

Standardmodell auf dem Prüfstand:

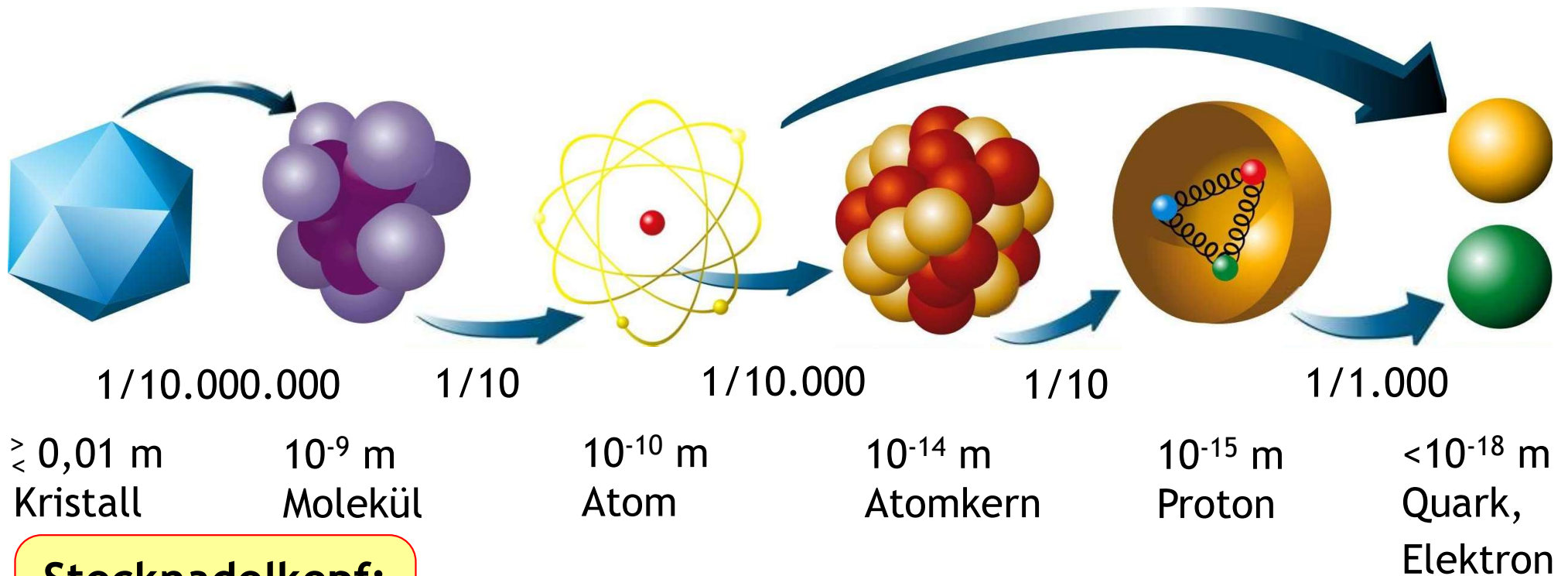
**Zwischen Präzessionsmessung und
direkten Suchen**

Standardmodell auf dem Prüfstand

Zwischen Präzisionsmessung und direkten Suchen

- Einführung
- Detektoren (ATLAS Myon Detektor: NSW)
- Messung der W-Boson Masse
- Suche nach Leptoquarks

Der Aufbau der Materie aus kleinsten Teilchen



Stecknadelkopf:

$$10^{-3} \text{ m} = 0,001 \text{ m}$$

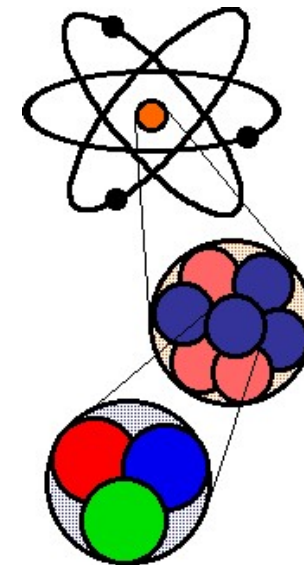
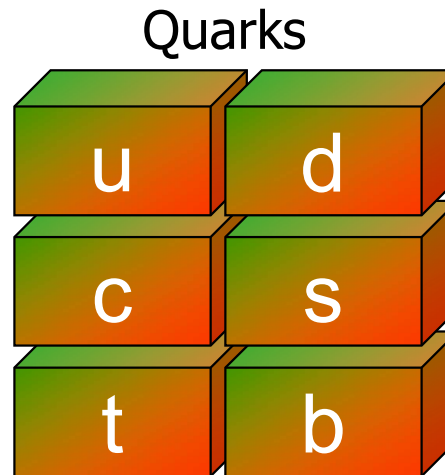
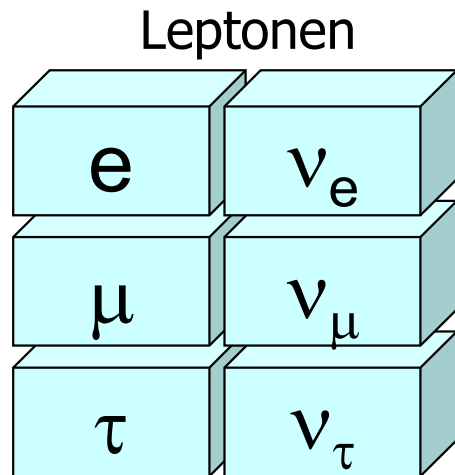
Elektron, Quark:

$$< 10^{-18} \text{ m} = 0,0000000000000000001 \text{ m}$$

punktförmig?

Das Standardmodell der Teilchenphysik

- Punktförmige, Spin- $\frac{1}{2}$ Fermionen

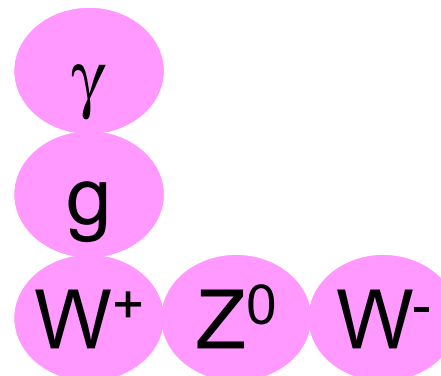


- Die durch den Austausch von Spin 1 Vektorbosonen miteinander wechselwirken

Elektromagnetisch 10^{-2}

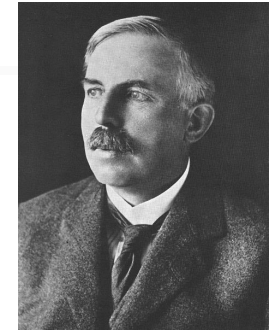
Stark 1

Schwach 10^{-6}

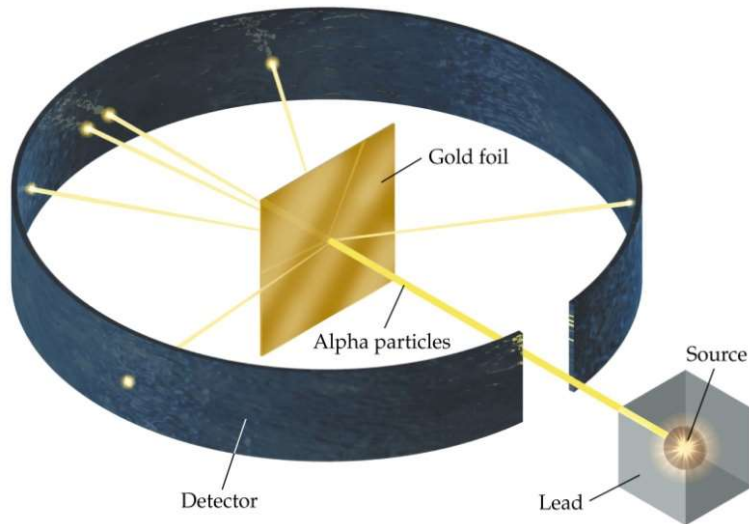


Higgs-Boson:
 Massen entstehen durch
 die Wechselwirkung der
 Teilchen mit dem Higgsfeld

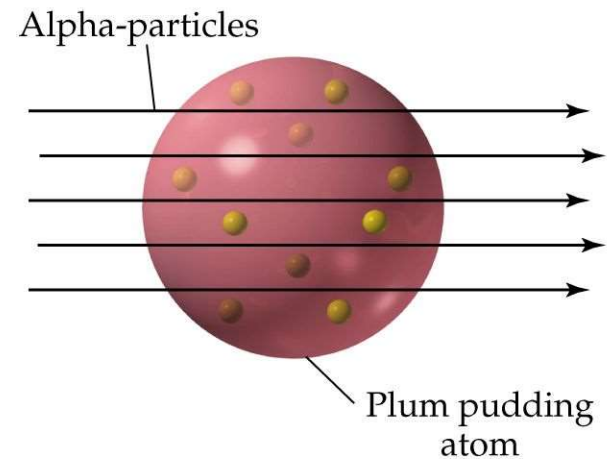
Streuexperiment: Rutherfordstreue (1913)



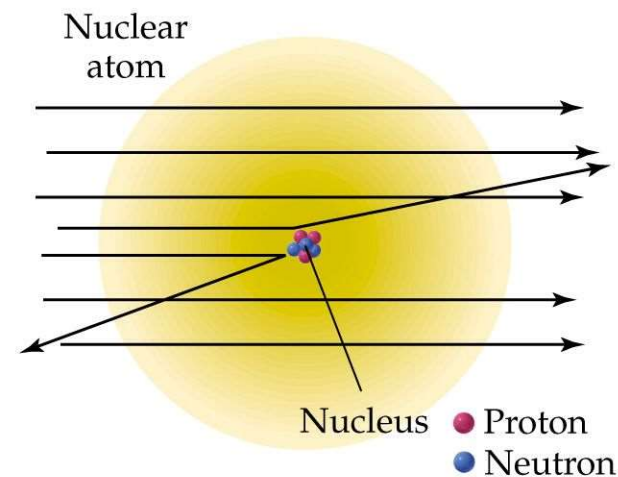
Messung der Struktur der Atome durch Streuversuche



Goldatome in einer Folie

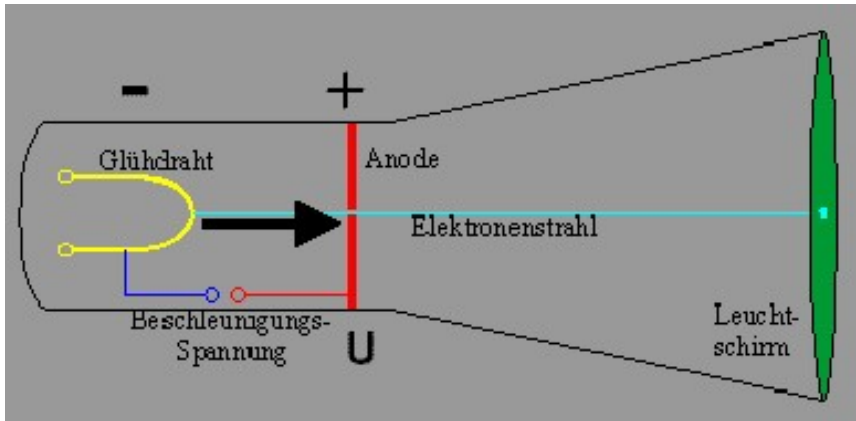


(a) Rutherford's Expected Result



(b) Rutherford's Actual Result

Teilchenbeschleunigung

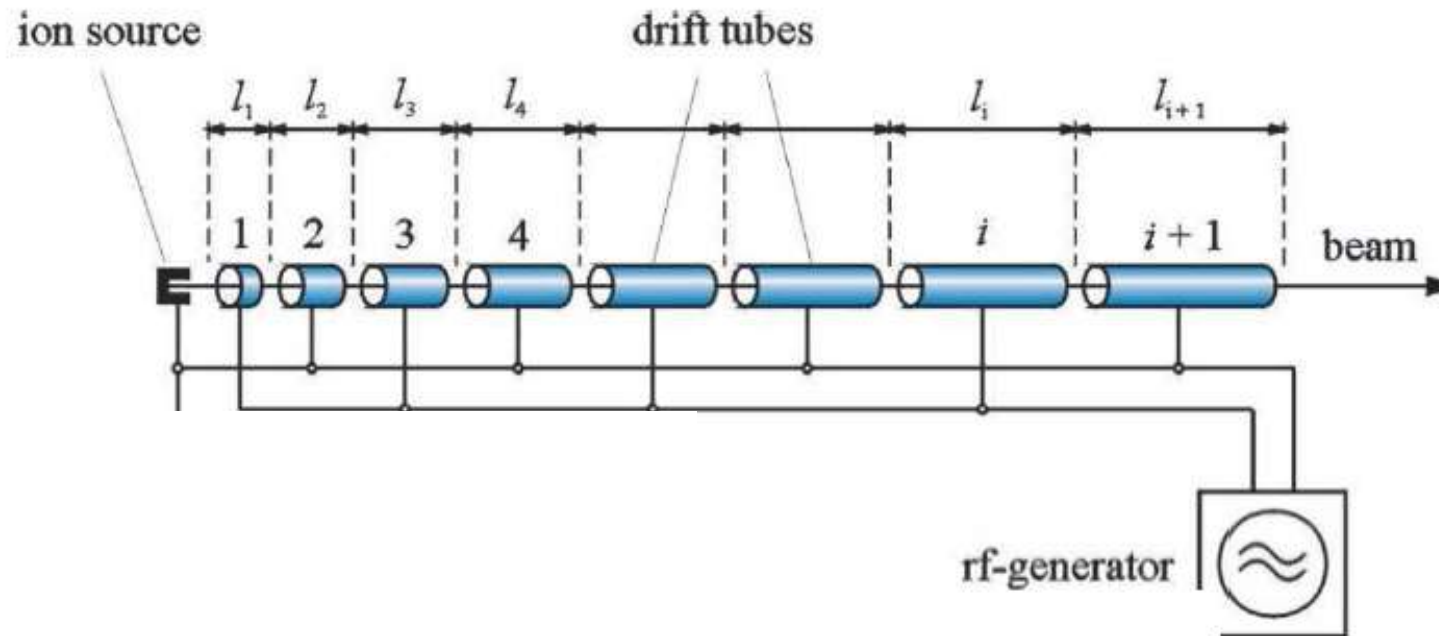


Beschleunigung von geladenen Teilchen im elektrischen Feld.

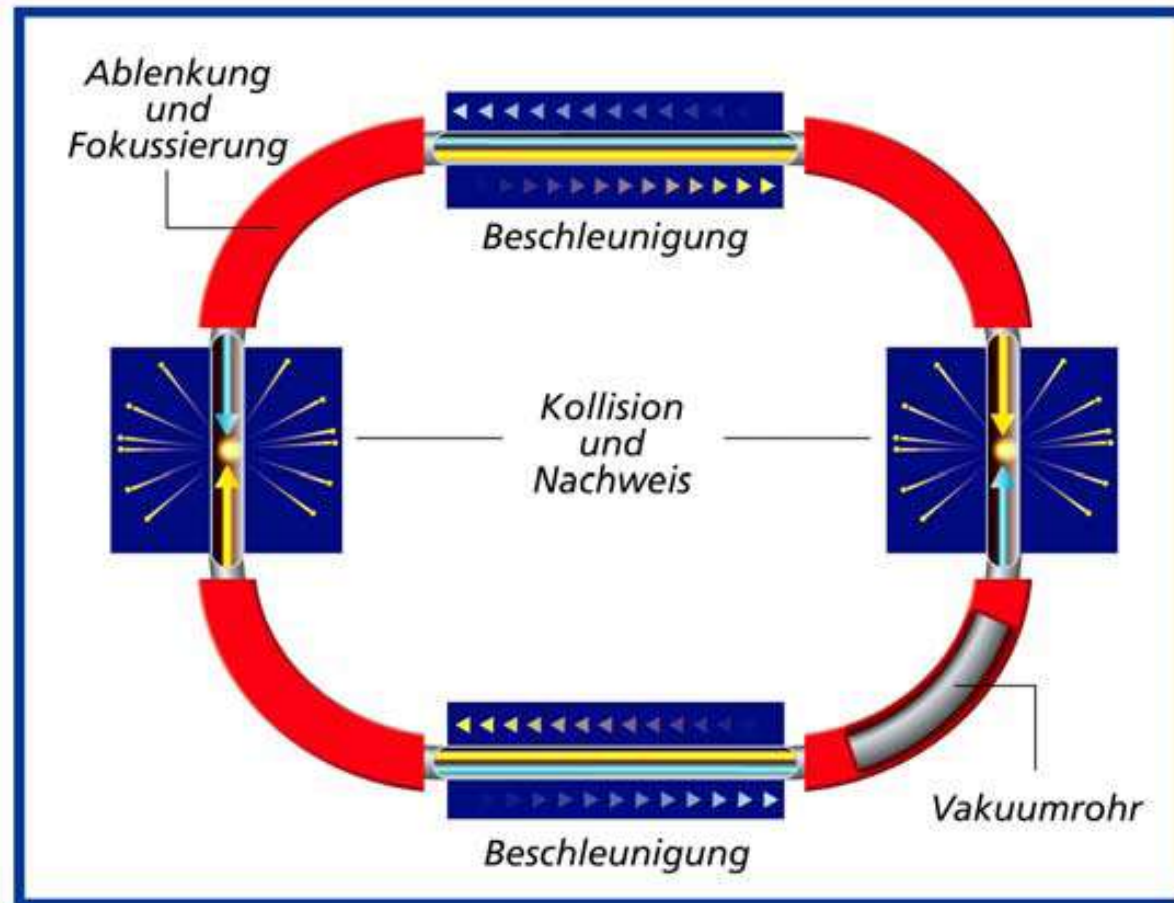
Die Braunsche Röhre („Alter Fernseher“)

$U=1000\text{V} \Rightarrow$ kinetische Energie: 1000 eV

Ziel: 10^{12} eV = 1TeV \Rightarrow Beschleunigung mit Wechselspannung



Kreisbeschleuniger (Synchrotron)



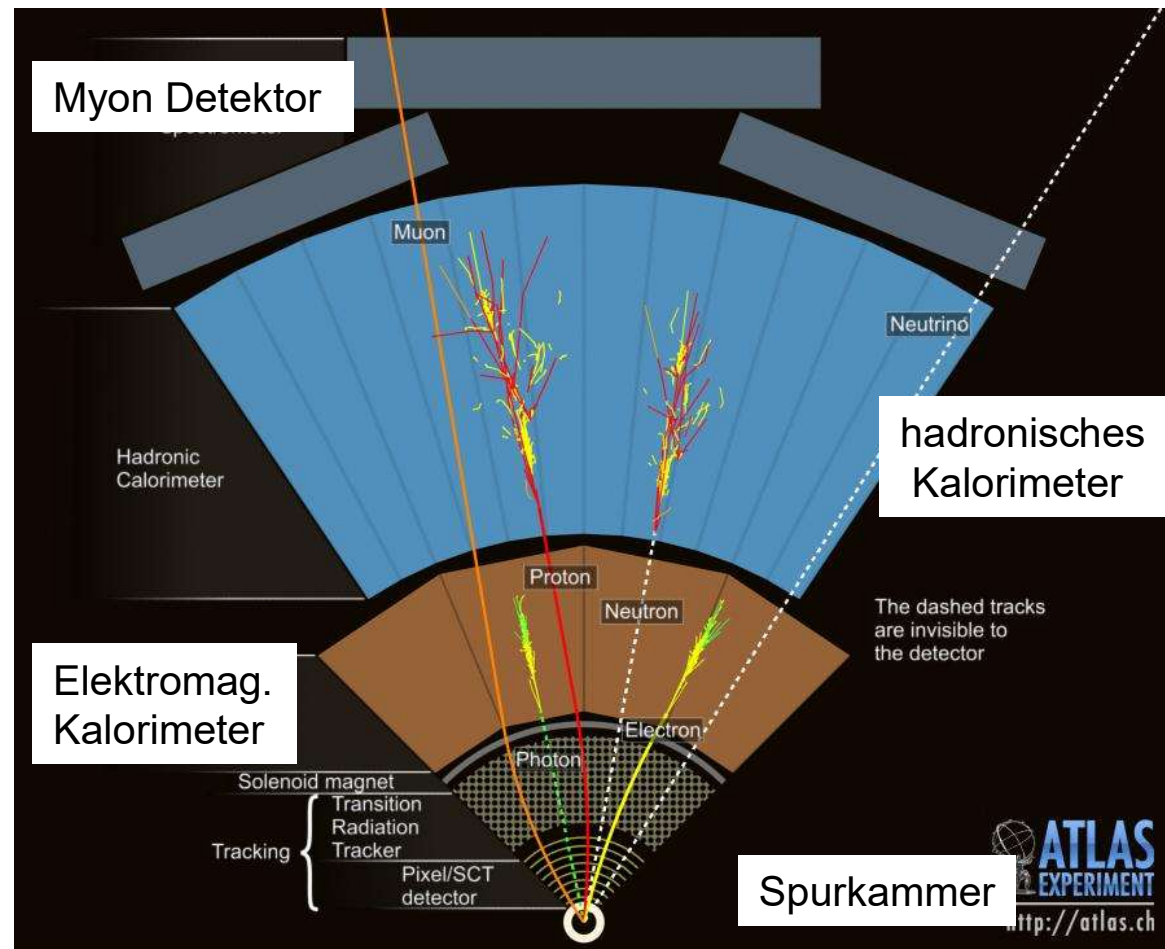
Vorteile:

- Mehrfachbenutzung der Beschleunigerstrecken
- Höhere effektive Schwerpunktsenergie im "Collider"-Modus
- Effektivere Ausnutzung der Teilchen (Speicherring)

Nachteile: Strahl muss mit Magnetfeldern umgelenkt werden

Grundprinzip von Teilchendetektoren

- Spuren geladener Teilchen (Ionisation)
- Elektromag. Schauer ($e \rightarrow e\gamma$, $\gamma \rightarrow ee$; im Feld des Kerns)
- Hadronischer Schauer (Hadron+Kern \rightarrow mehrere Hadronen+Kern)
- Myon Kammern, wird nur von Myonen (und Neutrinos) erreicht
- Impulsbilanz: Neutrinos werden im Detektor nicht gesehen



Elektronen und Myonen können von anderen Teilchen unterschieden werden

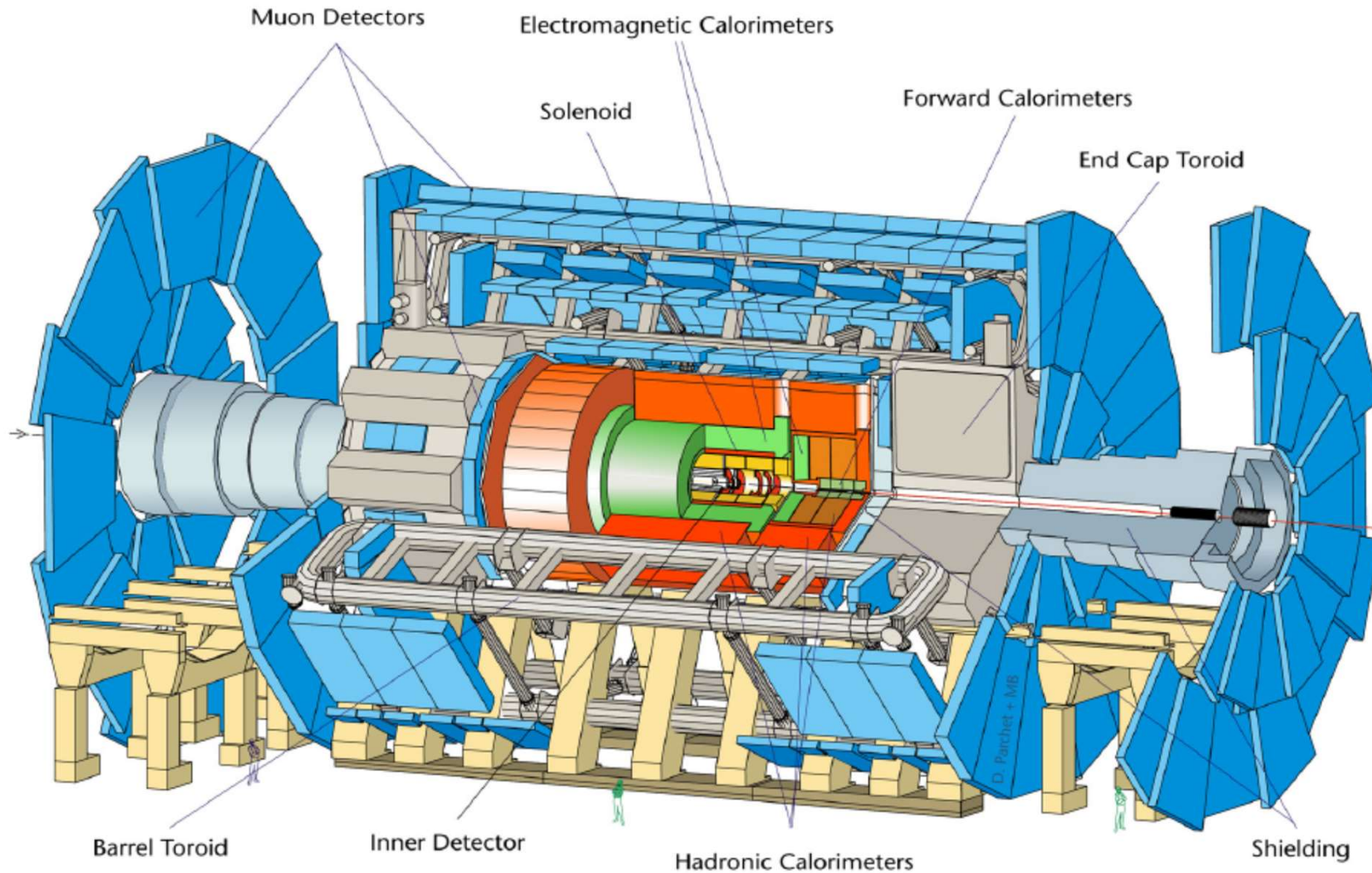
Photonen bilden Schauer im Elektromag. Kalorimeter

Quarks und Gluonen bilden Teilchen-Jets, die gemessen werden können

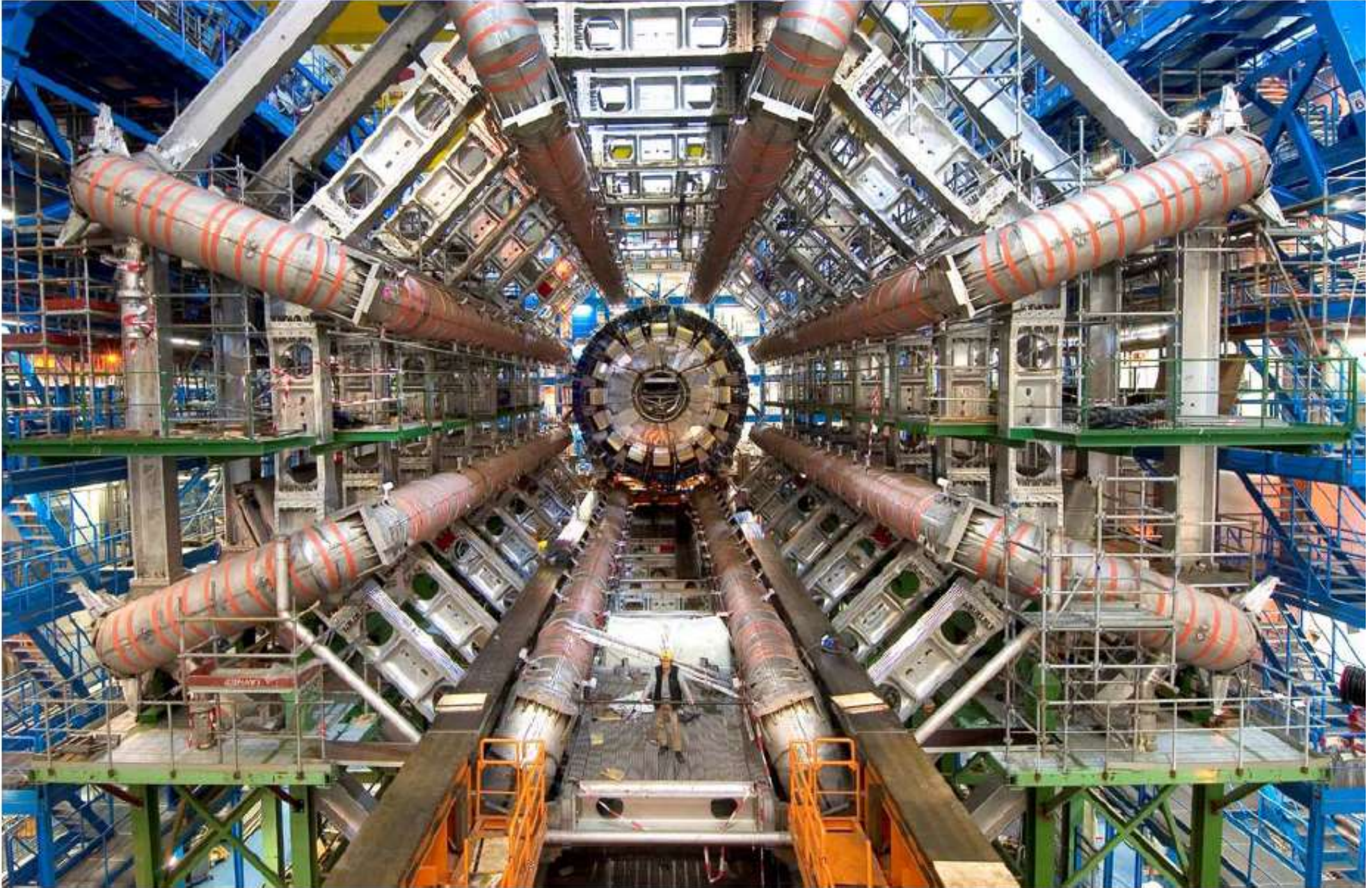
Fehlender Impuls ist Zeichen für nicht gesehene Teilchen

Atlas

<i>Diameter</i>	<i>25 m</i>
<i>Barrel toroid length</i>	<i>26 m</i>
<i>End-cap end-wall chamber span</i>	<i>46 m</i>
<i>Overall weight</i>	<i>7000 Tons</i>



Die Magnetspulen des ATLAS Myon Detektors

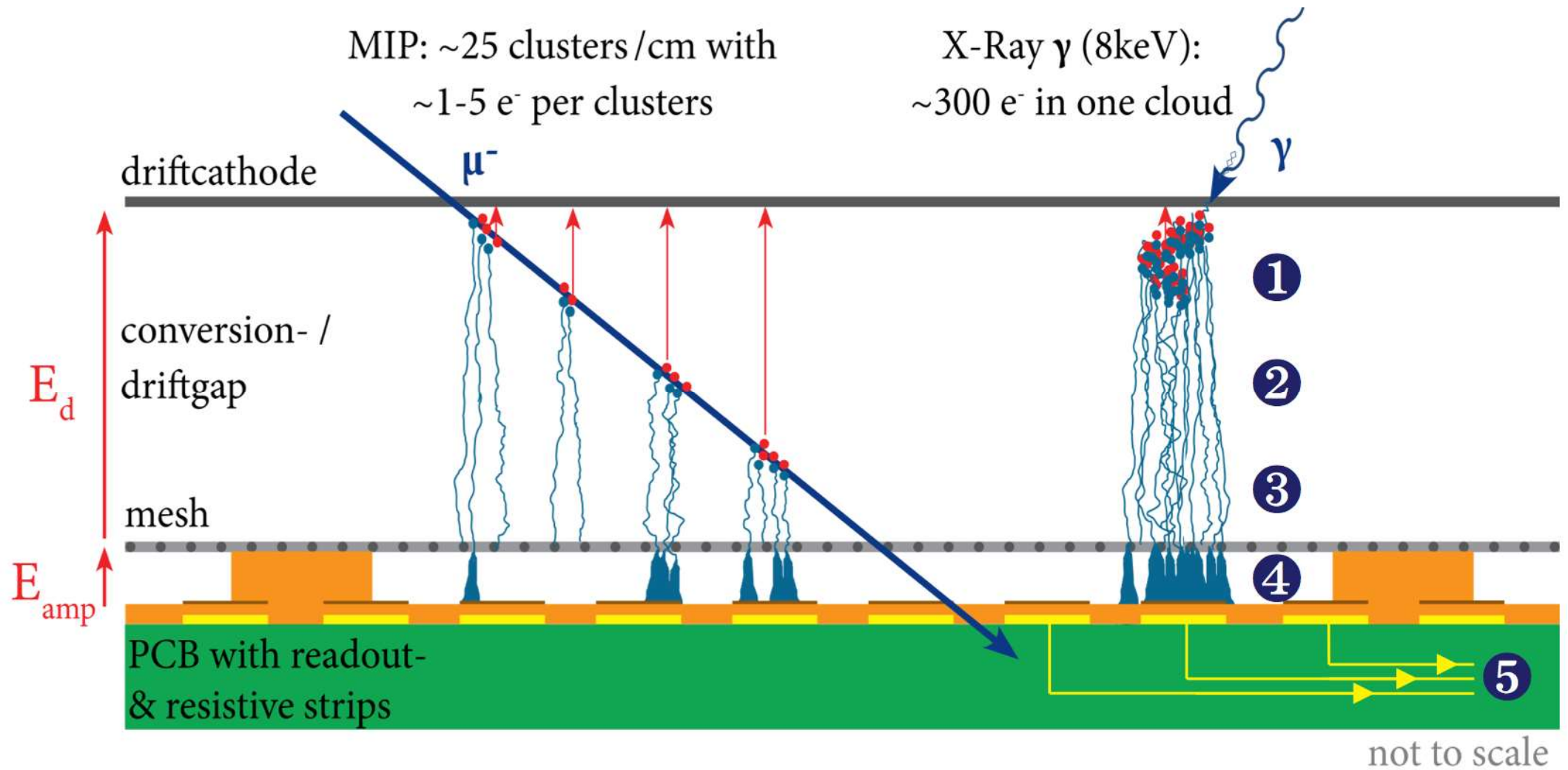




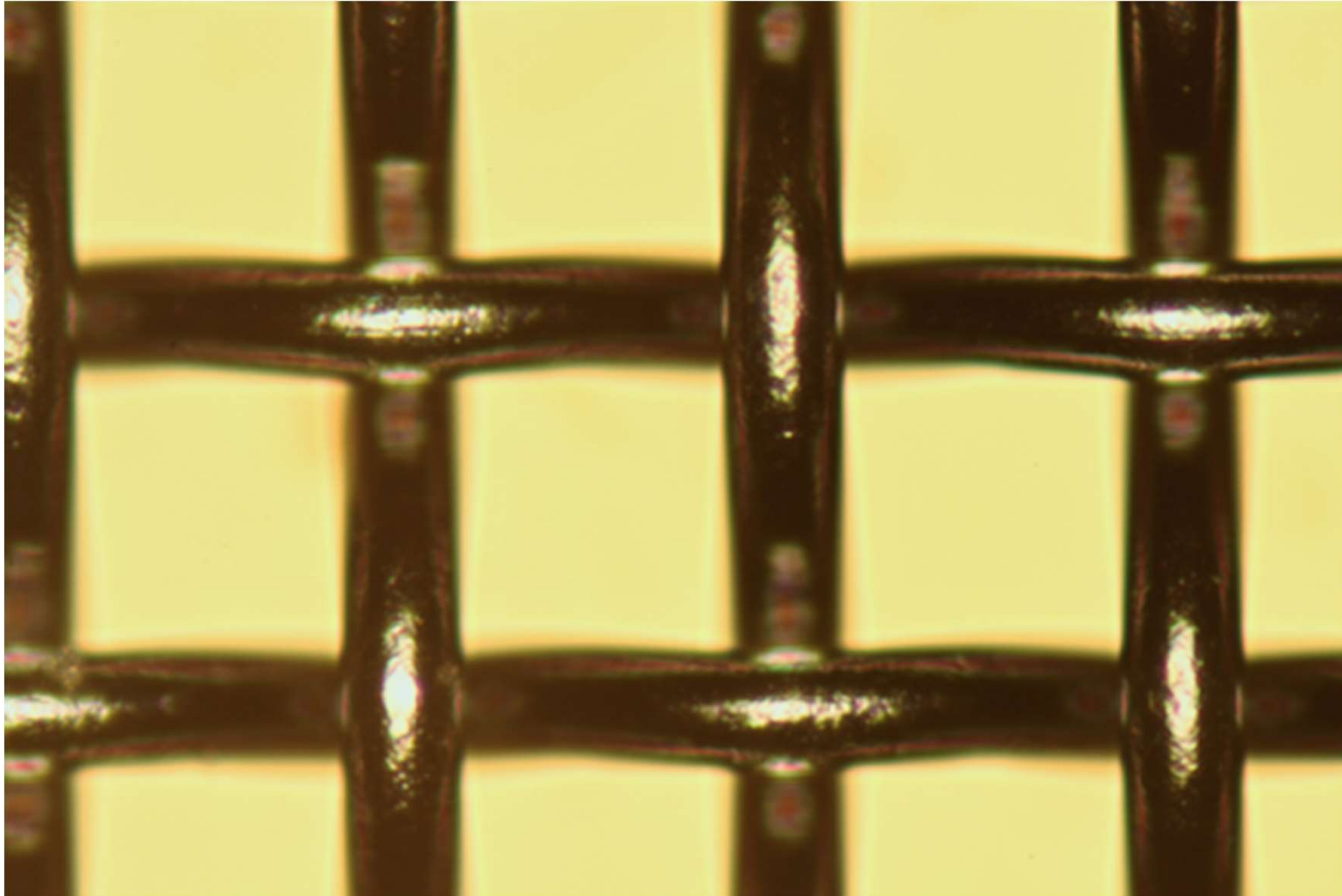
NSW (new small wheel)

Mit gebaut in Würzburg

Micromega - Detektor



Mesch











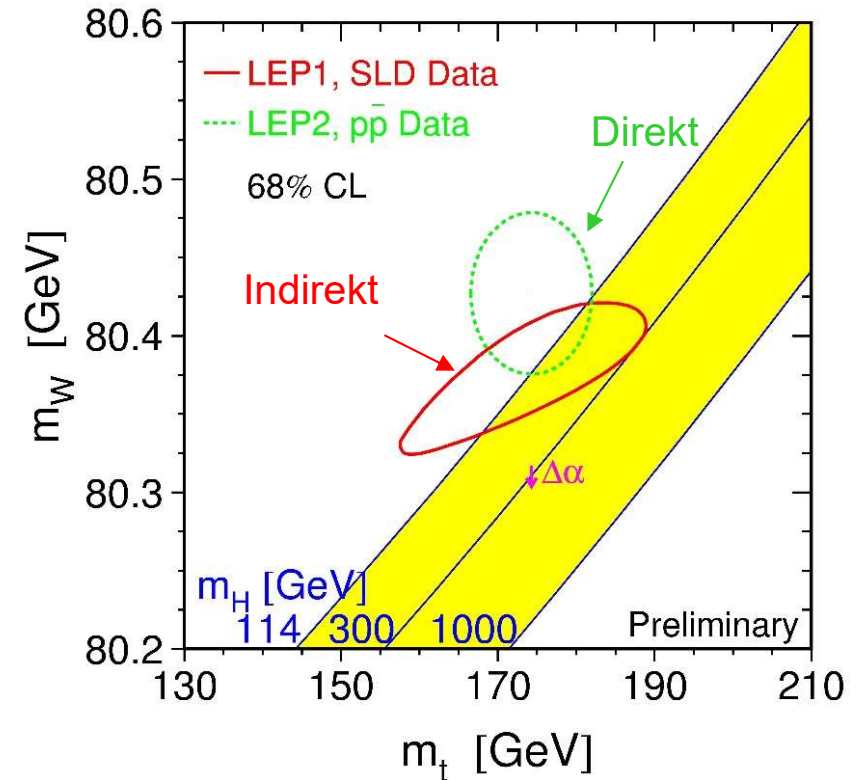
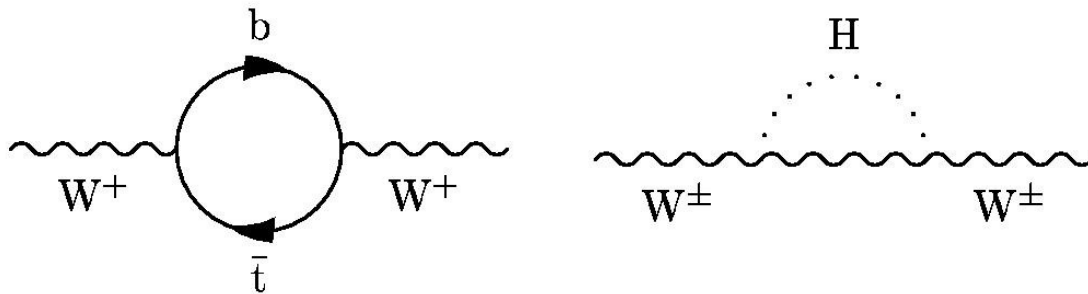




Präzisionstest des Standardmodells

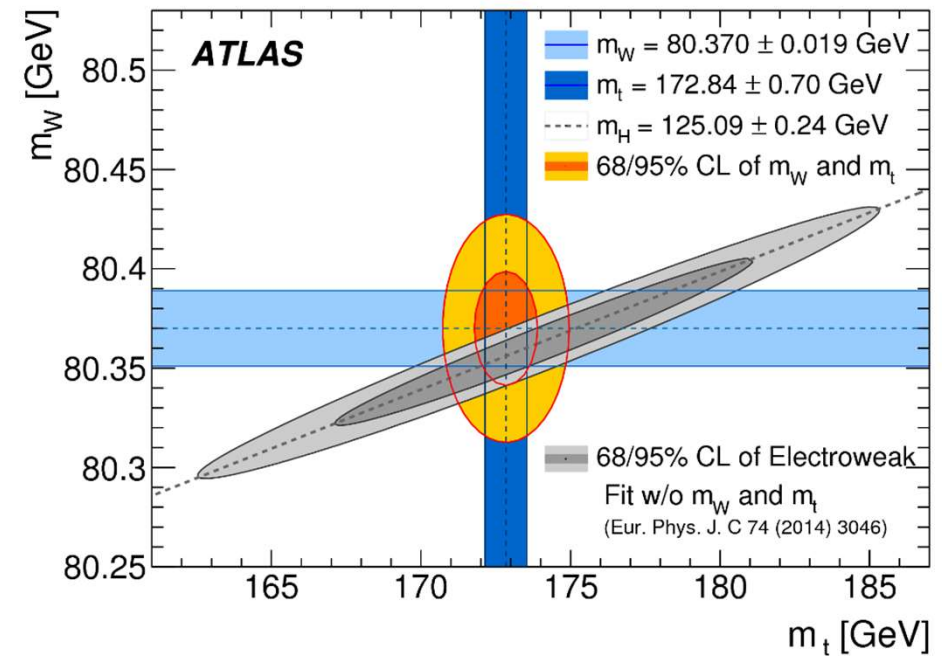
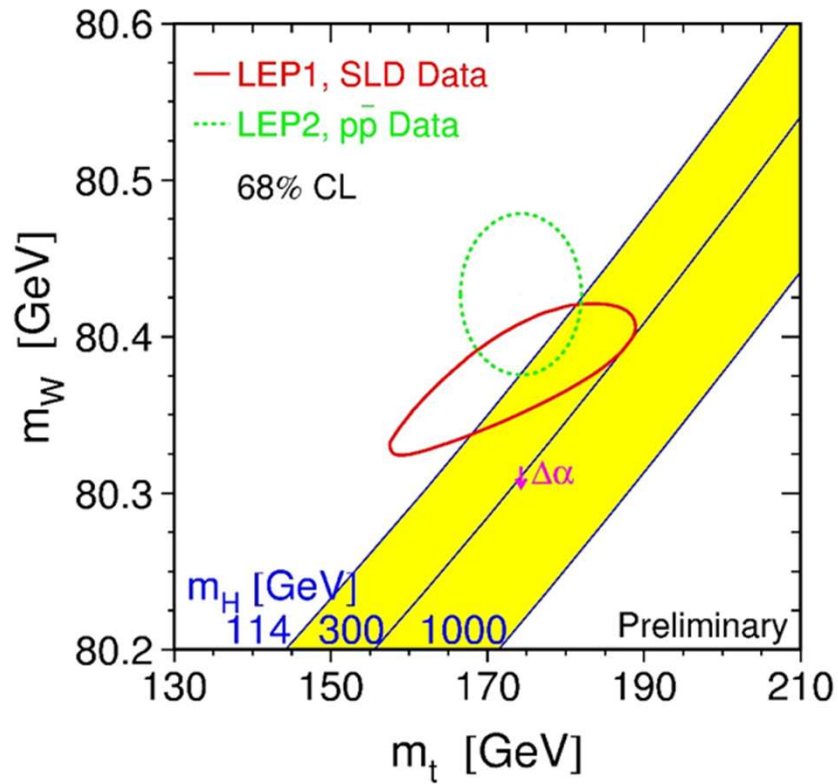
Kennt man die Stärke der elektromag. WW (α) und der schwachen WW (G_μ) kann man die Messung der Z-Masse (M_Z) benutzen um die W-Masse vorherzusagen.

Zusätzliche Abhängigkeit von M_{Top} und M_{Higgs} durch Beiträge höherer Ordnung



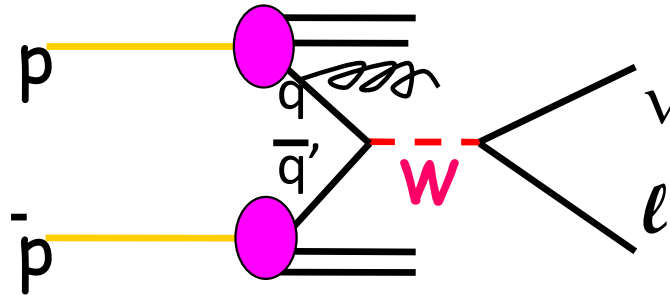
Messung von M_W und M_{Top} testet das Standardmodell auf dem Niveau von Schleifen-Korrekturen.

Neuerer stand nach Messung der Higgs Masse

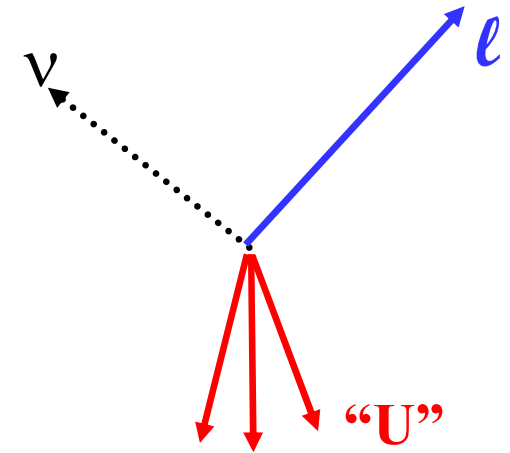


Bestimmung der W-Masse

W
Produktion



Beobachtung im
Detektor:



1. Berechne transversale Masse

$$M_T = \sqrt{(E_T^\ell + E_T^\nu)^2 - (\vec{P}_T^\ell + \vec{P}_T^\nu)^2}$$

2. Bestimme fehlenden Transversalimpuls.

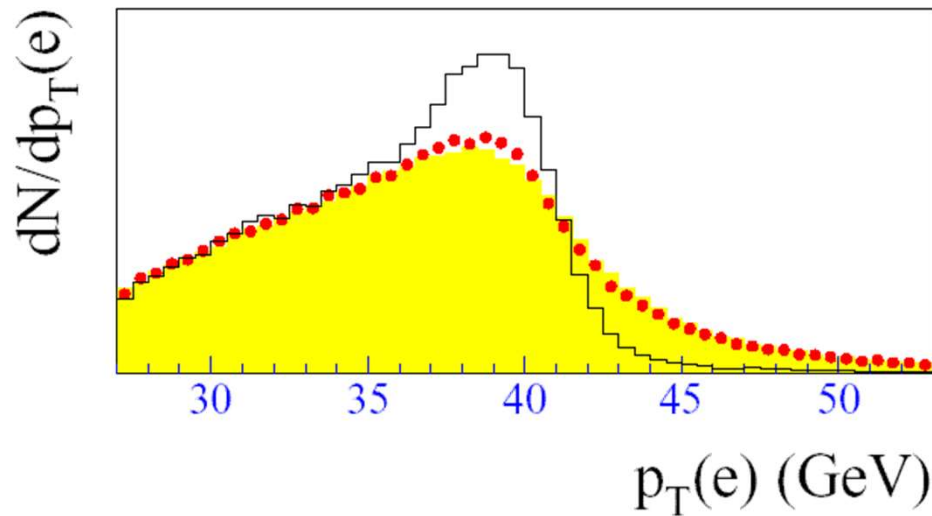
$$\vec{P}_T^\nu = -(\vec{P}_T^\ell + \vec{U})$$

Messung von M_W mit p_T des Leptons

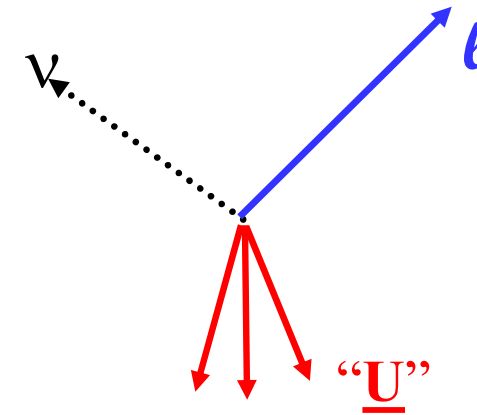
Linie: MC mit $p_T^W = 0$, keine Detektor-Effekte

Punkte: MC mit $p_T^W \neq 0$, keine Detektor-Effekte

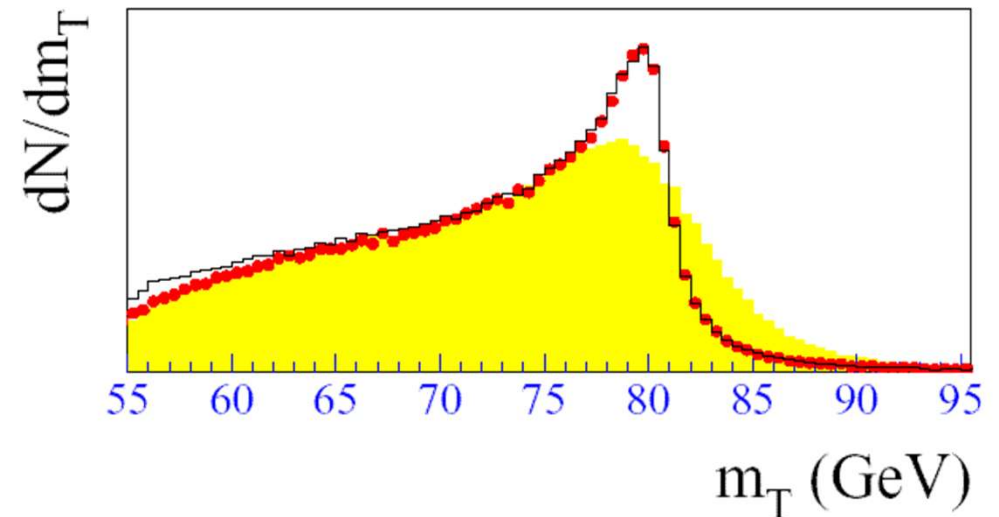
Fläche: MC mit $p_T^W \neq 0$, Detektor-Effekte



- grosse Abhängigkeit von p_T^W
 - Benutze Z-Ereignisse um die Modelle zu testen
- Nur das Lepton muss gemessen werden



$$M_T = \sqrt{(E_T^\ell + E_T^\nu)^2 - (\vec{P}_T^\ell + \vec{P}_T^\nu)^2}$$



- Auflösung von U verschmiert die Verteilung

Einschub Monte Carlo Simulation (MC)

Kompliziert Abhängigkeit der Messung von Grundlegenden Parametern

- Grundlegende Parameter
- Wahrscheinlichkeit einer bestimmten Reaktion
- Zerfall
- Wechselwirkung mit dem Detektor
- Signal im Detektor
- Kalibrierte Messgröße

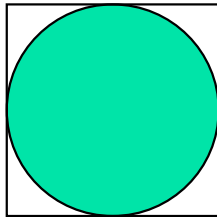
⇒ Simulation mit Zufallszahlen

- Variation der Parameter bis Vorhersage mit Messung übereinstimmt
- Vergleich Daten vs. Simulation in Kontrollregionen (Kalibration)
- Unsicherheiten in der Simulationskette ergeben systematische Fehler

Einschub Monte Carlo Simulation (MC)

Formal Numerische Integration mit komplizierten Randbedingungen

- Beispiel: Bestimmung von Kreisfläche



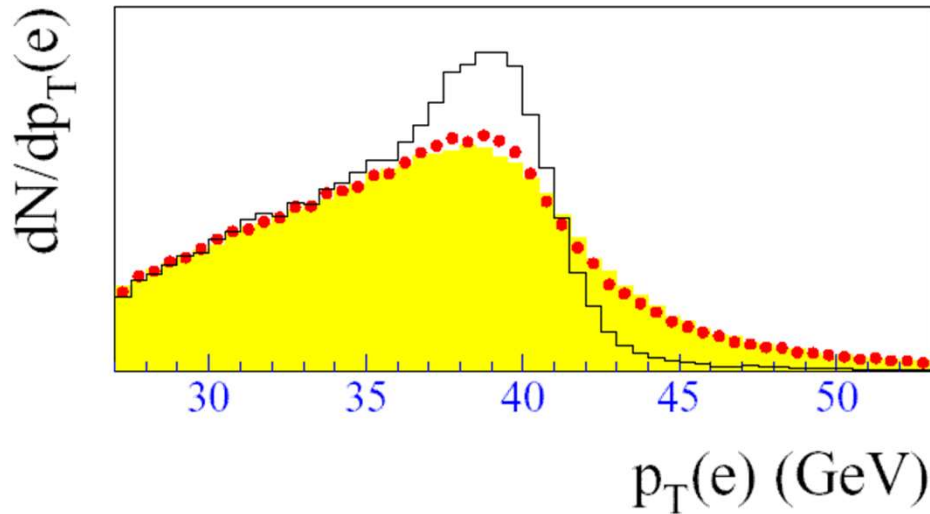
- N Paare gleichverteilter Zufallszahlen (x,y) im Intervall $[-1,1]$
- Kreisfläche/Quadrat entspricht Bruchteil mit $x^2 + y^2 < 1$
- Entspricht $\int_{Kreis} 1 dA$
- Randbedingung entspricht Integrationsgrenzen
- Integrand würde Gewicht entsprechen.

Messung von M_W mit p_T des Leptons

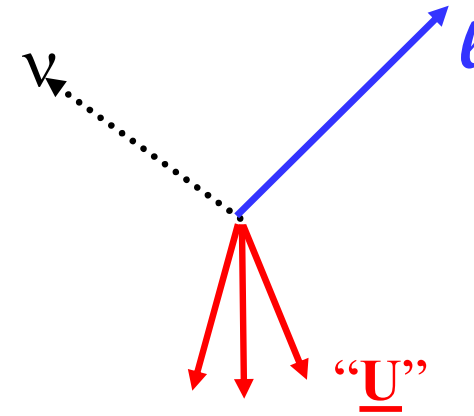
Linie: MC mit $p_T^W = 0$, keine Detektor-Effekte

Punkte: MC mit $p_T^W \neq 0$, keine Detektor-Effekte

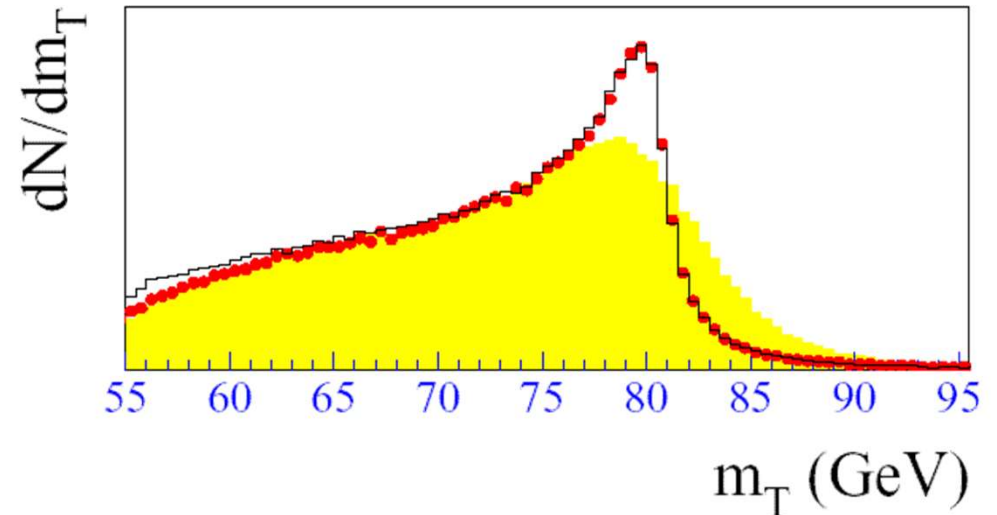
Fläche: MC mit $p_T^W \neq 0$, Detektor-Effekte



- grosse Abhängigkeit von p_T^W
 - Benutze Z-Ereignisse um die Modelle zu testen
- Nur das Lepton muss gemessen werden



$$M_T = \sqrt{(E_T^\ell + E_T^\nu)^2 - (\vec{P}_T^\ell + \vec{P}_T^\nu)^2}$$

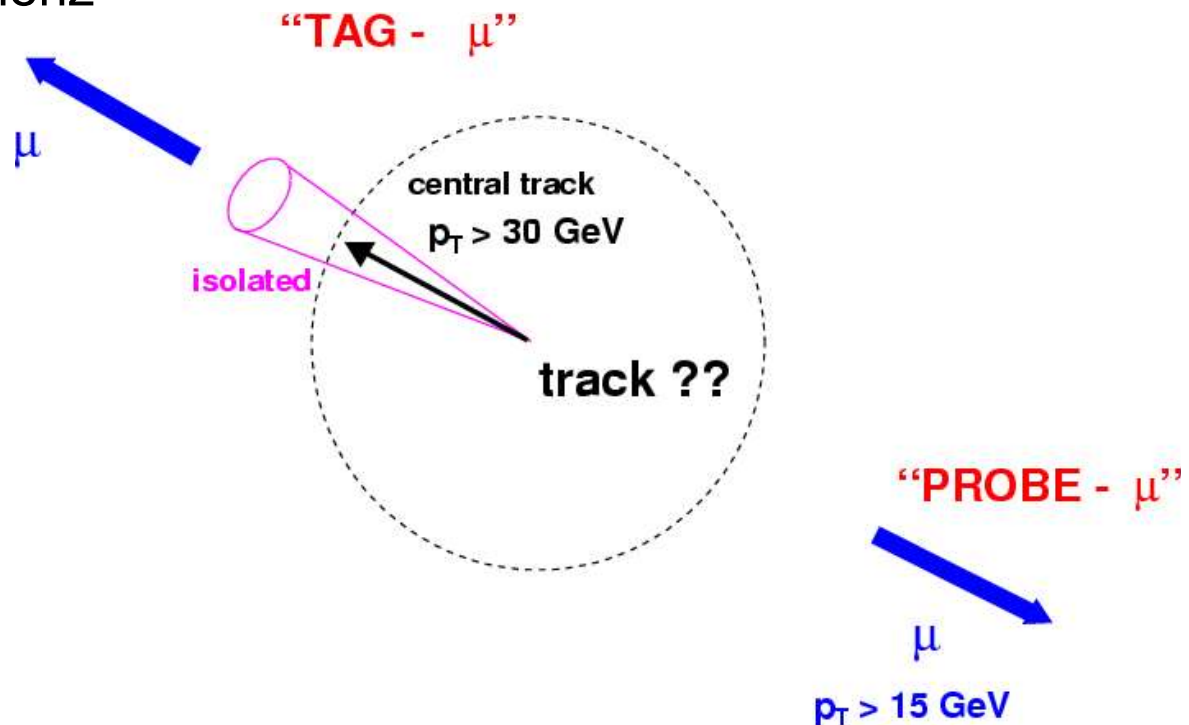


- Auflösung von U verschmiert die Verteilung

Bestimmung von Effizienzen aus Daten

$Z \rightarrow \mu\mu$ um Myonen zu studieren

- Ein Myon das die höchsten Qualitätsanforderungen erfüllt
- Beide Myonen haben zusammen die invariante Masse des Z
⇒ Zweite Objekt ist auch ein Myon
- Benutze Messgröße nicht bei der Auswahl des zweiten Myons
 - Spurkammer Effizienz
 - Muonkammer Effizienz
 - Trigger Effizienz



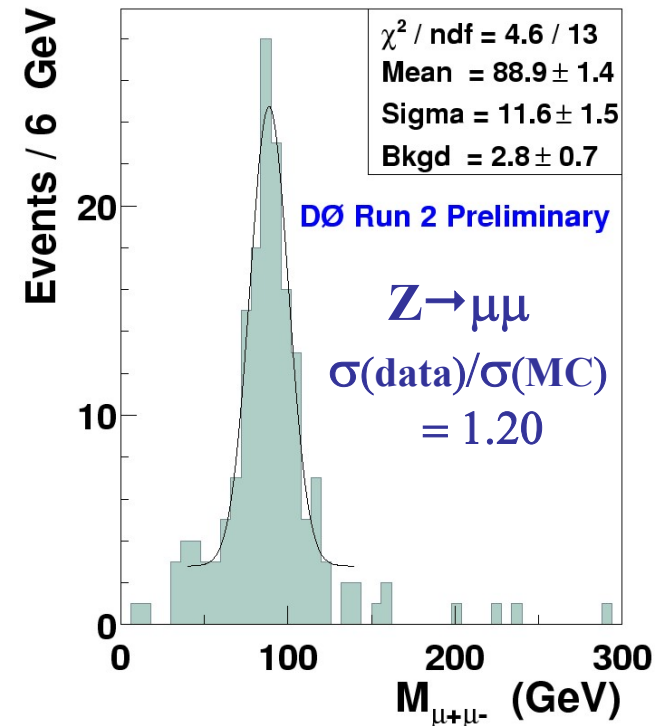
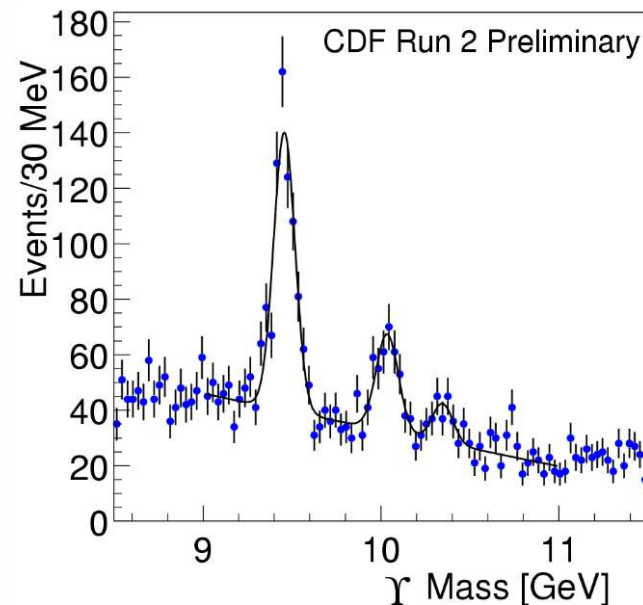
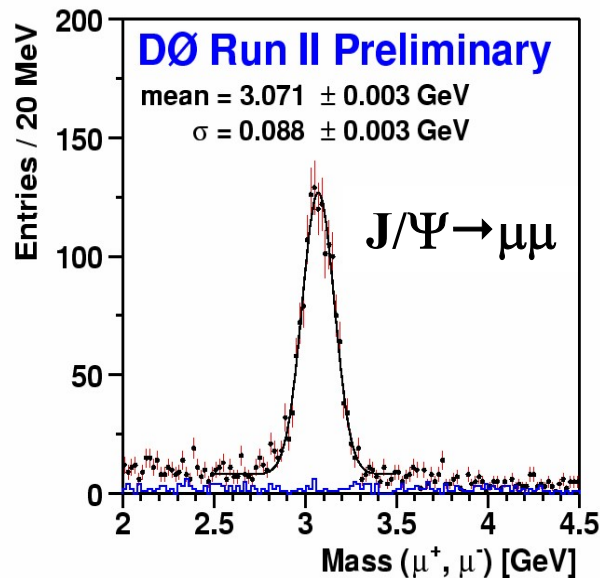
Impulsskala und Auflösung

Vergleiche Daten und MC für I^+I^- Resonanzen

- Position des Peaks \Rightarrow Energie- bzw. Impulsskala
- Breite des Peaks \Rightarrow Energie- bzw. Impulsauflösung

Nur Leptonen aus Z haben ein vergleichbares Energiespektrum

- 10 mal weniger Z-Ereignisse als W-Ereignisse

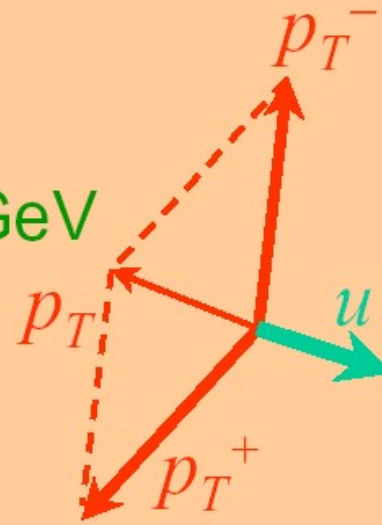


Kalibrierung des „Underlying Events“

Verständnis des „Underlying events“

- Verständnis des physikalischen Prozesses
- Detektor-Effekte, Noise etc.
- Es reicht nicht, U aus rekonstruierten Jets zu bestimmen
- Summierung aller Aktivitäten im Kalorimeter

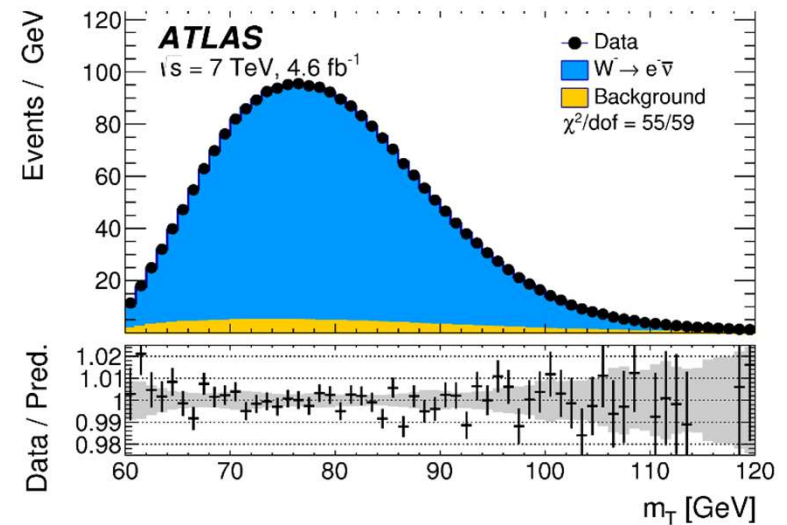
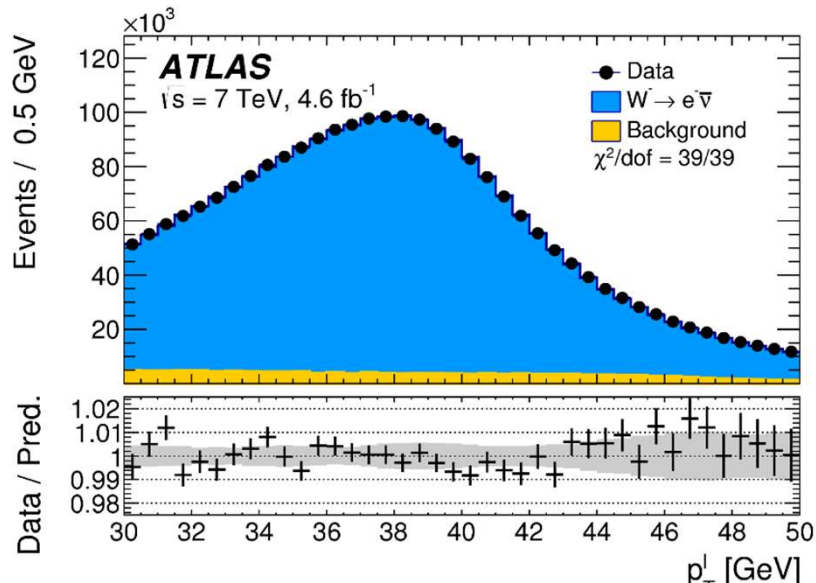
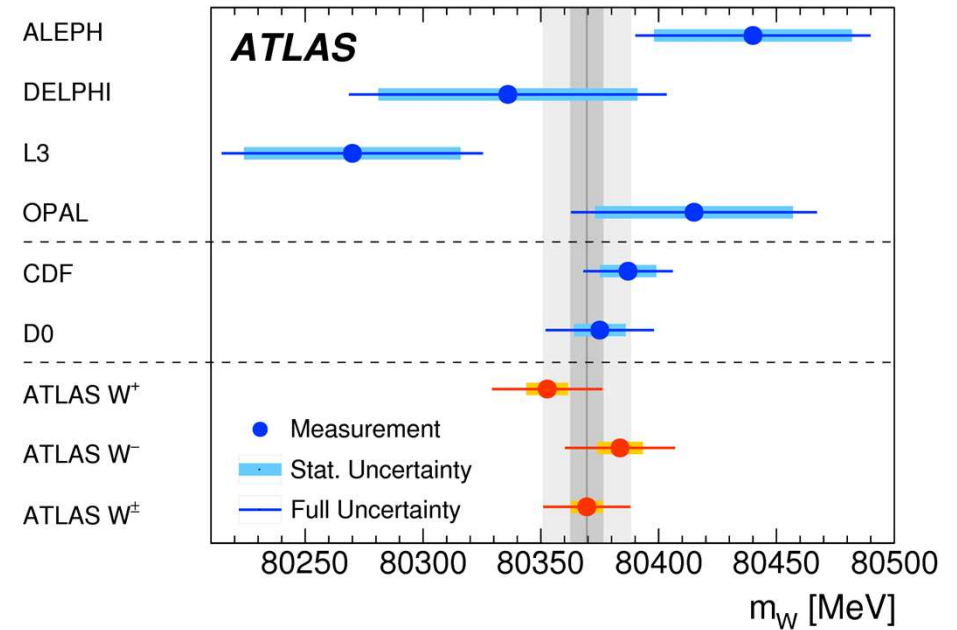
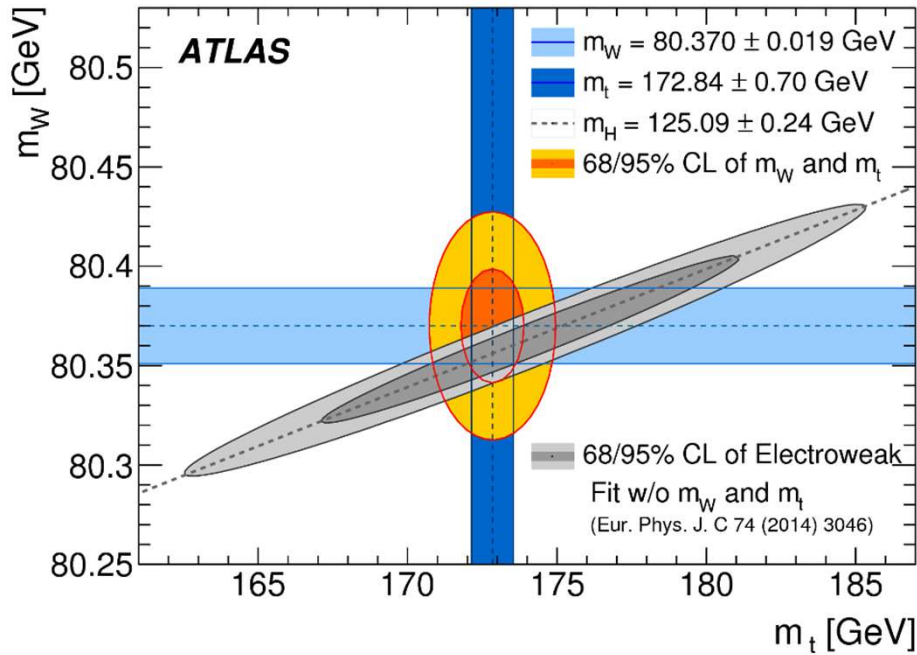
○ $Z \rightarrow ee, \mu\mu$
 $m_Z = 91.187 \pm 0.002 \text{ GeV}$
➔ calibrate p_T
measure p_T^+, p_T^-, u
➔ calibrate u



Benutze Z-Ereignisse um p_T Untersuchungen

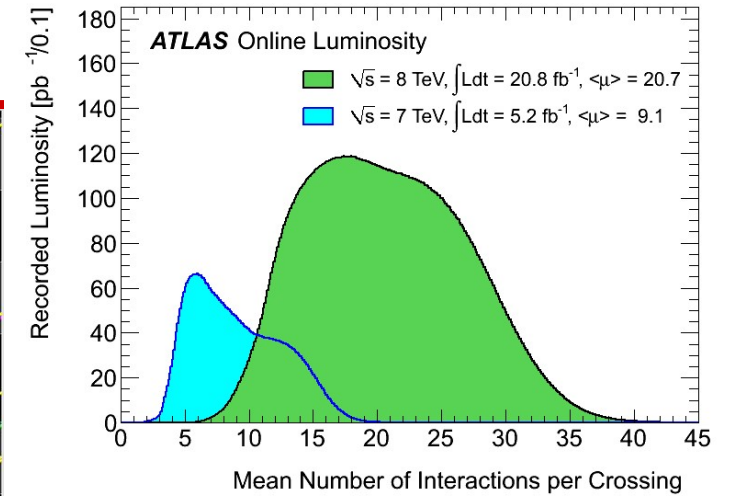
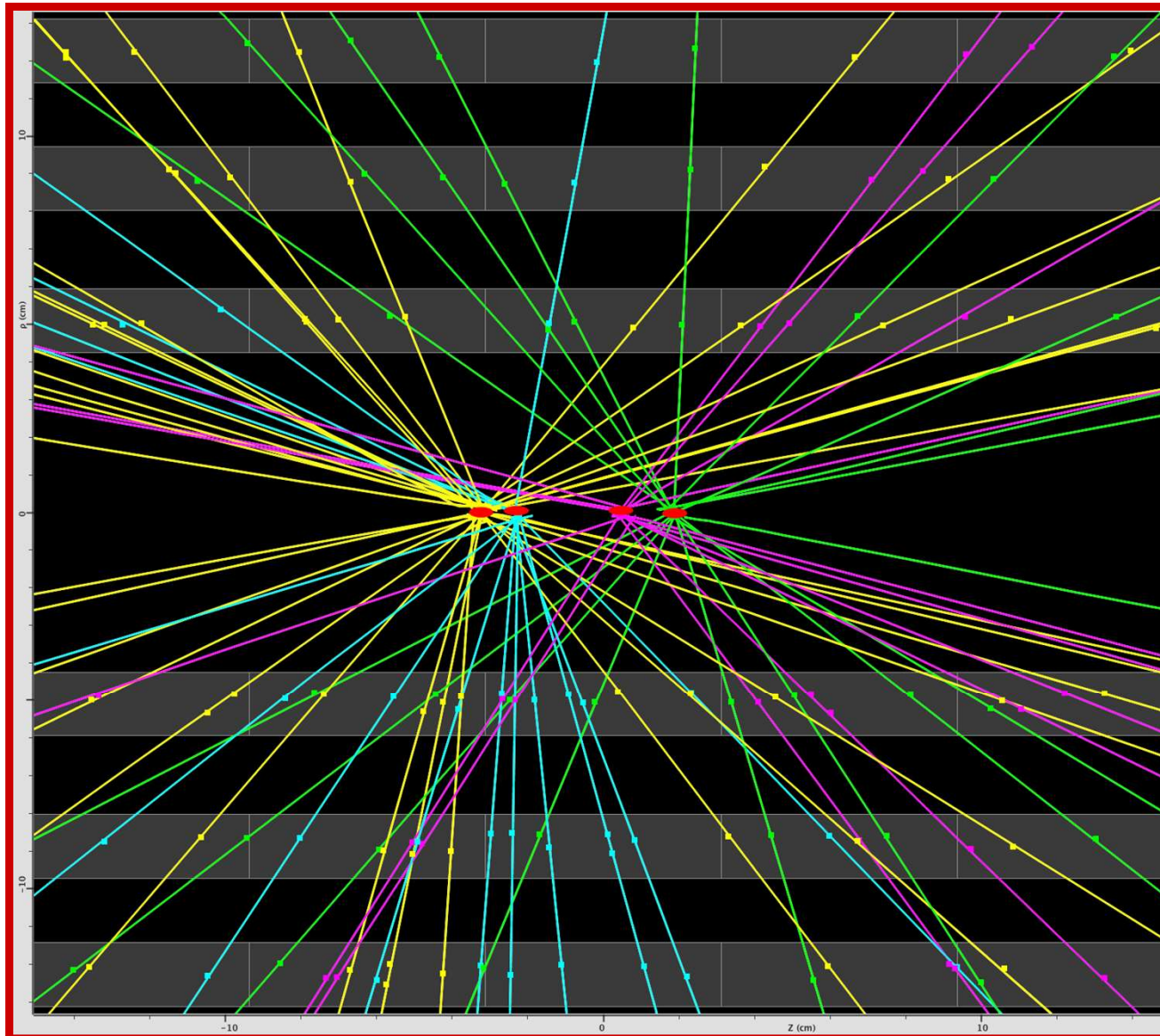
- Teste ob Modelle p_T richtig beschreiben
- Bestimme Detektor Auflösung für die Messung von U.

Die W Masse



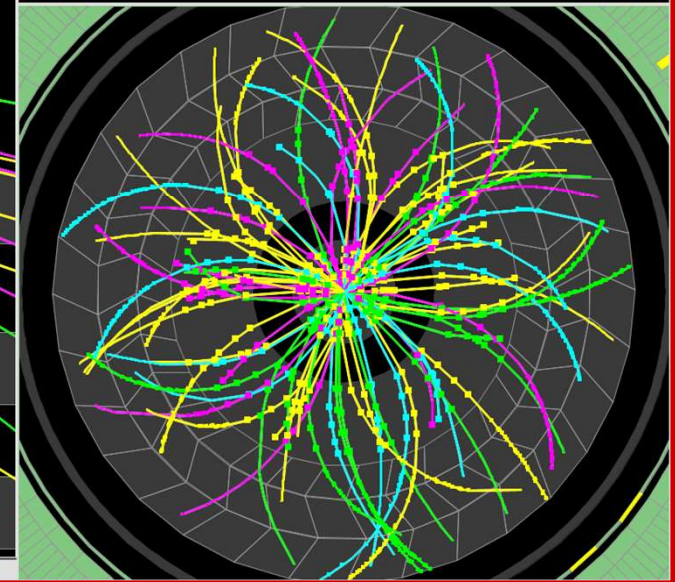
m_T hat in „low-pileup“ Runs viel bessere Auflösung

Erste Daten: Ereignis mit 4 gleichzeitigen Kollisionen



Date: 2010-04-24 04:18:53 CEST

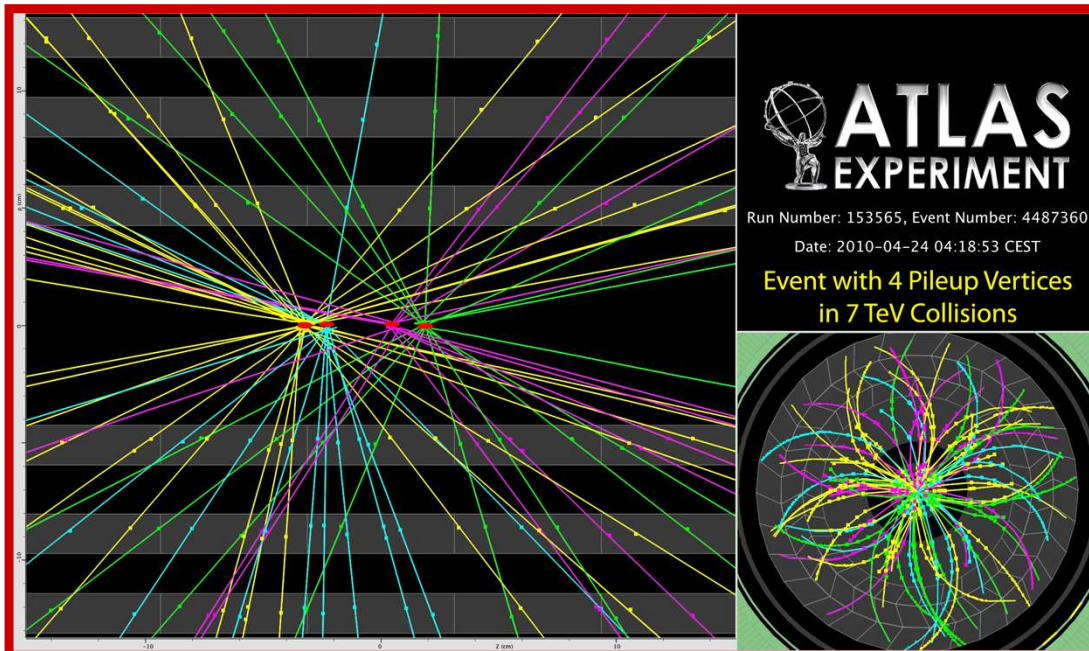
**Event with 4 Pileup Vertices
in 7 TeV Collisions**



Ein weiteres Detail

Typisches Kriterium: Muon muss vom Rekonstruierten primären Vertex kommen

- Wenn wenige zusätzliche Spuren da sind kann der „Falsche“ Vertex gefunden werden
- Wichtiger Effekt wenn p_T vom Boson (und damit hadronischer Recoil U) klein
- Nicht gut Moduliert in Simulation
 - Systematischer Fehler durch Vergleich verschiedener Simulationen
- Korrektur durch Messung der zusätzlichen Spuren in $Z \rightarrow \mu\mu$
 - Vertex wird gefunden da 2 Muonen vorhanden sind



Suche nach Physik jenseits des Standardmodells

Warum Physik jenseits des Standardmodells?

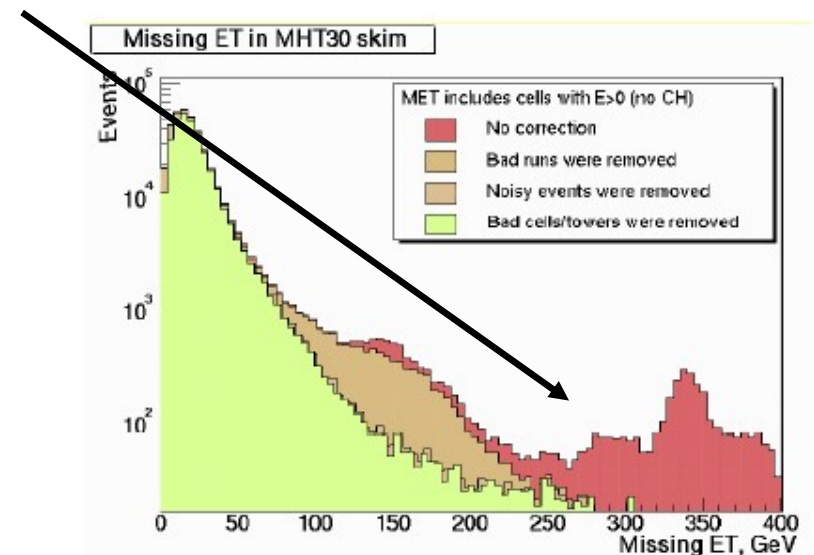
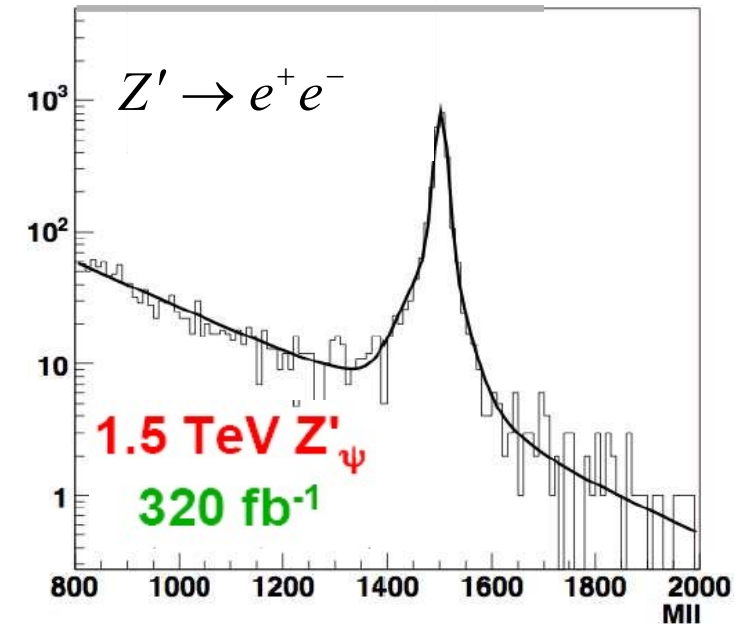
- warum nicht ?
 - wo sind die Grenzen des Standardmodells?
- Gravitation wird bei 10^{19} GeV wichtig.
- Das Standardmodell hat viele freie Parameter (Fermion Massen)
- Bei etwa 10^{15} GeV werden die Koppelungskonstanten etwa gleich groß
 - Gibt es dort eine Vereinheitlichte Theorie? (GUT = grand unified theory)
 - warum ist dann $M(\text{GUT}) = 10^{15}$ GeV \gg 100 GeV = $M(\text{Z/W})$
- Schleifenkorrekturen zur Higgsmasse sind von der Größenordnung des Cutoffs ($M(\text{GUT}) = 10^{15}$ GeV)

Erweiterungen des Standardmodells sind von einer oder mehreren dieser Fragen motiviert.

Suche nach Physik jenseits des Standardmodells

Suche nach Signaturen, die sich vom Standardmodell-Untergrund unterscheiden.

- Hochenergetische Leptonen
 - Hochenergetische Jets
 - Hochenergetische Photonen
 - fehlende transversale Energie von unbeobachtbaren Teilchen
- Wenn **ein Überschuss** beobachtet wird
 - Sicher sein, dass der Untergrund verstanden ist
 - Welches Physik-Signal wurde beobachtet
 - Wenn **kein Überschuss** beobachtet wird
 - Zeige, dass ein Modell ein Signal erzeugt hätte



Was heißt Entdeckung

- Allgemein bedeutet 5σ das die Wahrscheinlichkeit das nur der Untergrund etwas produziert was wie die Beobachtung aussieht kleiner als $5.7 \cdot 10^{-7}$ ist.
 - Das sagt nicht wie Wahrscheinlich die Beobachtung von einem Signal kommt
 - Die Wahrscheinlichkeit das die Mutter eines Kindes mit blauen Augen selber blaue Augen hat ist in Schweden und Italien sehr unterschiedlich.
 - Ob etwas „wahr“ ist ändert sich durch eine Messung nicht.

Was heißt Ausschluss

- Die 95% CL (confidence level) Ausschlussgrenze ist dadurch definiert das die Wahrscheinlichkeit so wenig zu beobachten wie man beobachtet wenn es das Signal gibt kleiner als 5% ist.

Beispiel: Lepoquark der dritten Generation

- Wird Paarweise produziert.
- Kann in ein Top-Quark und ein Tau (Lepton) Zerfallen

Warum interessant

- Verbindet Quarks und Leptonen
- Beispiel für neue Physik mit 2 Top Quarks und 2 Taus
- LQ können unterschiedliche Zerfallswahrscheinlichkeiten von Teilchen in Elektronen, Muonen und Taus erklären.

Signatur von Top-Antitop Ereignissen

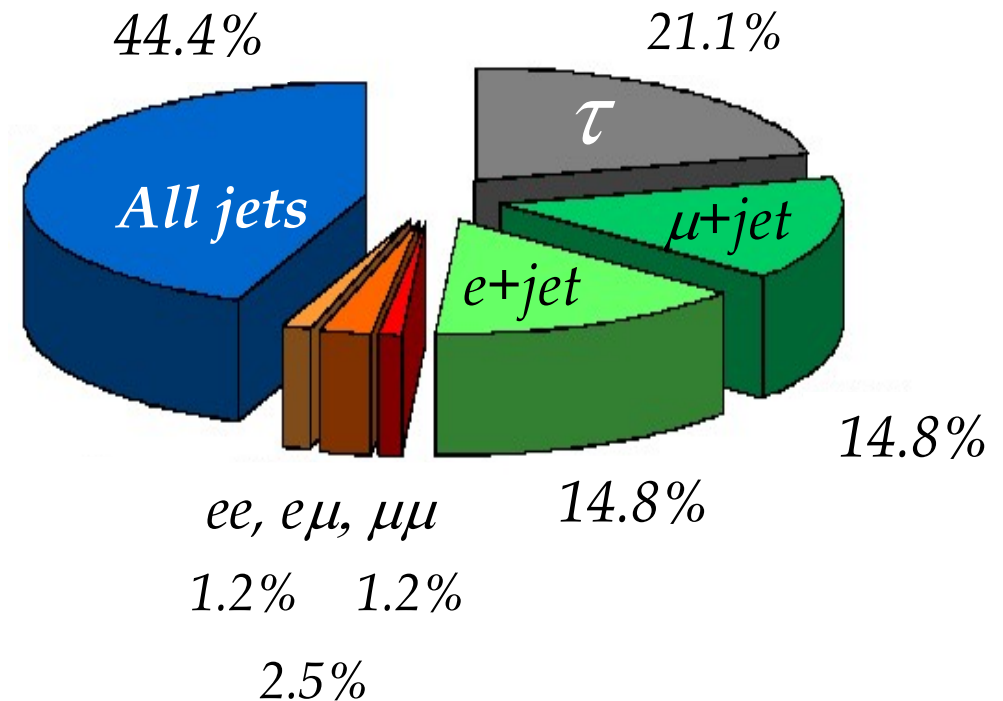
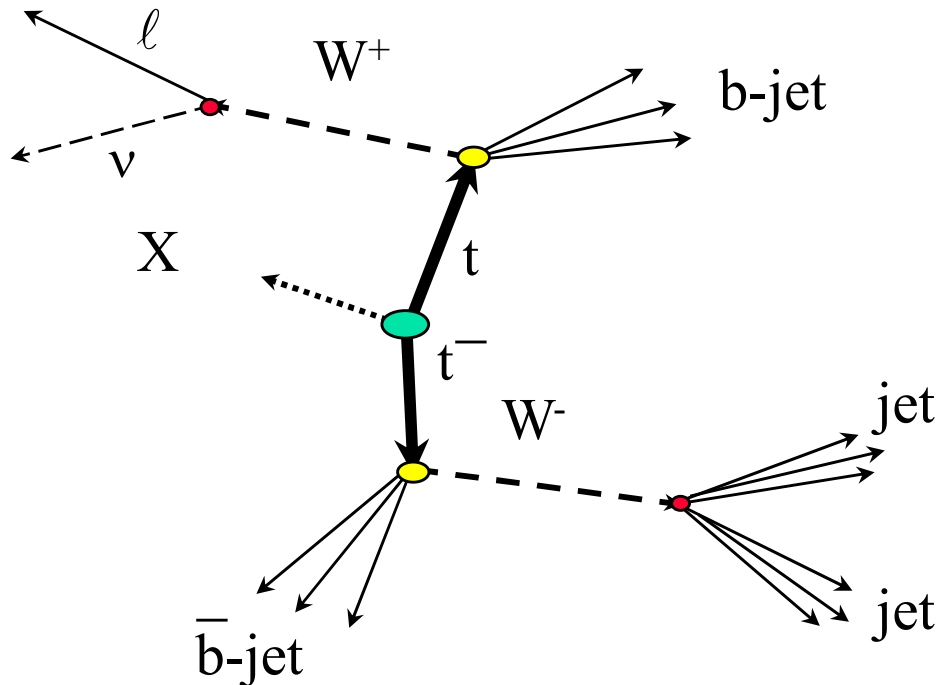
- Zerfall: $t \rightarrow W b$
- Ereignistopologie durch W Zerfall bestimmt
- 2 Jets sind von b-Quarks

$W \rightarrow e\nu, \mu\nu, \tau\nu, 3 \times 2 \text{ } qq$

• 2/3 in 2 Jets

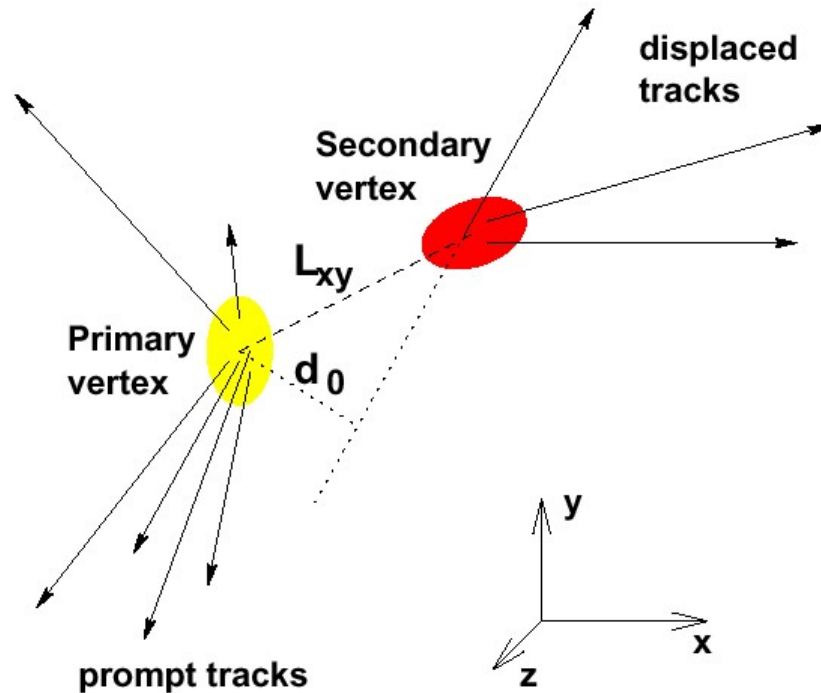
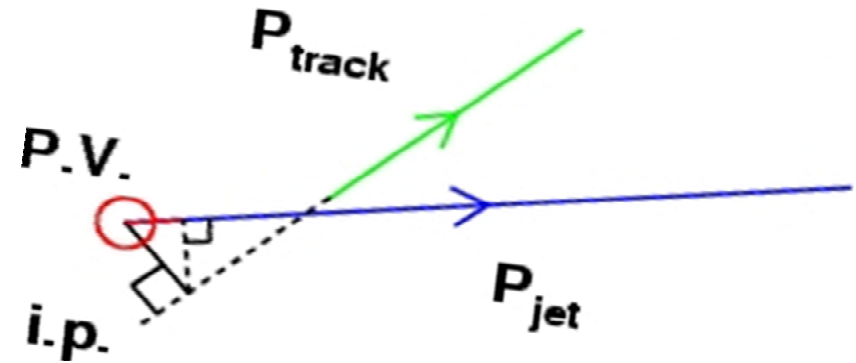
• 1/9 in $e\nu$ bzw. $\mu\nu$

Endzustand mit τ experimentell sehr schwierig



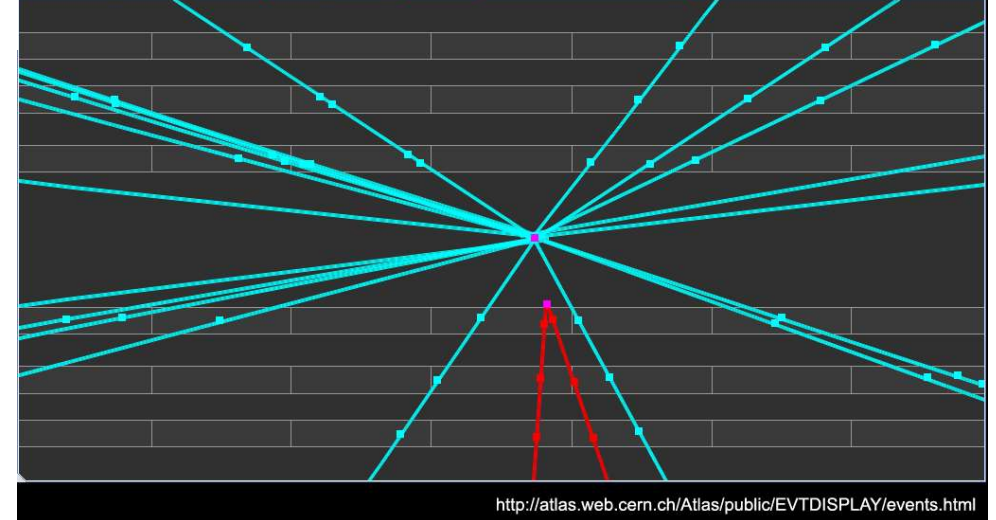
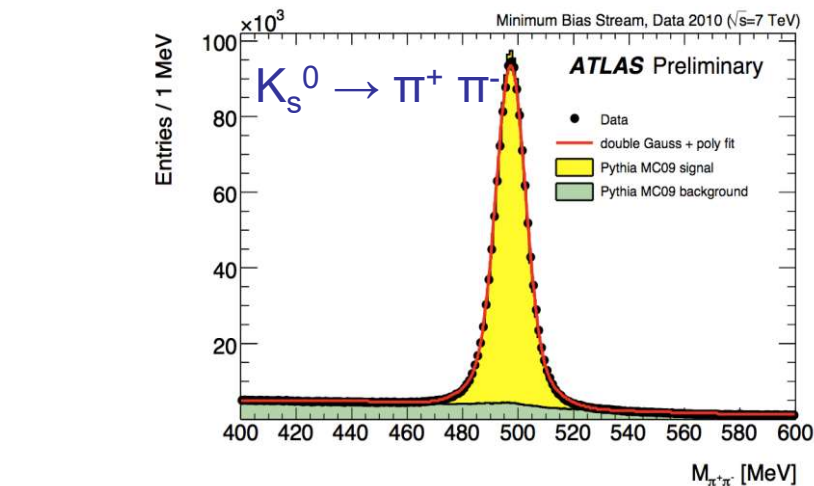
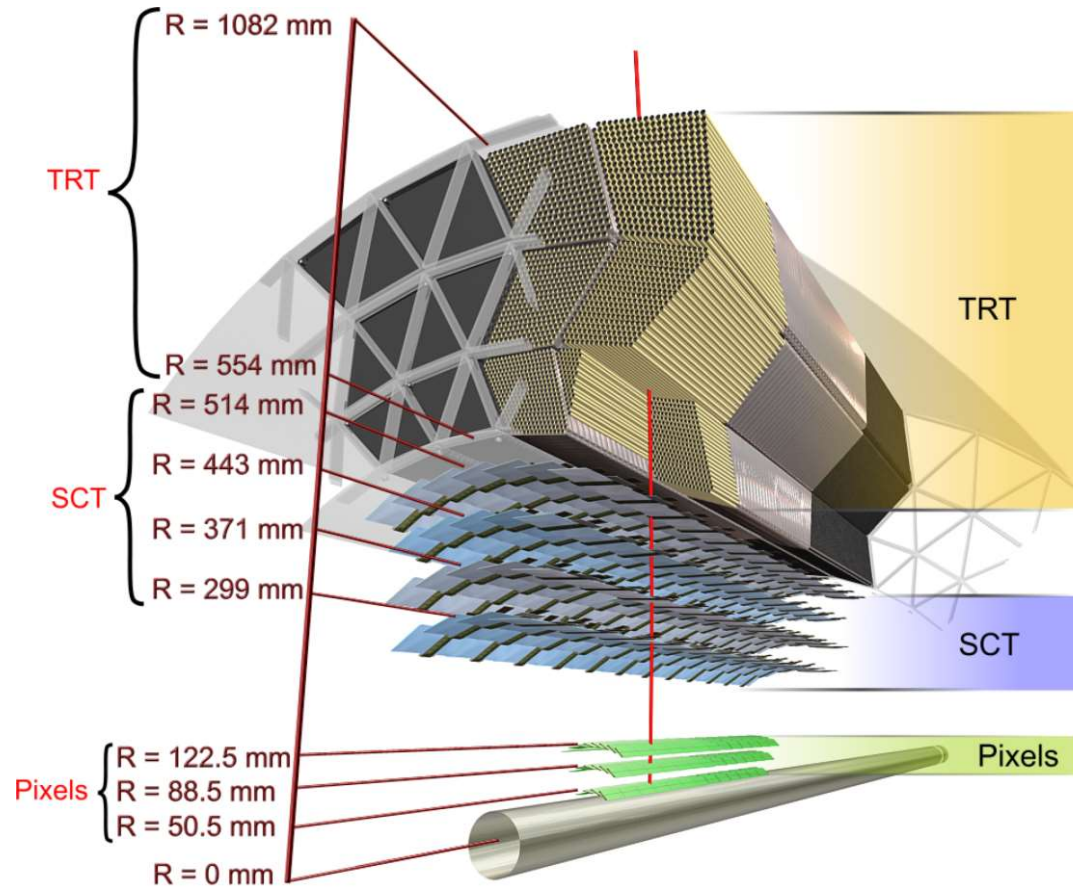
B - Tagging

- Identifizierung von b-Jets
- B-Jets treten im Top Zerfall auf



$(c\tau \sim 450 \mu\text{m}) + \text{Boost}$
 \Rightarrow B Fliegen $L_{xy} \sim 3\text{mm}$

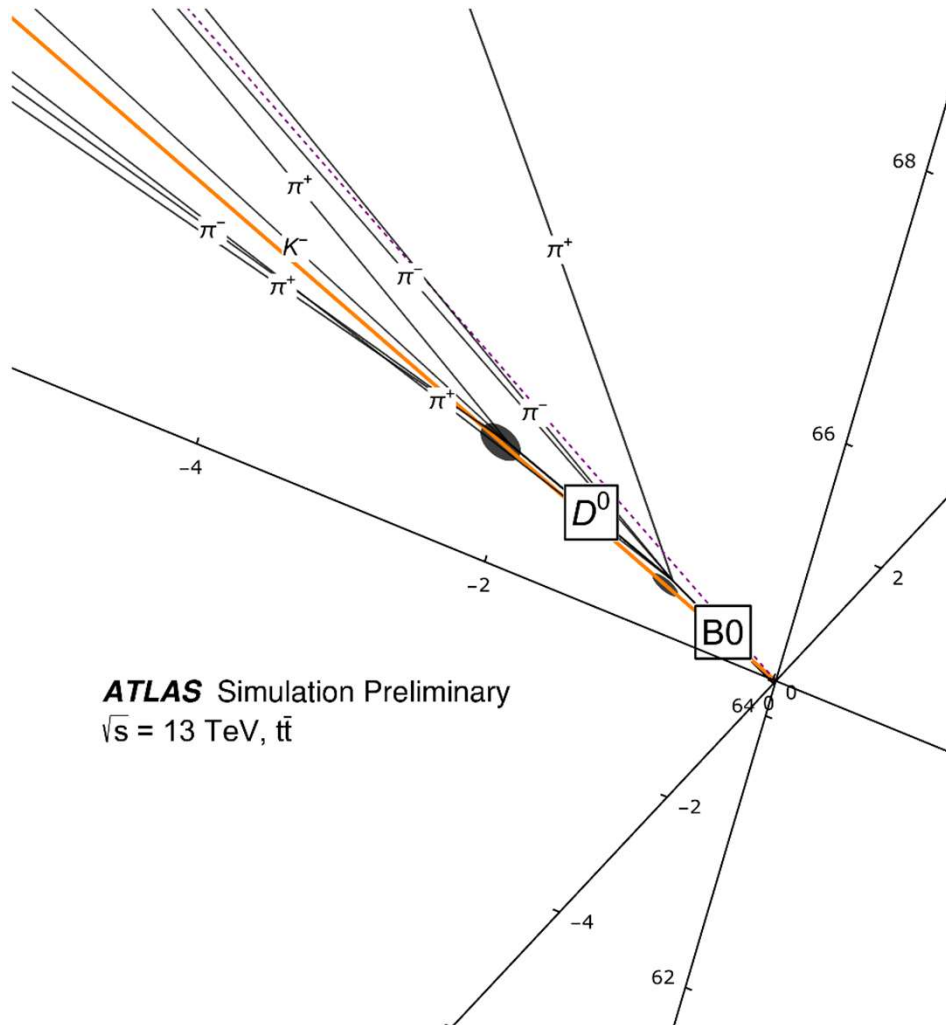
Erste Daten



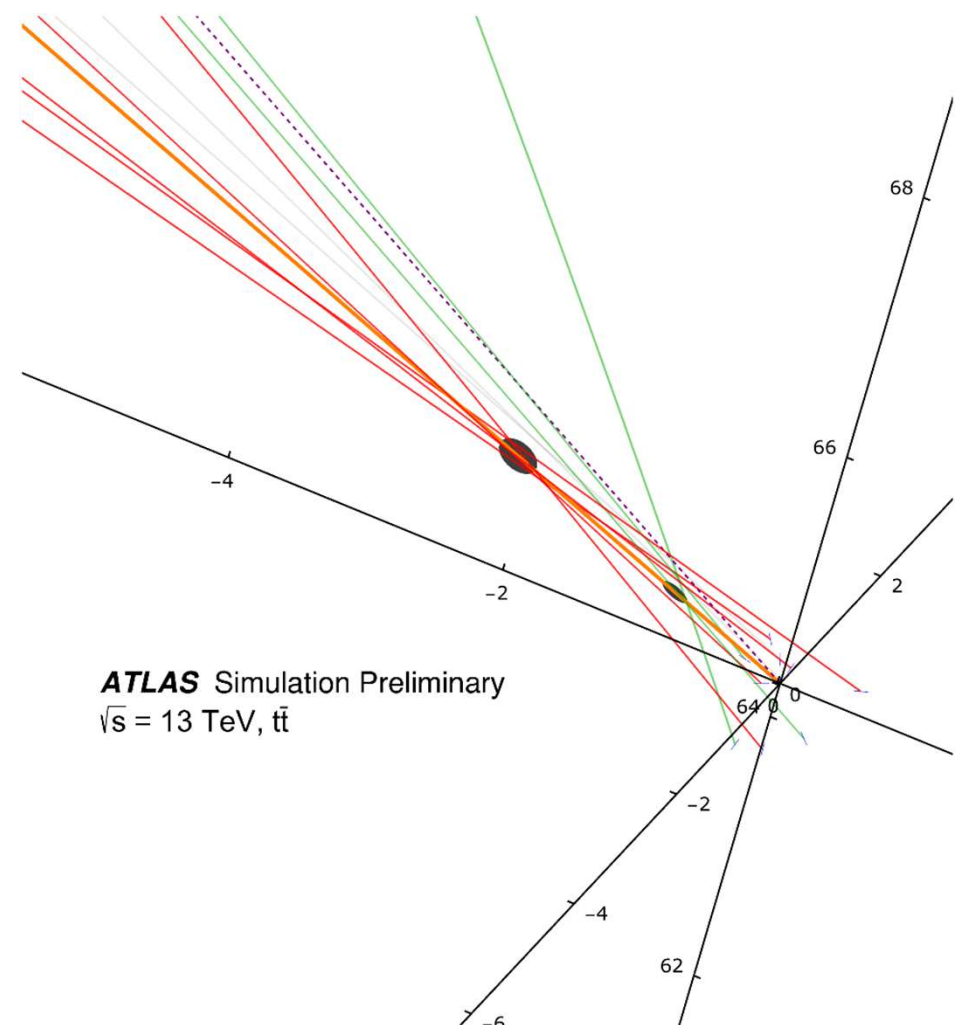
<http://atlas.web.cern.ch/Atlas/public/EVTDISPLAY/events.html>

B tagging

Generiert

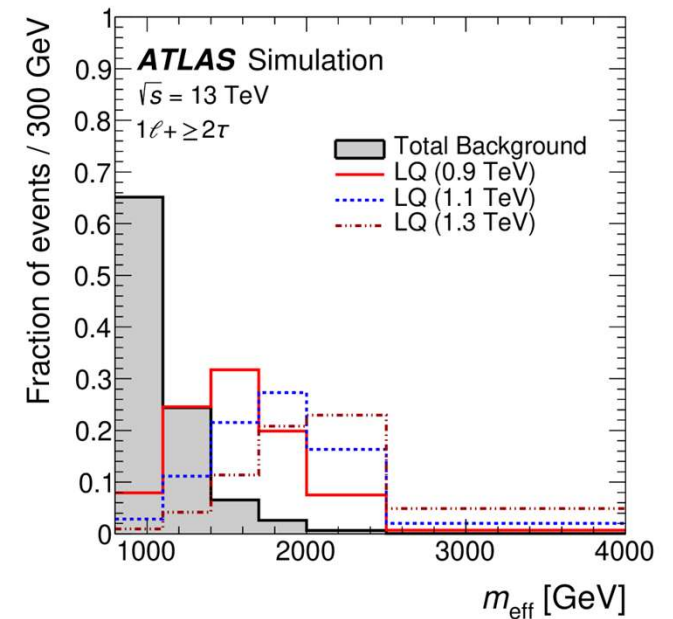
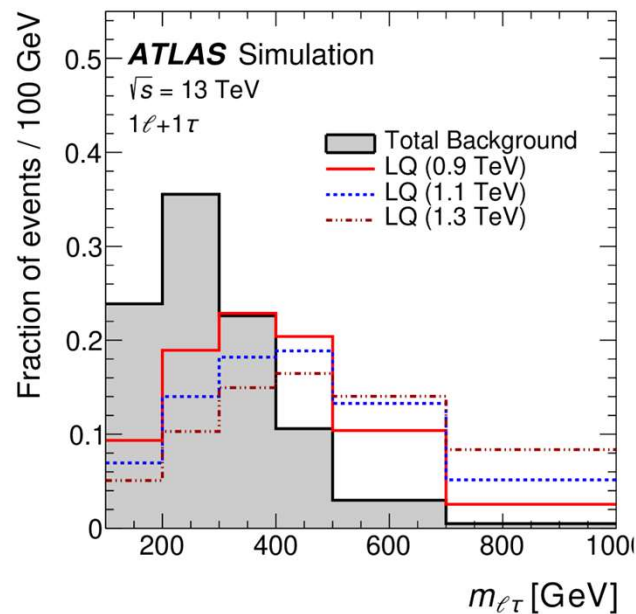
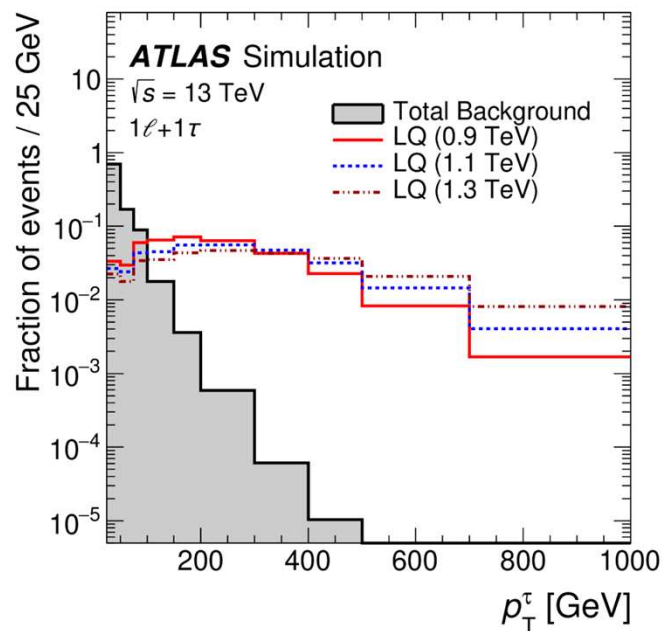


Rekonstruiert

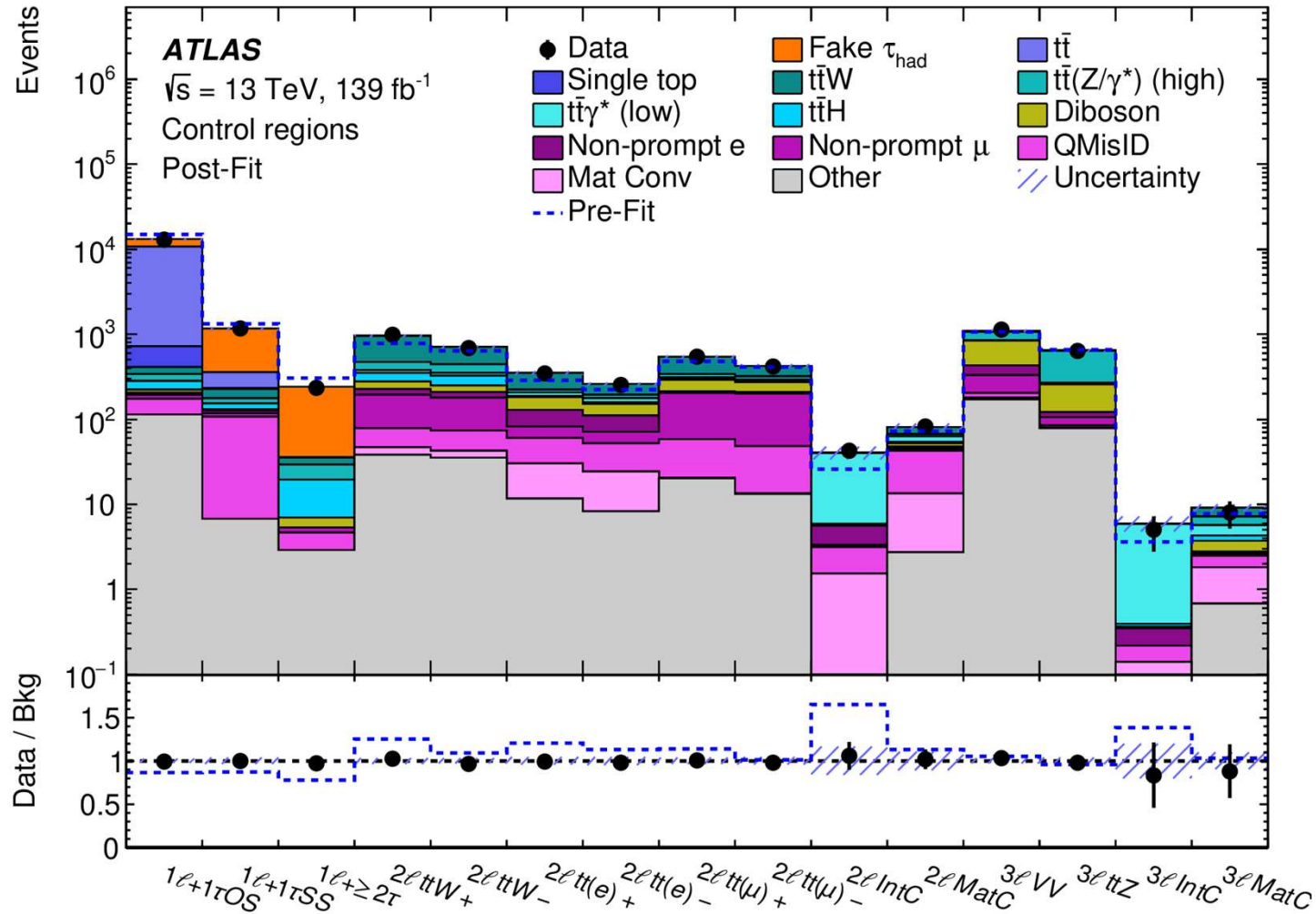


Signal

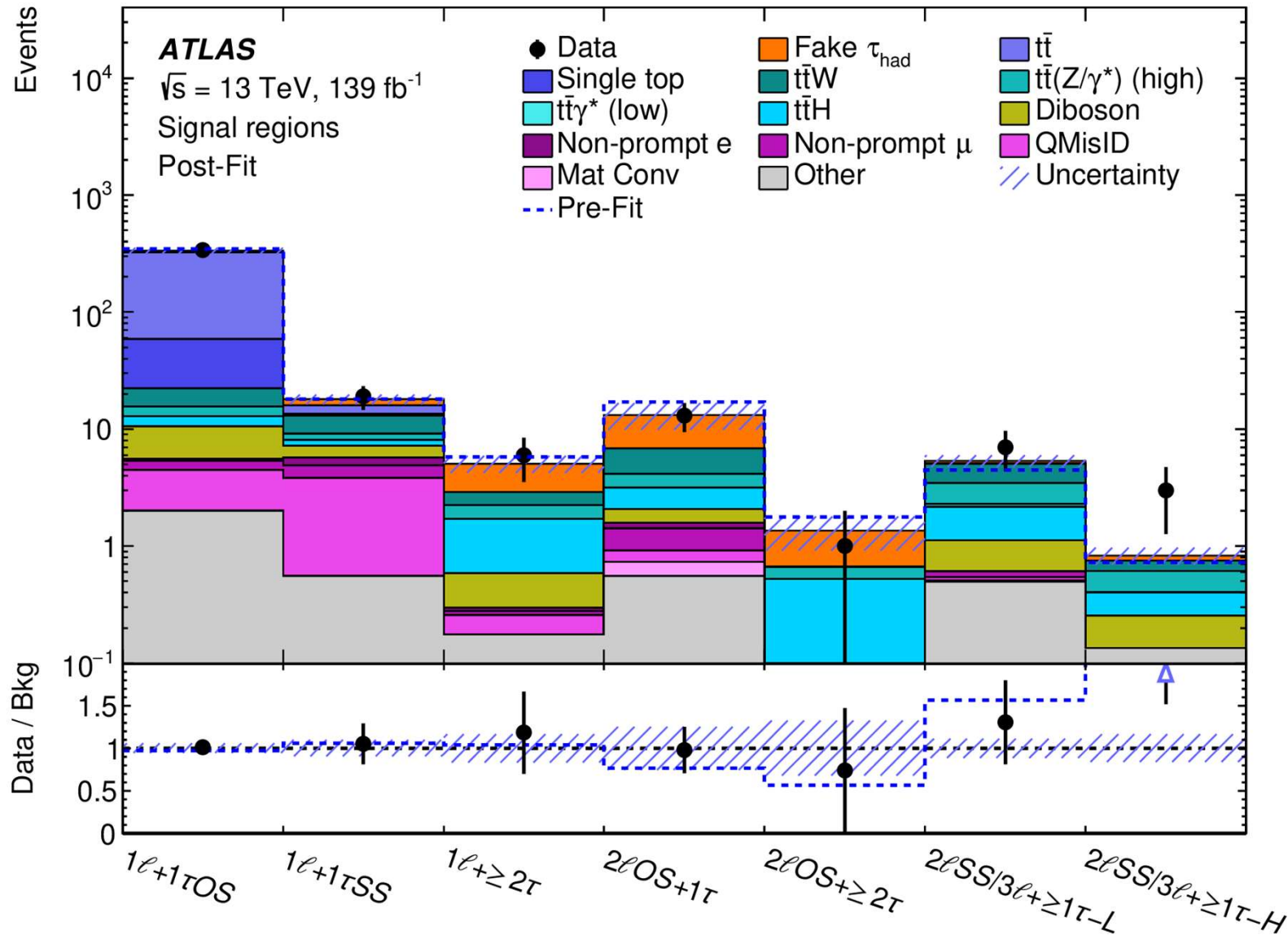
- 2 Taus
 - Sehr schmaler Jet ($\tau \rightarrow \text{hadron} + \nu$)
 - Elektron oder Muon ($\tau \rightarrow \mu + \nu + \nu$)
- 2 Top
 - Jets und b-Jets (aus Top Zerfall)
 - Elektron und Muon (aus W des Top Zerfalls)
- LQ hat hohe Masse
 - Hohe Impulse
 - Hohe Invariante Masse



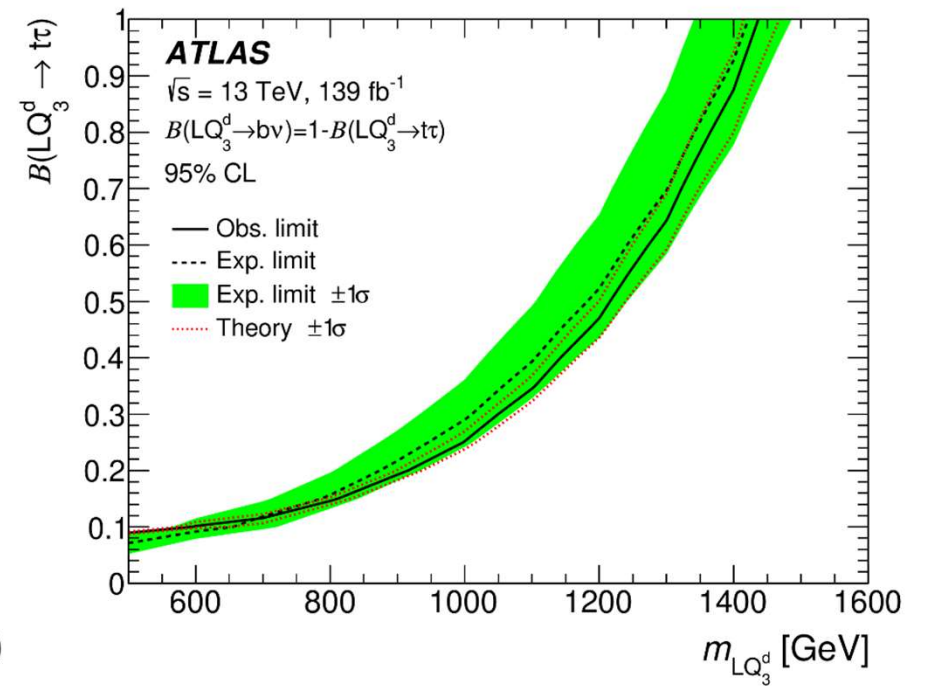
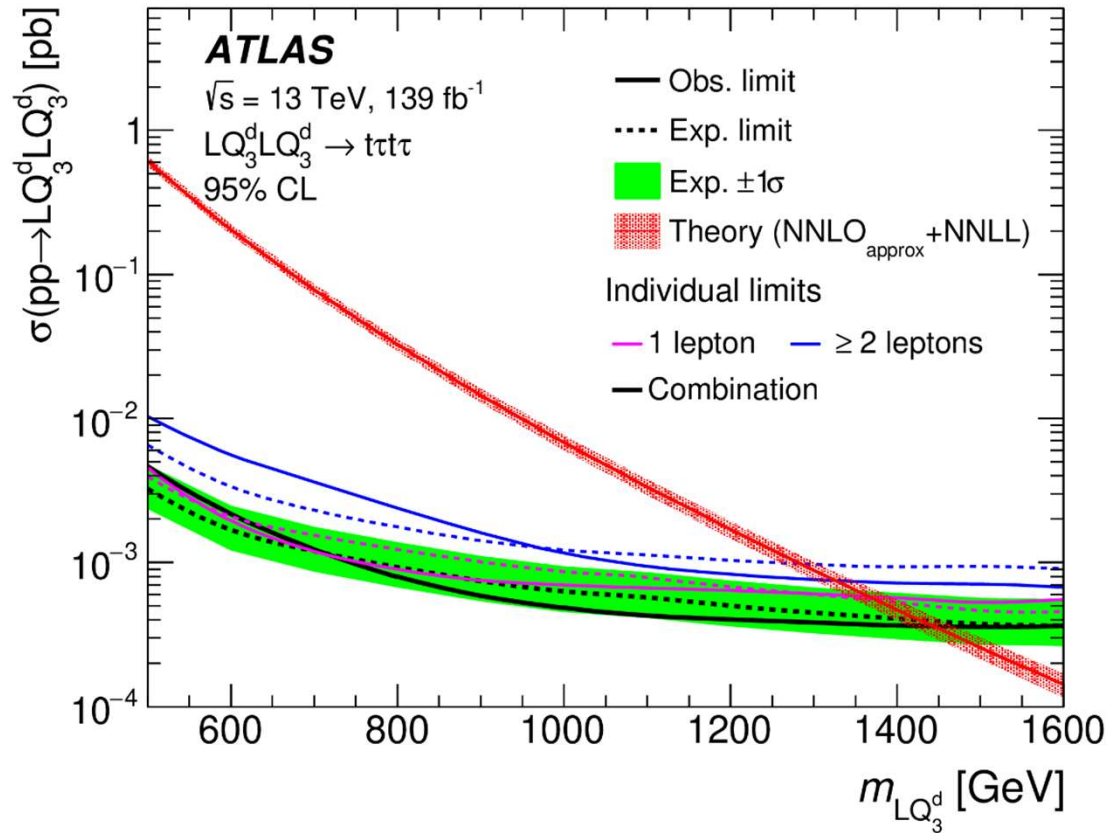
Kontrol Region



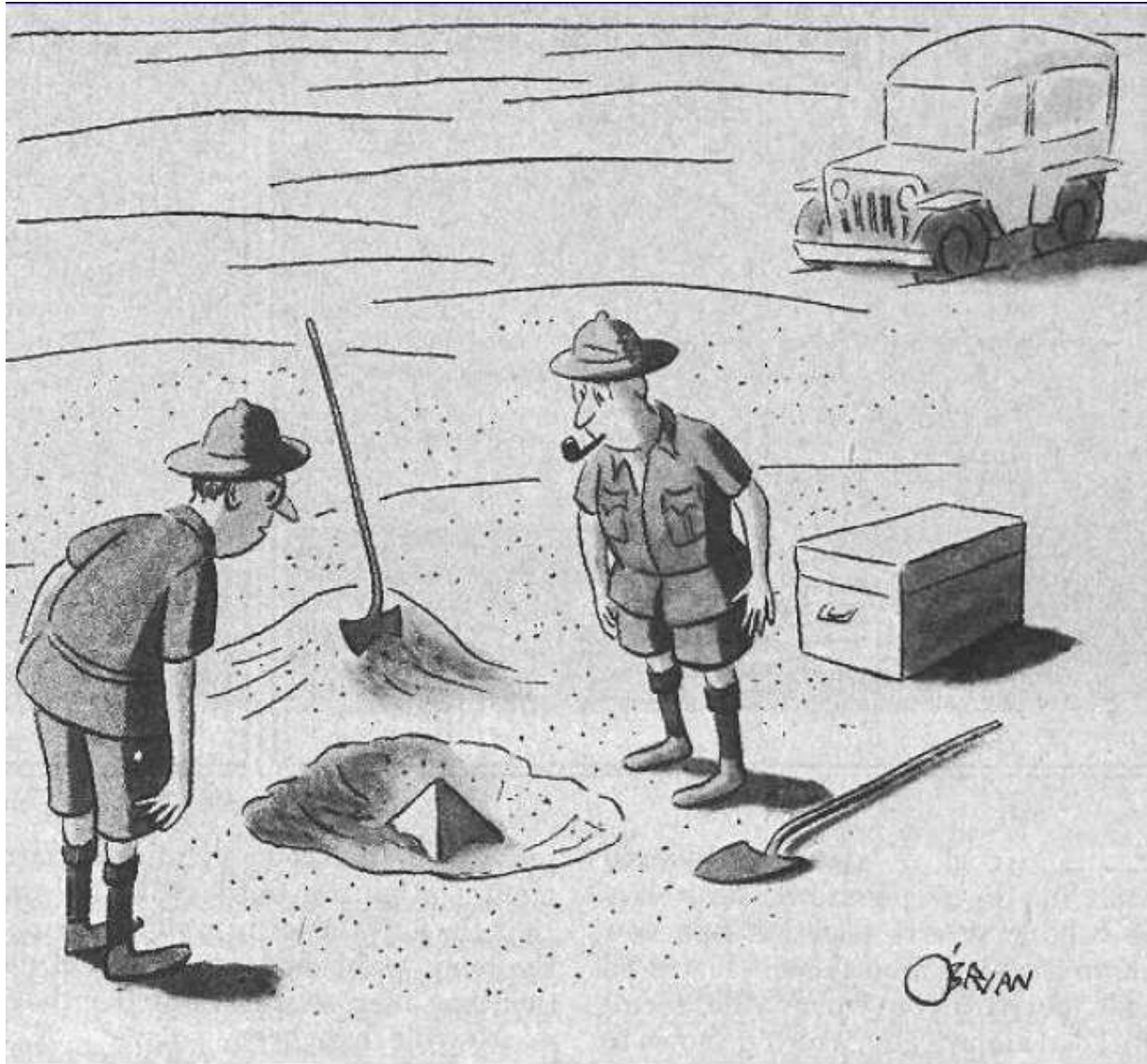
Signal Region



Ausschluss Grenzen



Anstelle einer Zusammenfassung



"This could be the discovery of the century. Depending, of course, on how far down it goes."