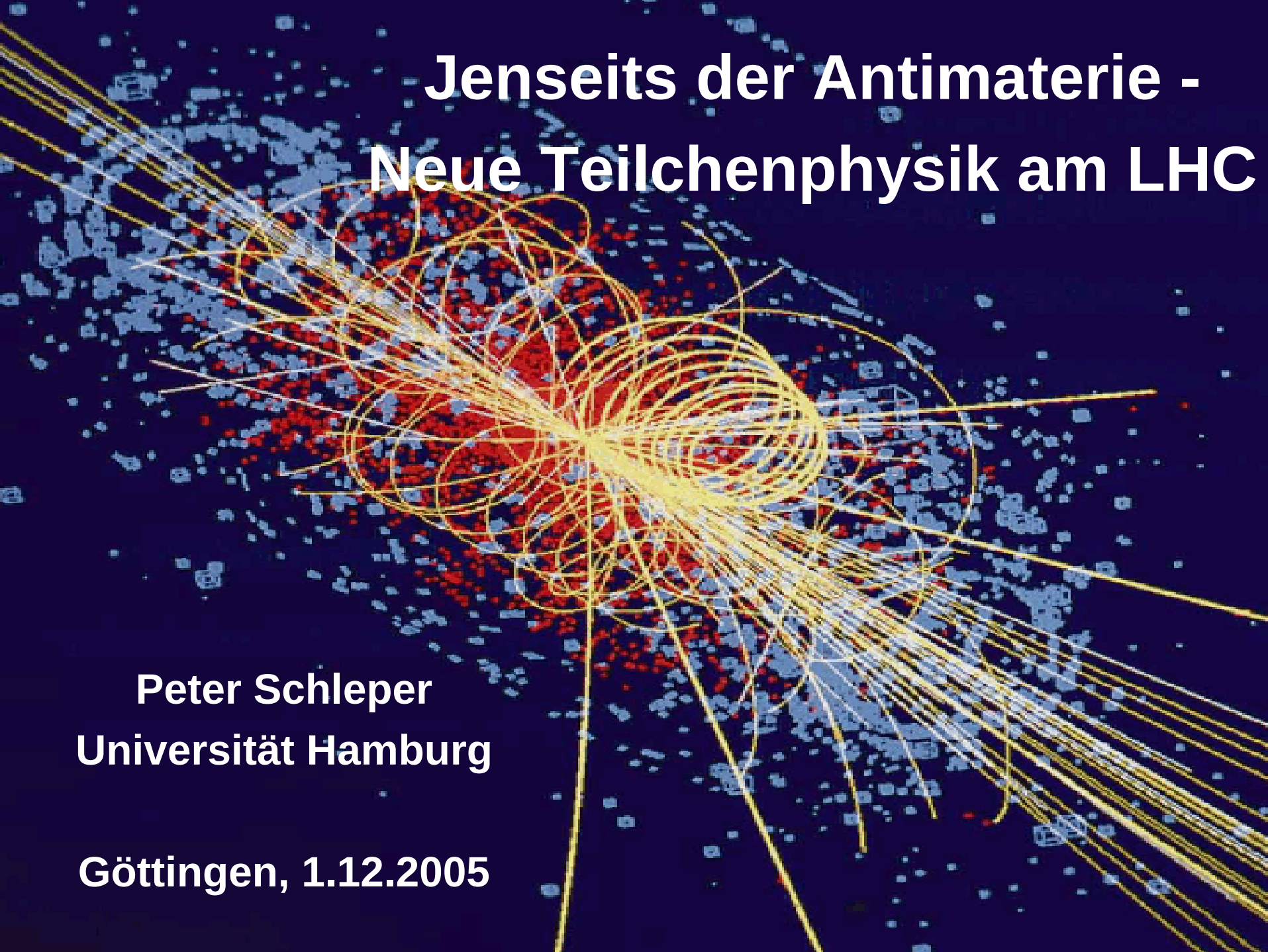


Jenseits der Antimaterie - Neue Teilchenphysik am LHC

A visualization of a particle collision at the LHC. The background is dark blue. A central region is filled with a dense cloud of red and blue dots, representing the collision point. Numerous yellow and orange lines radiate outwards from this central region, representing the paths of particles produced in the collision. Some lines are straight, while others are curved, indicating the complex dynamics of the event.

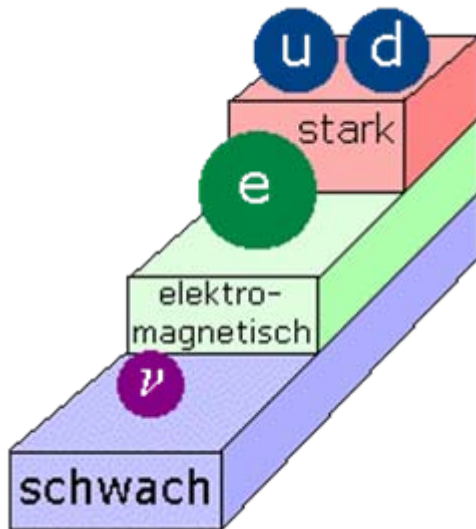
Peter Schleper
Universität Hamburg

Göttingen, 1.12.2005

Das Standard Modell: Teilchen und Kräfte

Materie-Teilchen:

1. Generation



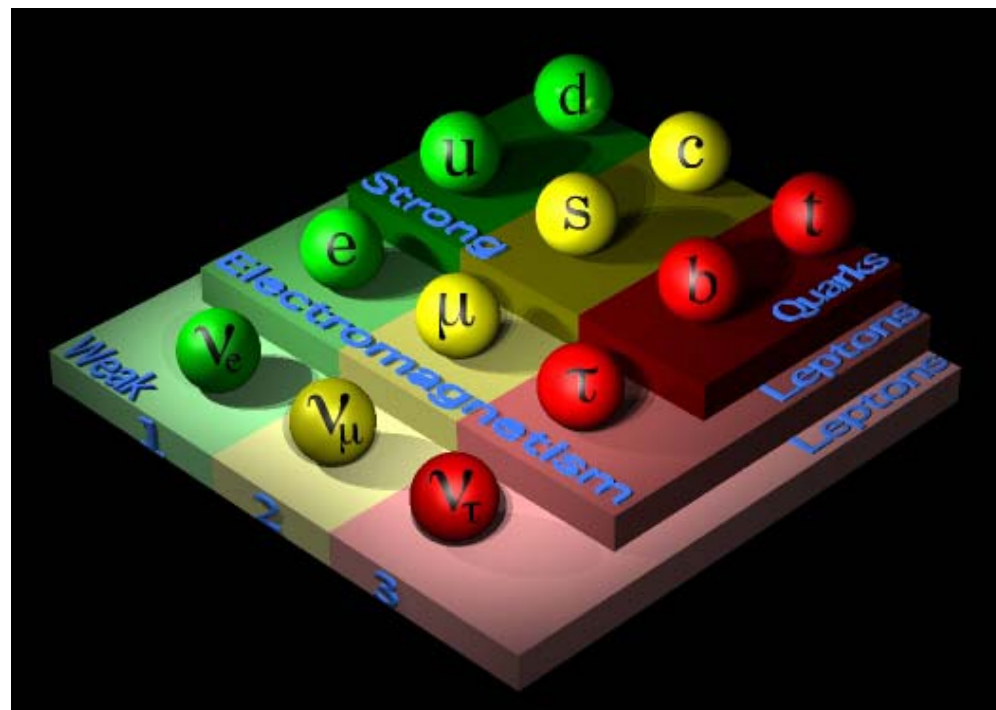
Naturkräfte:

1. Elektromagnetismus
2. Schwache Kraft
3. Starke Kraft
4. Gravitation ???

Entdeckungen

2. Generation: Muon, Strange Quark
→ Vorhersage: Neutrino, Charm
3. Generation: Tau, Bottom
→ Vorhersage: Neutrino, Top

...wegen Symmetrie zur 1. Generation



Grundbausteine der Natur

Austauschteilchen

Materieteilchen

BOSONS

force carriers
spin = 0, 1, 2, ...

Unified Electroweak spin = 1

Name	Mass GeV/c ²	Electric charge
γ photon	0	0
W^-	80.4	-1
W^+	80.4	+1
Z^0	91.187	0

Strong (color) spin = 1

Name	Mass GeV/c ²	Electric charge
g gluon	0	0

FERMIONS

matter constituents
spin = 1/2, 3/2, 5/2, ...

Leptons spin = 1/2

Flavor	Mass GeV/c ²	Electric charge
ν_e electron neutrino	$<1 \times 10^{-8}$	0
e electron	0.000511	-1
ν_μ muon neutrino	<0.0002	0
μ muon	0.106	-1
ν_τ tau neutrino	<0.02	0
τ tau	1.7771	-1

Quarks spin = 1/2

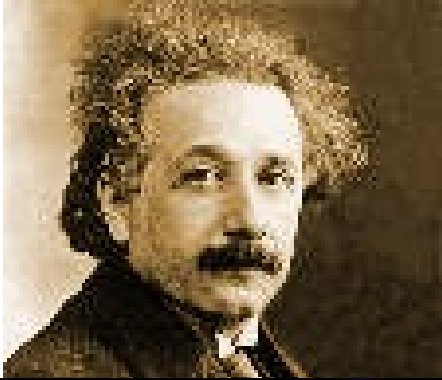
Flavor	Approx. Mass GeV/c ²	Electric charge
u up	0.003	2/3
d down	0.006	-1/3
c charm	1.3	2/3
s strange	0.1	-1/3
t top	175	2/3
b bottom	4.3	-1/3

- Warum diese el. Ladungen ?
 e^- : -1 Proton: +1
- Warum diese Massen ?
- Warum Unterschied für
Fermionen und Bosonen ?

Materie und Antimaterie

Relativität und Quantentheorie

Einstein 1905:



$$E=mc^2$$

Masse ist eine Form von Energie

- Aus Energie kann neue Masse entstehen

$$E^2 = m^2 c^4 + P^2 c^2$$

$$E = \pm (m^2 c^4 + P^2 c^2)^{1/2}$$

DIRAC 1928 :



$$(i\gamma^\mu \partial_\mu - m)\psi = 0$$

Quantentheorie:

Teilchen $\rightarrow$ Wellen-Gleichungen

Elektron hat Spin $\frac{1}{2}$: zwei Freiheitsgrade

Relativistische Quantentheorie:

Lösung nur für 4 Freiheitsgrade

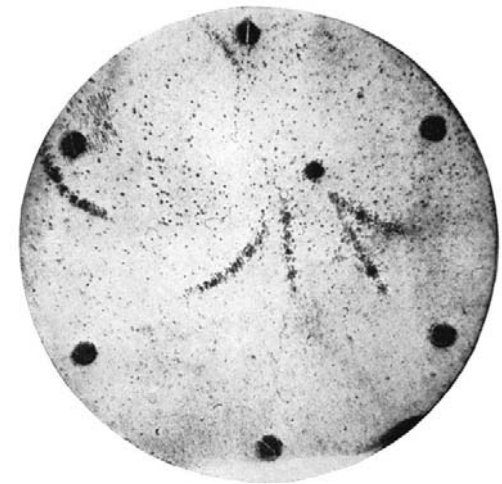
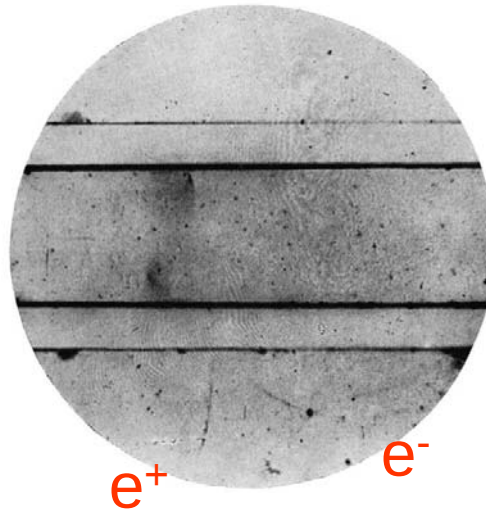
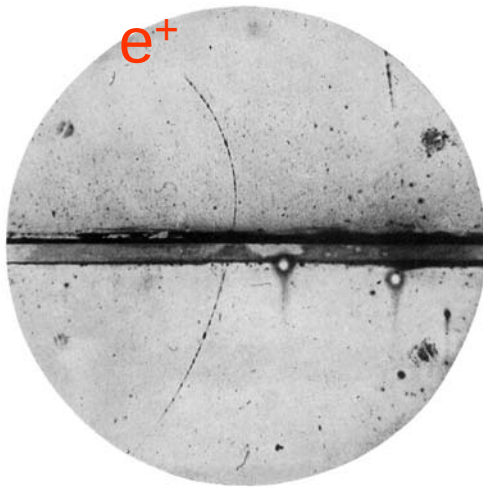
Elektron + ??? Anti-Elektron

Antimaterie: Entdeckung

Höhenstrahlung: Teilchen aus dem Kosmos

Nachweis durch Ionisation in Nebelkammer (Kondensation)

1933:



E: Energie aus Reichweite und Ionisation: ~ 20 MeV

P: Impuls und Ladung aus Krümmung im B-Feld

Masse wie Elektron, aber Ladung positiv

Anti-Elektron = Positron

$$\gamma \rightarrow e^+e^-$$

Antimaterie II

Höhenstrahlung

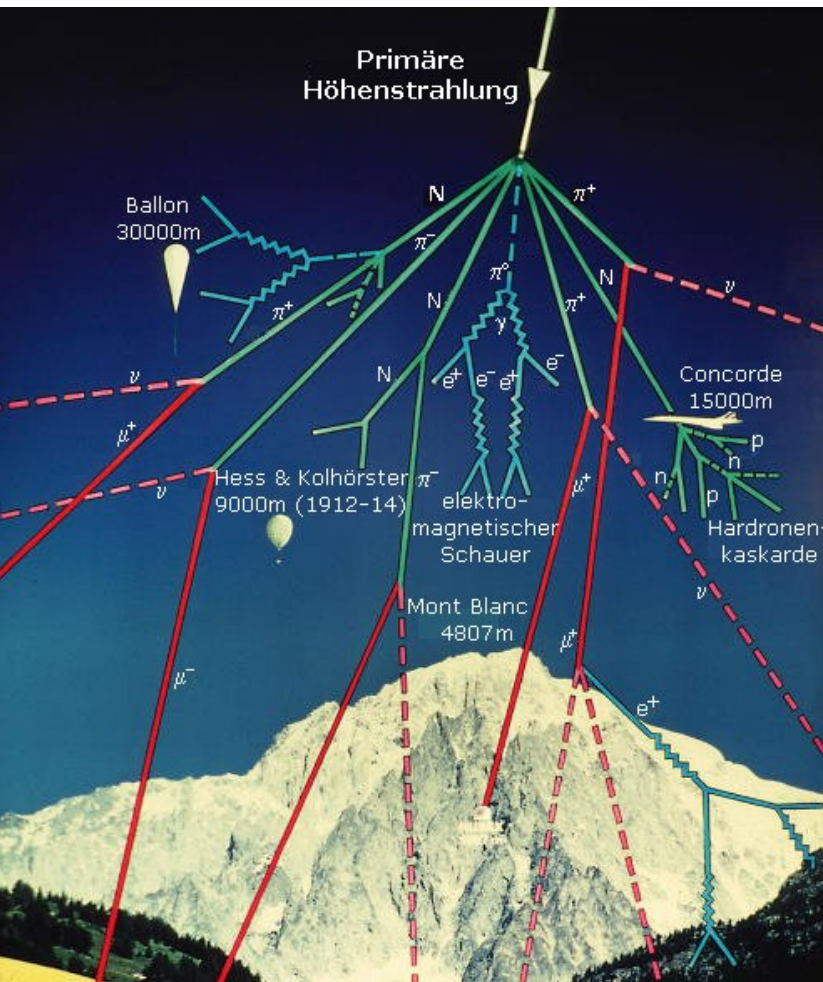
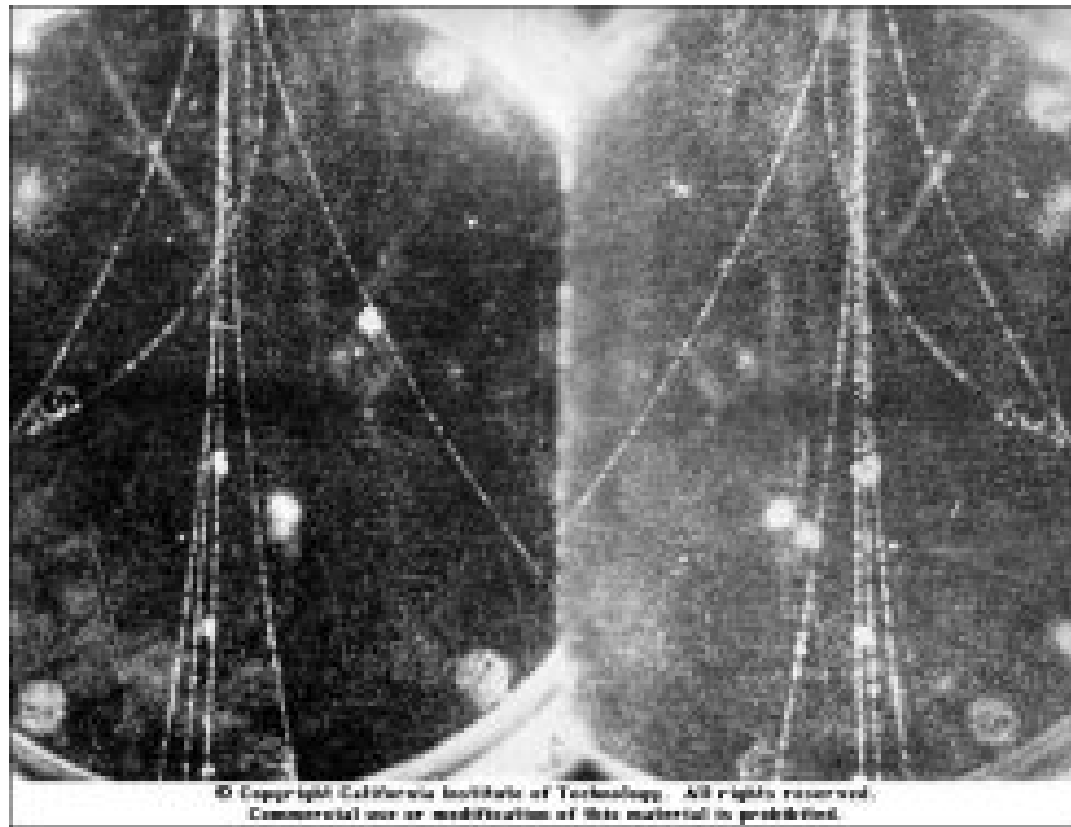


Photo einer Teilchenreaktion



Vorhersagen

Symmetrie der Natur

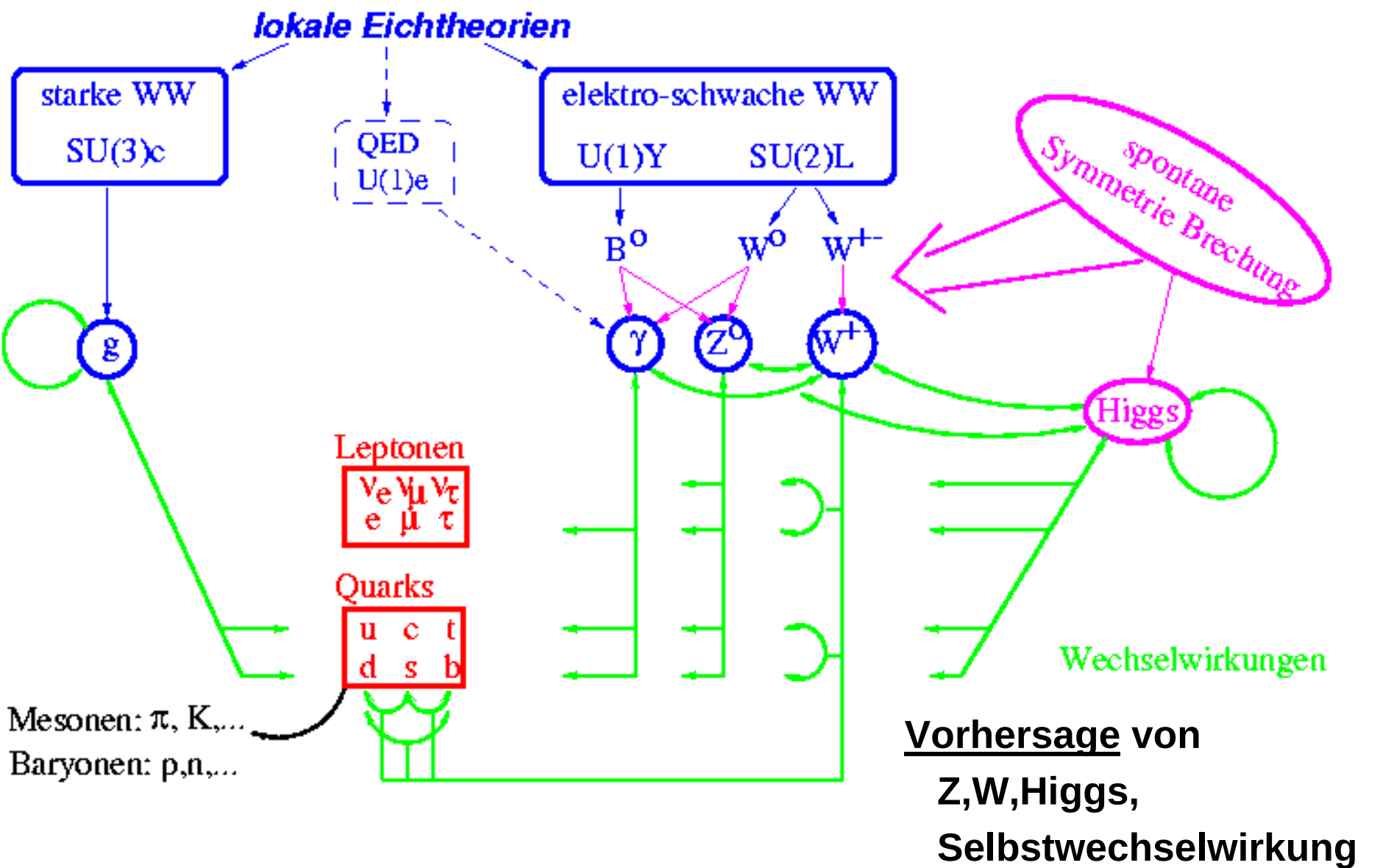
Lorentztransformationen lassen die Natur
(physikalische Experimente) unverändert

neue mathematische Struktur der Physik:

- ➔ Dirac Gleichung
- erlaubt nur eine (wenige) Lösungen:
- ➔ Dirac: 2 Lösungen mit 4 Freiheitsgraden
- Vorhersage neuer Natur-Phänomene:
- ➔ Teilchen und Antiteilchen mit Spin $1/2$

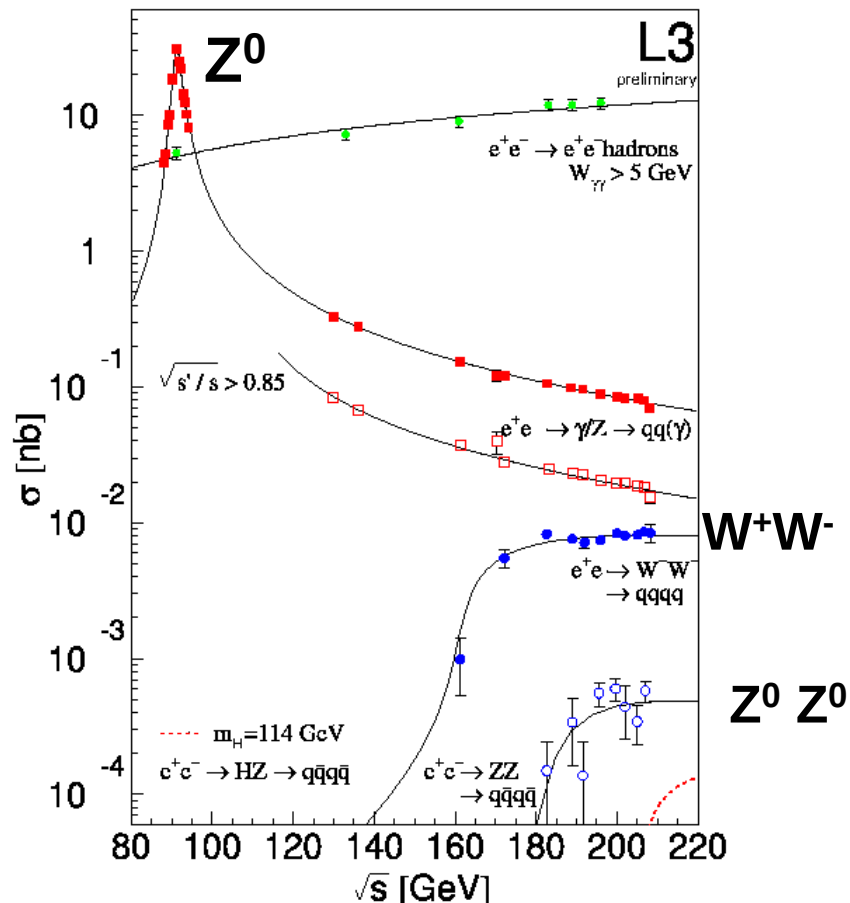
1. Rel. QM → Antimaterie
2. Eich-Symmetrie → Kräfte und Austausch-Teilchen
3. Spin-Symmetrie → Supersymmetrische Teilchen

Standard-Modell der Teilchen und Kräfte

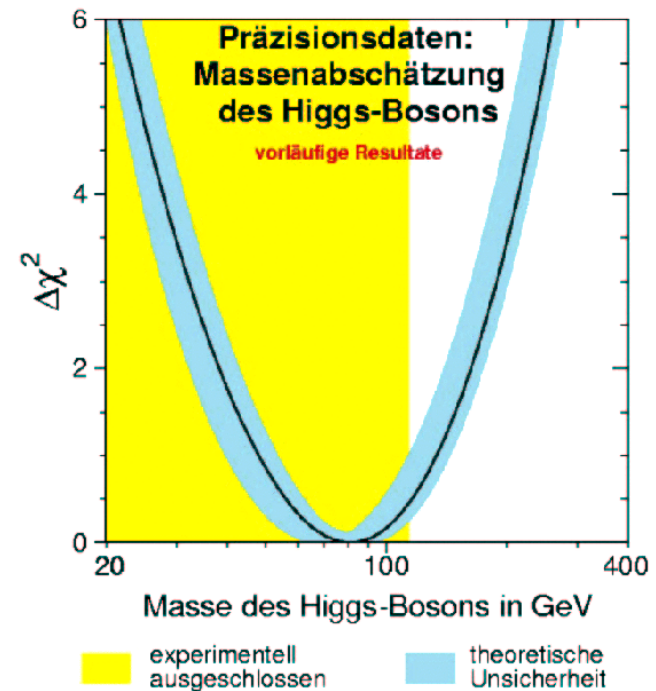


Schwache Wechselwirkung und Higgs

LEP Beschleuniger: $e^+e^- \rightarrow \dots$
Präzisionstest der Teilchenphysik



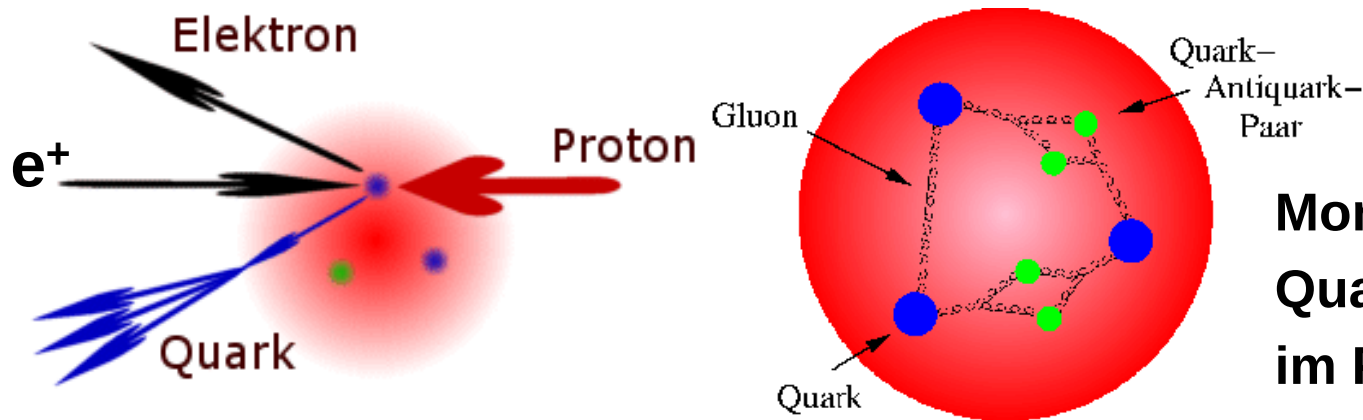
Alle Experimente stimmen mit dem
Standard Modell überein !!
...falls das Higgs existiert und
 $M_H < 250$ GeV



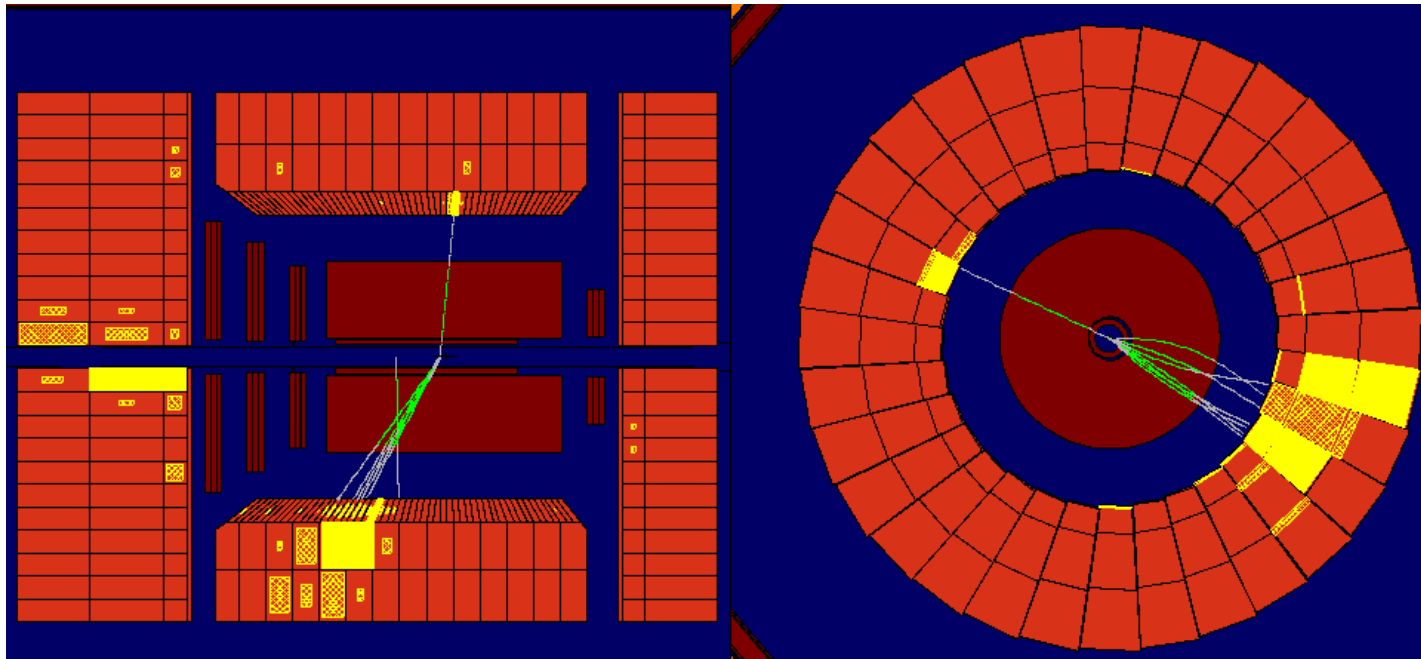
Sonst: Widerspruch
Alternativen ????

Starke Wechselwirkung im Proton

HERA ep Beschleuniger

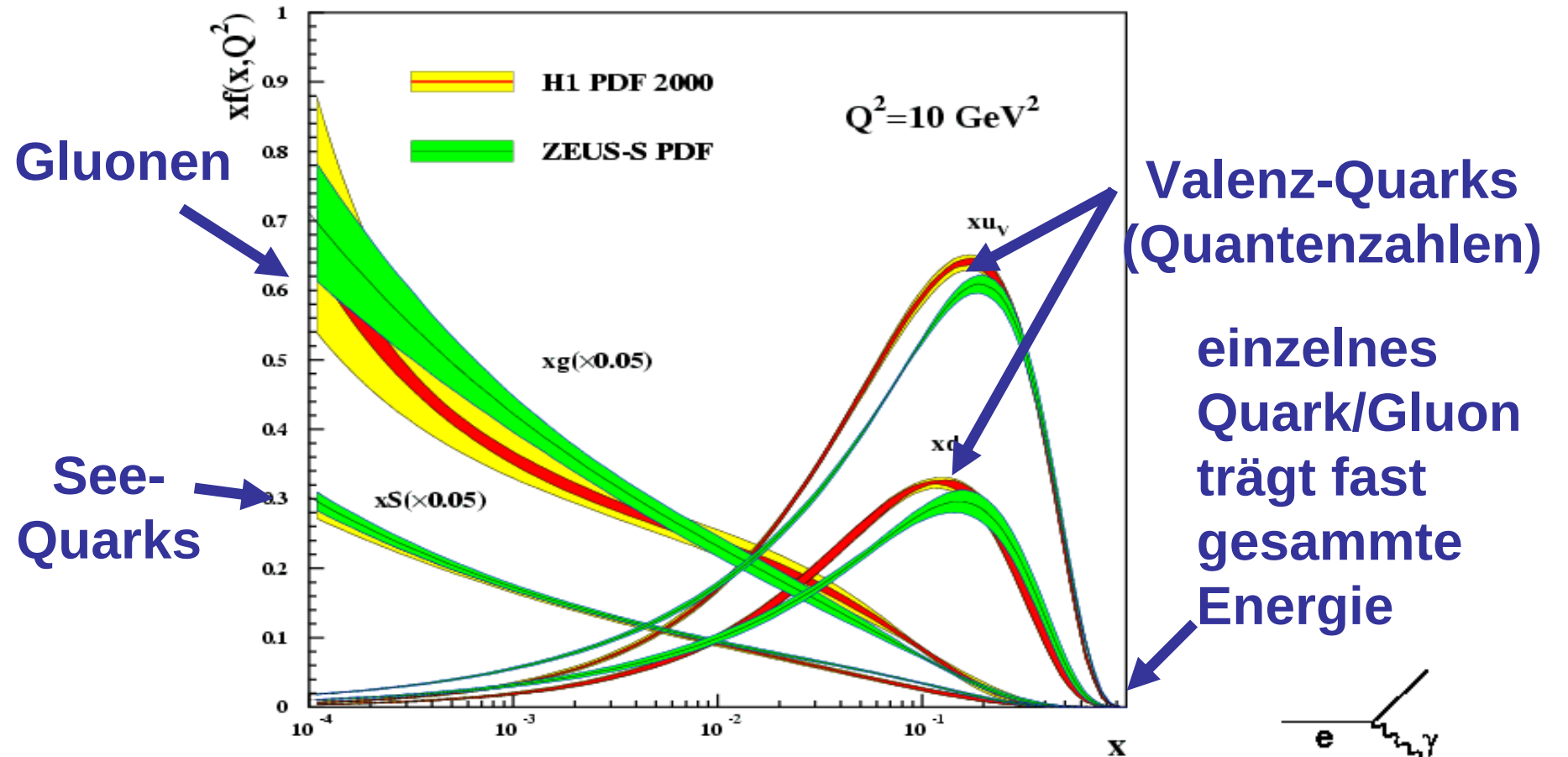


**Momentaufnahme der
Quantenfluktuationen
im Proton**



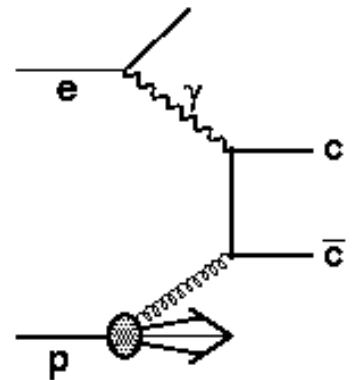
**ZEUS
Experiment**

Impuls-Bild des Protons



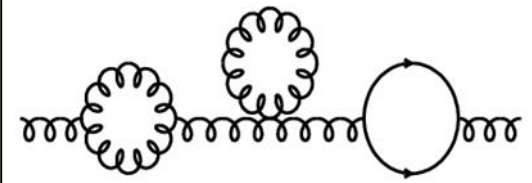
$$X = P_{\text{Quark, Gluon}} / P_{\text{Proton}}$$

Starke Wechselwirkung sagt
Quark-Gluon & Gluon-Gluon
Wechselwirkung korrekt voraus

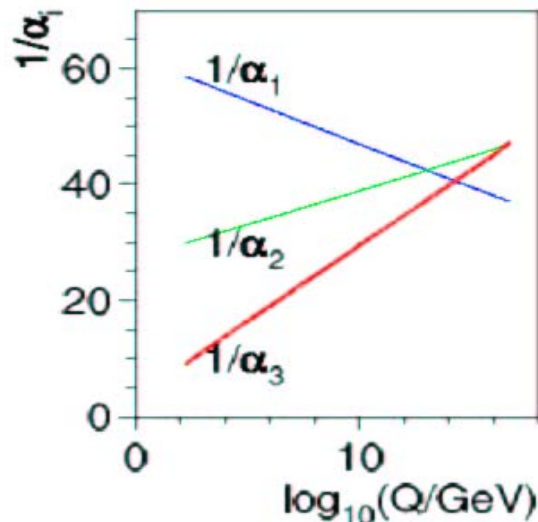


Extrapolation des Standard-Modells

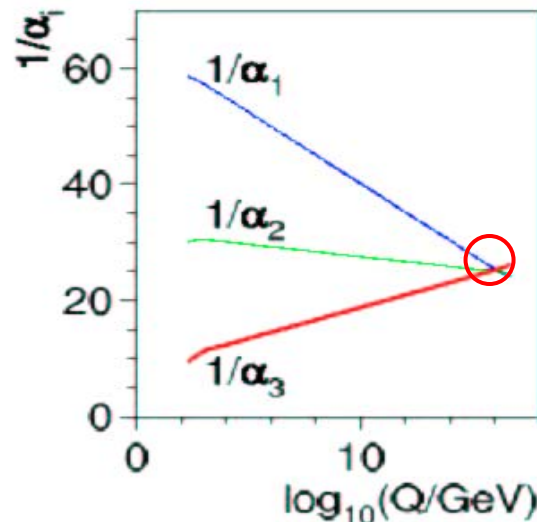
α_{elm} , α_{schwach} , α_s hängen durch Quanten-Korrekturen von Energie ab !



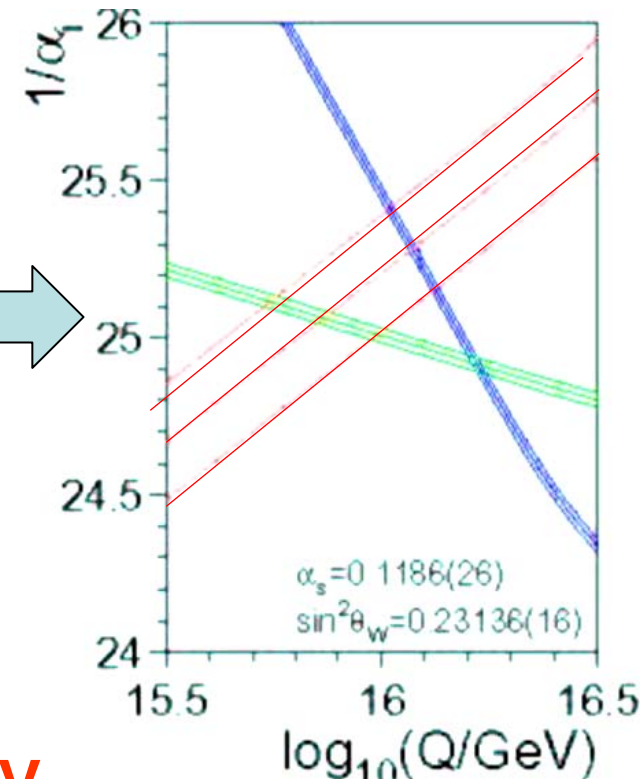
Standard Model



Supersymmetrie



Supersymmetrie



**Vereinheitlichung der Naturkräfte
durch Supersymmetrie ?! bei 10^{16} GeV**

Spin / Supersymmetrie

die neue Teilchen-Welt

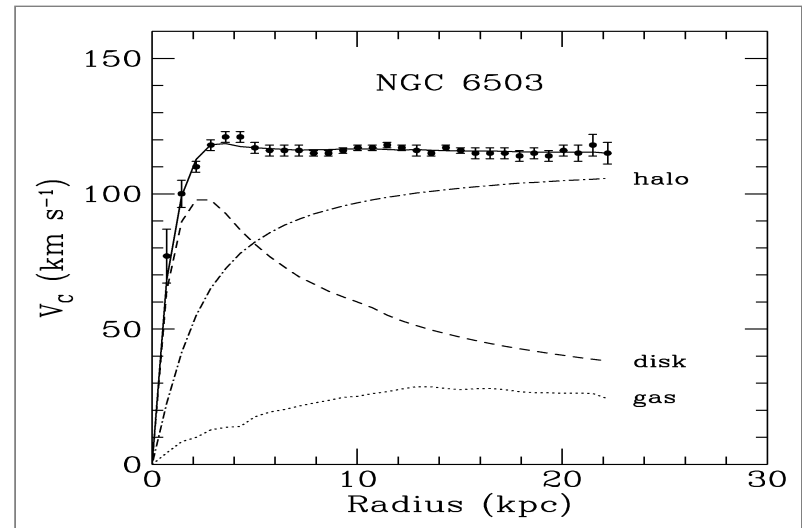
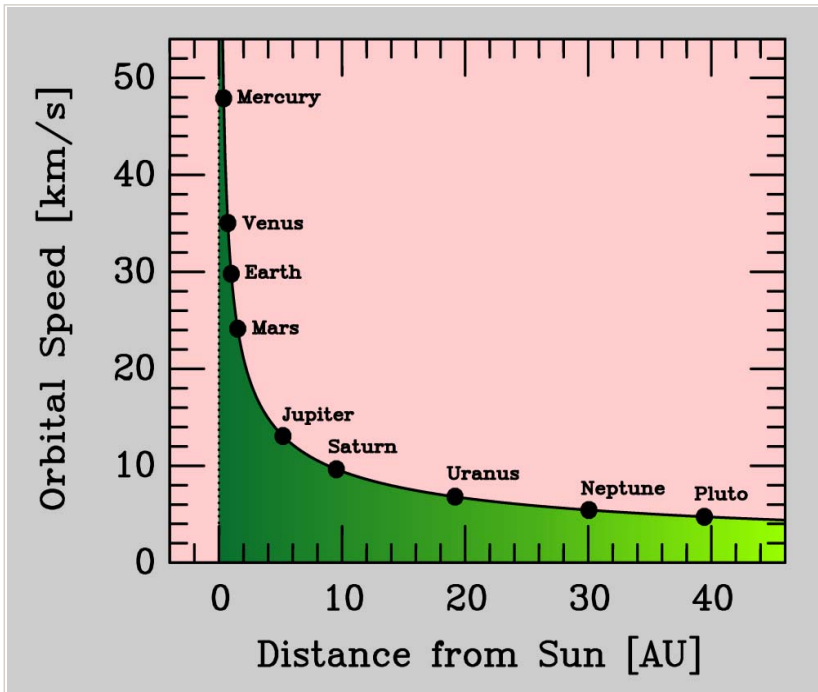
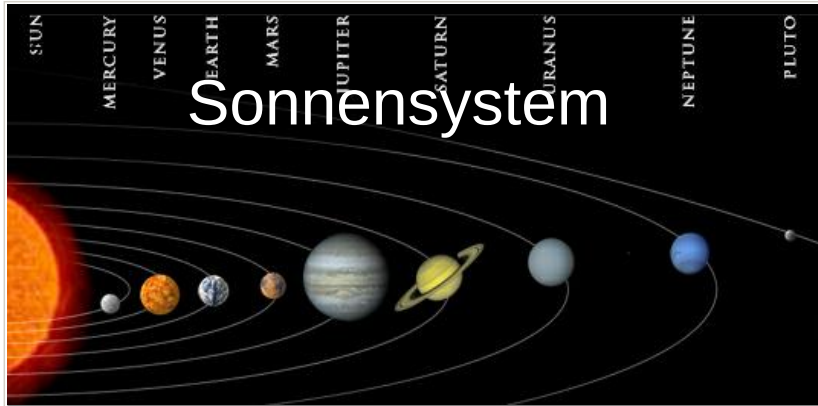
Spin	Standardteilchen	Superpartner	Spin
1/2	Leptonen ($e, \nu_e, \dots$) Quarks ($u, d, \dots$)	Sleptonen ($\tilde{e}, \tilde{\nu}_e, \dots$) Squarks ($\tilde{u}, \tilde{d}, \dots$)	0
1	Gluonen $W^\pm$ Z^0 Photon (γ)	Gluinos Wino Zino Photino ($\tilde{\gamma}$)	1/2
0	Higgs	Higgsino	1/2
2	Graviton	Gravitino	3/2

**Andere Hinweise auf SUSY ?
Entdeckung ?**

**Leichtestes SUSY Teilchen
ist stabil.**

Dunkle Materie im Kosmos

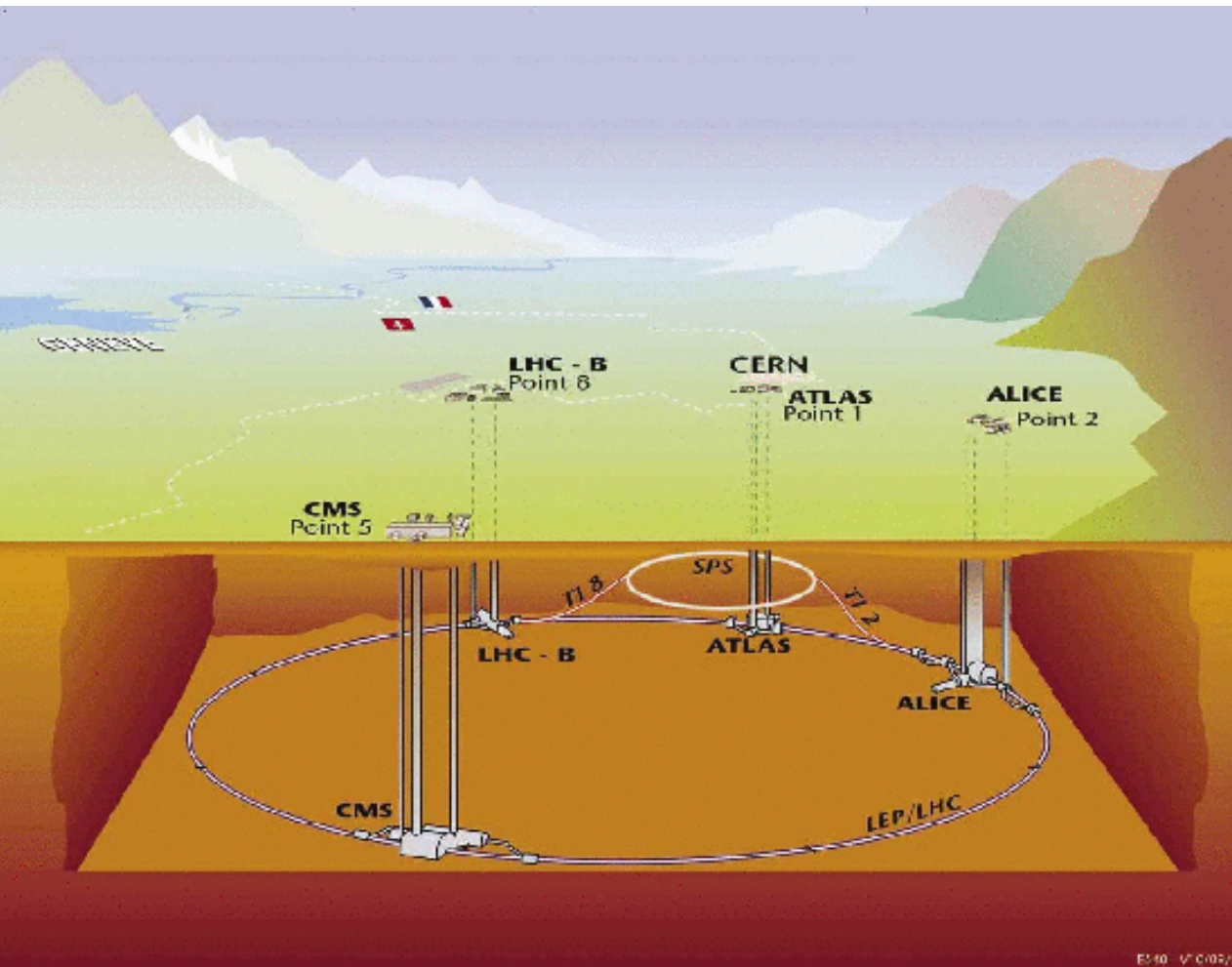
Gravitation $\sim 1/r^2 \rightarrow$ Rotationskurven (Kepler)



Neue Form unsichtbarer Materie: "
Dark Matter = SUSY Teilchen ?

LHC: Large Hadron Collider

CERN: Europäisches Zentrum für Teilchenphysik in Genf
Proton-Proton Kollisionen bei 14000 GeV (bisher 2000 GeV)
Faktor 1000 mehr Kollisionen als bisher



Start: 2007

Jetzt:
Bau der
Experimente

CMS Experiment: Compact Muon Solenoid

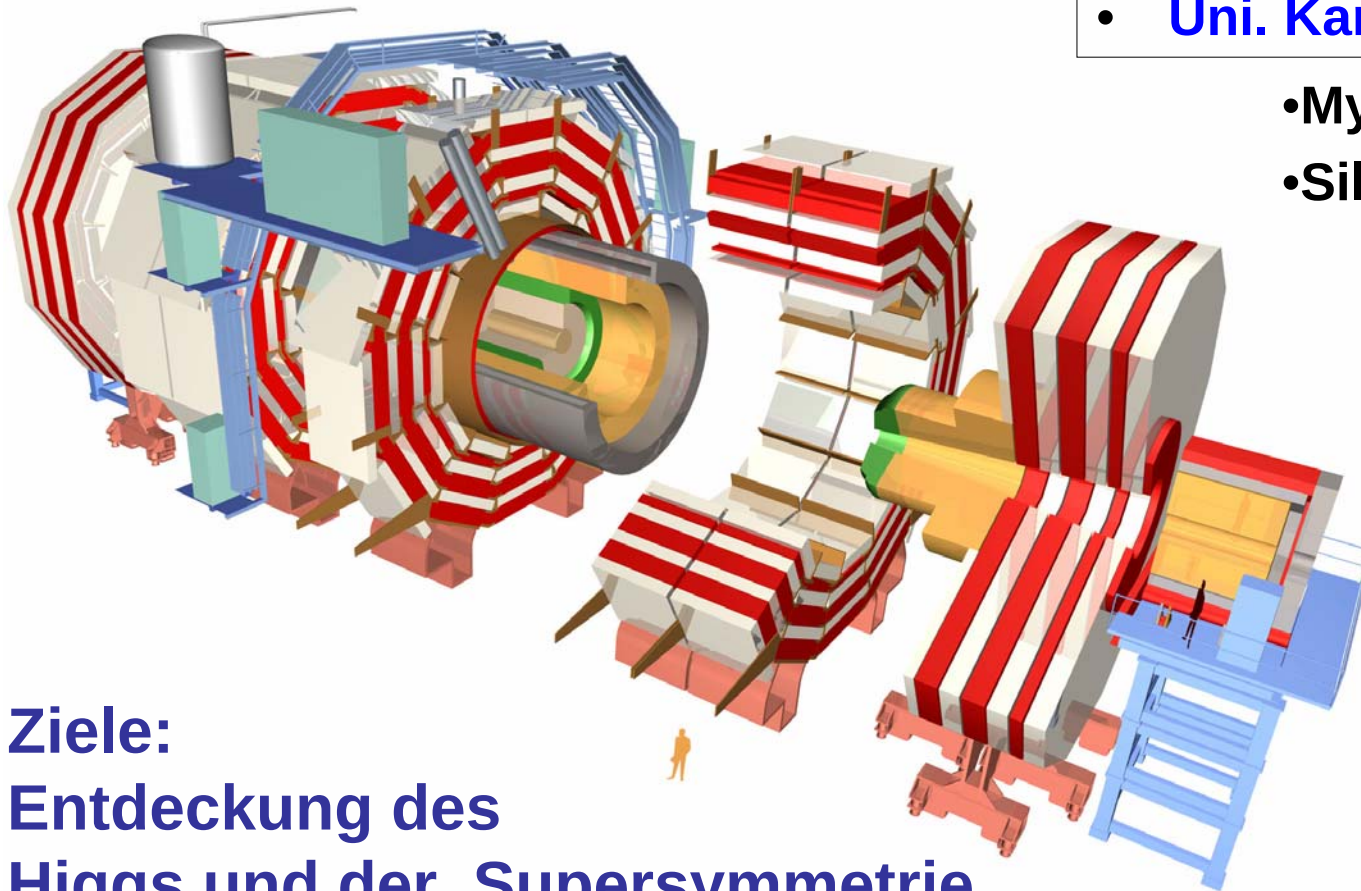
38 Nationen
171 Institute
2250 Physiker

Wachstum in 2005:
16 neue Institute

Deutsche Gruppen: D-CMS

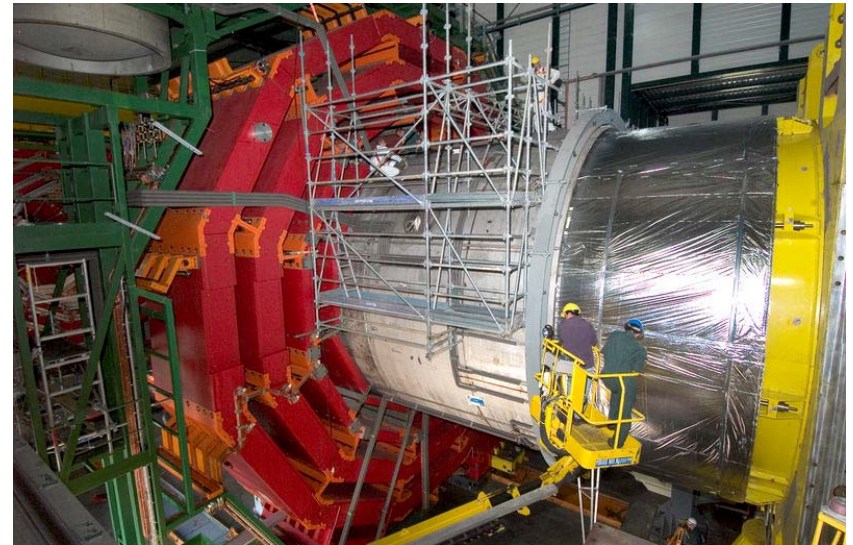
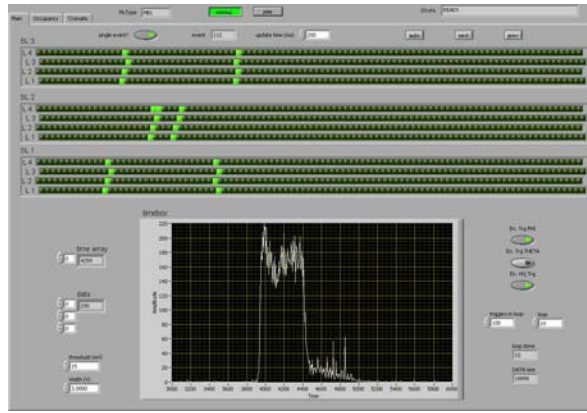
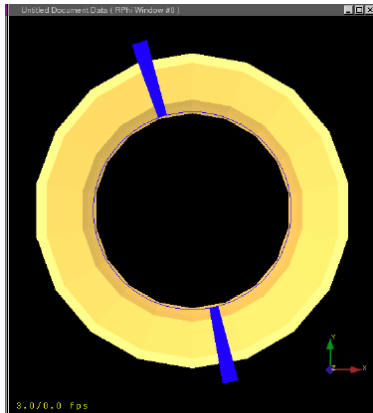
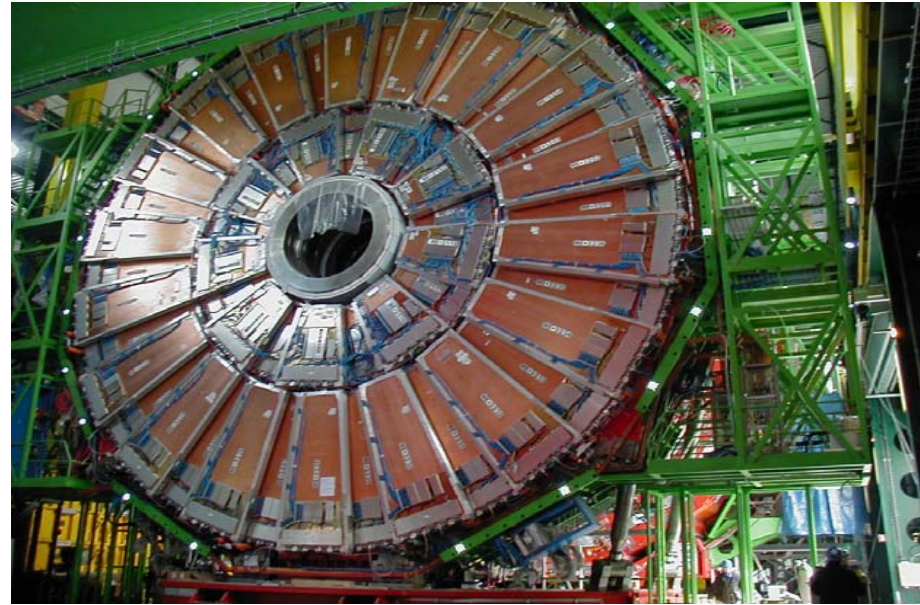
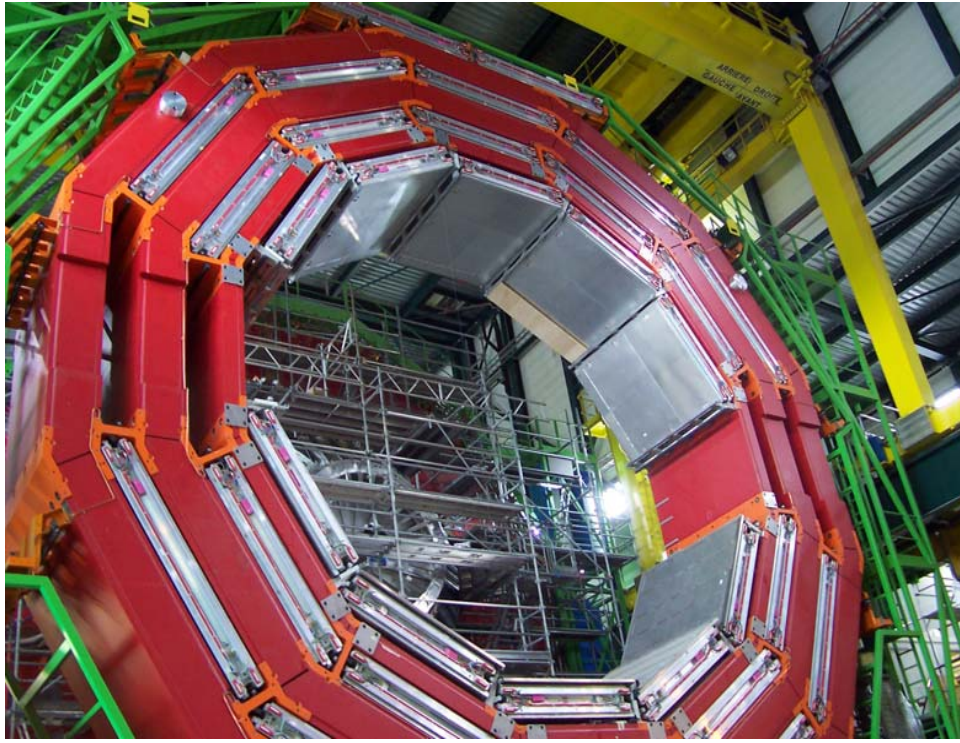
- RWTH Aachen
- Uni. Hamburg
- Uni. Karlsruhe

- Myon Driftkammern
- Silicon Strip Tracker



Ziele:
Entdeckung des
Higgs und der Supersymmetrie

CMS Myon System



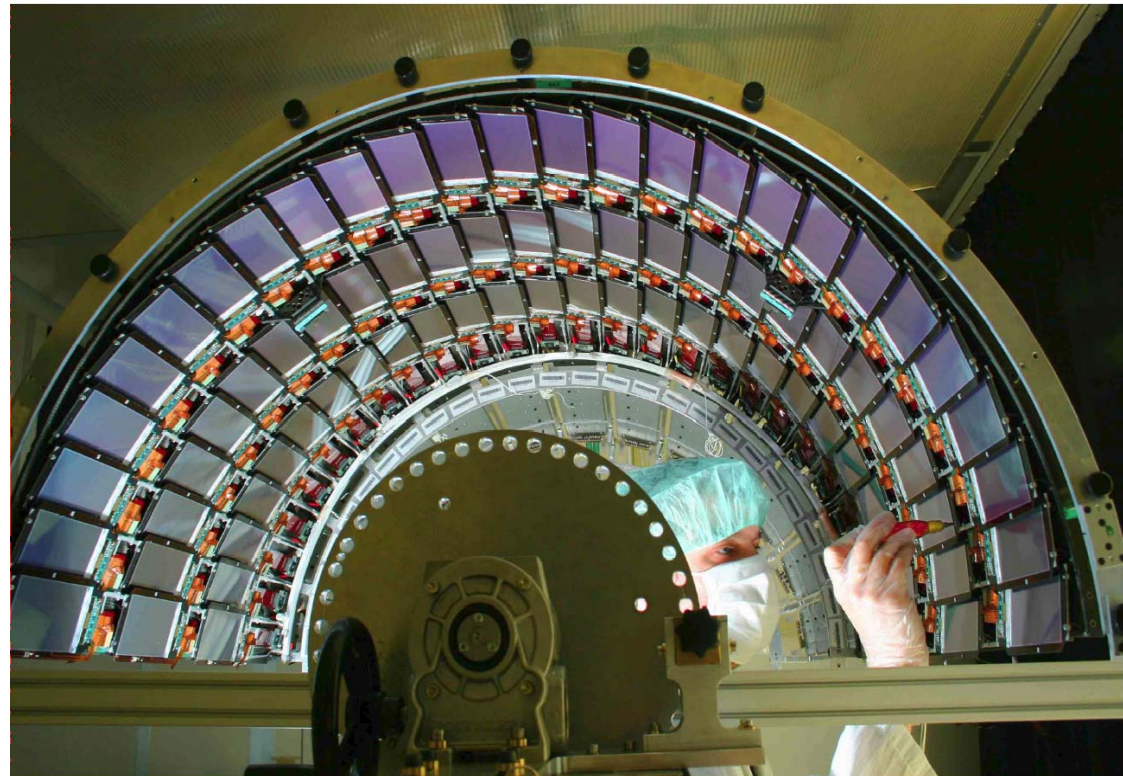
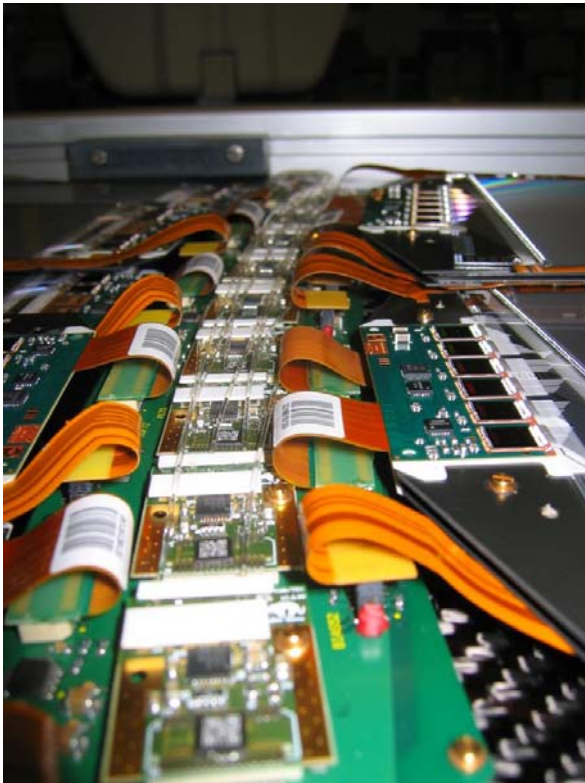
Silizium Spur-Detektor



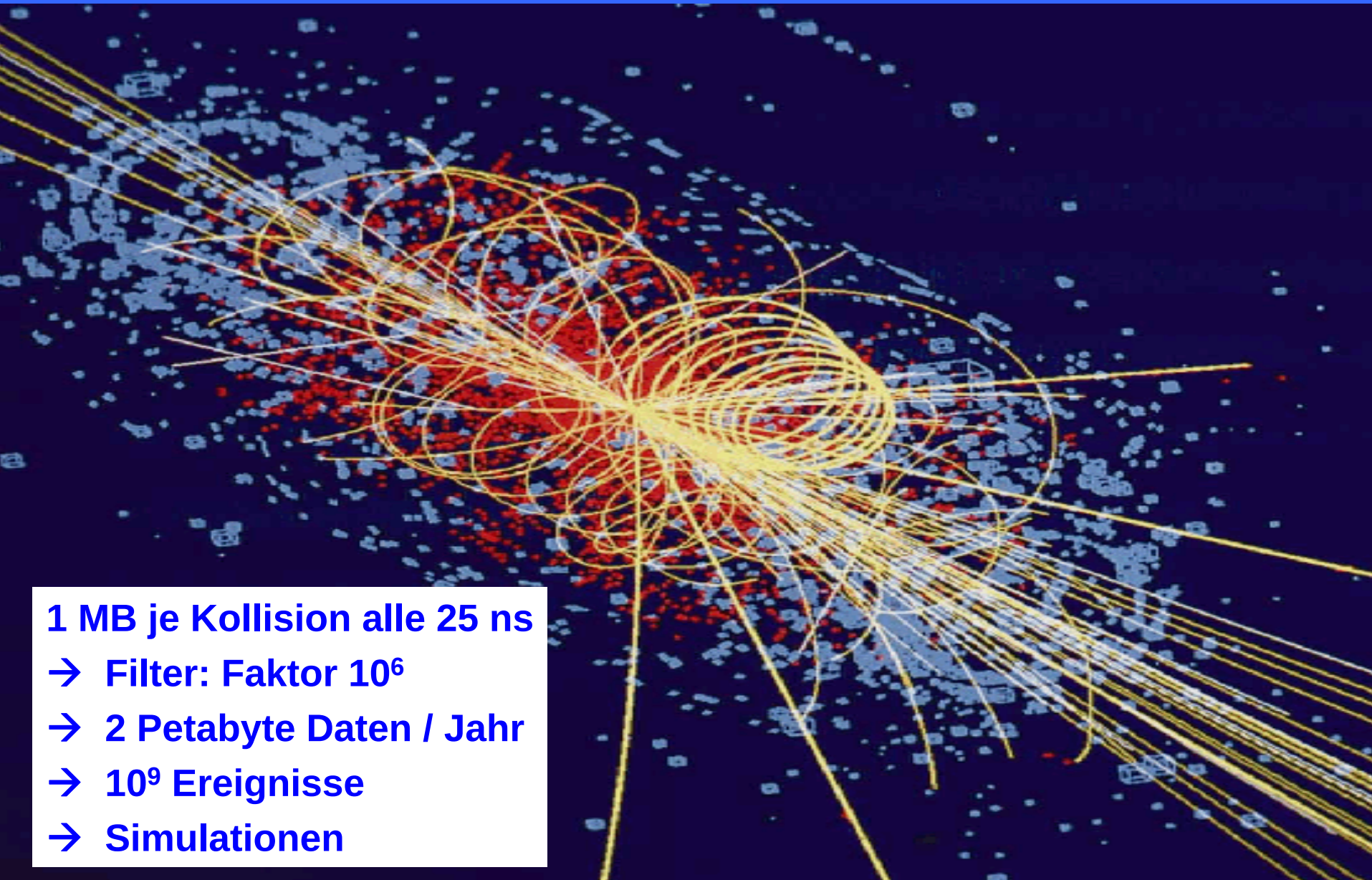
Streifen Detektor:

220 m² Si, 15000 Module

10 Mill. Streifen



Supersymmetrie - Simulation bei LHC



1 MB je Kollision alle 25 ns

→ Filter: Faktor 10^6

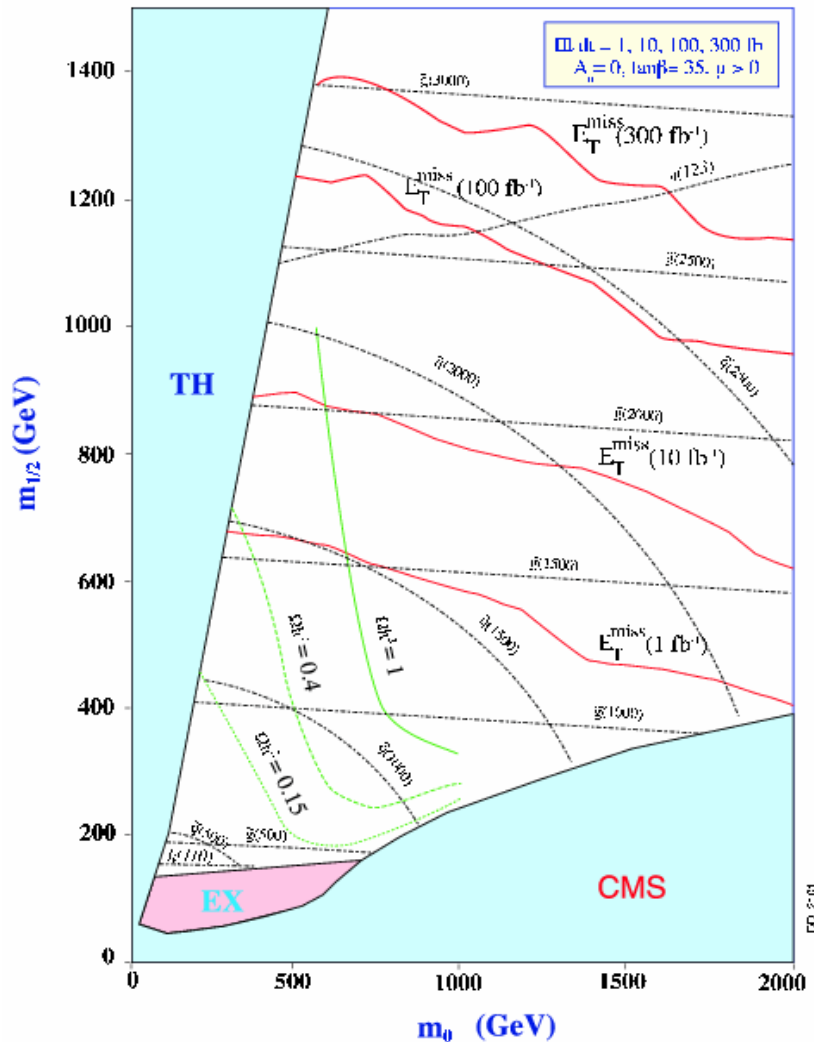
→ 2 Petabyte Daten / Jahr

→ 10^9 Ereignisse

→ Simulationen

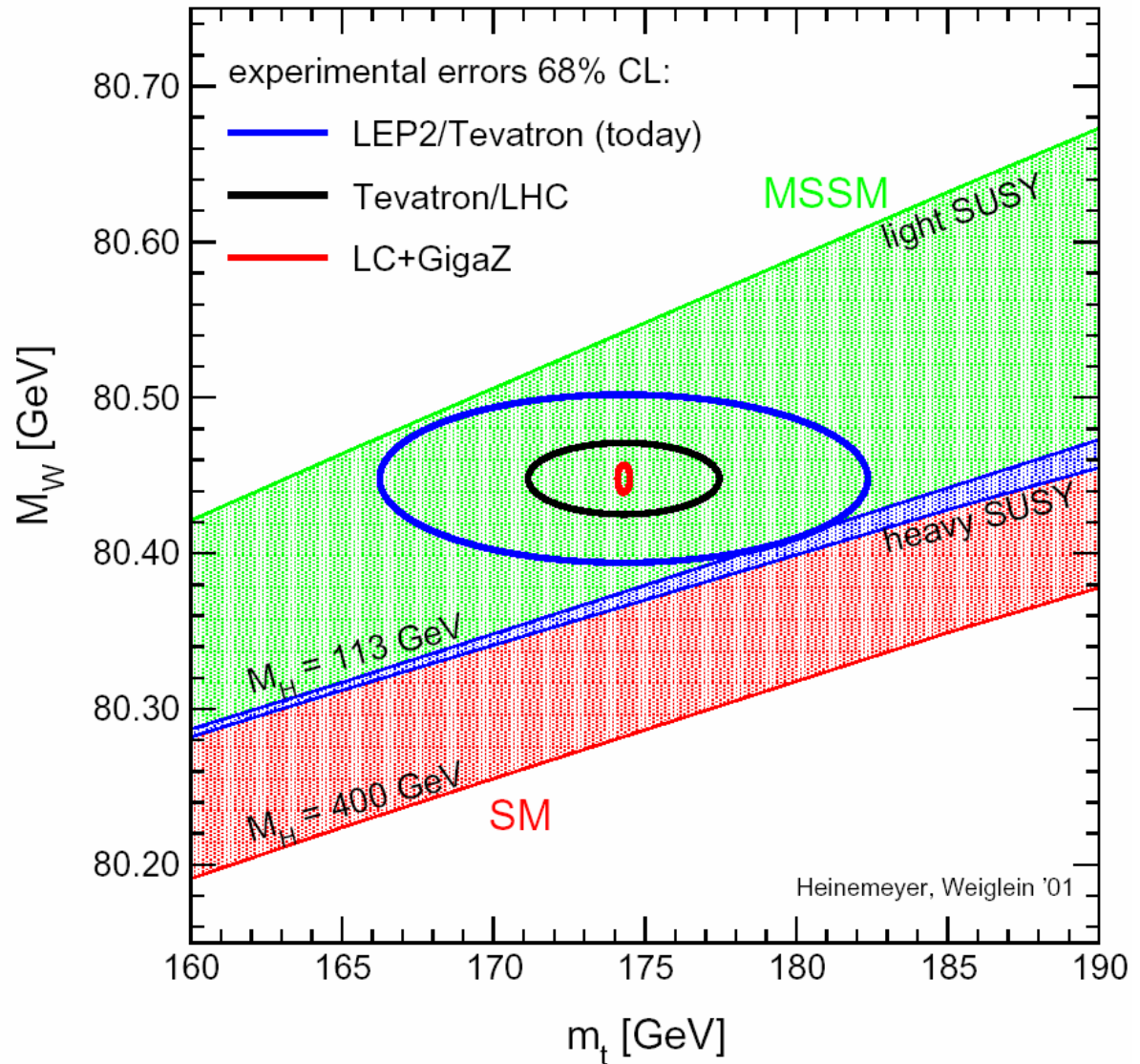
Entdeckung der Supersymmetrie

The CMS $\tilde{q}, \tilde{g}$ mass reach in $E_T^{\text{miss}} + \text{jets}$ inclusive channel for various integrated luminosities

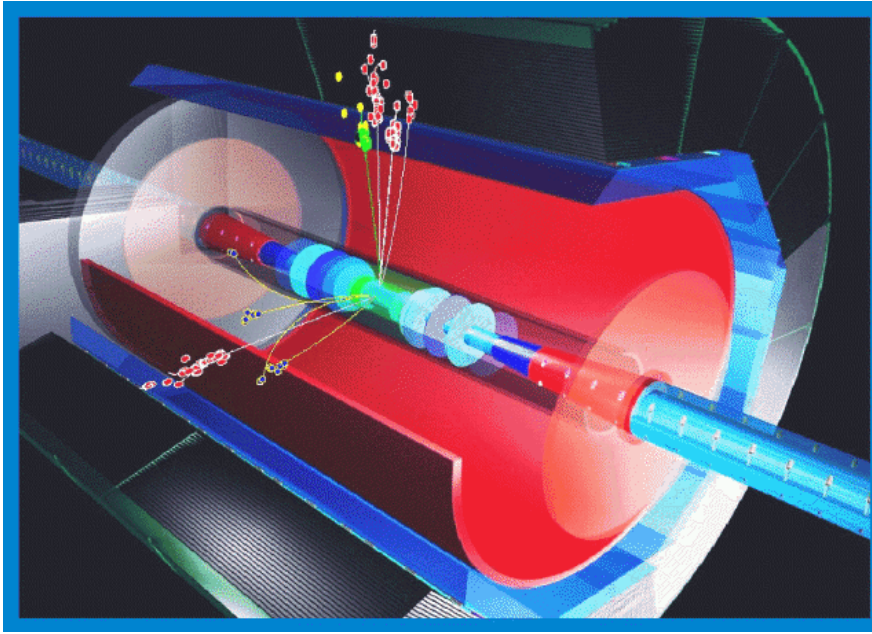


Indirekte Hinweise auf SUSY

Genaue Messungen
von M_t , M_W erlauben
Ausschluß des SM
und Bestätigung
von SUSY ?...



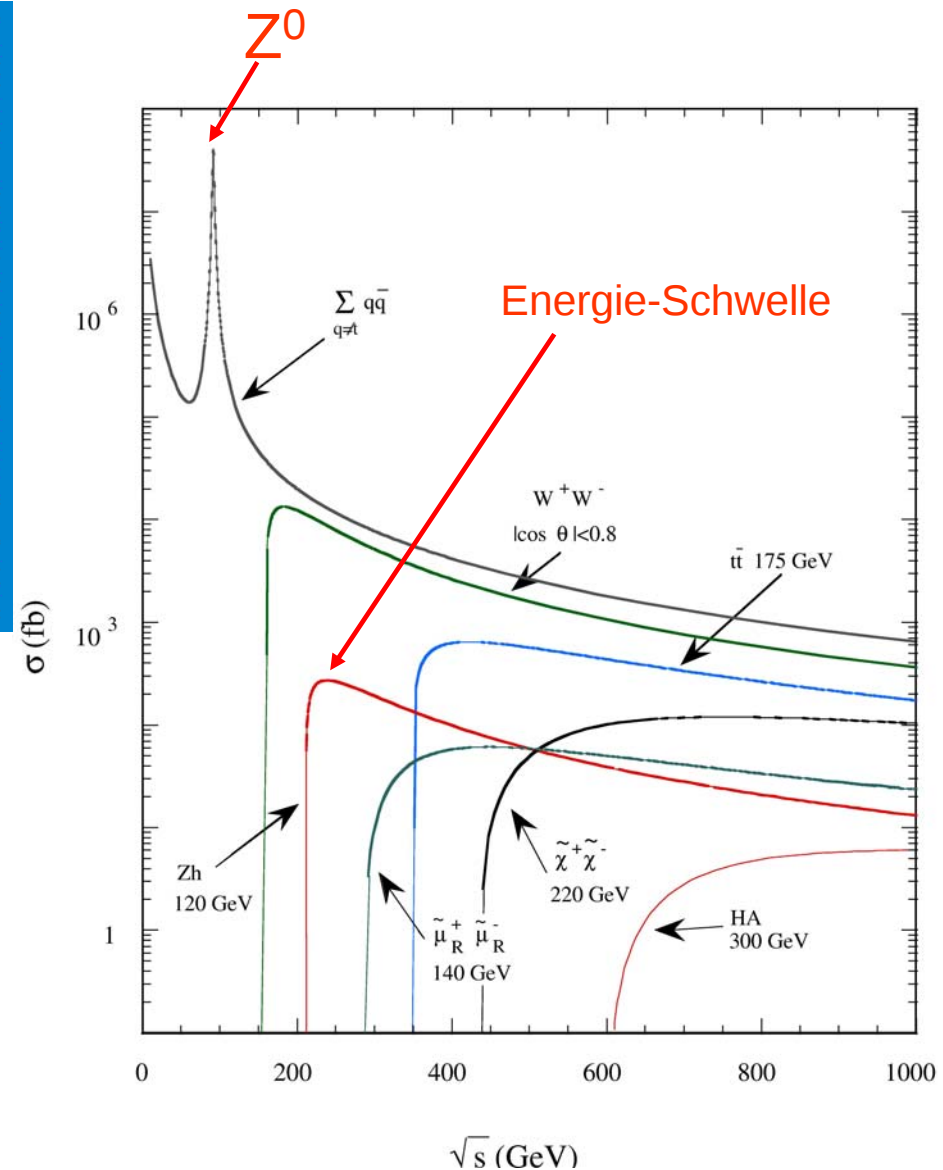
Zukunft: e+e- Linear Collider (ECMS=1000 GeV)



Higgs: $e^+e^- \rightarrow Z H$

$$E_{\text{cms}} > m_Z + m_H$$

SUSY: paarweise
sleptonen, charginos



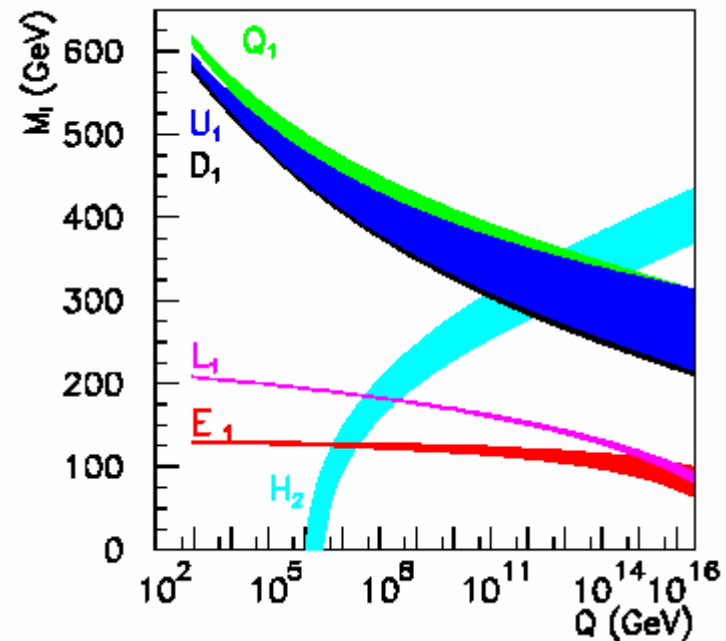
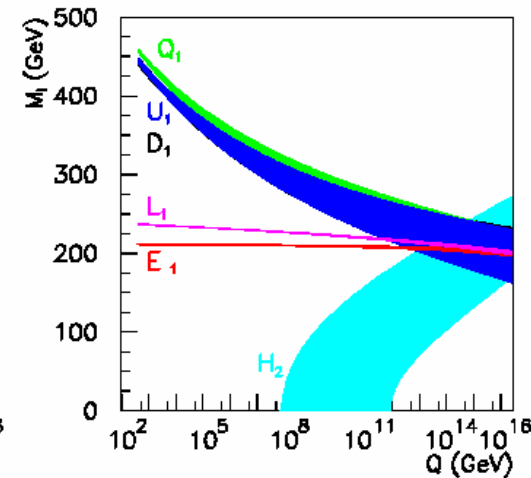
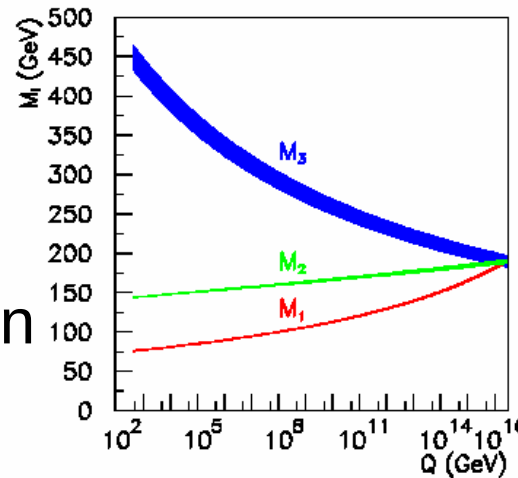
An der GUT Skala...

Physik bei 10^{16} GeV:

Extrapolation der
gemessenen SUSY-Massen
zu hohen Energien:

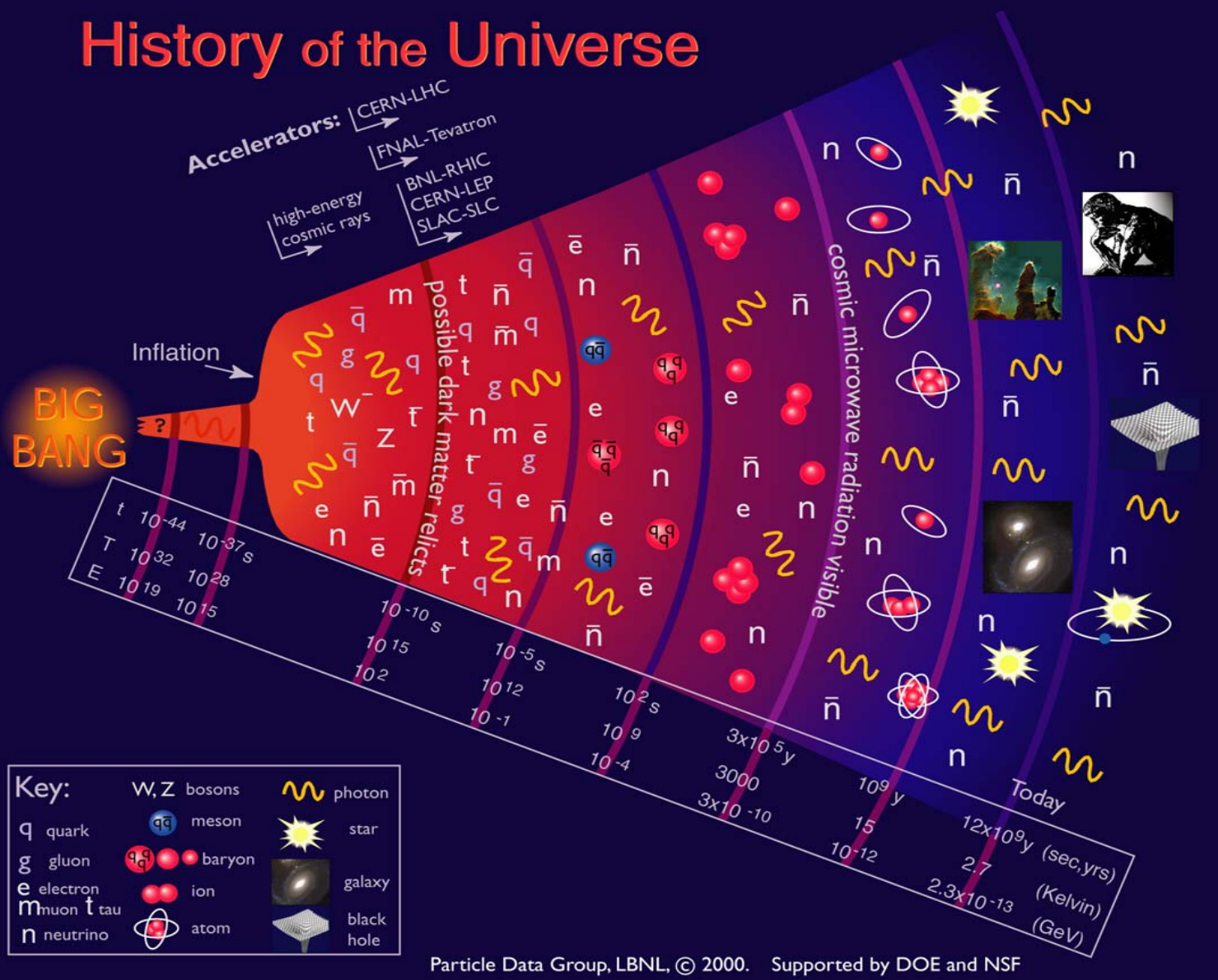
Vereinheitlichung der
fundamentalen Parameter
der Natur:

- Kopplungen,
- Massen,
- Mischungswinkel



Extrapolation der Naturgesetze

History of the Universe



Kosmologie
und Teilchen

Entdeckungen bei LHC

Meine persönliche Meinung:

SUSY als theoretisches Konzept ist überzeugend:

Entdeckung schon sehr früh bei LHC

Higgs: experimentell deutlich schwieriger

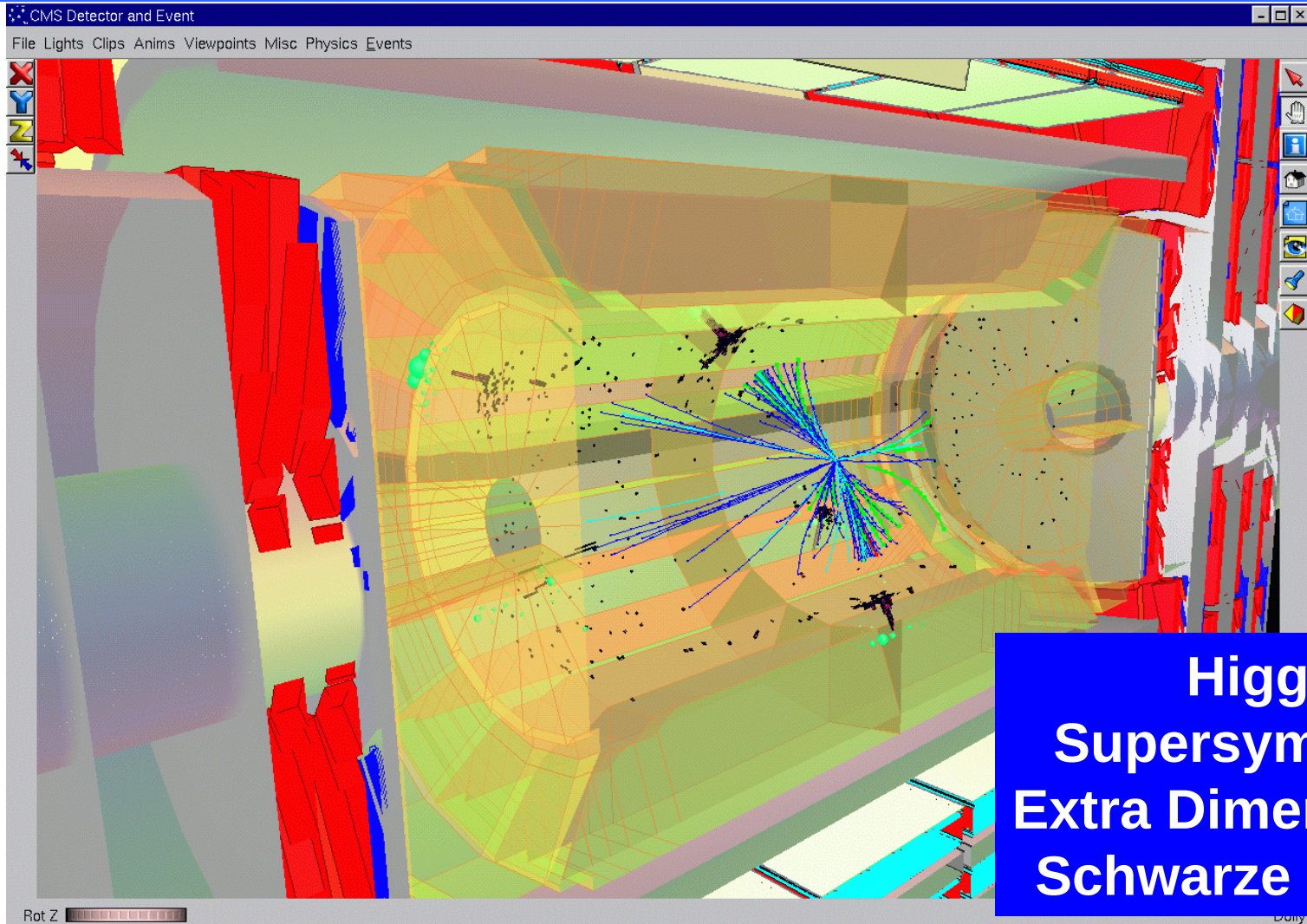
Entdeckung dauert 2-3 Jahre... falls es existiert

Überraschungen: durchaus möglich !!!

Large extra dimensions

neue Wechselwirkungen

Experimenteller Urknall

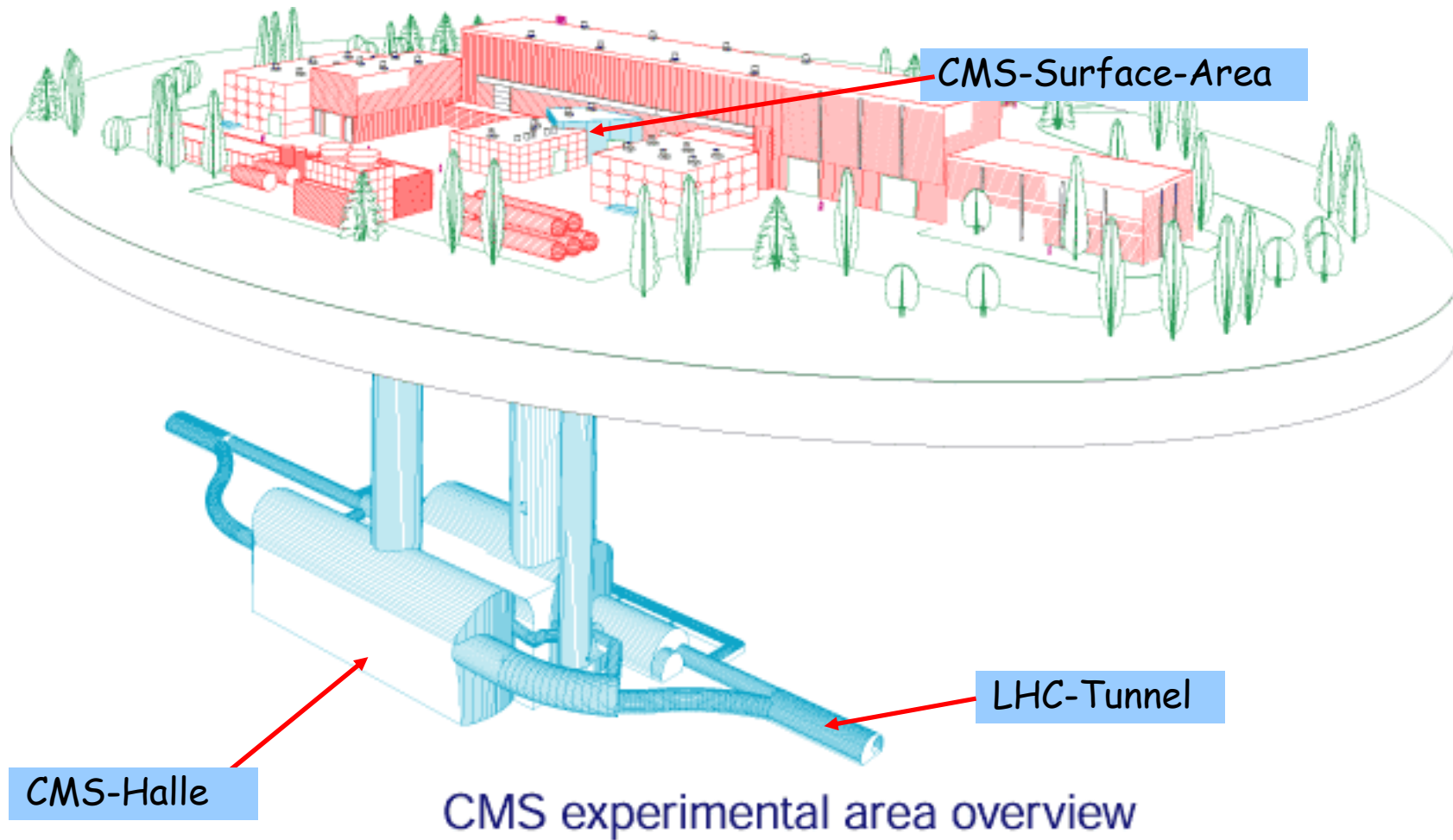


Higgs
Supersymmetry
Extra Dimensionen
Schwarze Löcher

$E=mc^2$ Materie – Antimaterie - Supermaterie Erzeugung

Backup: Das CMS-Experiment

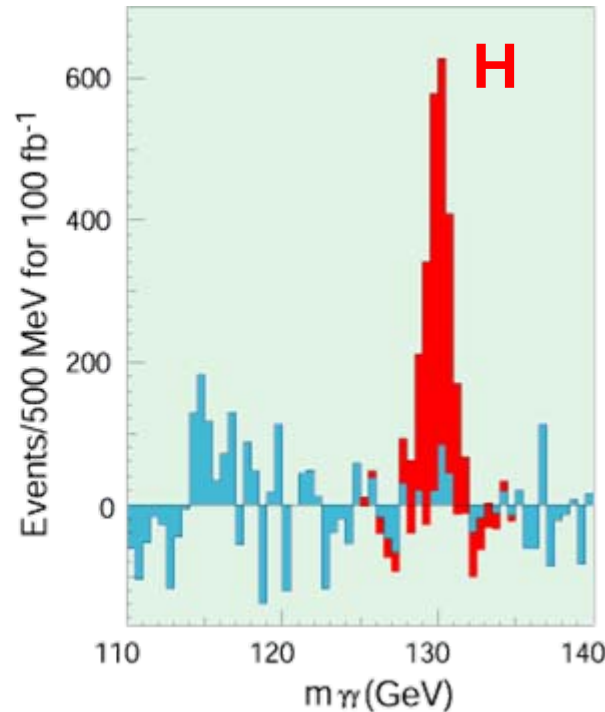
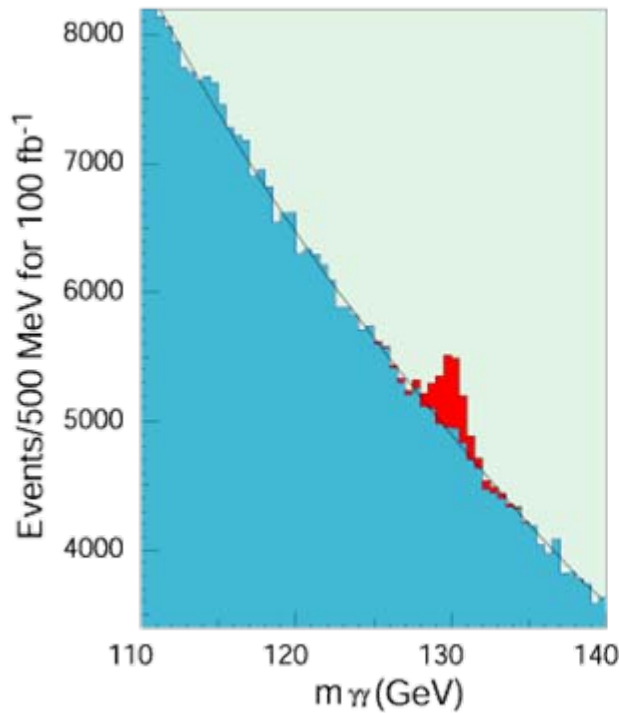
Compact Muon Solenoid – 100m unter der Erde



Backup: Higgs Entdeckung bei CMS

$$gg \rightarrow H \rightarrow \gamma\gamma$$

Massenverteilung der $\gamma\gamma$ - Paare



Untergrund
subtrahiert

Ziel von CMS:

Eindeutige Entdeckung des Higgs
im gesamten Massen - Bereich

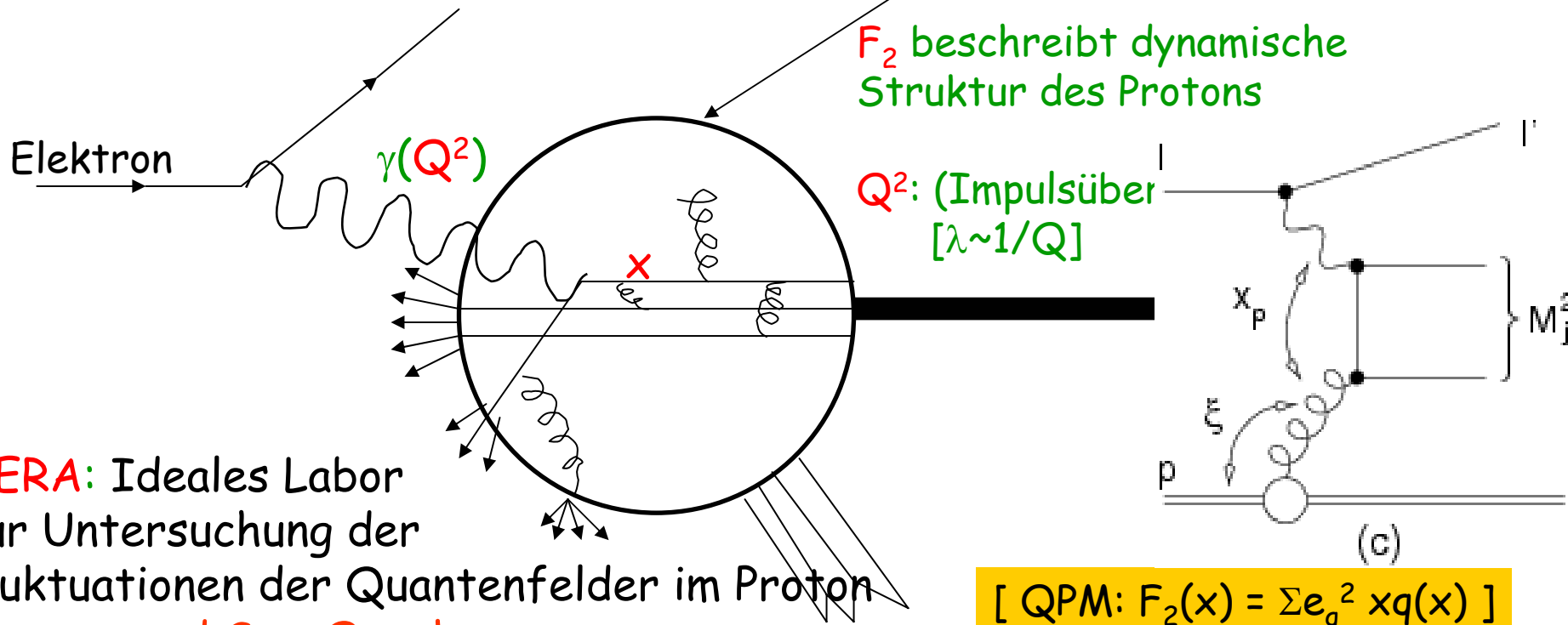
Backup: QCD - Dynamik des Protons unter der Lupe

Hohe Energie:
ep-Streuung $\sim$ eq-Streuung!

$$\frac{d^2\sigma}{dx dQ^2} \sim \frac{2\pi\alpha}{xQ^4} \cdot F_2(x, Q^2)$$

F_2 beschreibt dynamische
Struktur des Protons

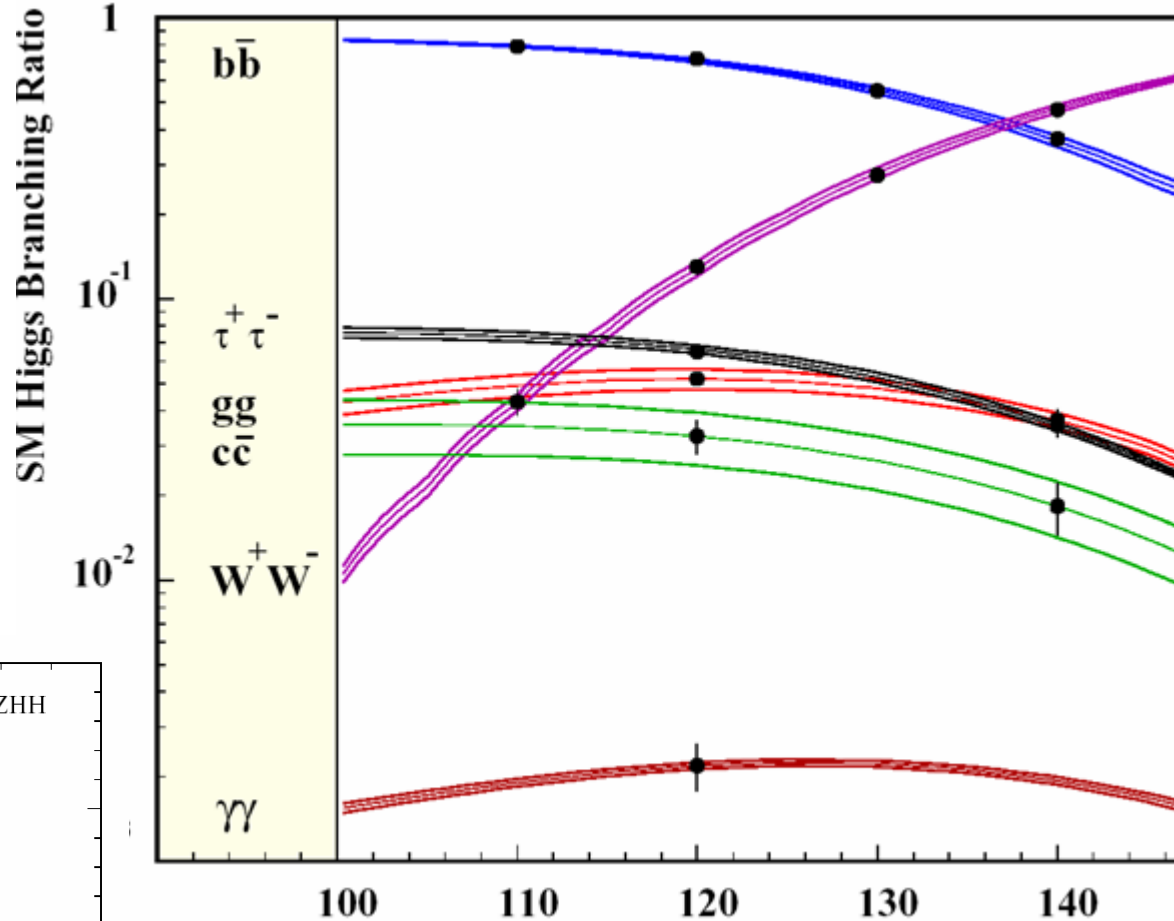
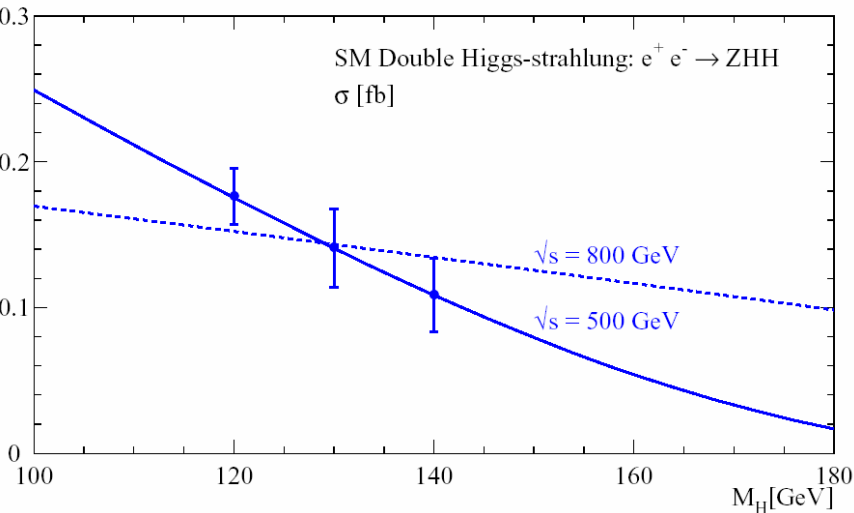
Q^2 : (Impulsüber
[$\lambda \sim 1/Q$])



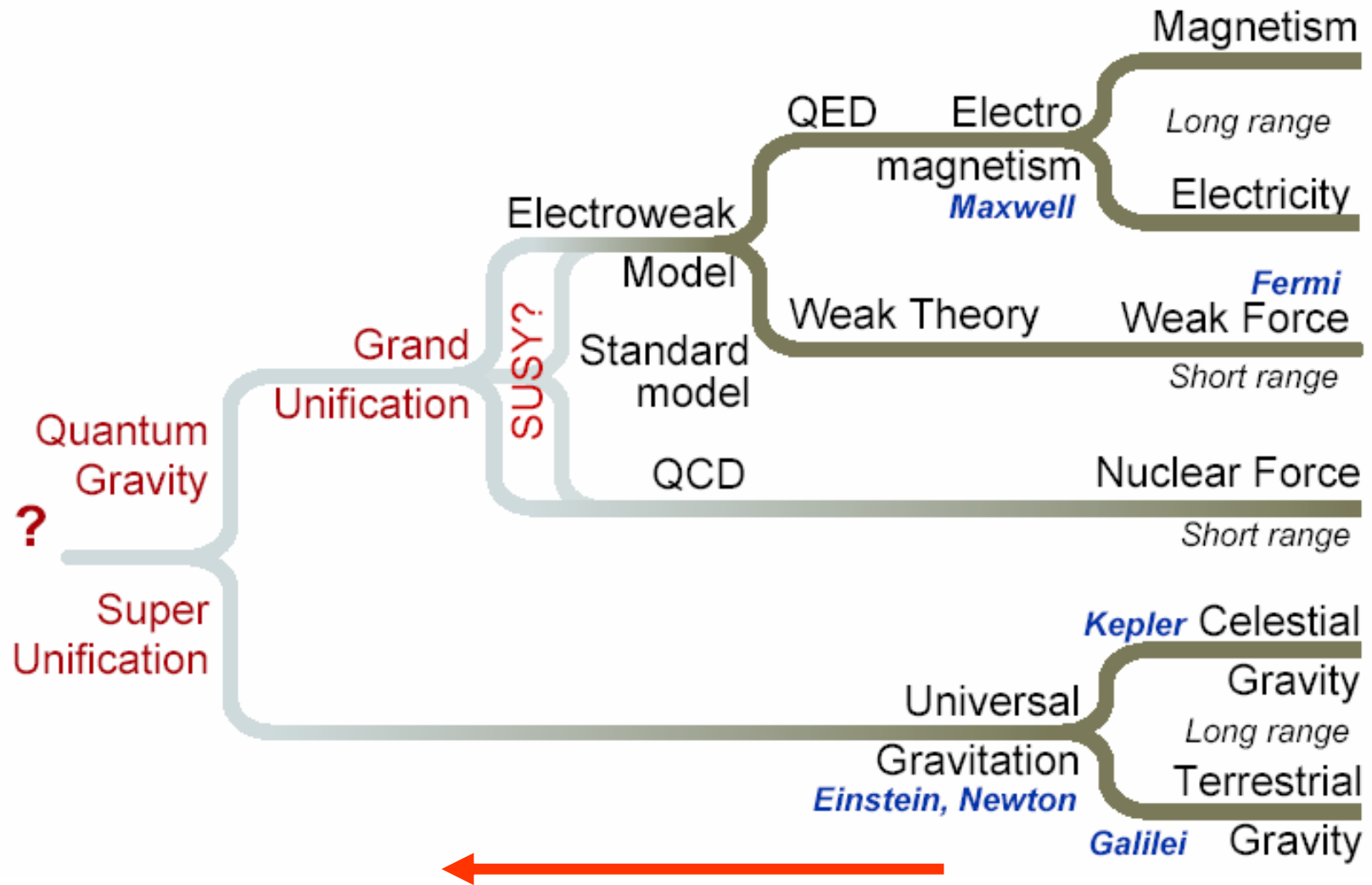
Backup: Higgs Zerfälle am ILC

Große Genauigkeit
für Test des SM

ZHH Kopplung !



Backup: Theorien der Physik



Energie, Temperatur, -Zeit