonst: Ereignisse, die nicht in eine Kategorie passen - ZOO



Aus Energie und Impuls der Tochterteilchen

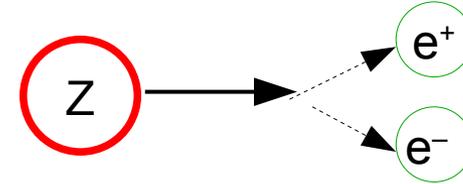


$$m^2 c^4 = \left(\sum E_i \right)^2 - \left(\sum \vec{p}_i \right)^2 c^2$$

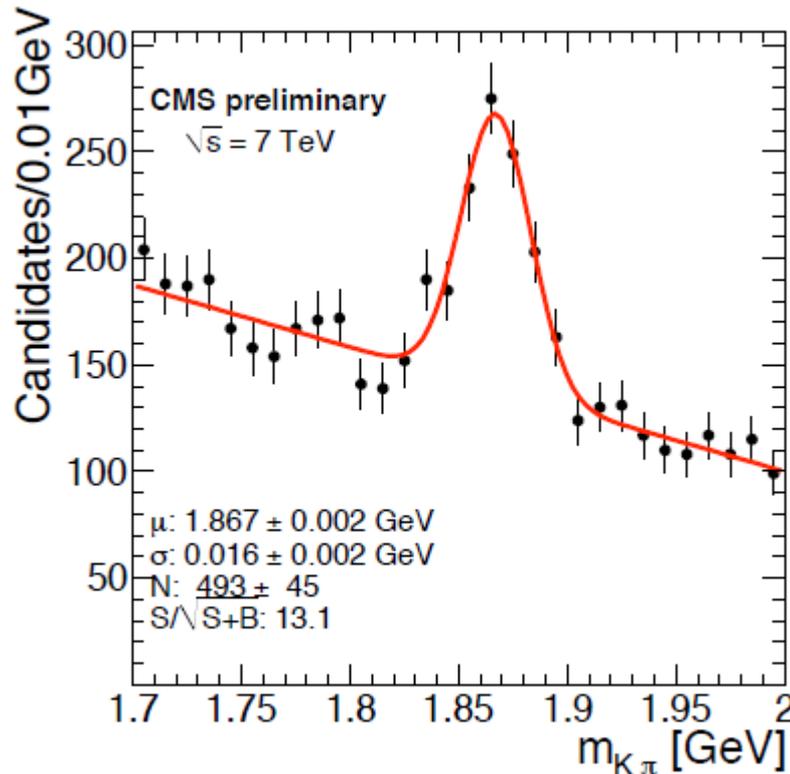
ABER: Die Daten, die vom Detektor gemessen werden sind nie genau

→ Histogramm um eine Häufung von Ereignissen mit einer bestimmten Masse zu erkennen

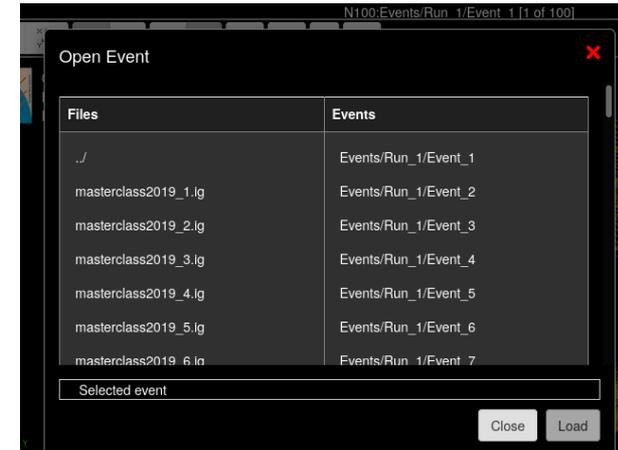
Aus Energie und Impuls der Tochterteilchen



$$m^2 c^4 = (\sum E_i)^2 - (\sum \vec{p}_i)^2 c^2$$



- Zweiergruppen bilden
- <https://www.i2u2.org/elab/cms/ispy-webgl/>
- "Open file(s) from Web" "N50" und Datensatz "masterclassX.ig" (X=Gruppennummer) auswählen und das erste Ereignis laden



- 100 Ereignisse anschauen und klassifizieren
- Ergebnisse eintragen in Formular



- <https://www.i2u2.org/elab/cms/cima-wzh/>
- Richtige Masterclass und Gruppe auswählen
- Richtige Ereignis Nummer auswählen
- Entscheiden, ob Elektronen oder Myonen vorhanden sind
- Bestimmen, ob es sich um ein Z , W+ oder W- handelt (W± falls zwischen W+ und W- nicht unterschieden werden kann)
- Für ein Higgs oder Z die Masse eintragen
- "Next" drücken

Masterclass: Test-09Mar2022

Location: test-09mar2021

Group: 100.99

<p>Select Event</p> <p>Event index: <input type="text" value="4"/></p> <p>Event number: 100.99-4</p>	<p>Final State</p> <p><input type="radio"/> e v <input type="radio"/> μ v</p> <p><input type="radio"/> e e <input type="radio"/> μ μ</p> <p><input type="radio"/> 4e <input type="radio"/> 4μ</p> <p><input type="radio"/> 2e 2μ</p>	<p>Primary State</p> <p>Charged Particle:</p> <p><input type="radio"/> W+ <input type="radio"/> W- <input type="radio"/> W±</p> <p><input type="radio"/> Neutral Particle (Z, H)</p> <p><input type="radio"/> Zoo</p>	<p>Enter Mass</p> <p><input type="text"/> GeV/c²</p> <p><input type="button" value="Next"/></p>
---	---	--	---

Event index	Event number	Final state	Primary state	Mass
189003	100.99-3	2e	zoo	
189002	100.99-2	2e	neutral	97
189001	100.99-1	$\mu\mu$	neutral	100



Viel Spass!

Überlegt schon mal von eurer Analyse:

- wie ist das Verhältnis von geladenen (W) zu neutralen Teilchen (Z oder Higgs)
- Gibt es mehr Teilchen, die in Muonen oder in Elektronen zerfallen
- Grob: wie ist das Verhältnis von W^+ zu W^-

Nachher werden wir die Resultate diskutieren



Unsicherheiten der Messungen

Es gibt zwei Arten von Unsicherheiten/Fehler:

Statistische Fehler:

Wenn von 100 ausgewerteten Ereignissen 9 $Z \rightarrow e + e^-$ sind, ist der Durchschnitt sicher nicht genau 9%, es gibt statistische Fluktuationen

→ je mehr Ereignisse untersucht werden, desto genauer wird der Durchschnitt und der Fehler wird kleiner

Systematische Fehler

Wenn ein falscher Massstab benutzt wird, hat jede Messung einen Fehler
z.B. Lineal mit zu grossen Abständen zwischen den Markierungen

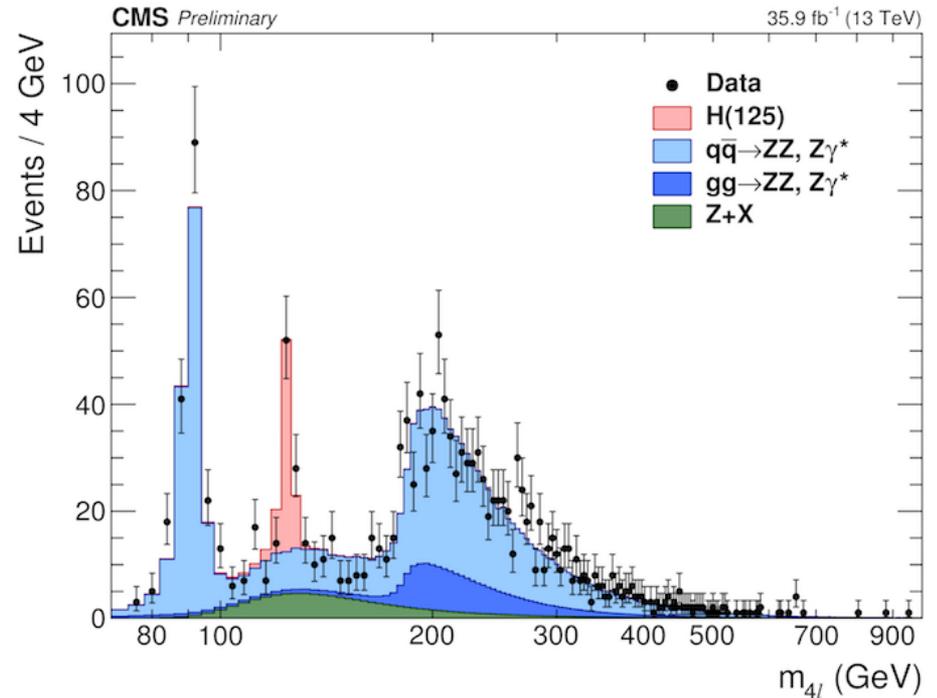
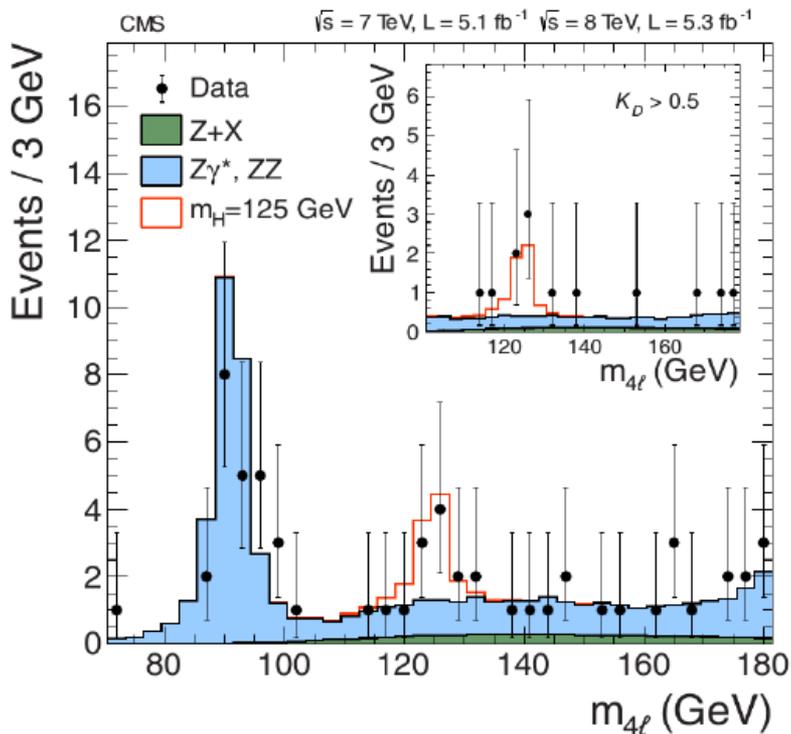
Diese Fehler können nur schwer reduziert werden



Messwerte in der Teilchenphysik (z.B. einer Masse) sind häufig so genau, dass niemals zweimal das gleiche Ergebnis gefunden wird

Ergebnisse werden daher in Klassen (Bins) aufgeteilt, eine Häufung an Ereignissen in einer Klasse kann so leichter festgestellt werden

Je mehr Ereignisse und je genauer die Messung ist, desto mehr Bins





Wir messen die Spannung an einem Widerstand sowie den hindurchfliessenden Strom. Mit dem Ohmschen Gesetz können wir die Grösse des Widerstandes herausfinden.

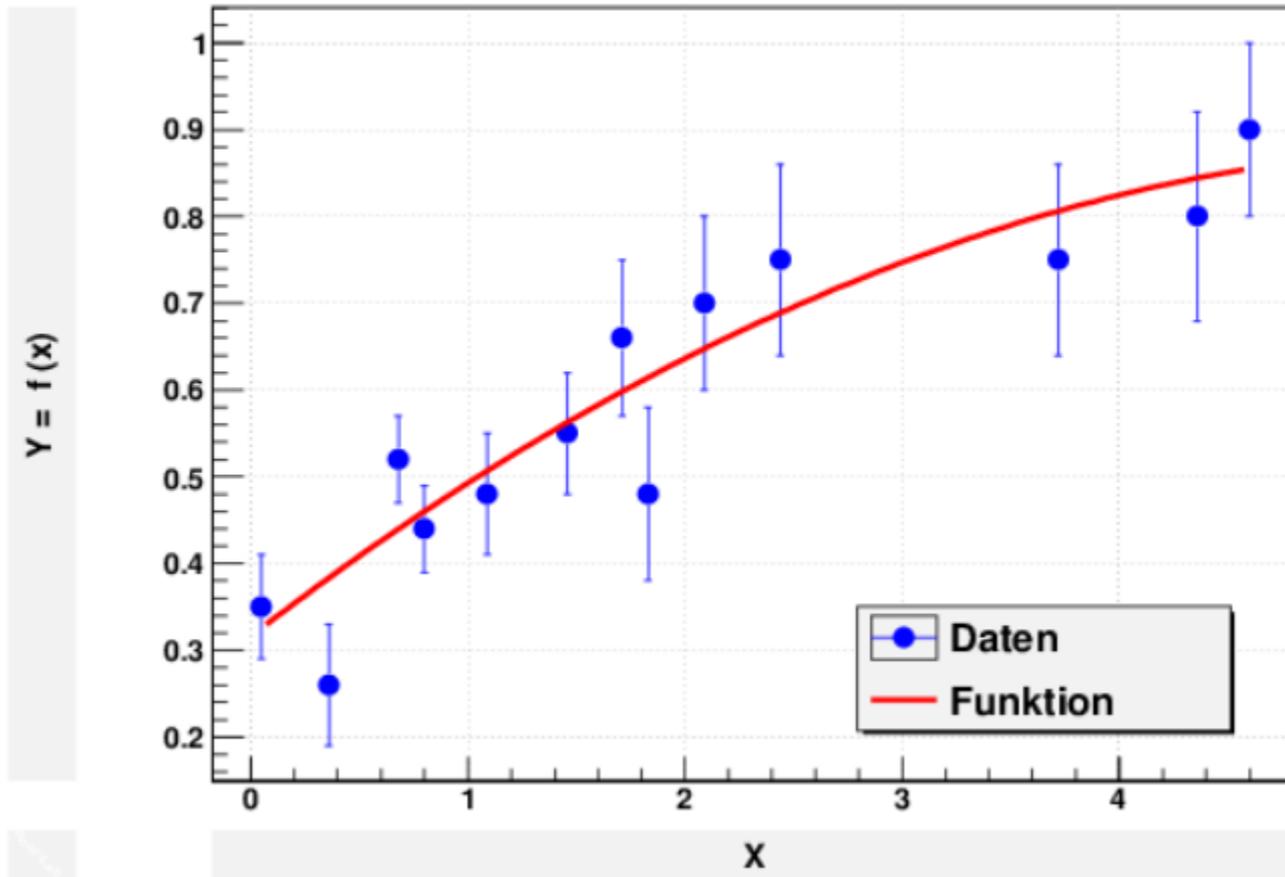
Wir suchen R sodass $U(I)=R \cdot I$. Der Fit optimiert R , sodass die Funktion so gut wie möglich zu den Daten passt.

Normal gibt es zu einer Theorie Parameter, die durch das Experiment bestimmt werden müssen

Dies geschieht durch Fitting (Anpassen) – dadurch findet man die Parameter, die die Daten am besten beschreiben



Fitting, Beispiel $f(x) = ax^2 + bx + c$





Wie häufig zerfallen die Z oder W Bosonen in Elektronen oder Muonen?



Wie häufig zerfallen die Z oder W Bosonen in Elektronen oder Muonen?

Massen W 80 GeV, Z: 90 GeV, Muon 105 MeV, Elektron 0.5 MeV

Ausser der Masse gibt es in der schwachen Wechselwirkung keinen Unterschied zwischen Elektronen und Muonen

Messung: $442/448 = 0.91 \pm 0.08$

Erwartung aus dem Standardmodell: 1.00



Am LHC kollidieren positive Protonen, wir erwarten deshalb mehr W^+ als W^-

Erwartung: $R(W^+/W^-) = 1.43 \pm 0.04$

Erwartung aus dem Standardmodell: 1.15 ± 0.09



Die Produktionsprozesse von Z und W sind sehr unterschiedlich

Erwarteter Wert: $R(W/Z) = 10.74 \pm 0.04$



Die Produktionsprozesse von Z und W sind sehr unterschiedlich

Erwarteter Wert: $R(W/Z) = 10.74 \pm 0.04$

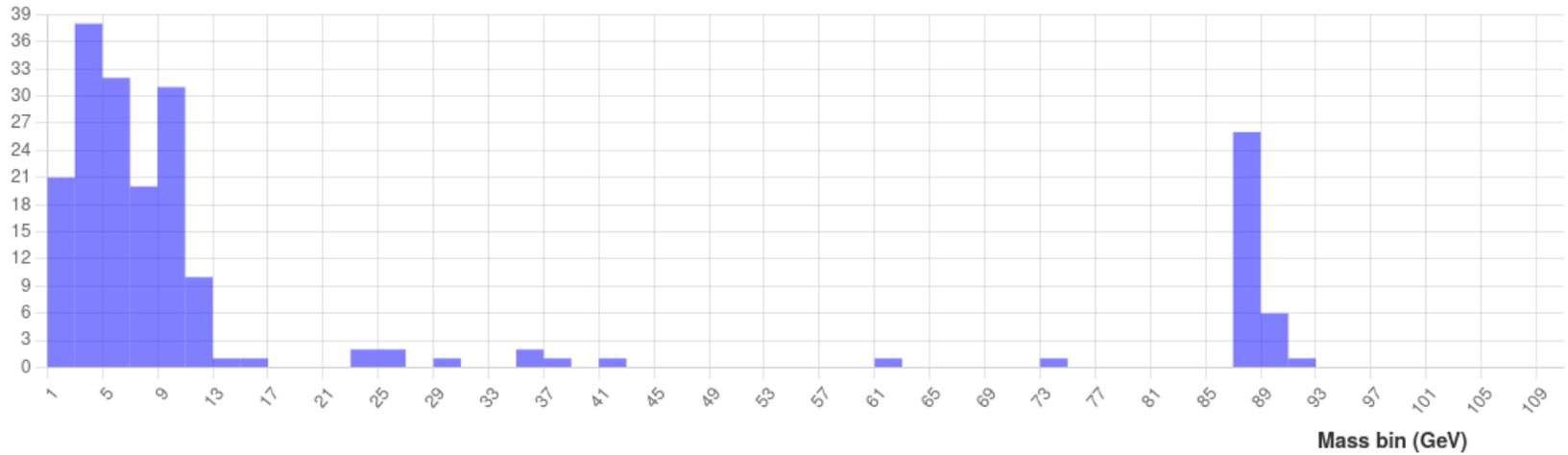
Messung: $R(W/Z) = 570/333 = 1.71 \pm 0.07$

falsch gemessen – was könnte man da falsch machen?



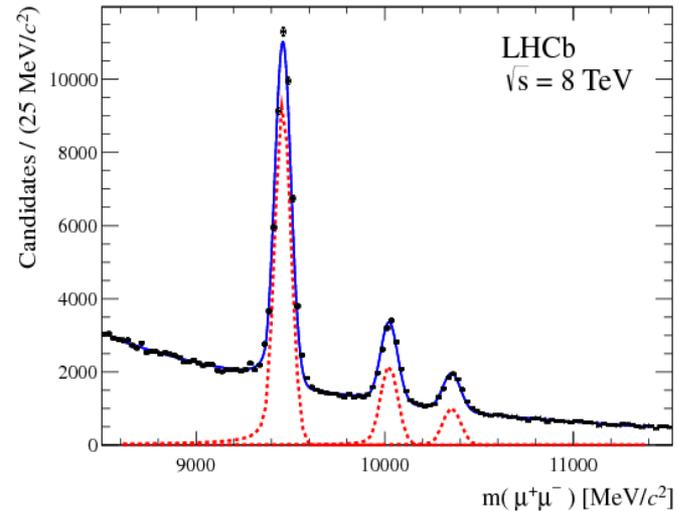
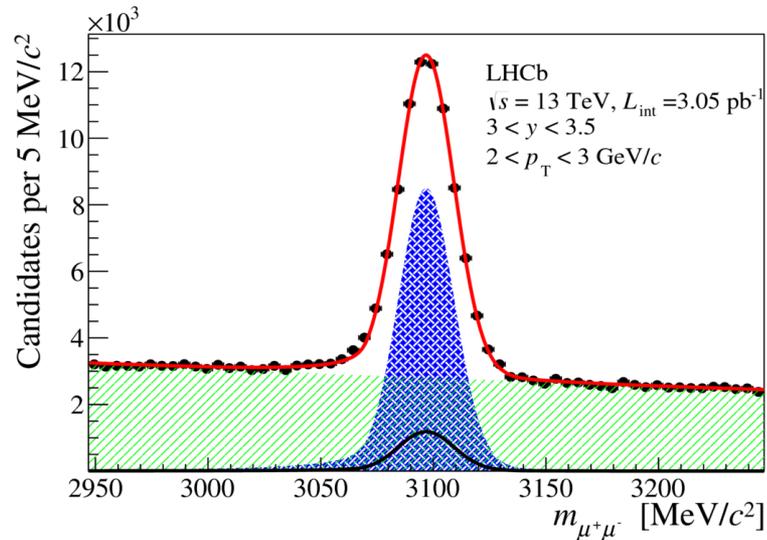
Events /
2GeV

2-Lepton Events



3 GeV: Signal vom J/ψ - Charm- und einem Anti-Charmquark

10 GeV: Upsilon Teilchen (drei Zustände) - b- und Anti-b Quark





CMS Masterclass

<https://www.i2u2.org/elab/cms/ispy-webgl>

ATLAS Masterclass

<http://atlas.physicsmasterclasses.org/no/index.htm>

LHCb Masterclass

<http://lhcb-public.web.cern.ch/lhcb-public/en/LHCb-outreach/masterclasses/en/>

ATLAS Citizen Science

Suche nach unerwarteten Higgs Zerfaellen

<http://www.higgshunters.org/>



Universität
Zürich^{UZH}

Eure Fragen



**Universität
Zürich** ^{UZH}



Backup



Signal oder Untergrund?

W-Zerfall: Zweikörperzerfall

Energie- und Impulsverteilung hängt vom Winkel zwischen den beiden Teilchen ab.

→ Verteilung vom Transversalimpuls p_T der Leptonen $p_T < M(Z,W)/2$ mit Peak um $p_T < M(Z,W)/2$

Versmierungen: Boson hat selber p_T , Detektorauflösung

Untergrund bei kleinem p_T :

Muonen aus Zerfall von Teilchen mit kleiner Masse
falsch identifizierte Muonen

→ Ein Schnitt (Cut) auf p_T reduziert Untergrund

