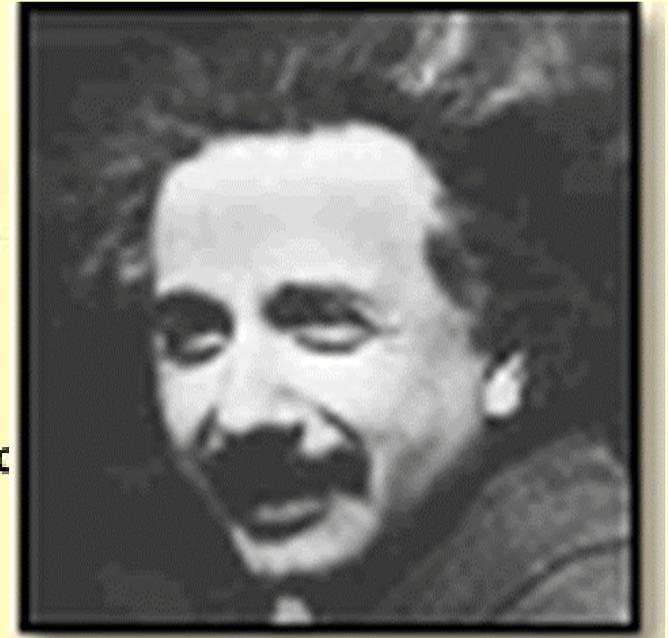
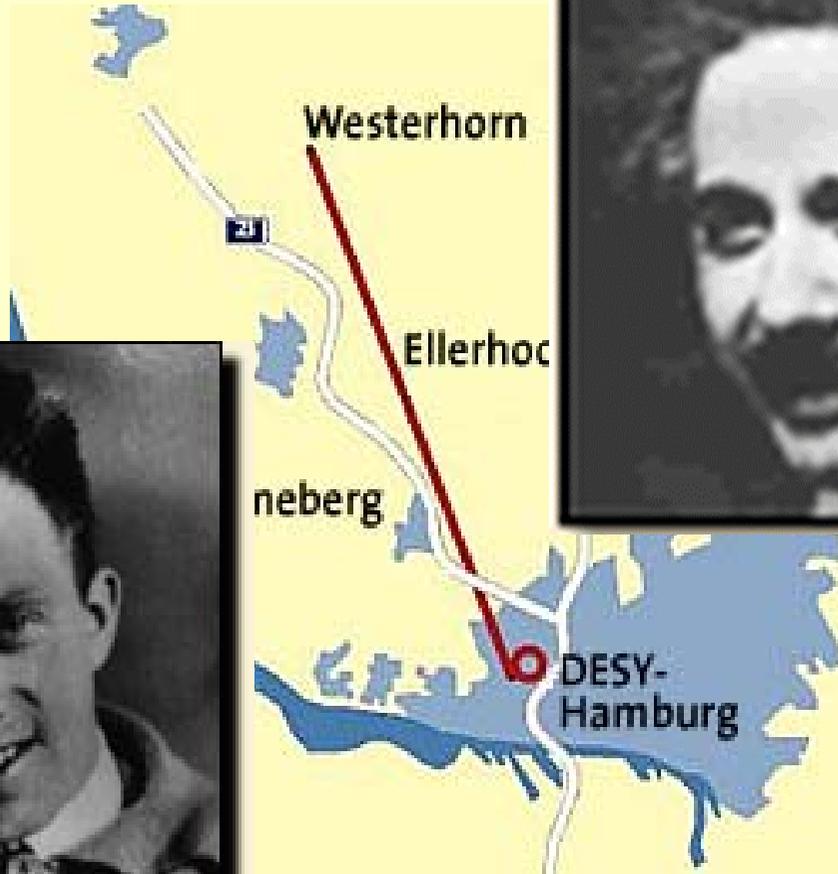


Teilchenphysik bei TESLA ein Weg zur Weltformel?

- "Weltformel" -- was ist das?
- TESLA Physik
- Supersymmetrie
- Superstring



Ties Behnke
DESY Hamburg
13.2.2002
Berlin



Was bedeutet "Weltformel"

- Die Weltformel:

- "Als Weltformel bezeichnet man eine einheitliche Theorie der Materie und aller Wechselwirkungen in der Natur"

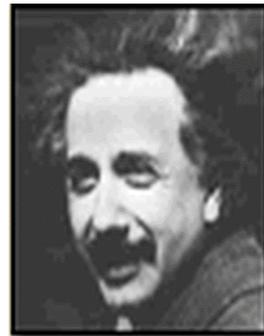
- (Lexikon der Philosophie, Phillex, <http://www.phillex.de>)

- Die Suche nach der "Weltformel" beschäftigt die Menschheit seit eh und je

Philosophie

Physik:

Einstein
Heisenberg



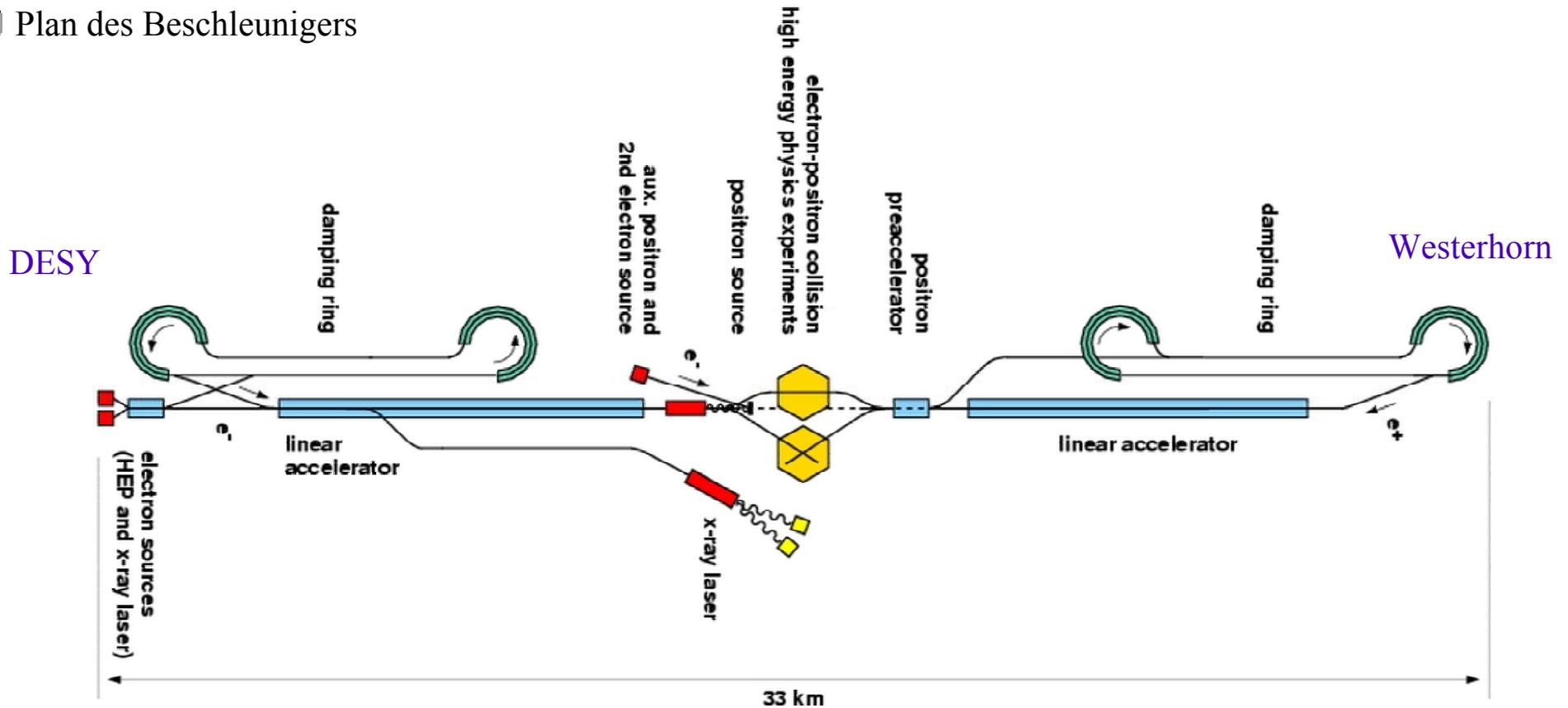
moderne Elementarteilchenphysik

LEP
HERA
LHC
TESLA

Das TESLA Projekt

Elektron-Positron-Linear-Beschleuniger
500-GeV-Schwerpunktsenergie
ausbaubar zu ~ 1 TeV

■ Plan des Beschleunigers



Physik bei TESLA

TESLA: erwartete Wirkungsquerschnitte für Reaktionen

Luminosity: $5 \times 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$

bunch trains mit 2820 "Bunches"

Zeit zwischen Bunches 337 ns

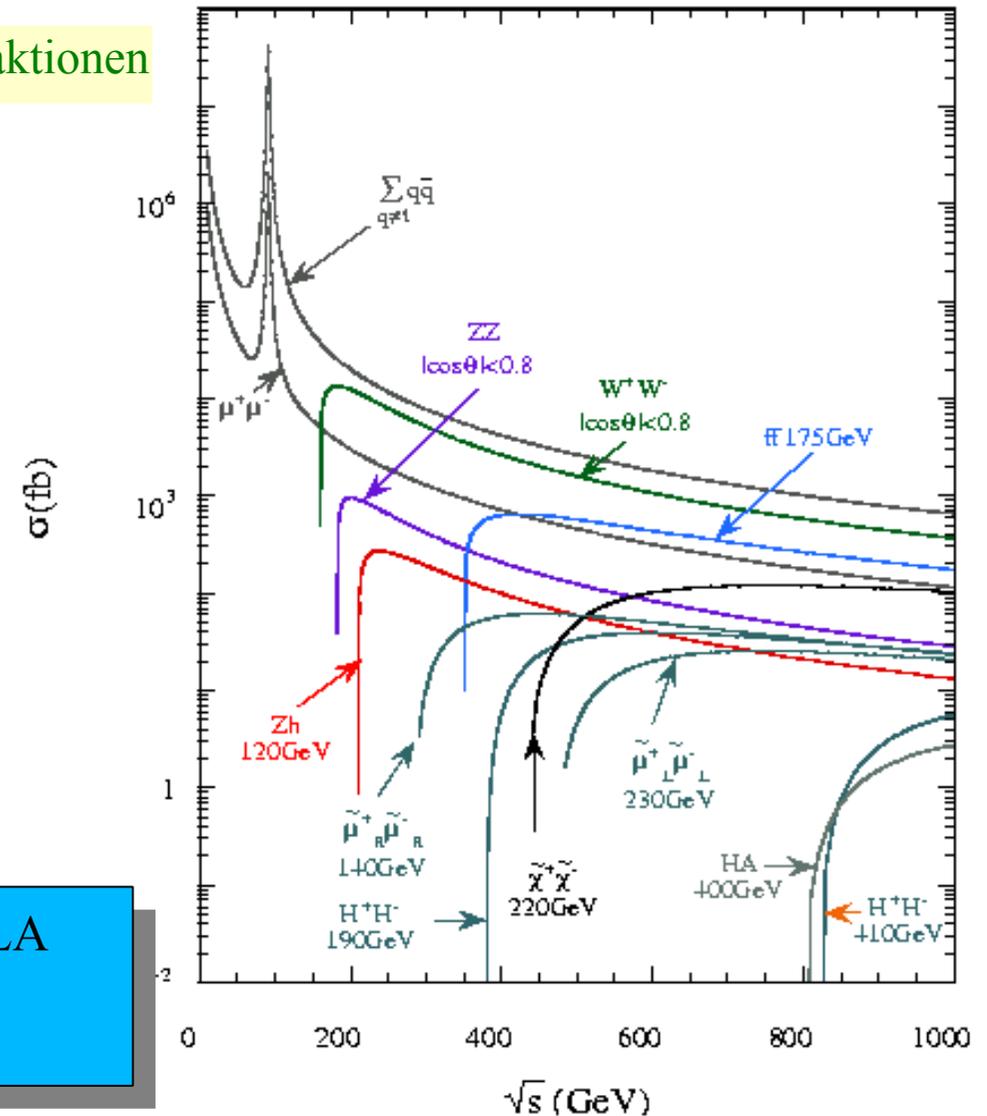
integrierte Luminosität/ Jahr 500 fb^{-1}

100000 Higgs/Jahr

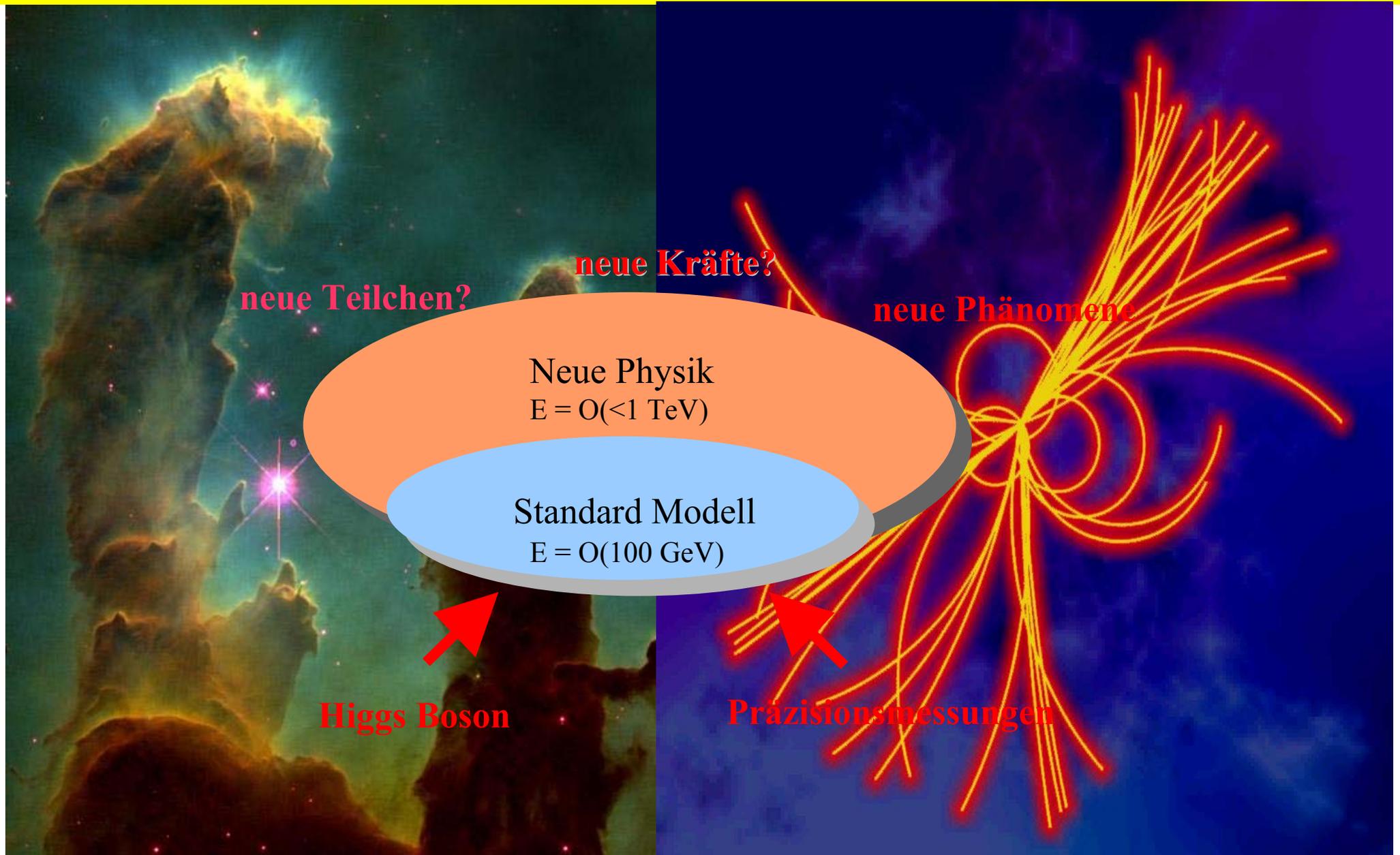
300000 tt / Jahr

1000000 WW/Jahr

Enorme Datenmengen werden bei TESLA
verfügbar sein
"Präzisionsphysik"



Physik bei TESLA



Entdeckungen bei TESLA

Entdeckungen: gesucht neue Teilchen oder neue Effekte

Bei TESLA:

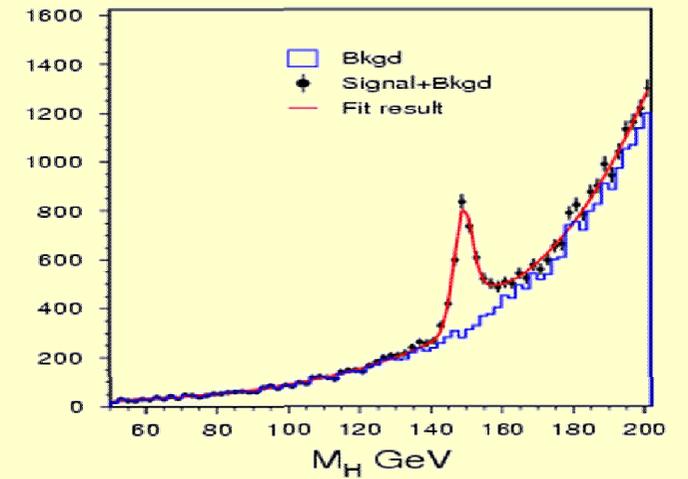
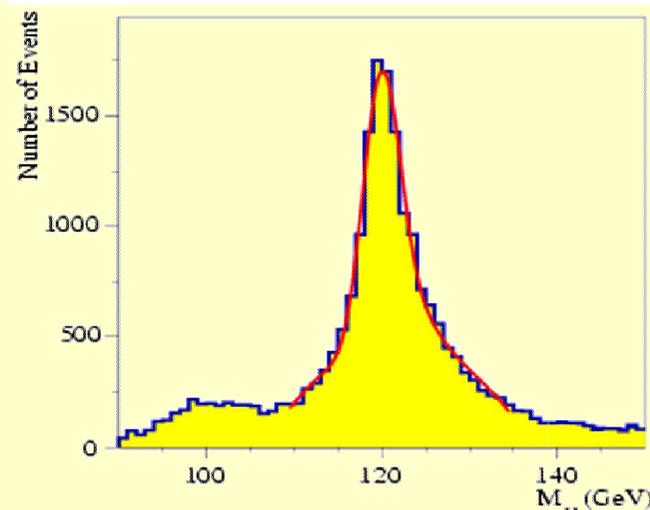
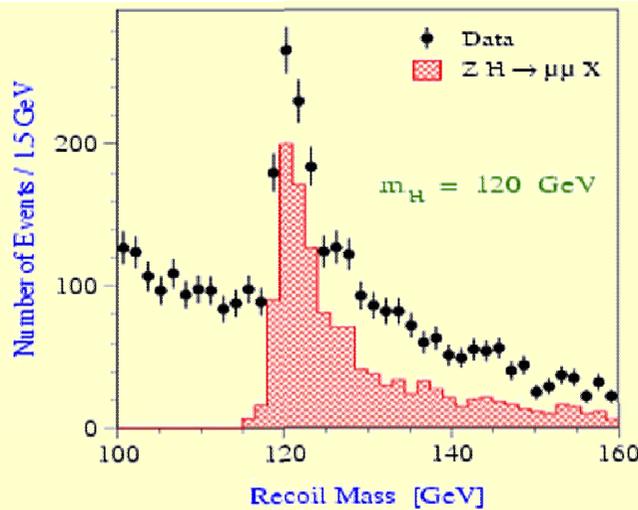
- direkte Entdeckungen
- indirekte Entdeckungen: Präzision

klare Signale. geringer Untergrund
in vielen verschiedenen Kanälen

ZH $\rightarrow \mu\mu X$

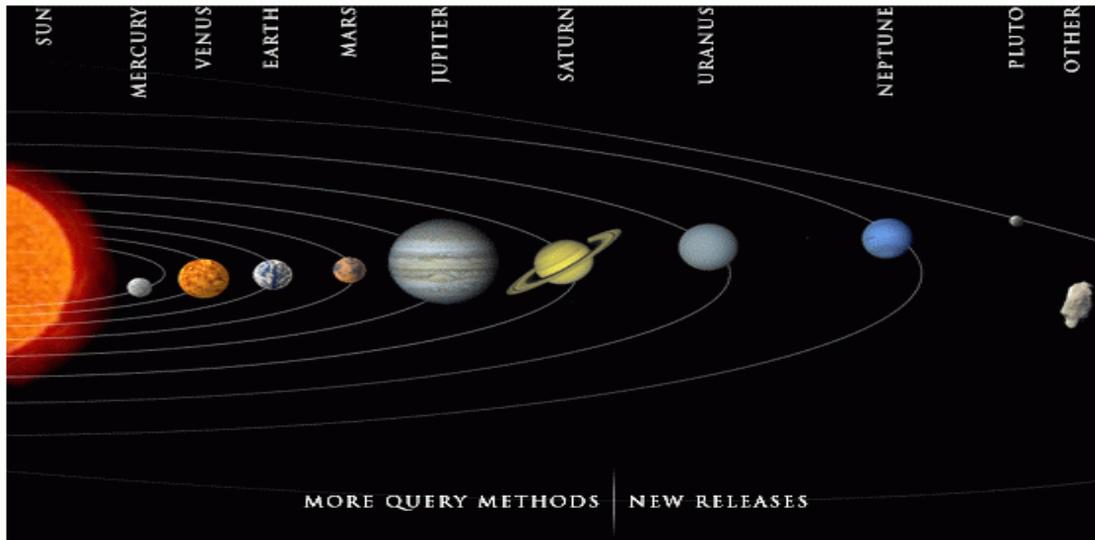
ZH $\rightarrow q\bar{q}bb$

ZH $\rightarrow WW qq$



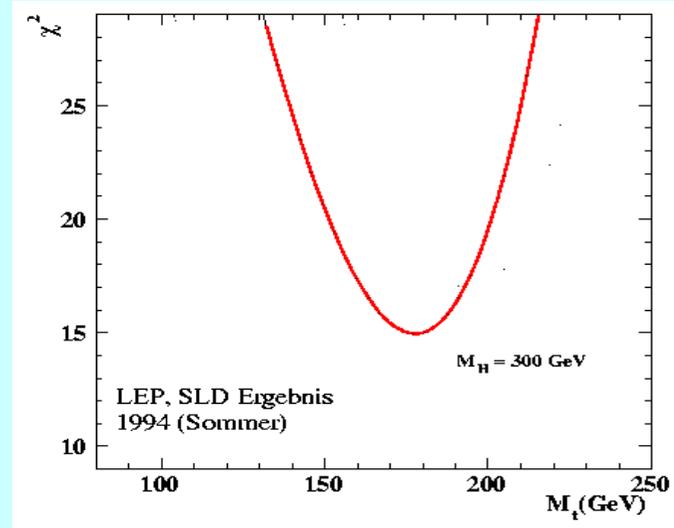
Indirekte Entdeckungen

Beispiel: Astronomie

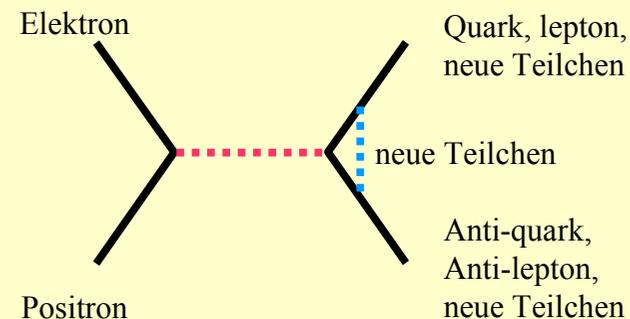


- beobachtet:** kleine Abweichungen von den erwarteten Bahnen der Planeten
- vorrausgesagt:** ein neuer Planet kann die Abweichungen erklären
- Entdeckung:** Neptun wurde gefunden

Beispiel: Teilchenphysik



indirekte Grenzen fürs top Quark:
LEP 1994
Entdeckung: 1995, Tevatron (USA)
bei der vorausgesagten Masse



Entdecken ist nicht Alles

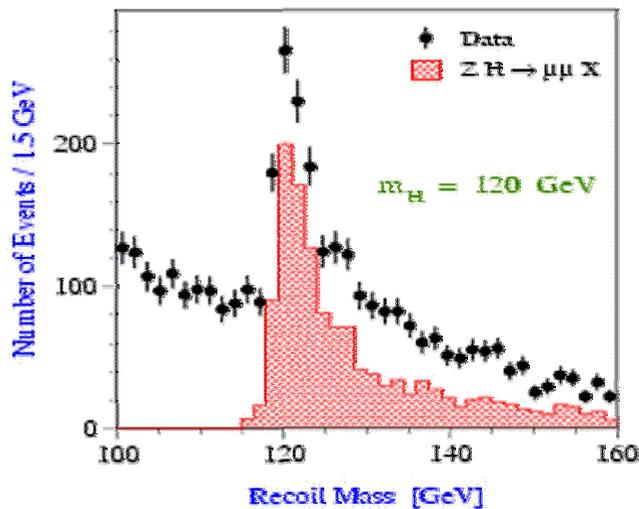
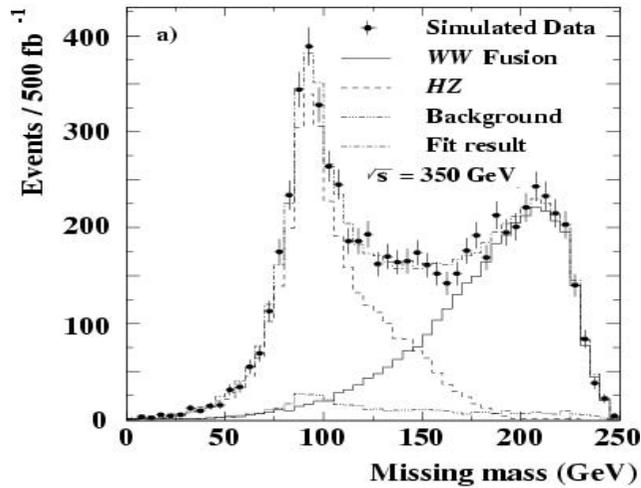
Beispiel: Das Higgs (siehe A.Stahl)

● angestrebt: vollständiges Verständnis von "Masse"

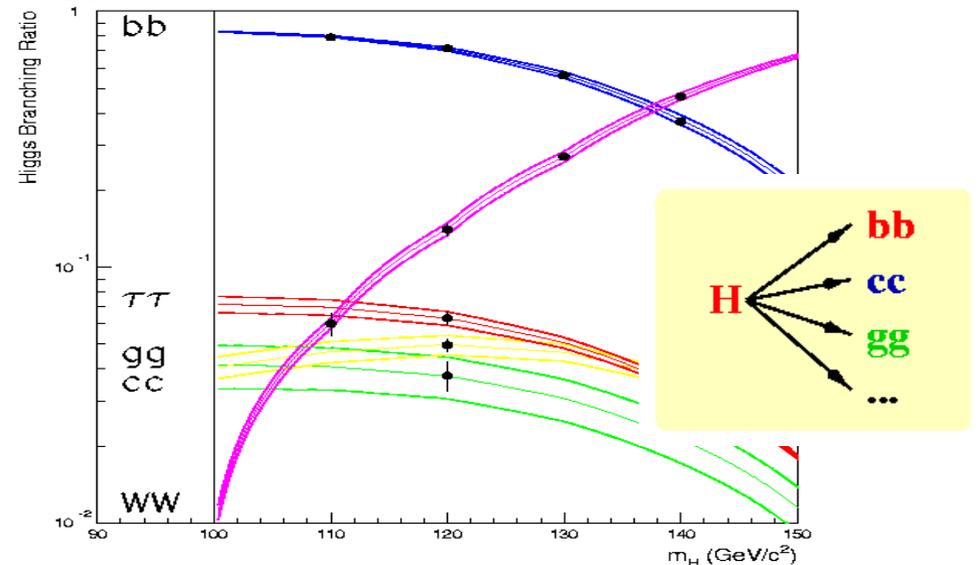
★ kann das Higgs die Bosonenmassen erklären?

★ kann das Higgs die Fermionenmassen erklären?

Kopplungen an Bosonen

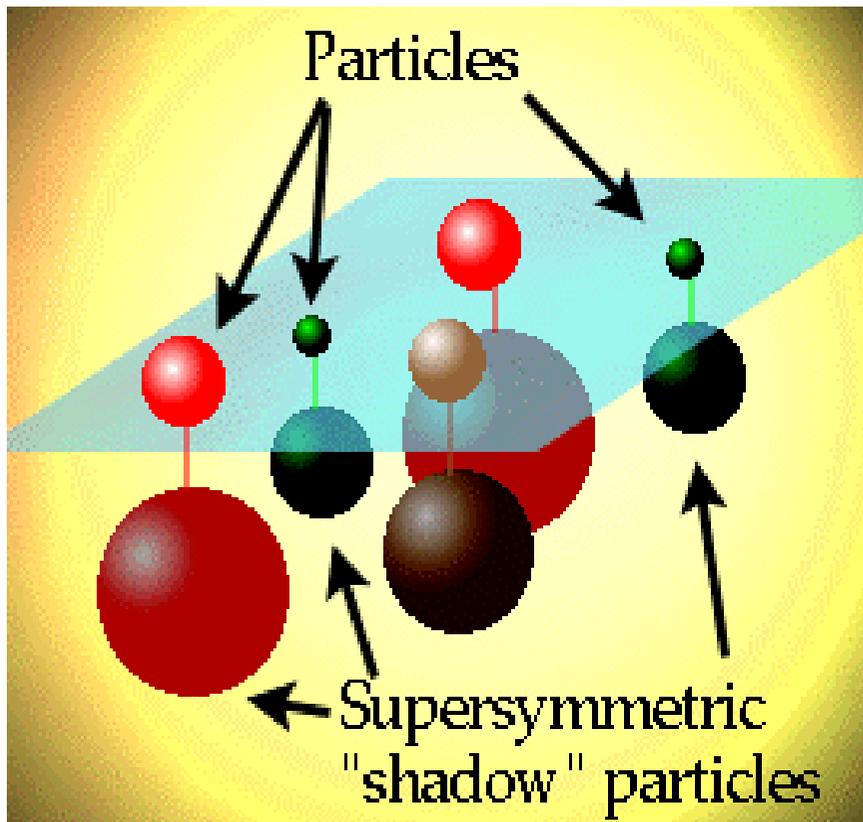


Kopplungen an Fermionen:



Ein Beispiel: Supersymmetrie

SUSY: fundamentale Symmetrie zwischen Fermionen und Bosonen
verdoppelt die Anzahl von Teilchen
SUSY Teilchen müssen schwer sein, da bisher keine beobachtet worden sind.



Warum ist SUSY attraktiv:

- ♦ beseitigt "Ungleichbehandlung" von Materie und Kraftteilchen
- ♦ Stabilisiert die Theorie:

$$\text{---} \bigcirc^X \text{---} + \text{---} \bigcirc^{\tilde{X}} \text{---} = 0$$

divergente Beiträge verschwinden
Hierarchie Problem gelöst

- " Supersymmetrie erweitert das Standardmodell, sie ersetzt es nicht
(Beispiel: Quantenmechanik erweitert klassische Mechanik)
- " bisher gibt es keine Evidence für SUSY

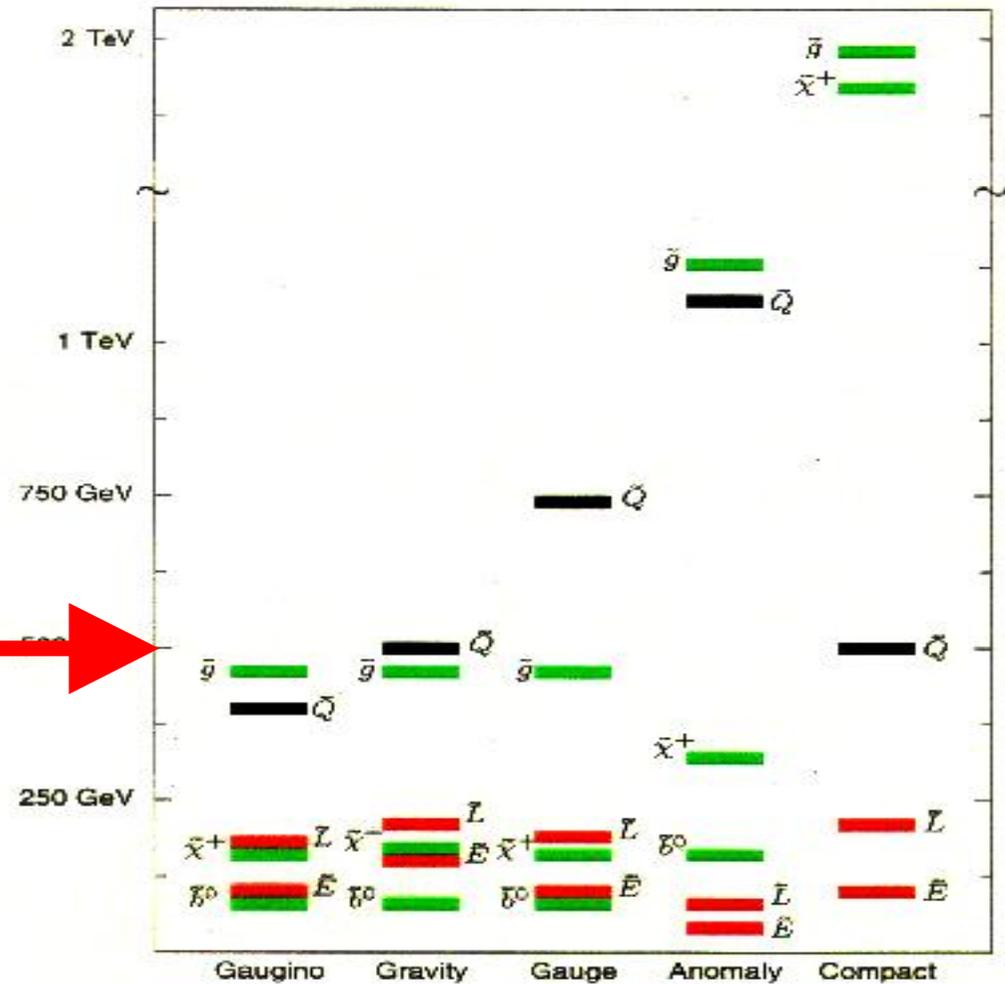
Supersymmetry

- " Schlüssel zur Supersymmetrie:
 - " Entdeckung
 - " Selektion des richtigen Modells

" in "allen" Modellen erwarten wir SUSY Partner mit Massen bei ca. 100 GeV ("no loose theorem", fast Modell unabhängig)

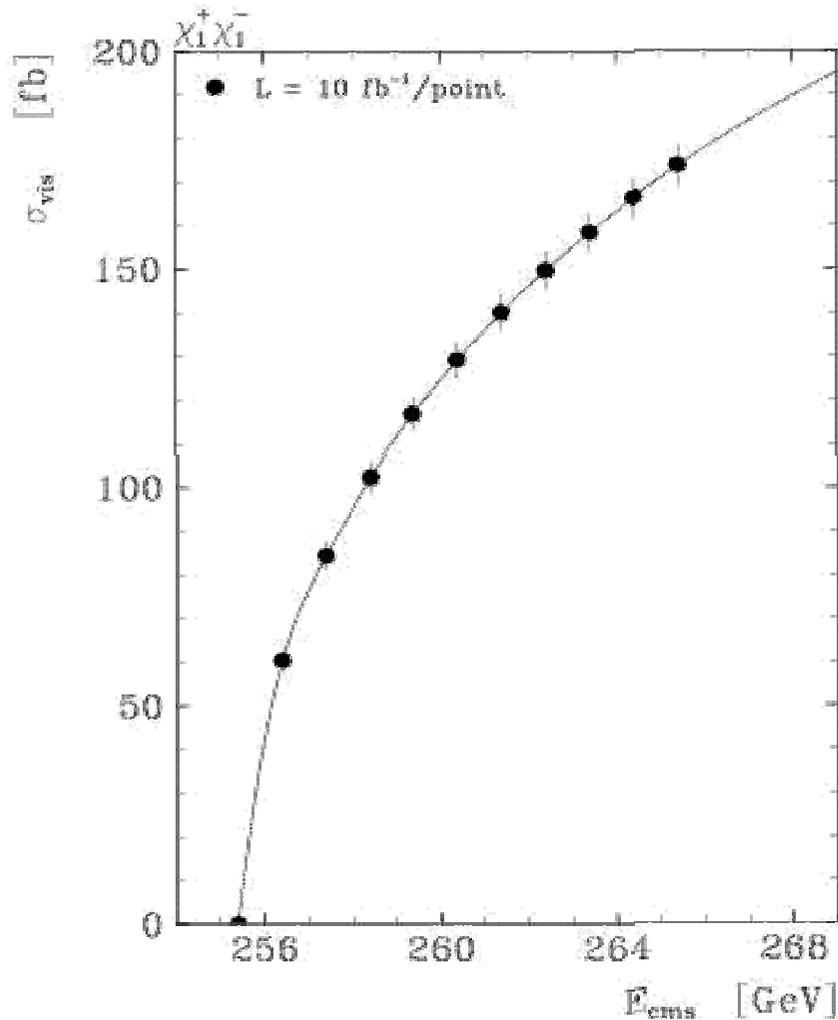


TESLA Energie

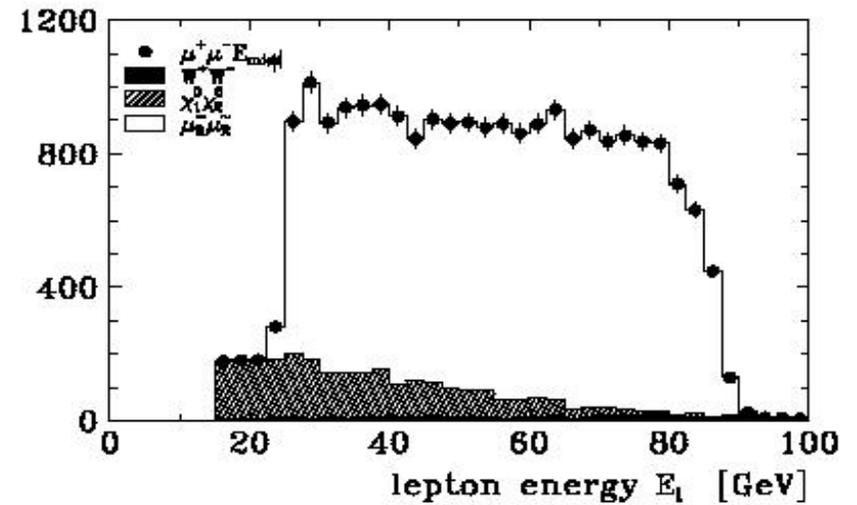


Supersymmetrische Signale

Signale supersymmetrischer Teilchen:



smuon rekonstruiertes Spektrum



spektakuläre Signale sichtbar,
wenn es dann SUSY gibt!

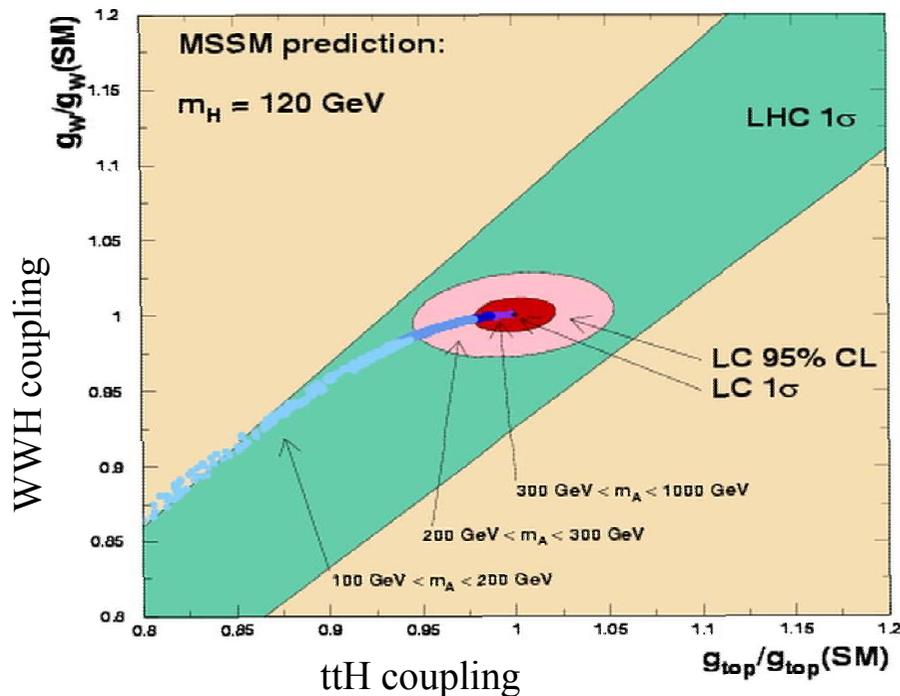
TESLA wird entscheidend zu unserem
Verständnis von SUSY beitragen,
wenn es SUSY gibt

SUSY in der Welt der Präzision

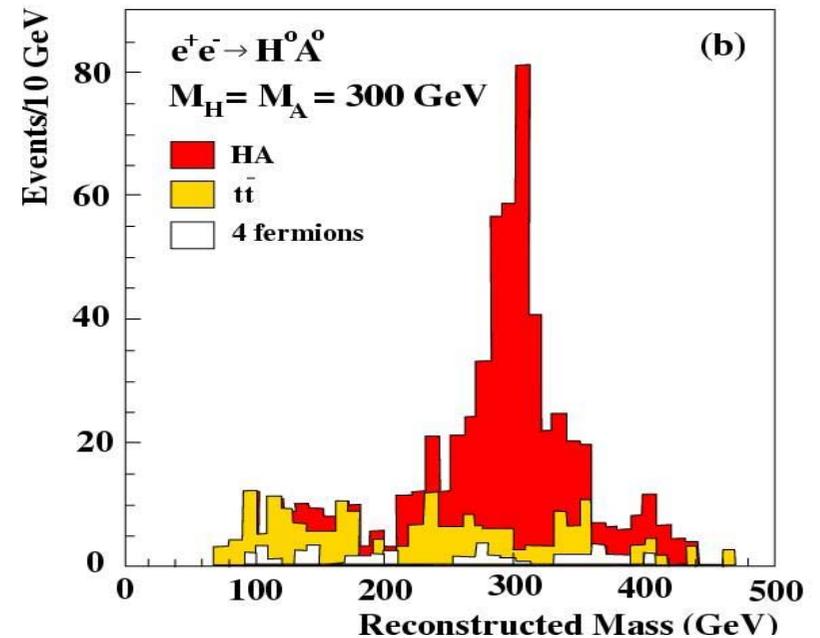
Annahme: wir sehen etwas "supersymmetrisches"
 → ist das SUSY?
 → welches Modell ist das?

Beispiel:

Higgs koppelt an Masse:
 SUSY Teilchen sind schwer
 erwarten Abweichungen in Kopplungen, wenn
 SUSY existiert

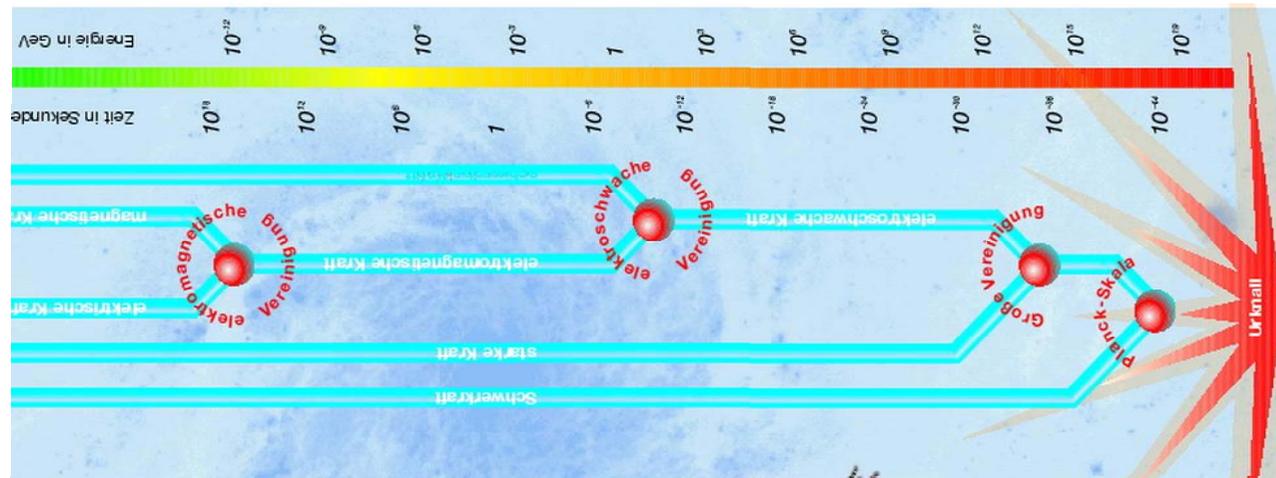


Signal for supersymmetric Higgs
 (50 fb^{B1} , 4b final state)



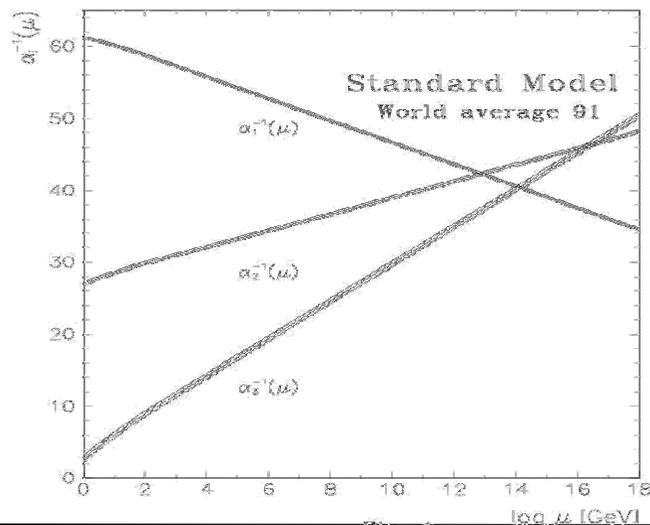
Die Vereinheitlichung der Kräfte

Das Ziel:
Vereinheitlichung der
Kräfte

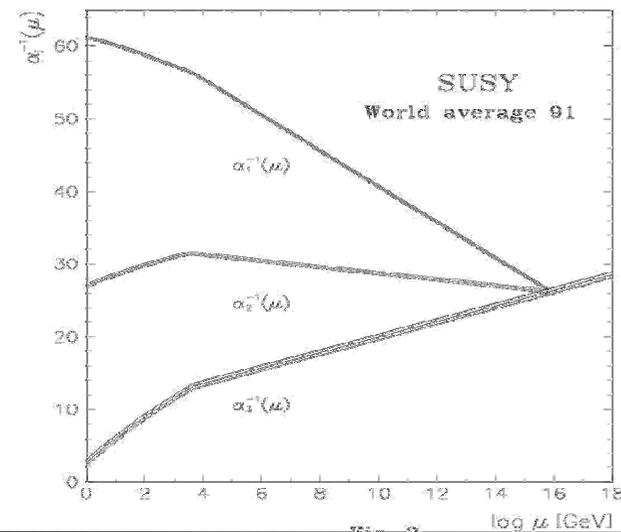


Welche Rolle spielt Supersymmetrie bei der Vereinheitlichung der Kräfte?

ohne SUSY



mit SUSY



SUSY bei extremen Energien

präzise Messungen bei TESLA Energien

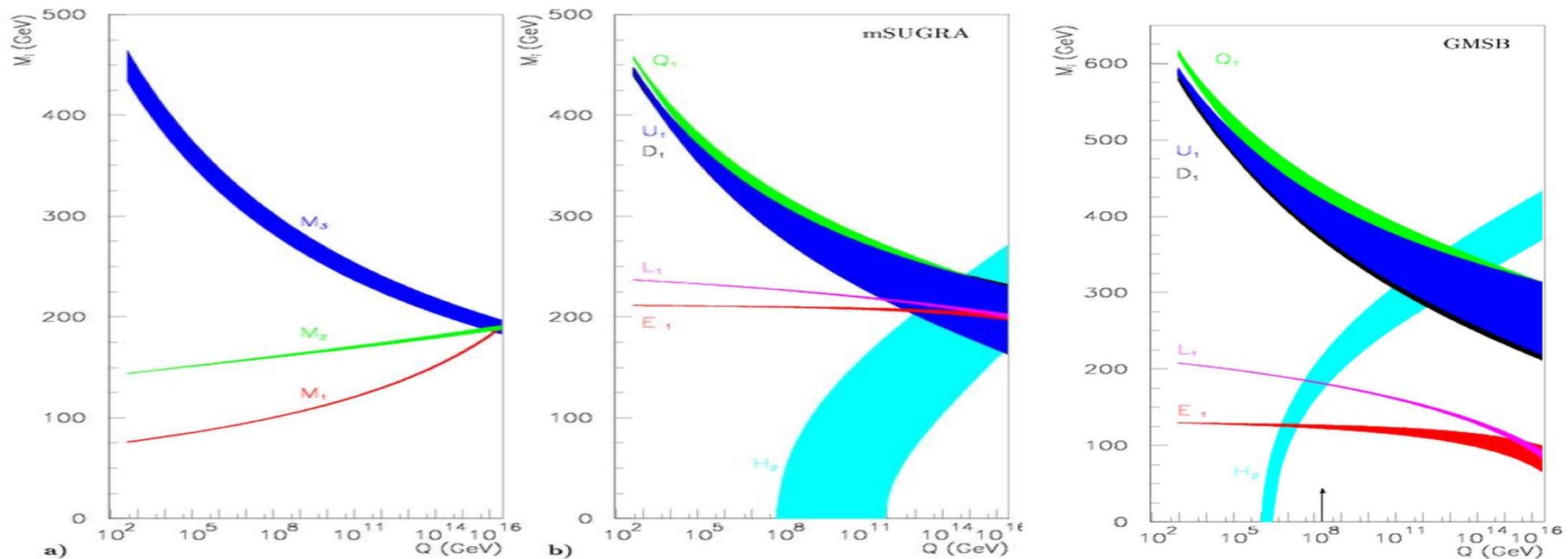
Extrapolationen zu sehr hohen Energien

scheinbare Masse der SUSY Teilchen

energieabhängig (Higgs Mechanismus)

Masse 3 Kopplungen: alle Massen sollten bei sehr hohen Energien gleich werden

Test der Entwicklung der Masse mit der Energie



- Test/ Vergleich verschiedener Modelle ist möglich
- indirekt: Zugang zu extrem hohen Energien möglich

Die Rolle der Gravitation

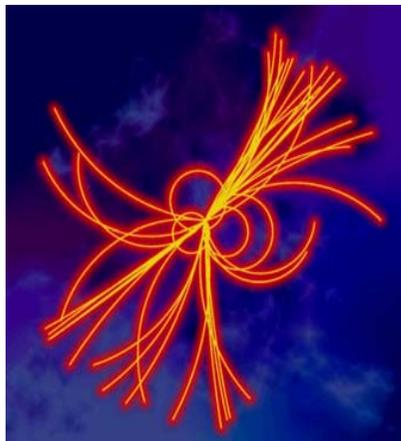
Status:

feldtheoretische Beschreibung
des Allerkleinsten

"klassische" (nicht-quantenmechanische)
Beschreibung der größten Strukturen

schwach - elektromagnetisch - stark
"Standard Modell"

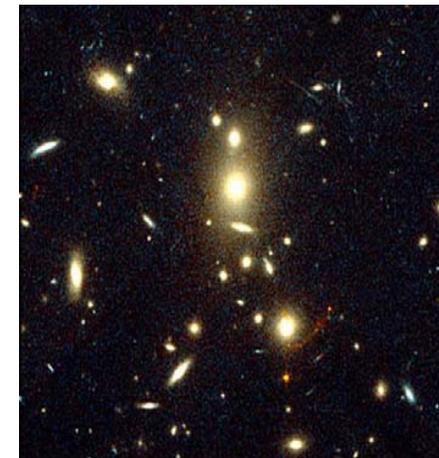
Gravitation:
spezielle Relativitätstheorie



$10^{B18} m$



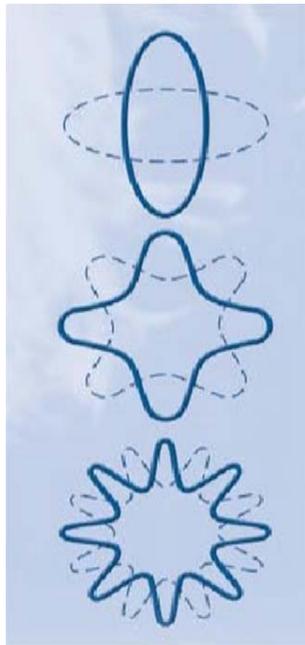
$10^{A25} m$



Gibt es eine gemeinsame Sprache für beide Phänomene?

"String" Theorien

- Spektakuläre theoretische Entwicklung der letzten 20 Jahre: String Theorien



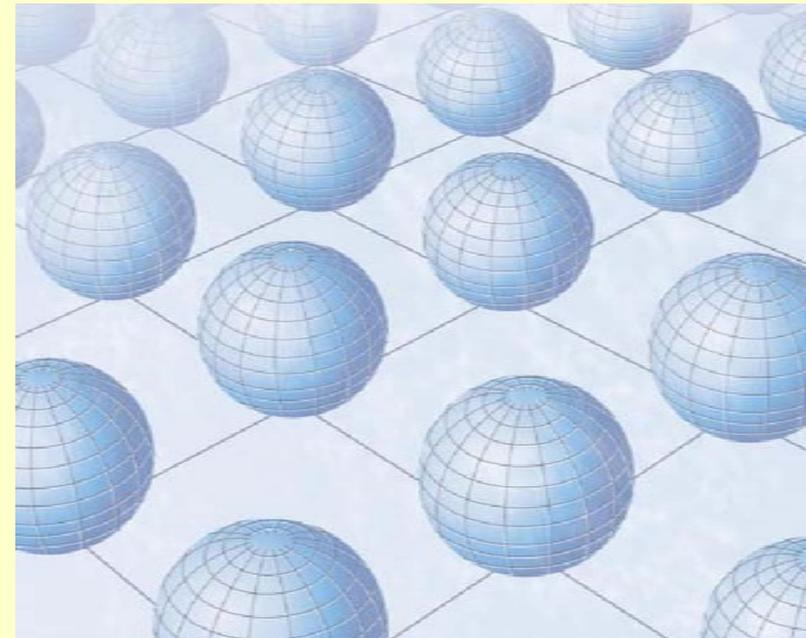
Teilchen
Punkt 1 Saite

Verschiedene Teilchen =
Schwingungszustände einer
Saite

- Der große Vorteil:
Gravitation wird "natürlich" von String Theorien als eine Quantentheorie formuliert.

Problem: String Theorien "funktionieren" nur, wenn sie in mehr als vier Dimensionen formuliert werden

"extra Dimensionen" sind aufgerollt und normal nicht sichtbar



Messungen in der 10ten Dimension?

Experimentell: Der Nachweis von String Theorien ist sehr schwierig:

- in der Regel ist die relevante Energieskala sehr hoch
- die Extrapolation hin zu niedrigen Energien ist häufig nicht eindeutig

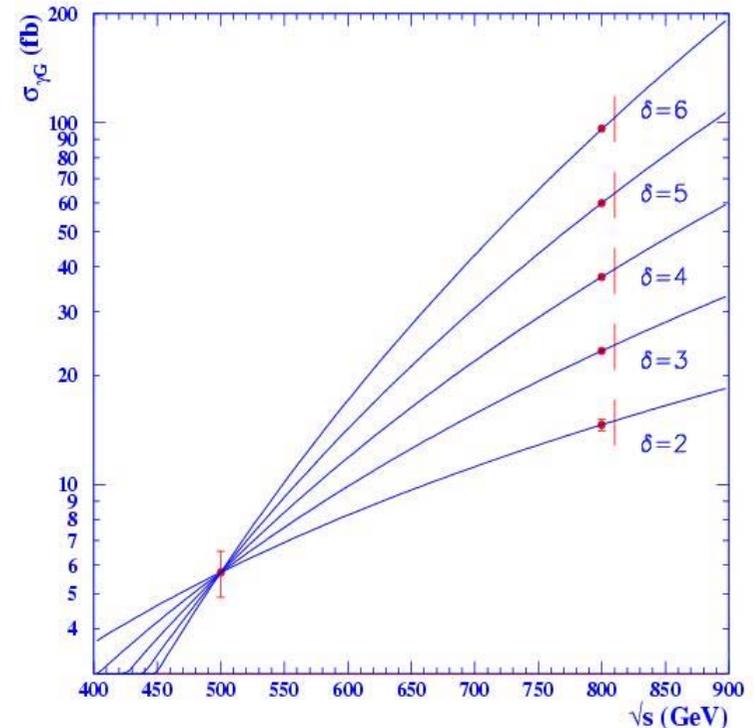
Es gibt aber einige Modelle, die experimentelle Voraussagen machen

Beispiel: "Large Extra Dimensions"

- heutige Messergebnisse erlauben relativ grosse Extra Dimensionen (100 μm)
- TESLA kann solche Extra Dimensionen sehen

TESLA kann Aussagen über die Existenz einer Theorie mit Extra Dimensionen machen

ein wesentlicher Schritt auf dem Weg zu einer experimentellen Überprüfung von String Theorien



Die Weltformel: kann TESLA uns weiterbringen?

- genaue Untersuchung des Standard Modells und seiner Grenzen
- Suche nach Signalen, die nicht mit dem Standard Modell vereinbar sind
 - ➡ Suche nach Supersymmetrie
 - ➡ Suche nach ganz neuer Physik (Beispiel String Theorien)
- TESLA gibt uns die Chance, unser Weltbild einen großen Schritt weiterzubringen
- Wird TESLA die Weltformel finden: Ich weiß es nicht

TOP Physics

- " A linear collider with $E > 350$ GeV is a top factory
- " allows precision studies of the top system
 - " top is the heaviest known fermion
 - " top-Higgs coupling is very interesting if it exists (Higgs couples to mass)

top threshold scan

Based on 500 fb^{-1} of integrated luminosity (1 year)
error: $m_t = 173.1 \pm 1.0 \pm (1.0-2.0) \text{ MeV}$

" Allows stringent consistency checks of the Standard Model

Precision Tests of the Standard Model

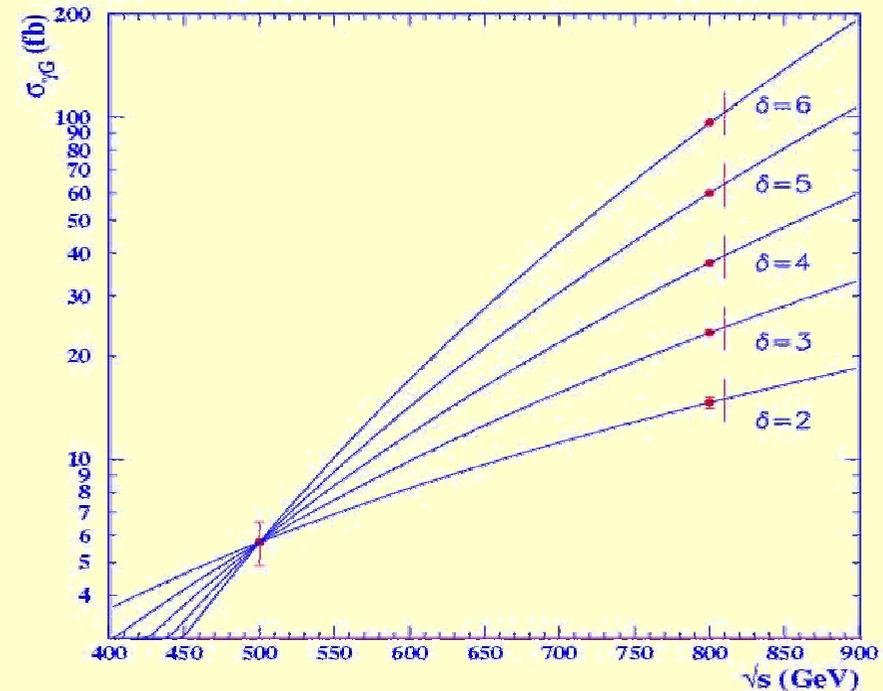
Extra Dimensions

Novel recent approach to solve the gauge hierarchy problem: large extra dimensions

many theoretical models exist with striking predictions

discovery reach at LHC and TESLA

δ	2	3	4	5	6
LHC	4.0—7.5	4.5—5.9	5.0—5.3	none	none
TESLA	0.5—7.9	0.5—5.6	0.5—4.2	0.5—3.4	0.5—2.9



number of extra dimensions determined at TESLA at 500 and 800 GeV in anomalous direct photon events

Quantum Chromo Dynamics at LC

Strong coupling constant including LC information:

- add precise α_s (strong) measurements at three energies (91, 500, 800 GeV)
- do consistent (one experiment!) check of the running of α_s (strong)
- needs improved theoretical understanding
- could much improve the extrapolation to the GUT scale

