

Experimentalphysik VI

Kern- und Teilchenphysik

Prof. Markus Schumacher

ALU Freiburg, Sommersemester 2010

Kapitel 11: Einige offene Fragen

Offene Fragen

23 Parameter im SM: ist eine weitere Reduktion möglich?

3 Kopplungsstärken

1 Eichbosonmasse

12 Fermionmassen

3 Mischungswinkel und eine Phase im Quarksektor

3 Mischungswinkel und eine Phase im Neutrino Sektor

1 CP-Verletzende Phase in der QCD

Warum drei Fermiongenerationen?

Warum ist die Ladung des Protons gleich der des Elektrons?

Gibt es weitere Substruktur? Sind Quarks und Leptonen elementar?

Was erzeugt Masse? Warum diese Massenhierarchie?

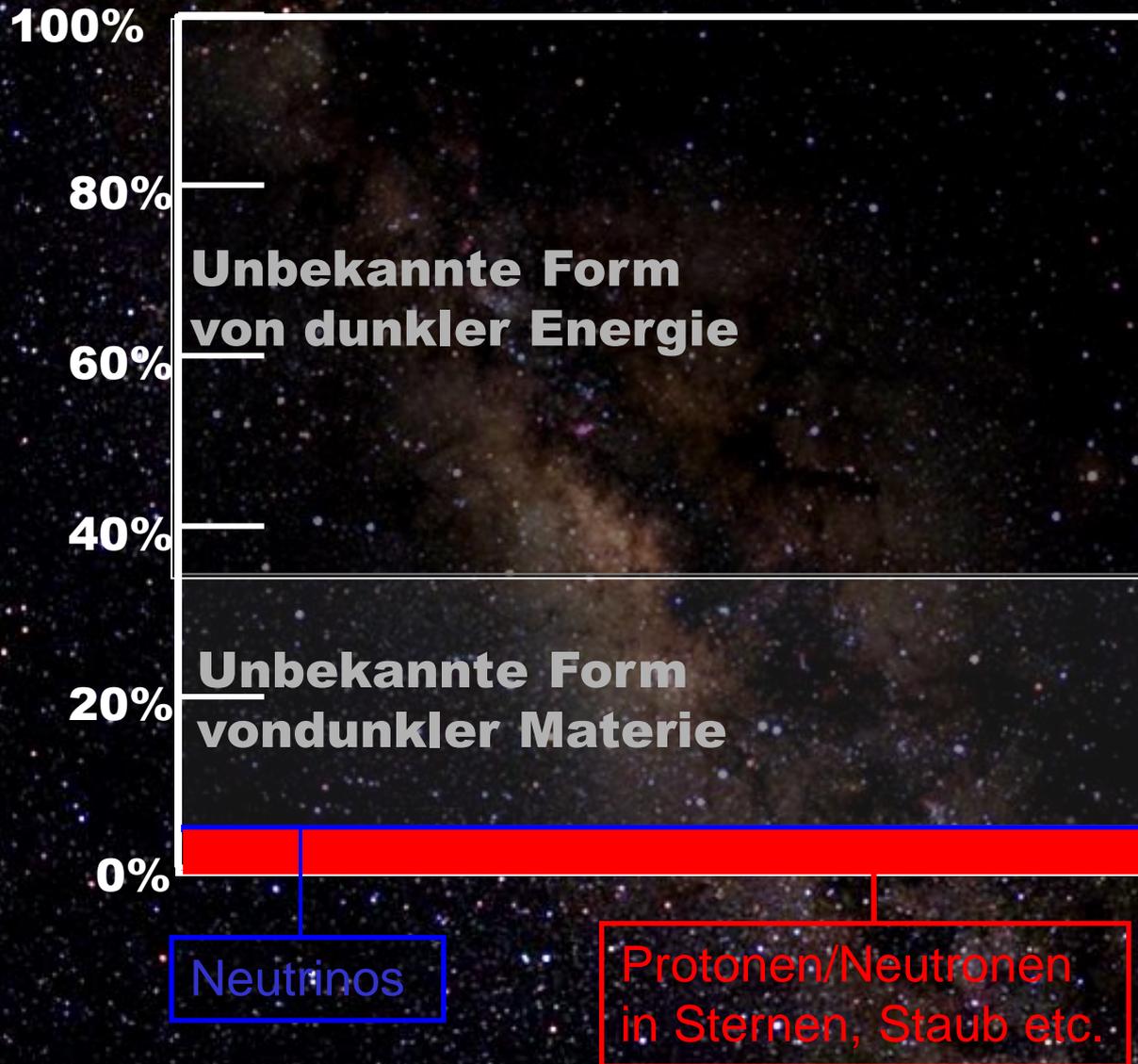
Was ist die Natur der dunklen Materie?

Was ist die Natur der dunklen Energie?

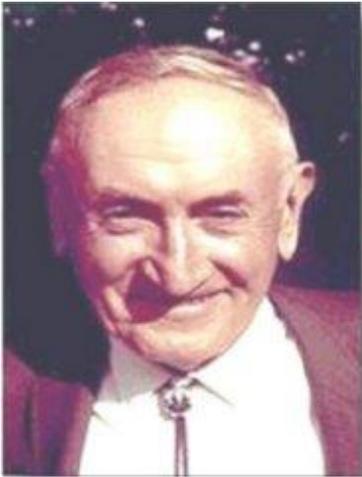
Gibt es eine Urkraft?

Was ist die Struktur der Raumzeit?

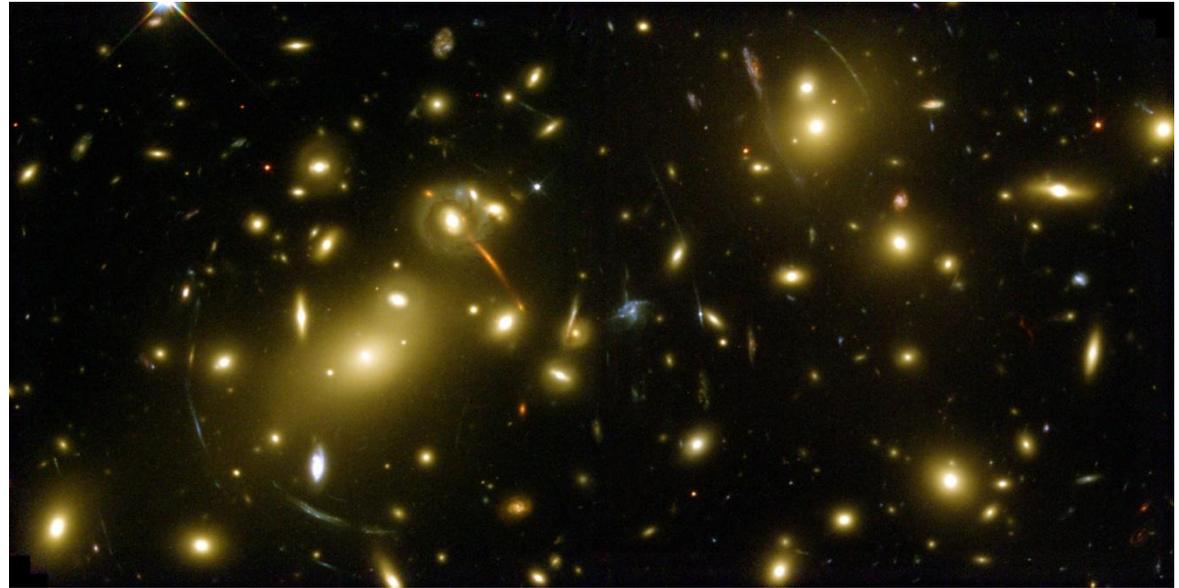
Energiehaushalt im Universum



Vielfältige Evidenz für Dunkle Materie im Universum



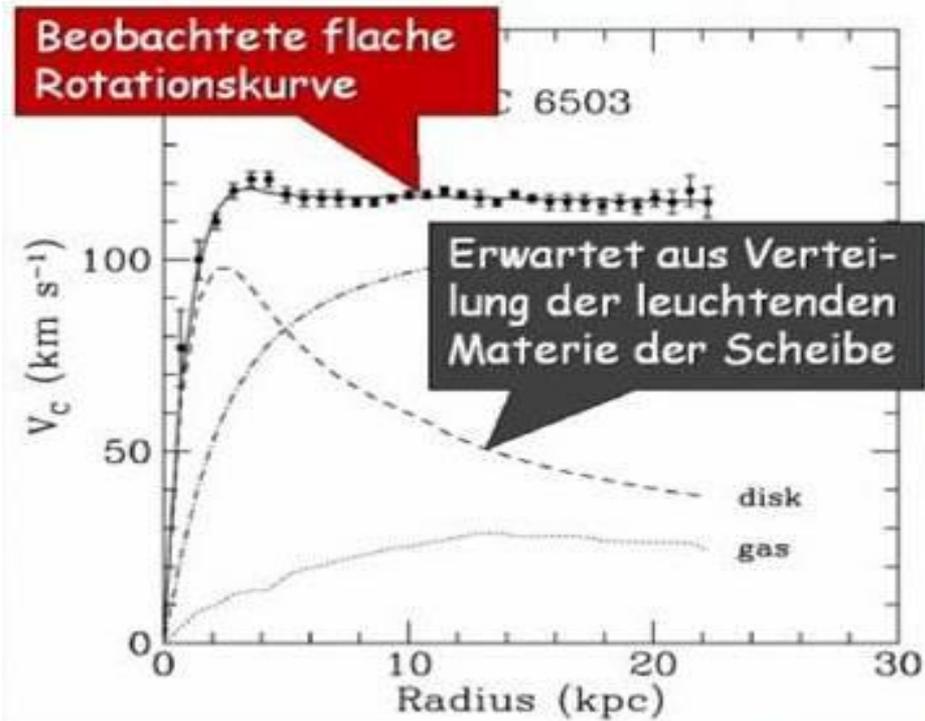
F. Zwicky 1898-1974



- Rotationsgeschwindigkeiten äußerer Sterne in Galaxien
- Galaxienhaufen
- Gravitationslinseneffekte



Beispiel: Rotationskurven des in Galaxien



Rotationskurve der Galaxie NGC 6503 durch Radiobeobachtungen der Wasserstoffbewegung [MNRAS 249 (1991) 523]

Das Massenproblem im Standardmodell

Kräfte beschrieben durch Eichsymmetrien

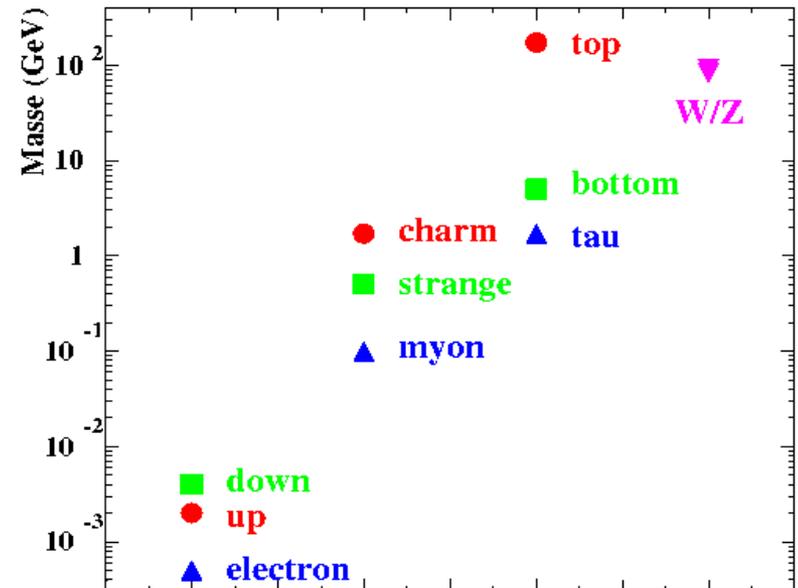
Eichgruppe des SM verbietet Massen für

-Eichbosonen: W und Z

-Fermionen: (l=Dublett, r=Singlett)

Bosonen	8 Gluonen	W^+, W^-, Z	γ
Gruppe	SU(3)	SU(2)	U(1)
Theorie	starke Kraft QCD	schwache Kraft	elektromagnetische Kraft QED

Experiment: alle Teilchen massiv
bis auf Gluon und Photon



„ad hoc“ Massenterme zerstören:

- Renormierbarkeit → keine Präzisionsvorhersage

- Wahrscheinlichkeitsinterpretation von Wirkungsquerschnitten z.B. $W_L W_L$ -Streuung

Prinzip Higgs-Mechanismus

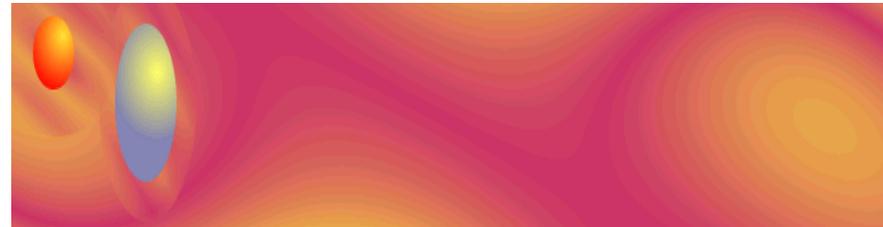
Leeres Vakuum

Alle Teilchen sind masselos und bewegen sich mit derselben Geschwindigkeit, der Lichtgeschwindigkeit.



Higgs-Hintergrundfeld

Teilchen wechselwirken mit dem Higgs-Hintergrundfeld und werden dadurch verlangsamt. Sie erhalten effektiv eine Masse. Die Masse hängt von der Stärke der Wechselwirkung mit dem Hintergrundfeld ab.



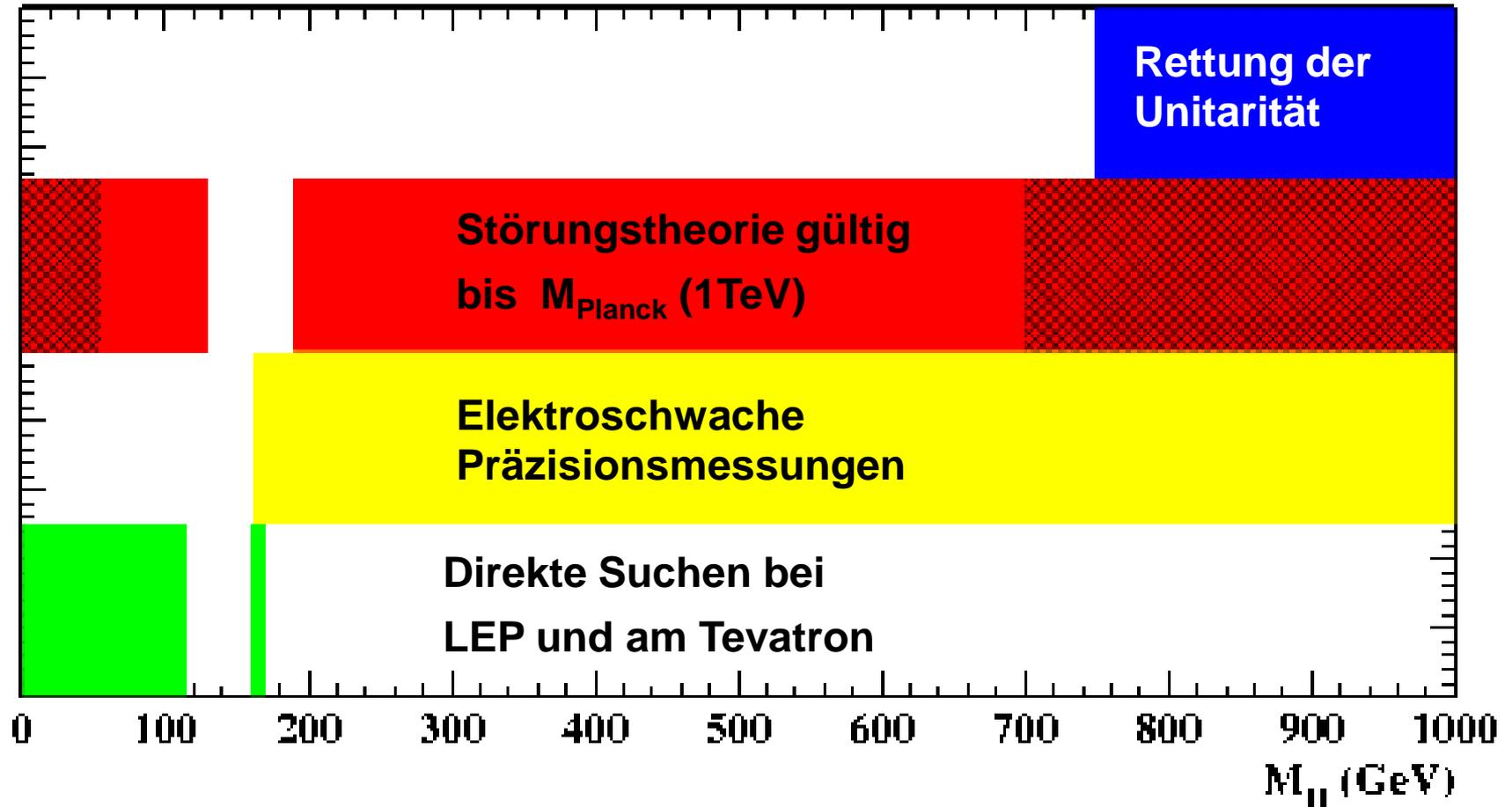
Der Preis: das Higgs-Teilchen

Eine quantenmechanische Anregung des Higgsfeldes



Eine notwendige Konsequenz dieses Konzepts !

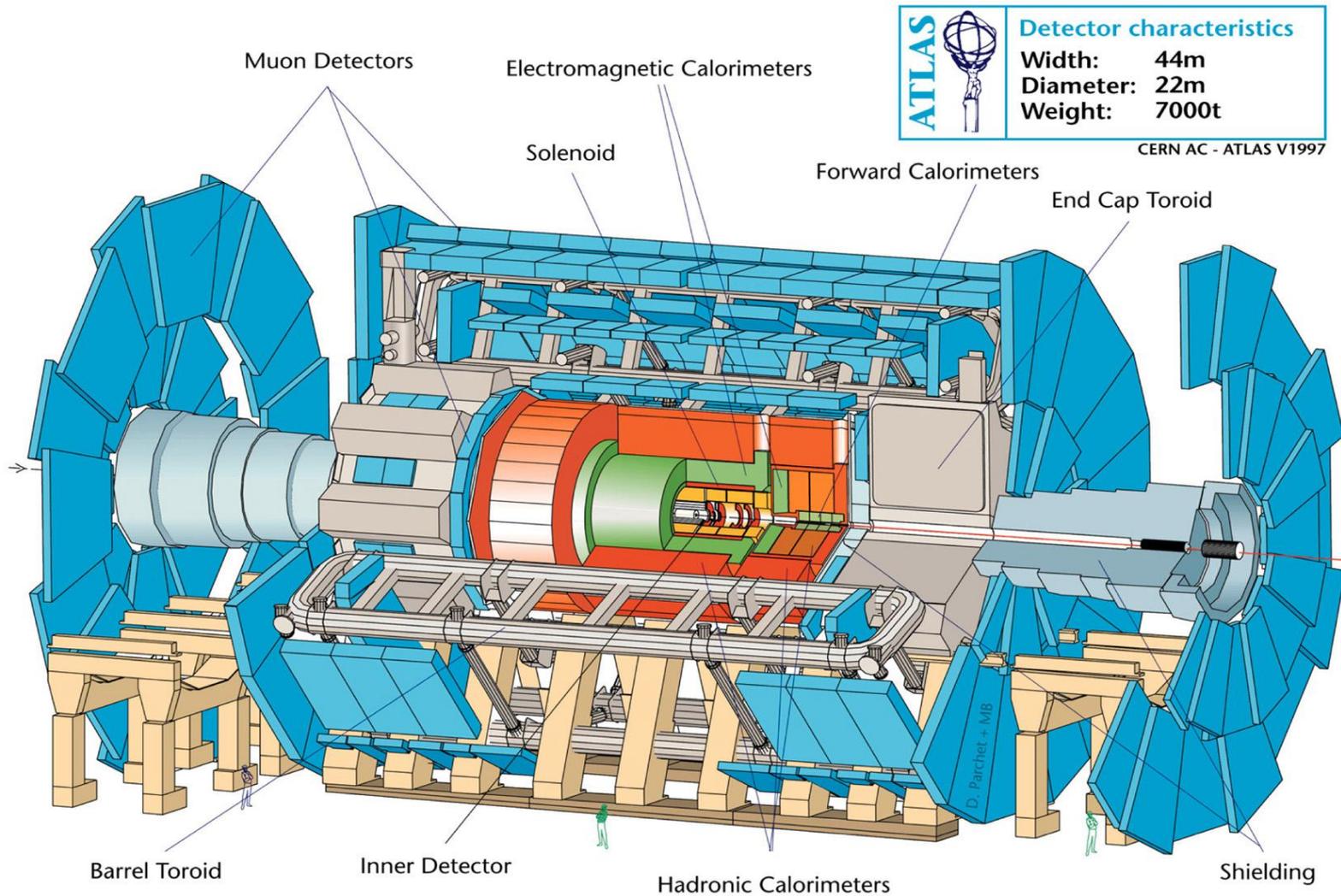
Grenzen auf die Masse des Higgsteilchens



Im Standardmodell wird ein leichtes Higgs-Teilchen bevorzugt

Der theoretisch erlaubte Bereich erstreckt sich bis 750 GeV

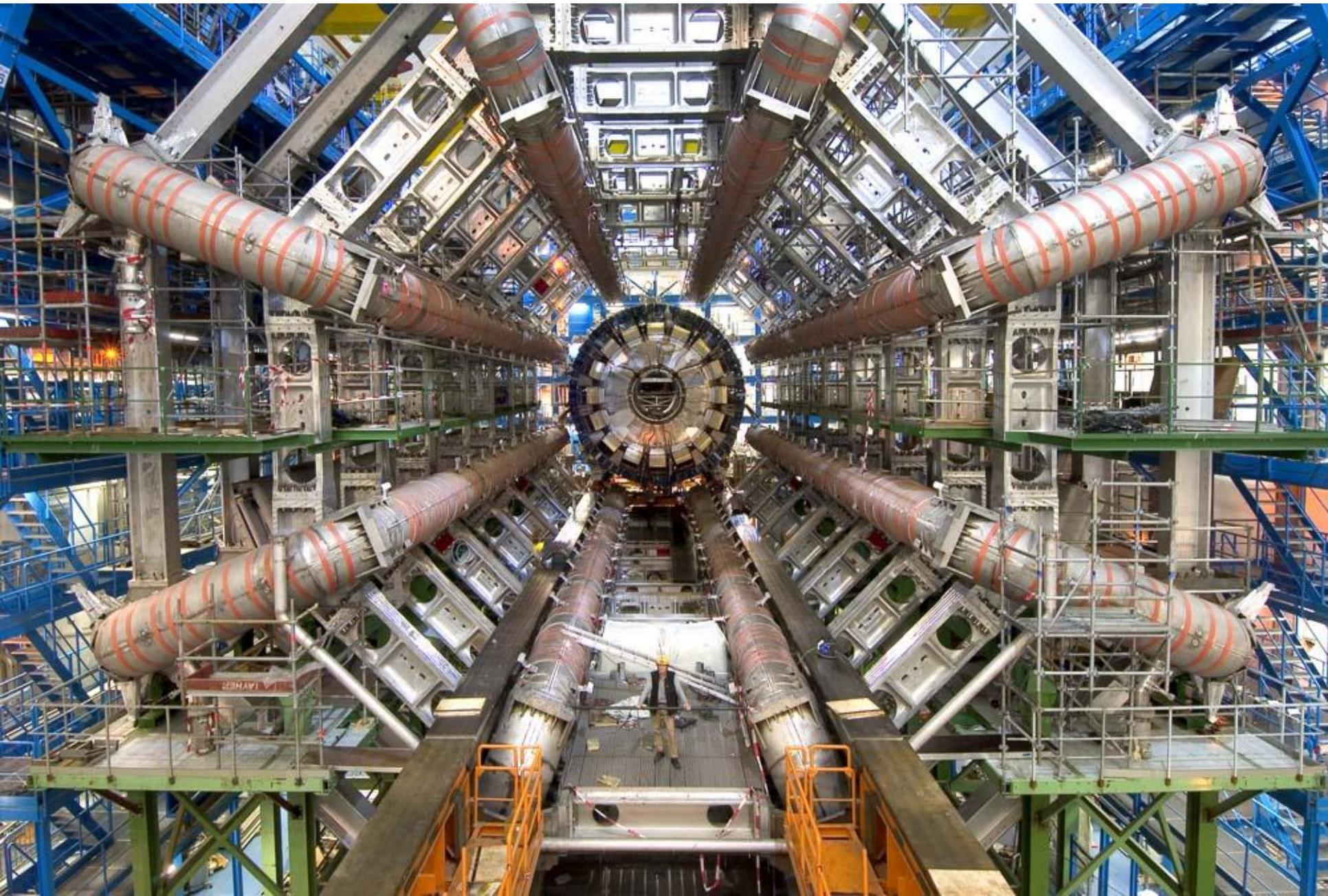
Grenzen auf die Masse des Higgsteilchens



~ 200 Millionen Auslesekanäle

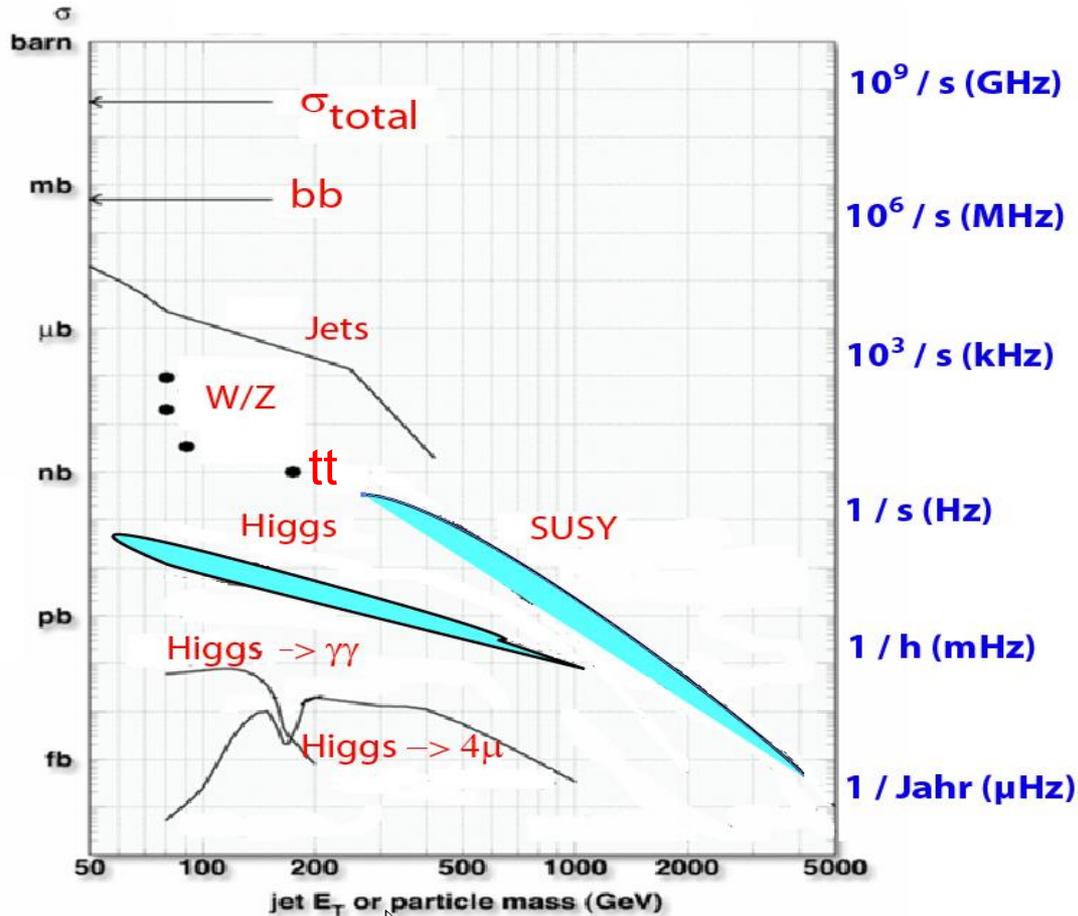
40 Millionen/Sekunde aufnahmebereit

ATLAS: A Toroidal LHC Apparatus



Die Herausforderung

Erzeugungshäufigkeit bei LHC
(logarithmisch)



alle Kollisionen
→ nicht interessant

↓
Datenvolumen:
1 Million Gigabyte/s
„Trigger“

↓
abspeichern
→ evtl interessant (0.0005%)

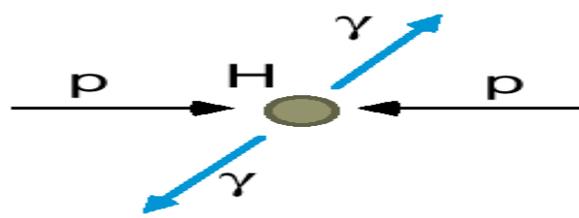
↓
Datenvolumen:
1 Audio-CD/s
Intelligente Selektion

↓
mögl. Entdeckungen
→ nur 0.000000001%

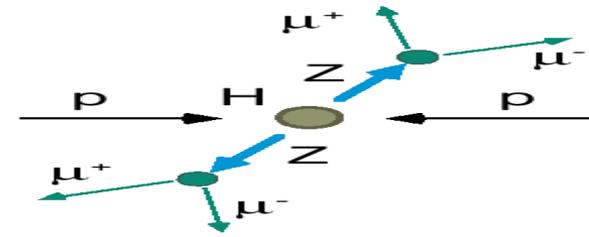
Nur 1 Higgs -Teilchen pro 1 000 000 000 000 Protonkollisionen!

Nur 1 Higgs-Teilchen pro 1 000 000 gespeicherte Ereignisse

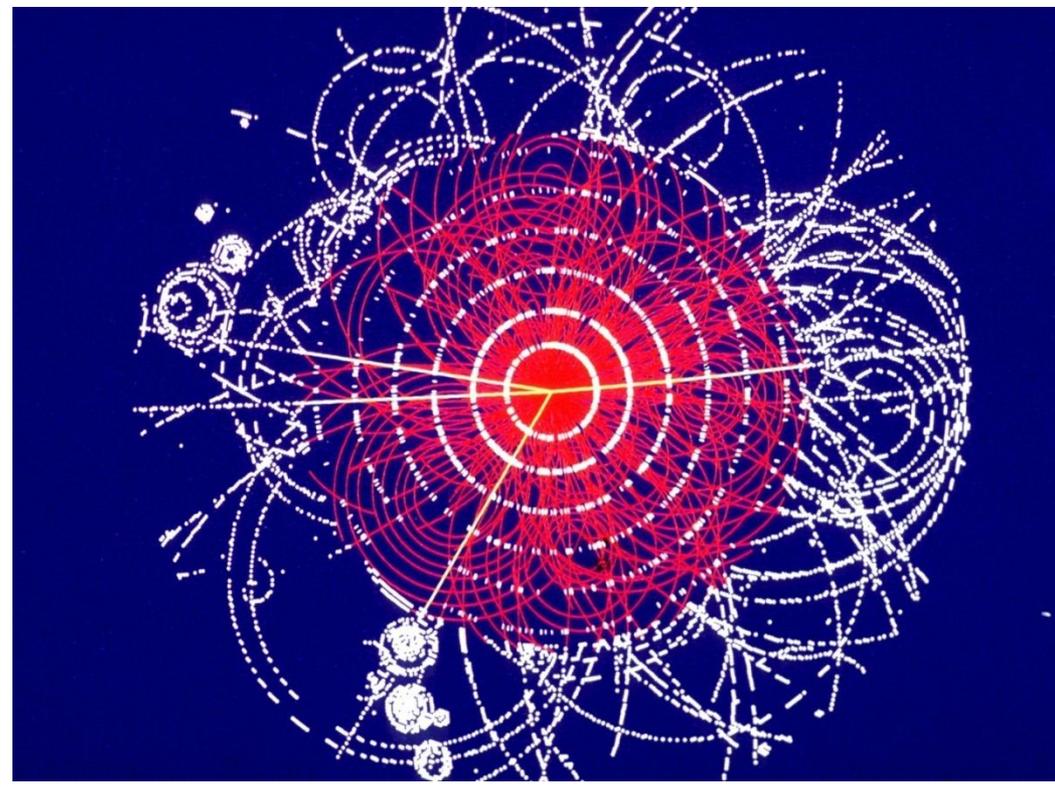
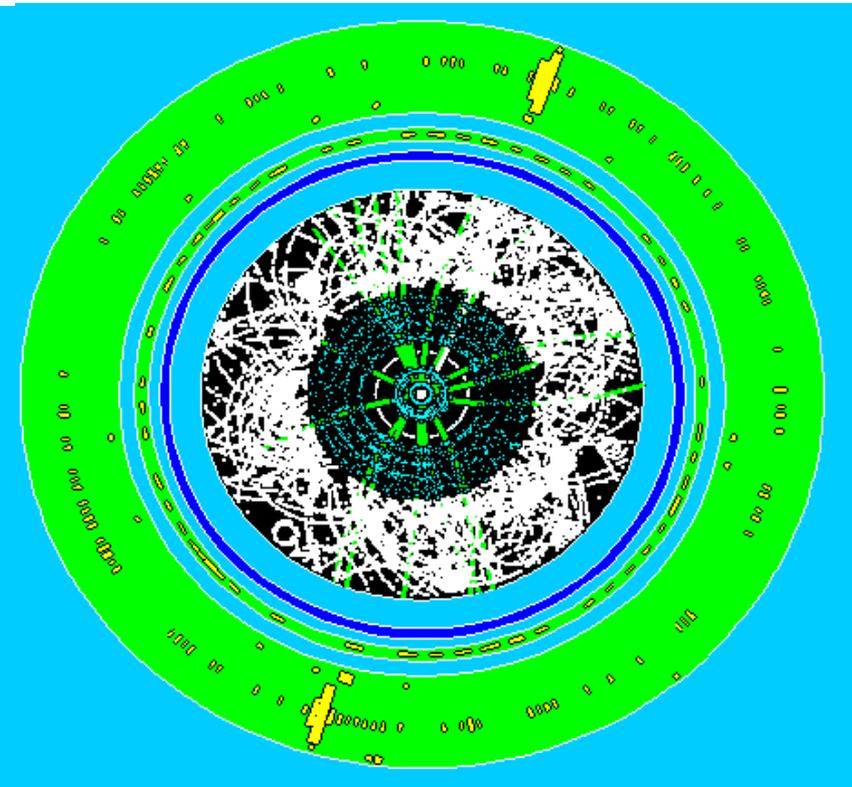
Suchen



zwei energiereiche Photonen

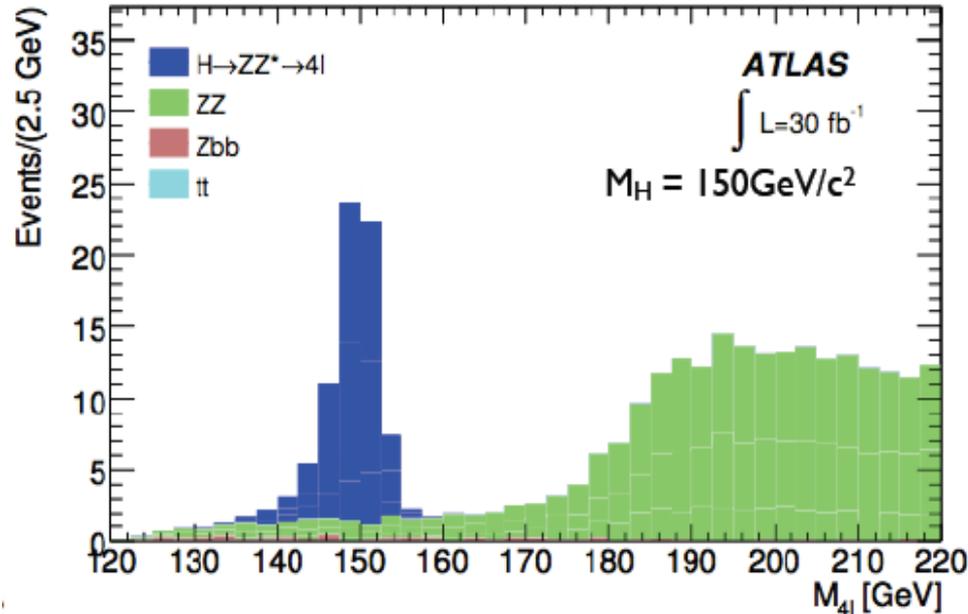
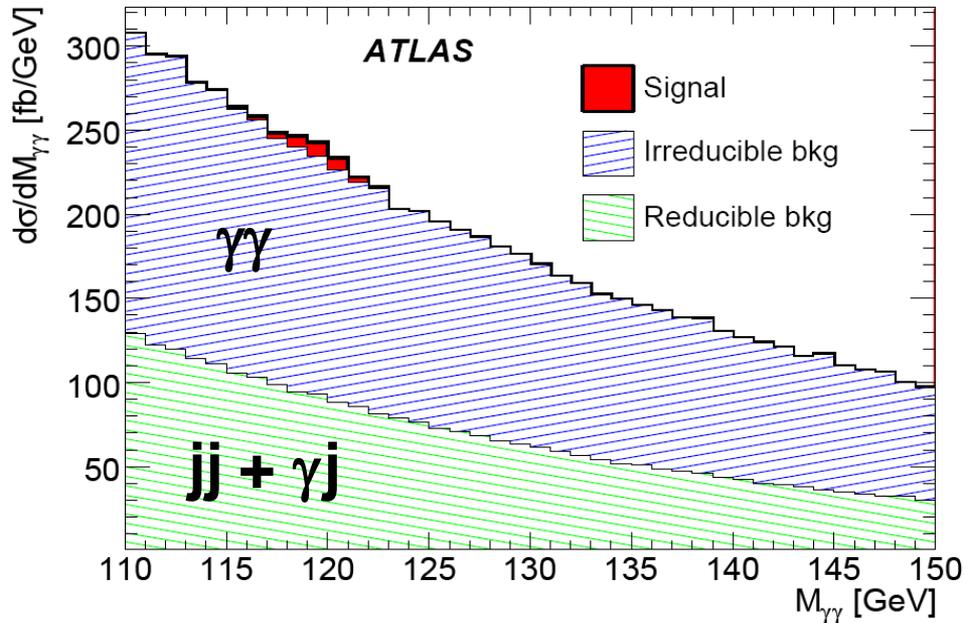
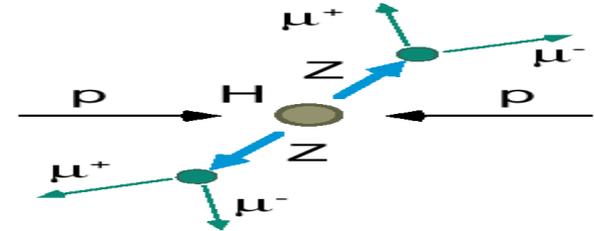
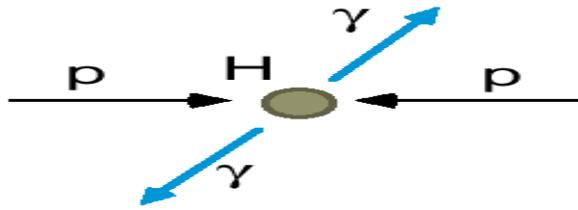


vier isolierte Leptonen



Aufgabe: Identifikation und Rekonstruktion der Higgs-Zerfallsprodukte
Rekonstruktion der invarianten Masse der Zerfallsprodukte

Higgs-Signale



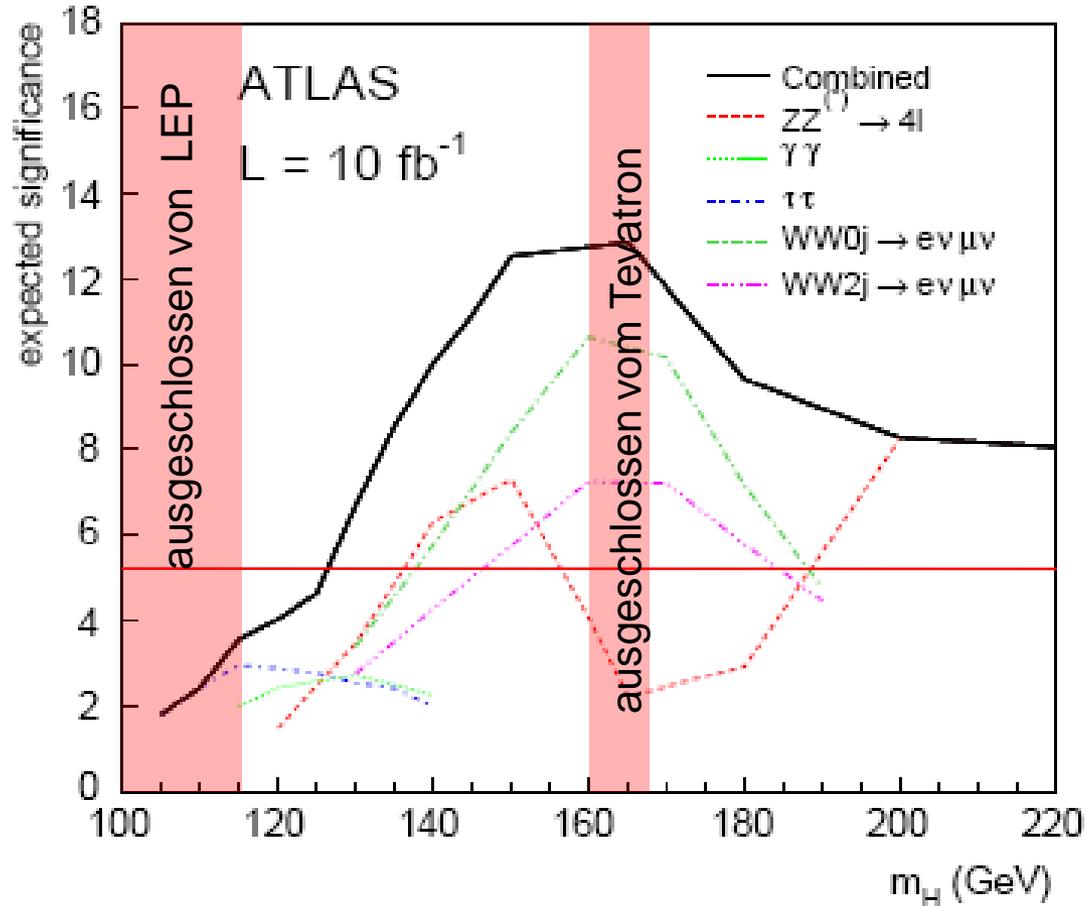
- Signal-zu-Untergrund: $\sim 1/40$
- Massenauflösung $\sigma(M)/M \sim 1.5\%$
- Untergrundabschätzung aus Seitenbändern mit Genauigkeit von $\sim 0.1\%$

- Signal-zu-Untergrund groß
- Massenauflösung $\sigma(M)/M \sim 1.5\%$
- relativ insensitive auf systematische Unsicherheiten

Entdeckungspotential bei ATLAS

Entdeckung = Wahrscheinlichkeit einer Fluktuation < 0.00000029

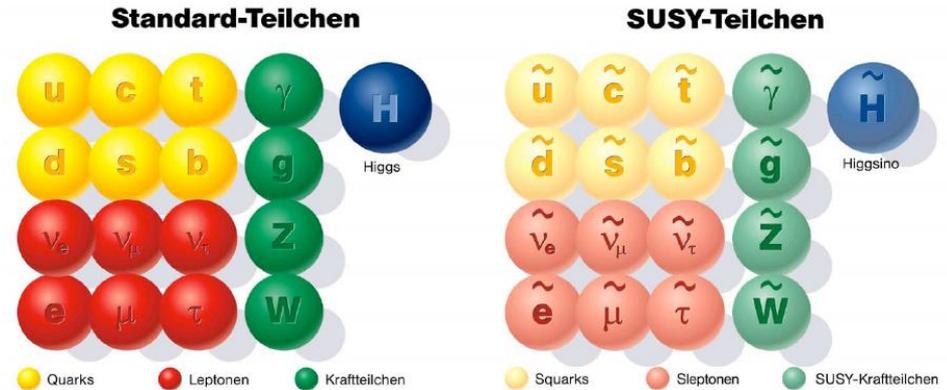
für Gaußverteilung (kein syst. Fehler) : $\text{Signal} / \sqrt{\text{Untergrund}} > 5$



mit 10 fb^{-1} : Entdeckung des Higgs-Boson für M_H von 124 bis 440 GeV
kleine Massen am schwierigsten: Kombination mehrerer Kanäle erforderlich

Gib es eine Urkraft?

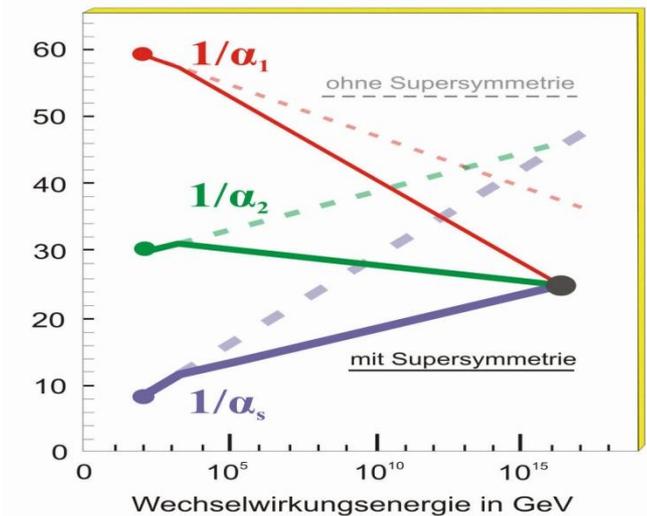
- laufende Kopplungstärken treffen sich im Standardmodell nicht
- Supersymmetrie SUSY: jedes Teilchen erhält Partner mit Spindifferenz 1/2



Die bekannte Welt

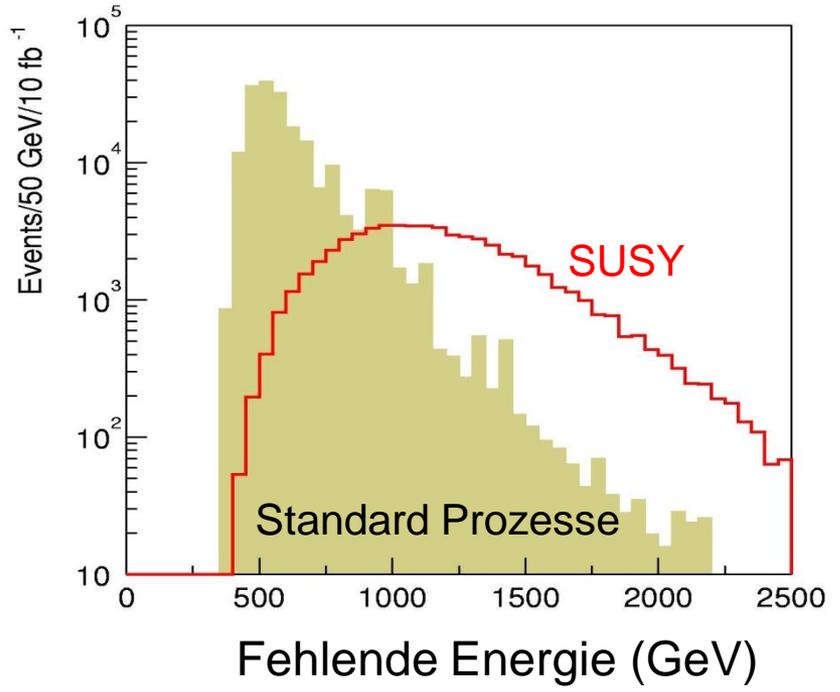
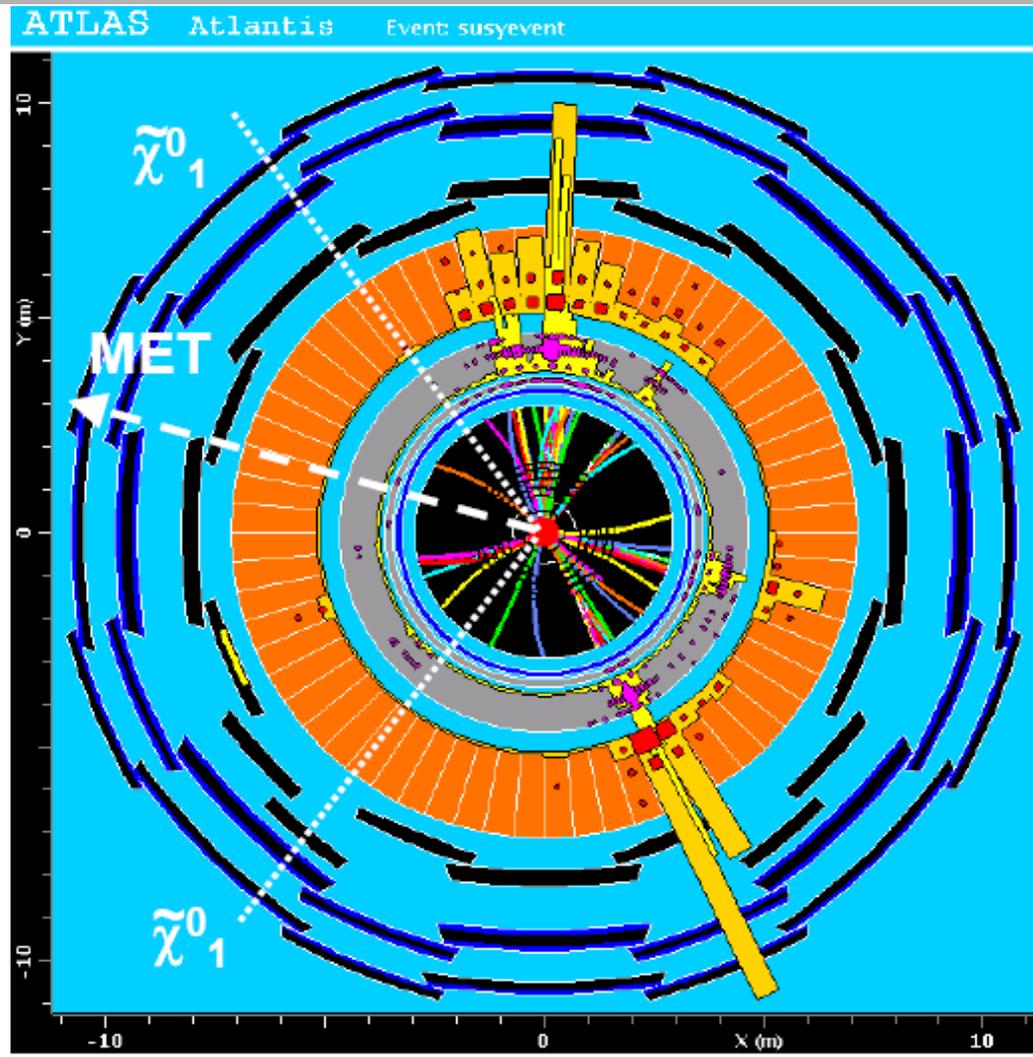
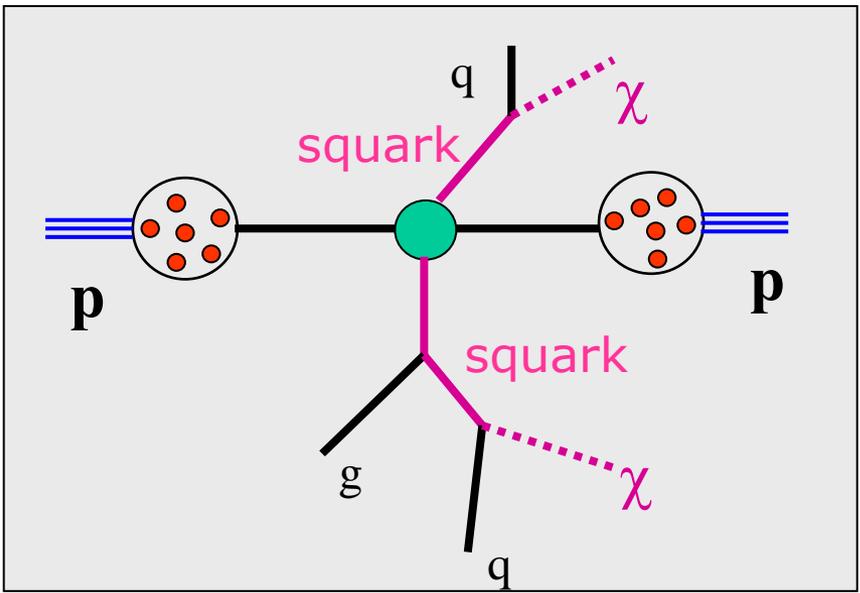
Eine neue Welt ?

- neue Teilchen ändern Laufen der Kopplungen
 → Vereinigung der Kopplungen möglich

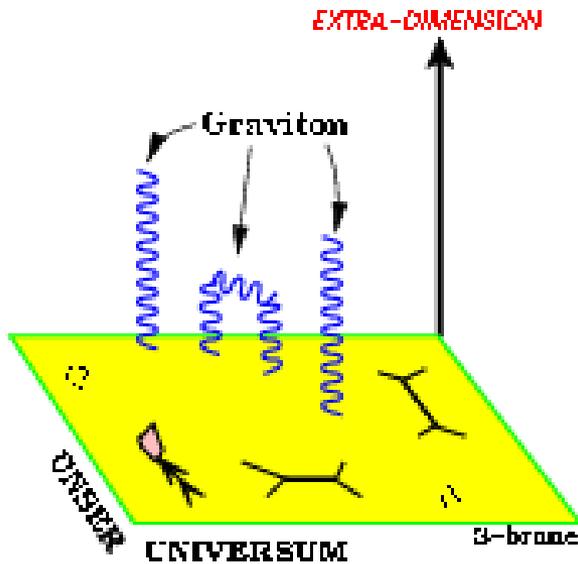


- Nebenprodukt:
 oft leichtestes SUSY-teilchen stabil → Kandidat für dunkle Materie

Die Suche nach Supersymmetrie (SUSY)

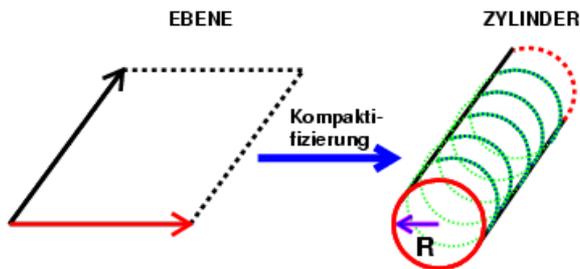


Was ist die Struktur der Raum-Zeit?



klassisch
$$V(r) = \frac{m_1 m_2}{M_{Pl}^2} \frac{1}{r}$$

δ neue Raumdimensionen mit Radius R ,
in denen nur Gravitation „lebt“



$$V(r) \propto \frac{m_1 m_2}{M_D^{2+\delta} R^\delta} \frac{1}{r} \quad V(r) \propto \frac{m_1 m_2}{M_D^{2+\delta}} \frac{1}{r^{\delta+1}}$$

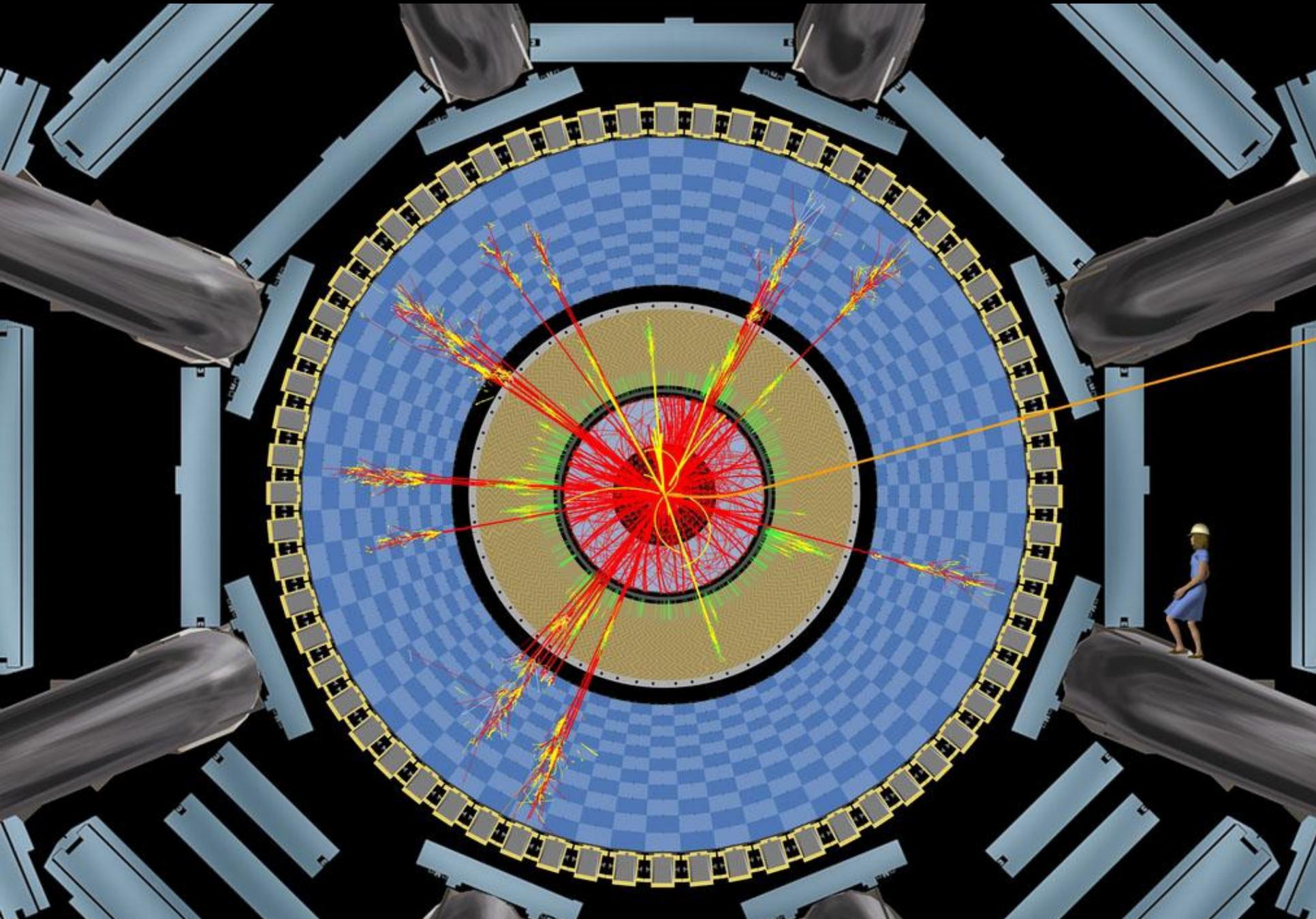
Vergleich von 4-dim und 4+ δ $V(r)$:

$$M_{Pl}^2 = 8\pi R^\delta M_D^{\delta+2}$$

Erklärt Schwäche der Gravitation

Erlaubt die Möglichkeit der Produktion von kleinen schwarzen Löchern

Kleines Schwarzes Loch: harmlos und interessant!



An Stelle eines Schlusswortes

Was wir wissen, ist ein Tropfen; was wir nicht wissen, ein Ozean.

Isaac Newton 1643 - 1727

