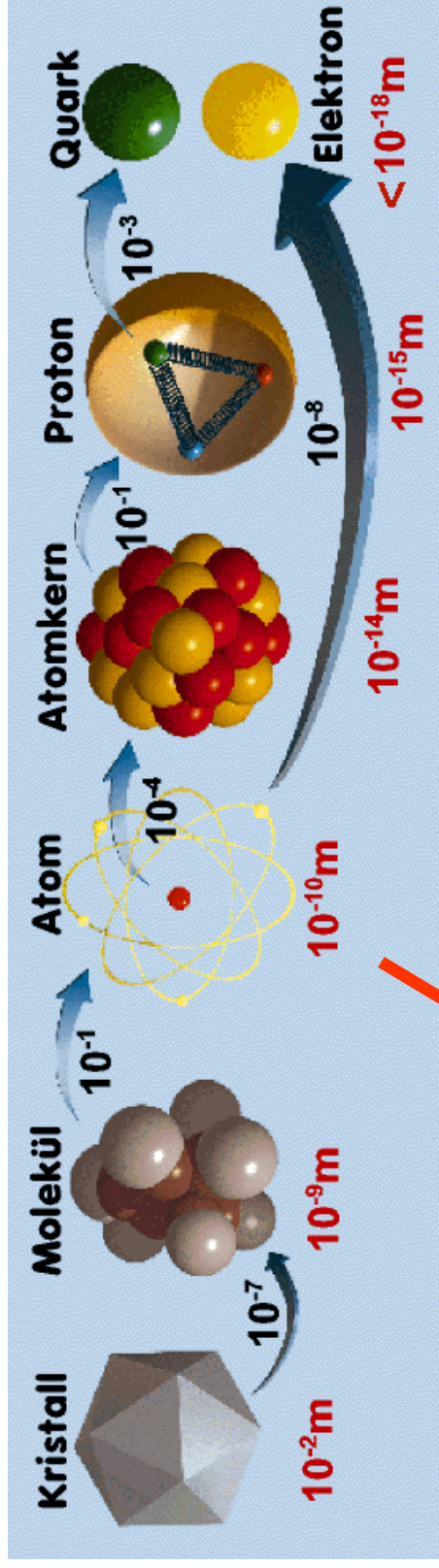


Elementar und Unteilbar? Revolutionen der Teilchenphysik

Peter Schleper
Hamburg, 3.2.2004



Revolutionen jenseits von Feuer Erde Wasser Luft ...



Erklärung
makroskopischer
Effekte

I	II	IIIa	IVa	Va	Vb	VIIa	VIIb	VIIIa	VIIIb	III	IV	V	VI	VII	VIII
1 H 1.007	2 He 4.002									5 B 10.81	6 C 12.01	7 N 14.00	8 O 15.99	9 F 18.99	10 Ne 20.17
3 Li 6.941	4 Be 9.012									11 Na 22.99	12 Mg 24.30	13 Al 26.98	14 Si 28.08	15 P 30.97	16 S 32.06
19 K 39.09	20 Ca 40.07	21 Sc 44.95	22 Ti 47.88	23 V 50.94	24 Cr 51.99	25 Mn 54.93	26 Fe 55.84	27 Co 58.93	28 Ni 58.69	29 Cu 63.54	30 Zn 65.37	31 Ga 69.72	32 Ge 72.61	33 As 74.92	34 Se 78.96
37 Rb 85.46	38 Sr 87.62	39 Y 88.90	40 Zr 91.22	41 Nb 92.90	42 Mo 95.94	43 Tc 98.90	44 Ru 101.07	45 Rh 102.9	46 Pd 106.4	47 Ag 107.86	48 Cd 112.4	49 In 114.8	50 Sn 118.7	51 Sb 121.7	52 Te 127.6
55 Cs 132.9	56 Ba 137.3	57 La 138.9	58 Ce 140.1	59 Pr 140.9	60 Nd 144.2	61 Pm 144.9	62 Sm 150.3	63 Eu 151.96	64 Gd 157.25	65 Tb 158.92	66 Dy 162.5	67 Ho 164.93	68 Er 167.26	69 Tm 168.93	70 Yb 173.04
87 Fr 223.0	88 Ra 226.0	89 Ac 227.0	90 Th 232.0	91 Pa 231.0	92 U 238.0	93 Np 237.0	94 Pu 244.0	95 Am 243.0	96 Cm 247.0	97 Bk 247.0	98 Cf 251.0	99 Es 252.0	100 Fm 257.0	101 Md 259.1	102 No 259.1

Legend:

- Metall: Metall, Halbleiter, Nichtmetall
- Eigenschaften: Eigenschaften, Halbleiter, Nichtmetall
- Aggregatzustand bei 25 °C: Feststoff, Flüssigkeit, Gas

©2013 periodensystem.info

Materie und Antimaterie

Relativitaet und Quantentheorie

Einstein 1905:



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 :



Quantentheorie:

Teilchen → Wellen-Gleichungen

Elektron hat Spin $1/2$: zwei Freiheitsgrade

Relativistische Quantentheorie:

Loesung nur fuer 4 Freiheitsgrade

Zwei Loesungen: Elektron + ??? Anti-Elektron

Vorhersagen

Symmetrie der Natur:

Lorentztransformationen lassen die Natur (physikalische Experimente) unverändert

- ➔ neue mathematische Struktur der Physik:
 - Dirac Gleichung
- ➔ erlaubt nur eine (wenige) Loesungen:
 - Dirac: 2 Loesungen mit 4 Freiheitsgraden
- ➔ Vorhersage neuer Natur-Phaenome:
 - Teilchen und Antiteilchen mit Spin 1/2

Theorem von Noether: Aus Symmetrie folgt Erhaltungsgroesse
(z.B.: Energie und Impulserhaltung)

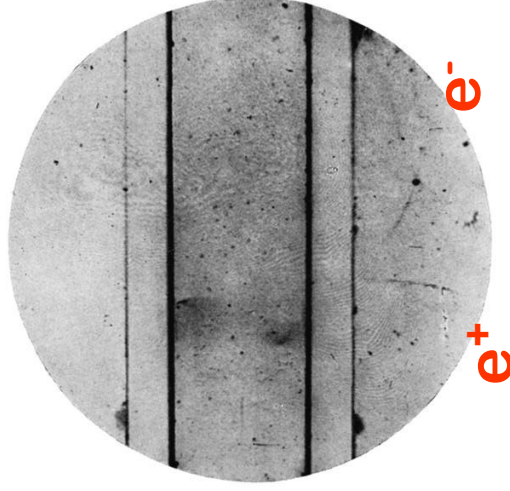
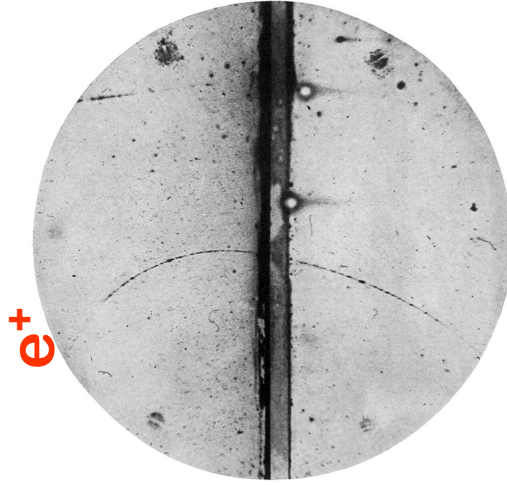
1. Rel. QM → Antimaterie
2. Eich-Symmetrie → Kraefte und Teilchen
3. Spin-Symmetrie → Super-Teilchen

Antimaterie: Entdeckung

Hoehenstrahlung: Teilchen aus dem Kosmos

Nachweis durch Ionisation in Nebelkammer (Kondensation)

1933:



E: Energie aus Reichweite und Ionisation: $\sim 20 \text{ MeV}$

P: Impuls und Ladung aus Krümmung im B-Feld

Masse wie Elektron, aber Ladung positiv

Anti-Elektron = Positron

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

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

$E = 1 \text{ eV}$ typisch fuer
chemische Bindung

Antimaterie II

Hoehenstrahlung

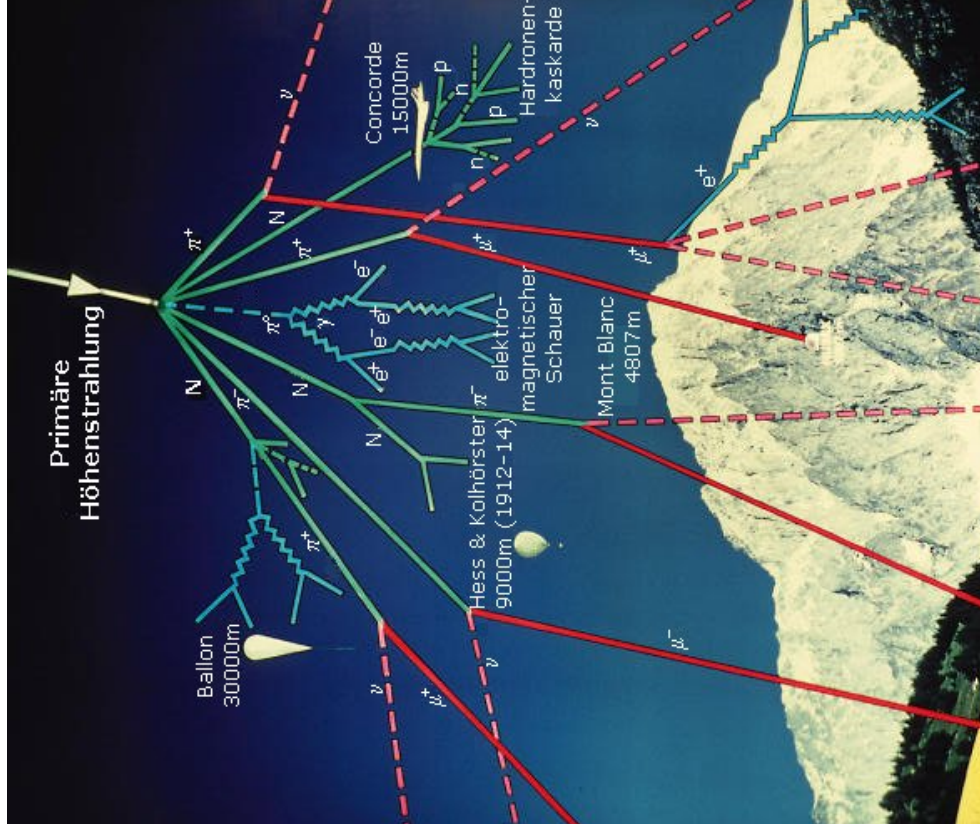
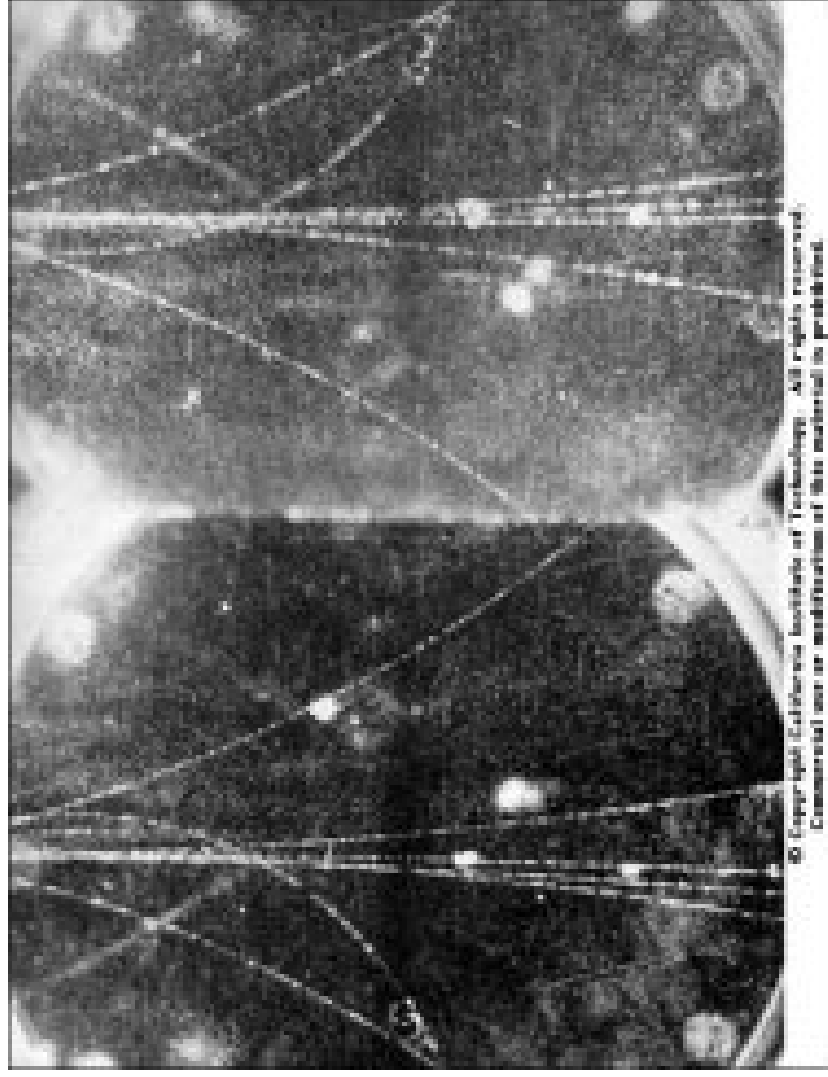
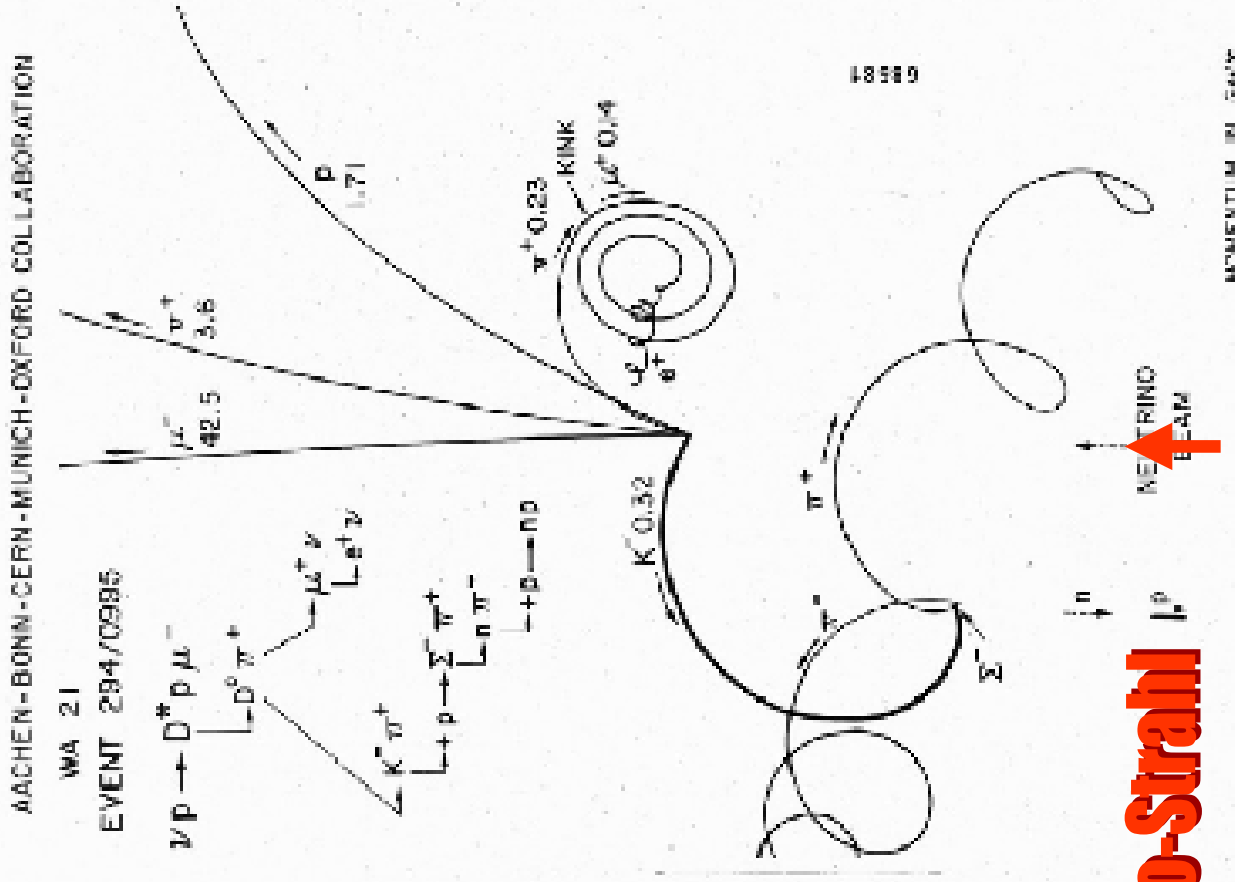


Photo einer Teilchenreaktion



40 Copper-plate Cloud-chamber photograph of a Y-decay. All signals measured. Commercial use or modification of this material is prohibited.

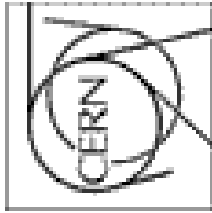


Beschleuniger

- Erzeugung von Teilchen und Antiteilchen
 - Hoehere Energie:
1. **Auflösungsvermoegen**
 2. **Entdeckungen neuer, schwerer Teilchen**

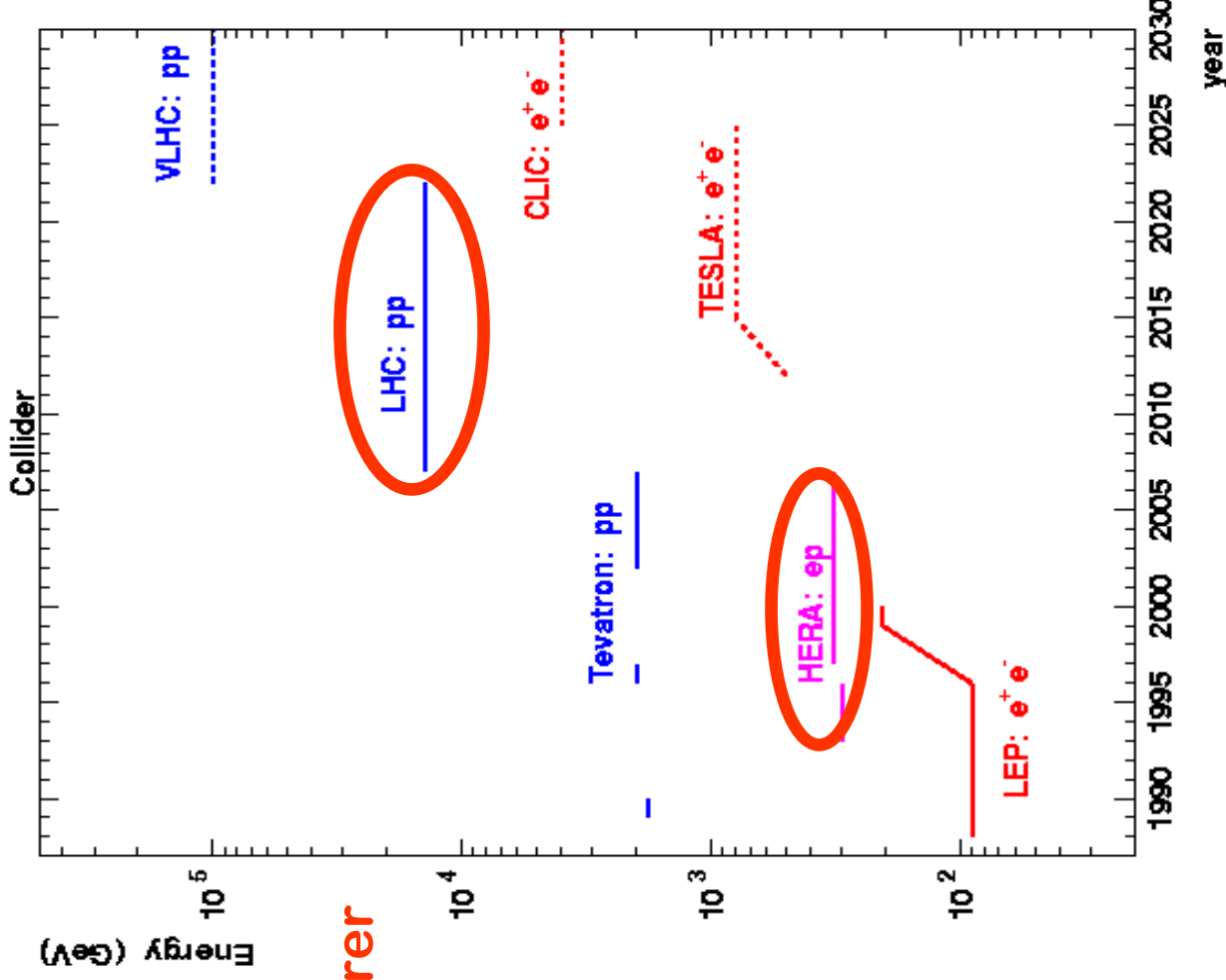


In Hamburg:
HERA: $300 \times 10^9 \text{ eV}$



In Genf:
LEP: $200 \times 10^9 \text{ eV}$
LHC: $14000 \times 10^9 \text{ eV}$

Auflösungsvermoegen: 10^{-19} m



- # Start: 2007



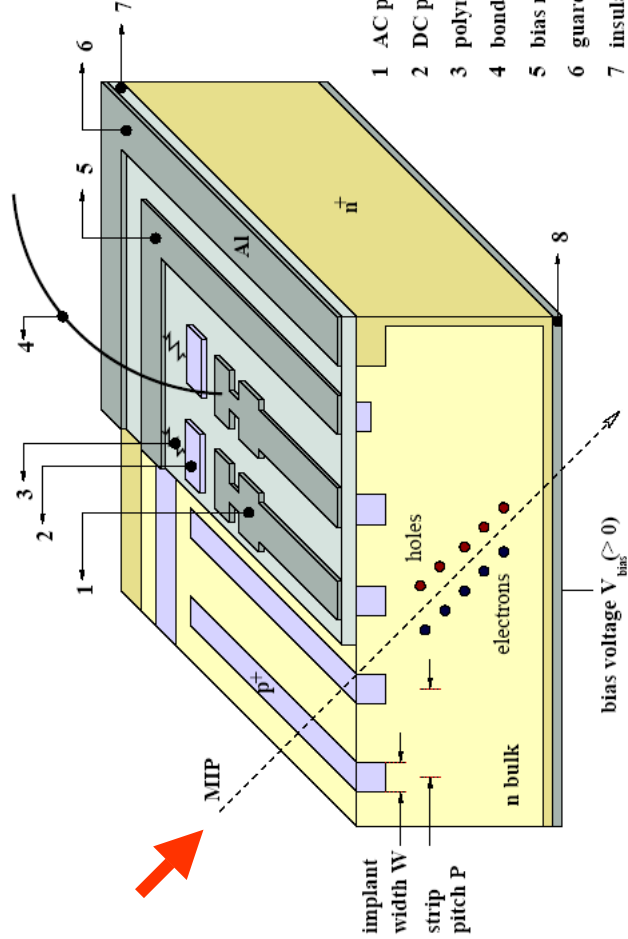
Moderne Detektoren

Praezision durch Halbleiter-Technologie

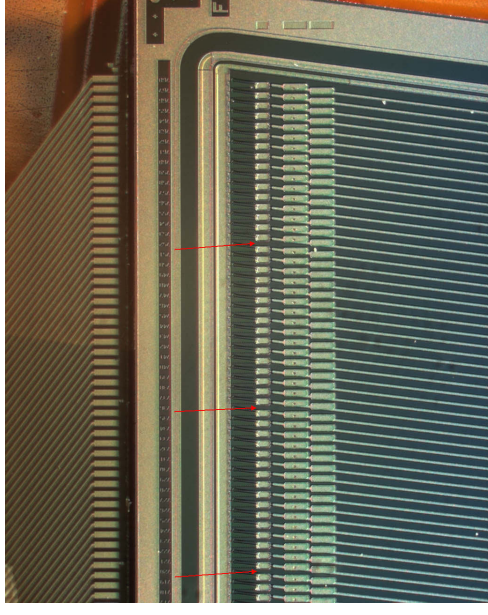
Diode in Sperrichtung: Strom nur bei

Ionisation durch Teilchen

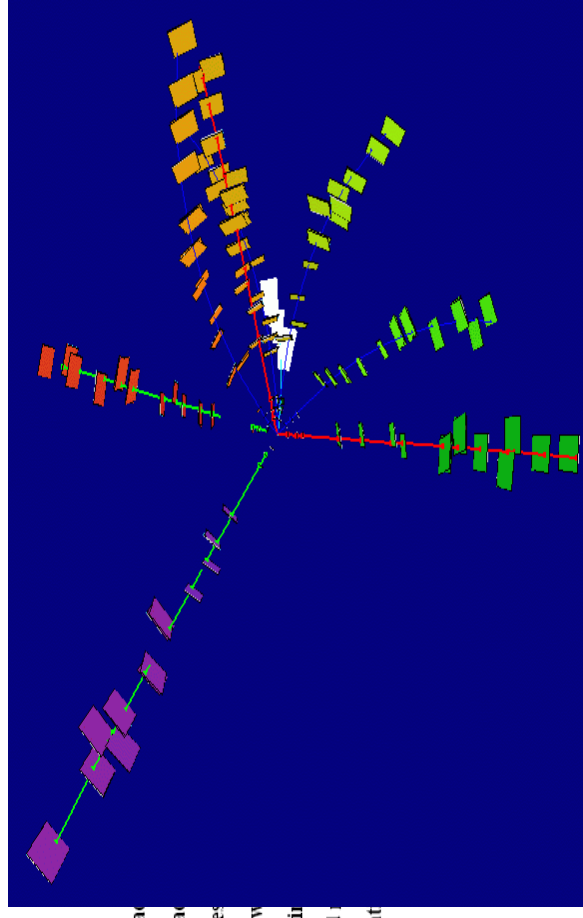
- Auflöesung (Ort): $10\ \mu\text{m}$
- Impulsmessung im Magnetfeld:
bis ca $10^{12}\ \text{eV}$



Teil eines Si-Wafers

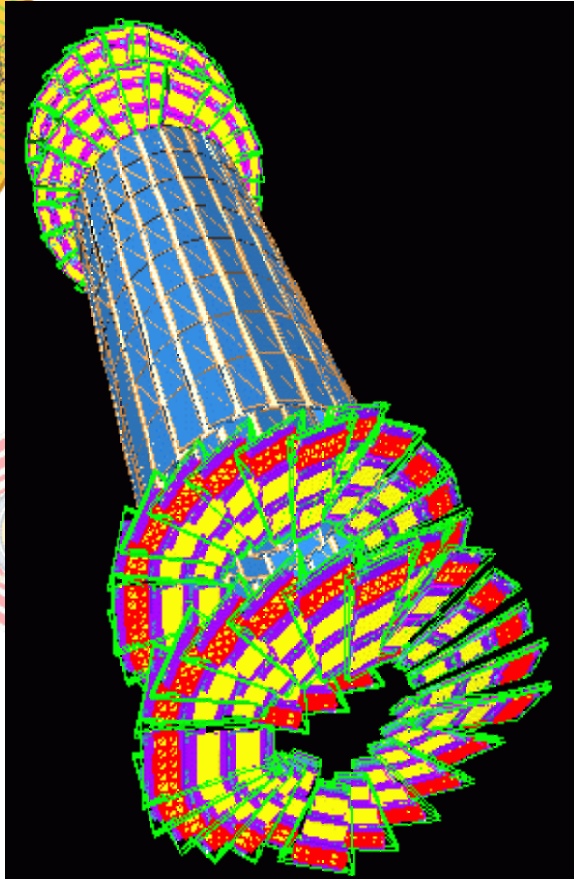
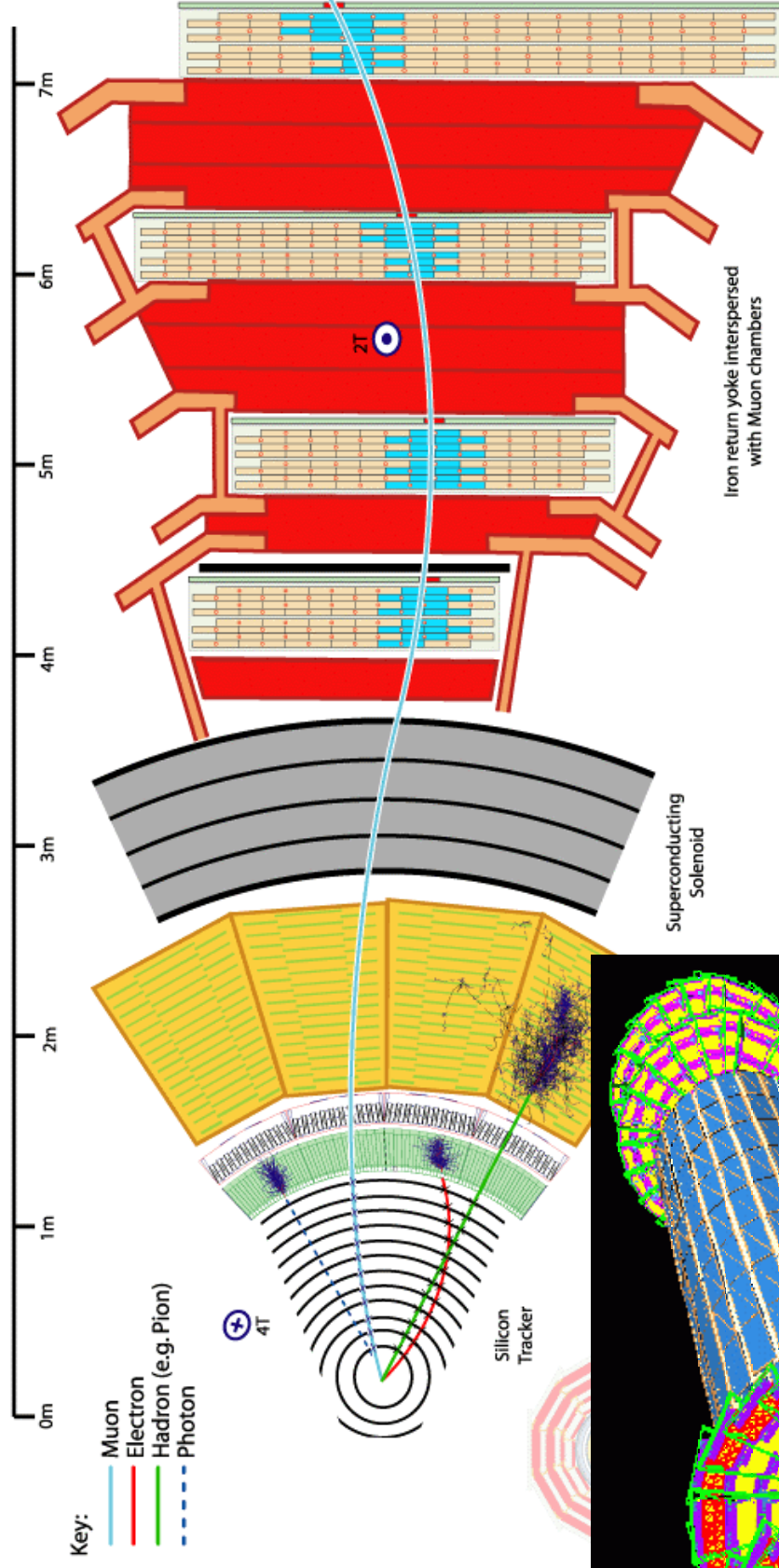


Teilchen-Rekonstruktion



CMS: das Compact Muon Solenoid Experiment bei LHC

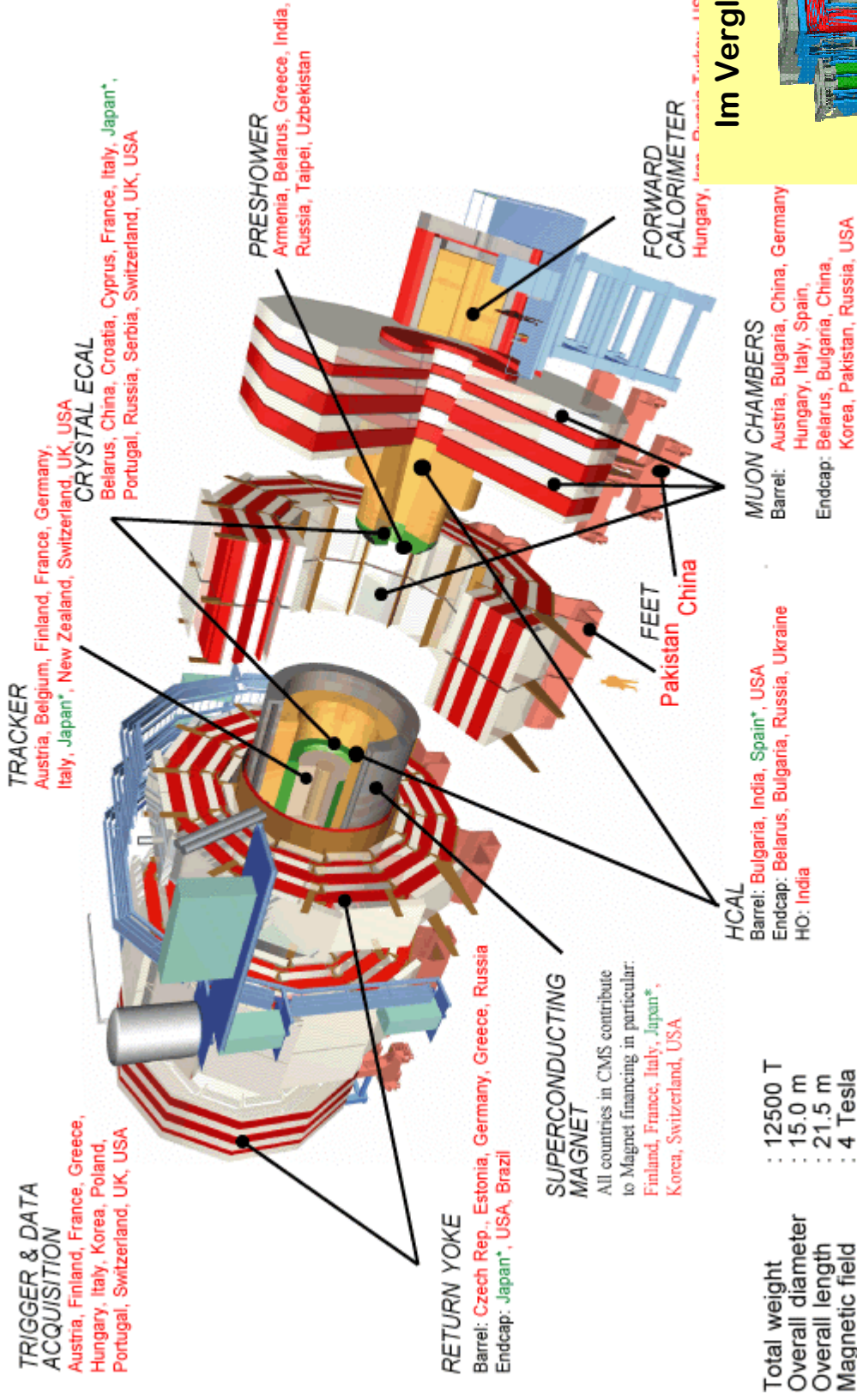
Peter Schleper
Revolutionen der
Teilchenphysik
Februar 2004



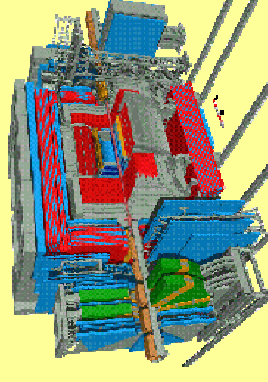
- 50×10^6 elektronische Kanäle
- 8 Peta-Byte Daten pro Jahr

CMS Detektor

36 Nations, 159 Institutions, 1940 Scientists (February 2003)



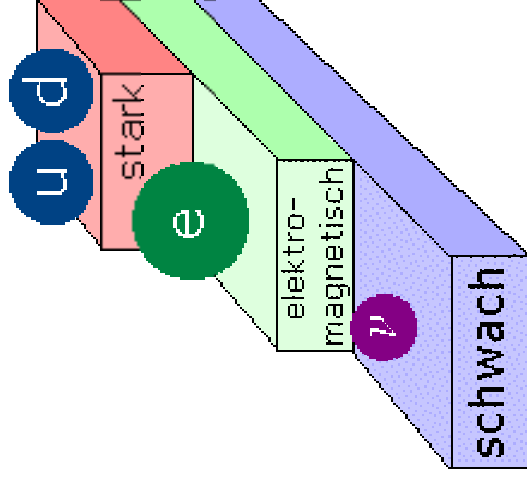
Im Vergleich: ZEUS



Das Standard Modell: Teilchen und Kraefte

Materie-Teilchen:

1. Generation



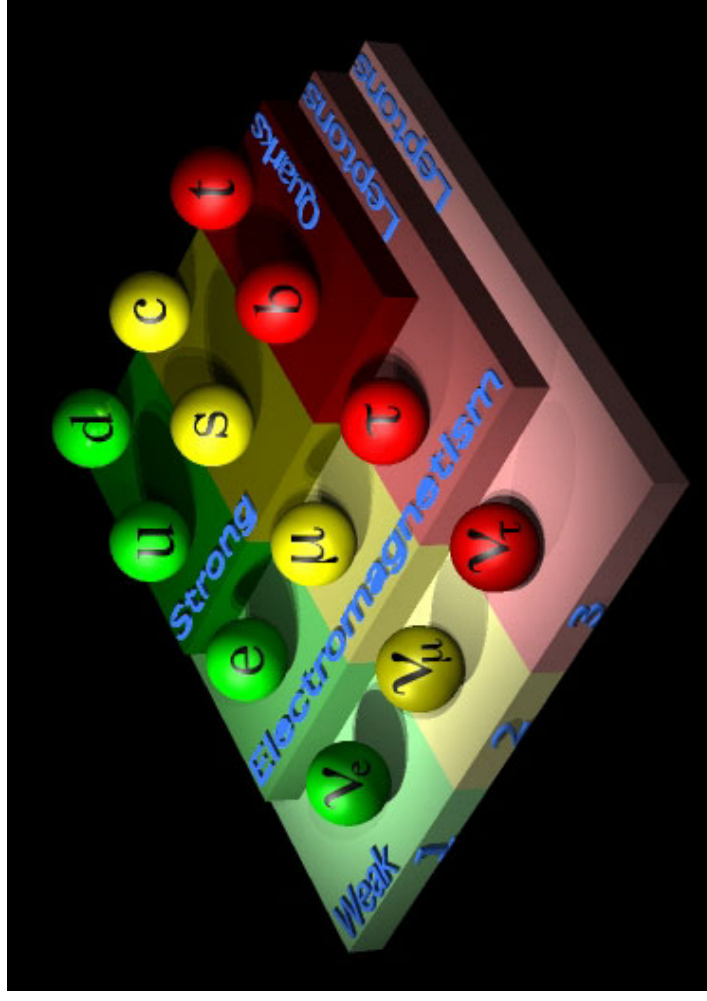
Naturkraefte:

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

force carriers spin = 0, 1, 2, ...				
BOSONS			spin = 1	
Unified Electroweak		spin = 1	Strong (color)	
Name	Mass GeV/c ²	Electric charge	Name	Mass GeV/c ²
γ photon	0	0	g gluon	0
W^-	80.4	-1		
W^+	80.4	+1		
Z^0	91.187	0		
				0

Materieteilchen

matter constituents spin = 1/2, 3/2, 5/2, ...				
FERMIONS		spin = 1/2		
Leptons		spin = 1/2	Quarks	
Flavor	Mass GeV/c ²	Electric charge	Flavor	Approx. Mass GeV/c ²
ν_e electron neutrino	$<1 \times 10^{-8}$	0	u up	0.003
e electron	0.000511	-1	d down	0.006
ν_μ muon neutrino	<0.0002	0	c charm	1.3
μ muon	0.106	-1	s strange	0.1
ν_τ tau neutrino	<0.02	0	t top	175
τ tau	1.7771	-1	b bottom	4.3
				2/3
				-1/3
				2/3
				-1/3
				2/3
				-1/3

Warum diese Teilchen ?

Warum diese Massen ?

Higgs Teilchen !?

Warum Unterschied fuer

Fermionen und Bosonen ?

Supersymmetrie !?

Eich-Theorie

Quantenm. Spez. Relativit.

Quantenfeldtheorie

Eichsymmetrien

Herleitung der Naturkraefte
elektromagn., starke, schwache Kraft

**Theorem: Nur Eichtheorien liefern
physikalisch sinnvolle Resultate**

Quantentheorie:

Teilchen folgen Wellengleichungen

Nur Betrag der Wellen ist
beobachtbar:

Phase der Welle ist beliebig:

$$\psi \rightarrow \psi e^{i\alpha}$$

laesst Experiment unveraendert

Symmetrie der Natur:

→ **Erhaltung der Elektr. Ladung**

→ γ, Z, W, g haben Spin 1

→ Form der Kraefte

→ **Alle Teilchen in kompletten**

Generationen

→ **Vorhersage Charm, Top, Neutrinos**

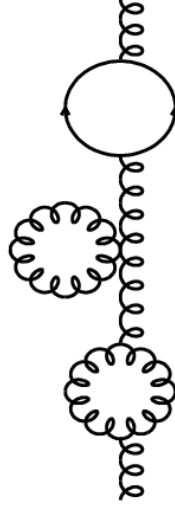
→ **Es muss ein Higgs Teilchen geben**

→ **Higgs wechselwirkt mit Masse**

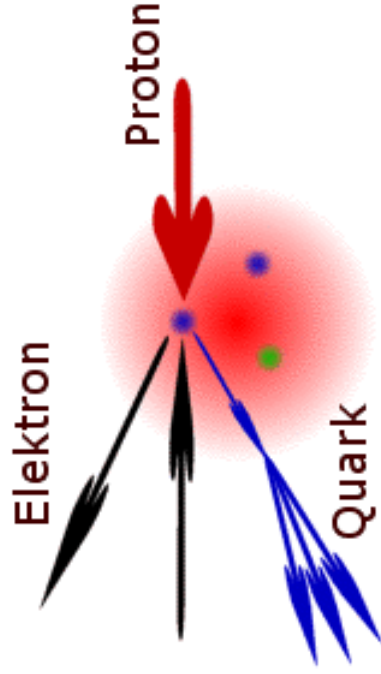
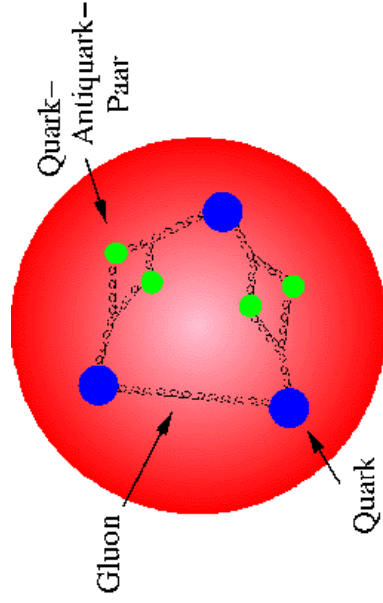
→ **Quantenkorreturen**

→ **Selbstwechselwirkung von**

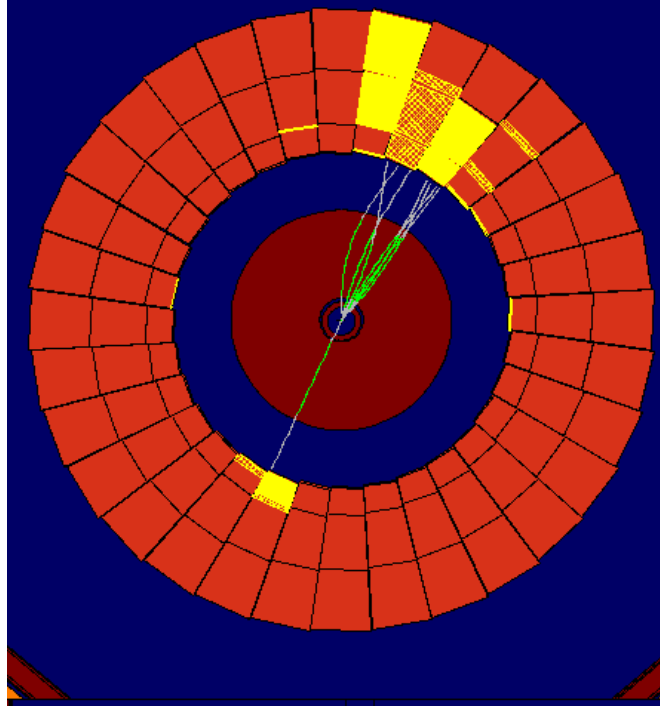
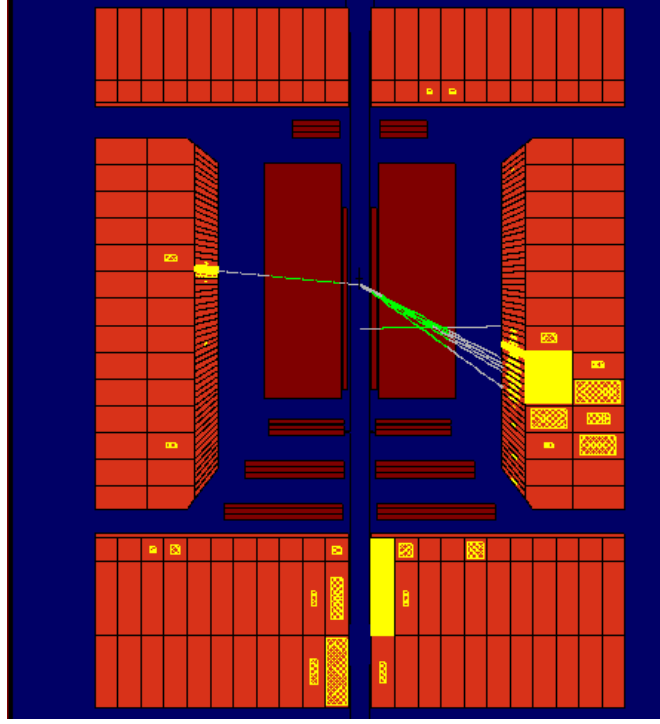
Z, W, g, H

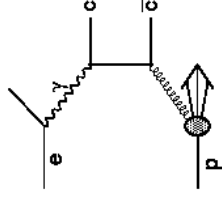
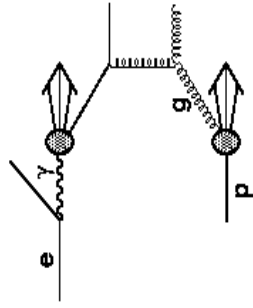


HERA: Starke Kraft im Proton



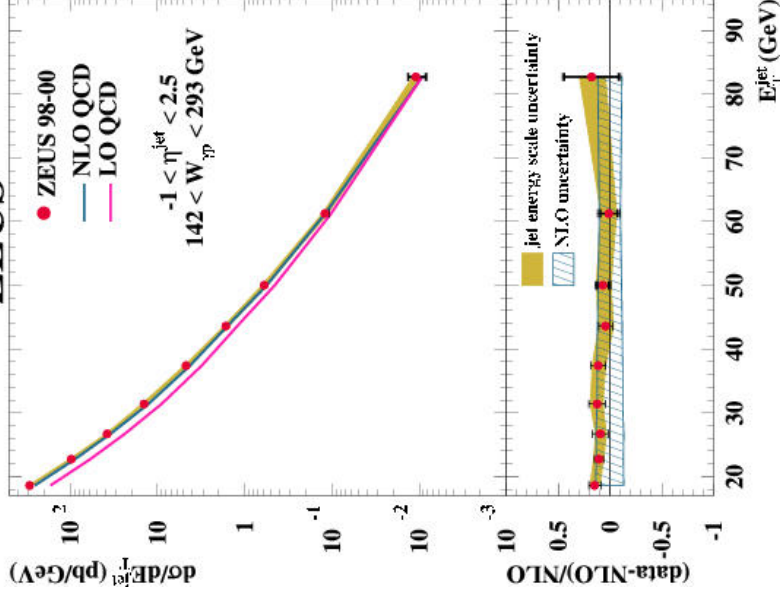
ZEUS



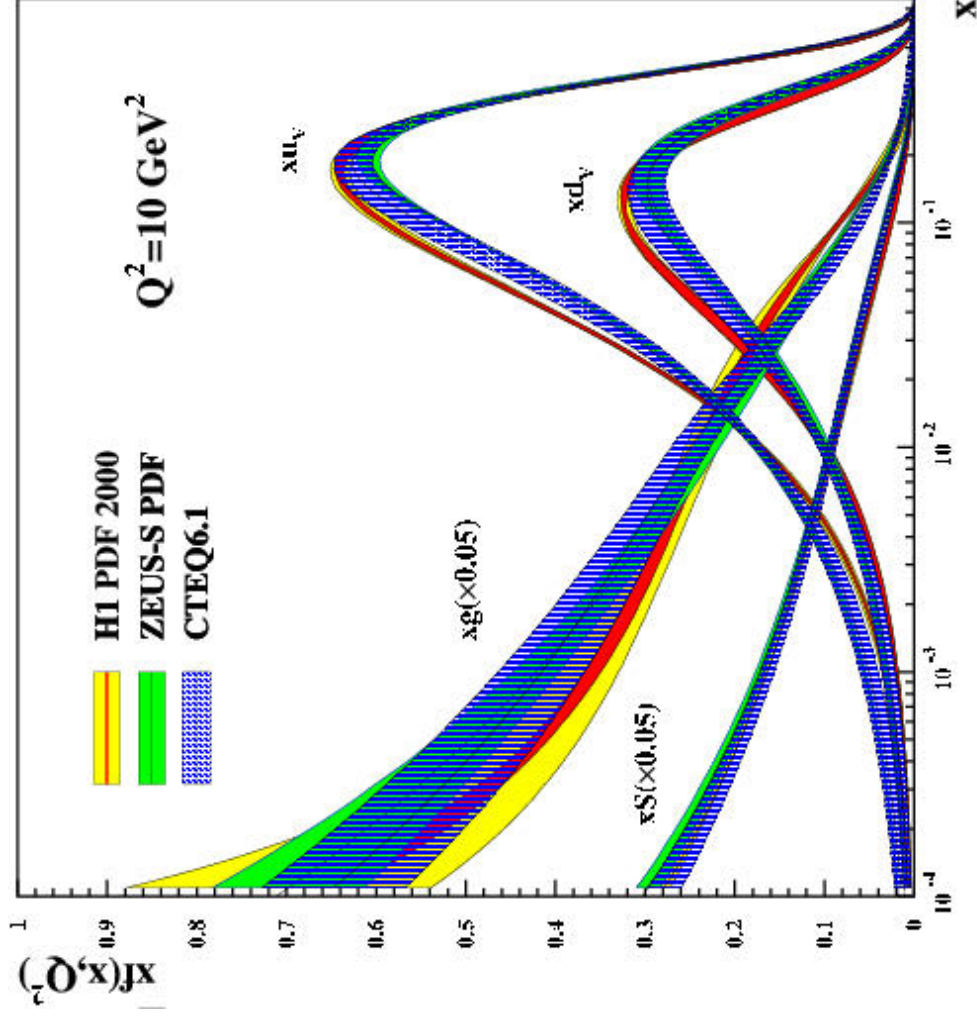


Quark und Gluon Dichte: Quantenphysik im Proton

ZEUS



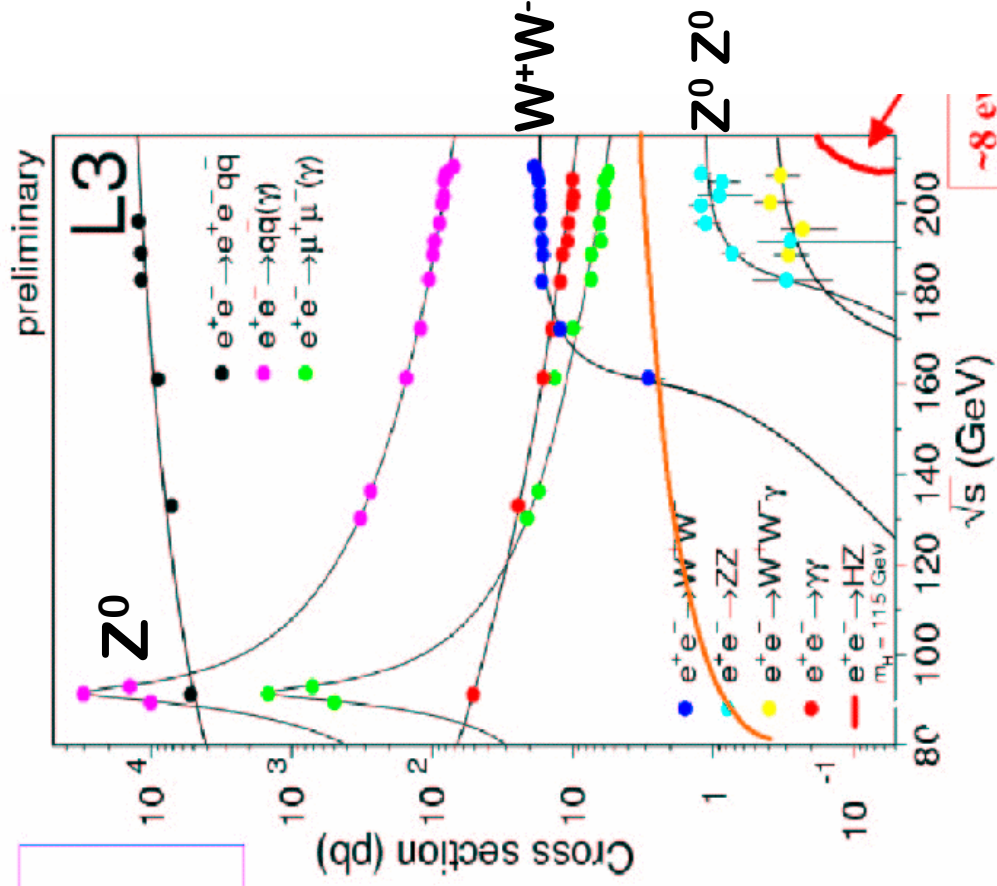
Starke Wechselwirkung sagt
 Quark-Gluon Wechselwirkung
 korrekt voraus



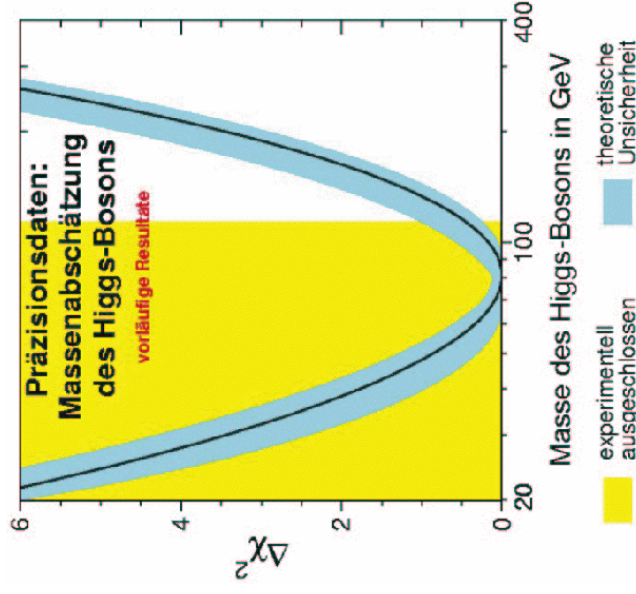
Das Standard-Modell mit Higgs

LEP: $e^+e^- \rightarrow \dots$

Präzisionstest der Teilchenphysik



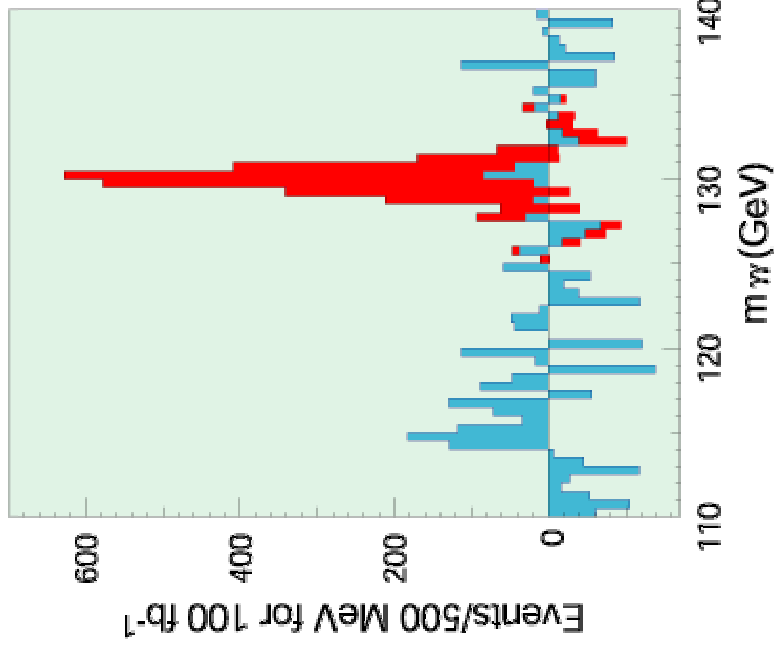
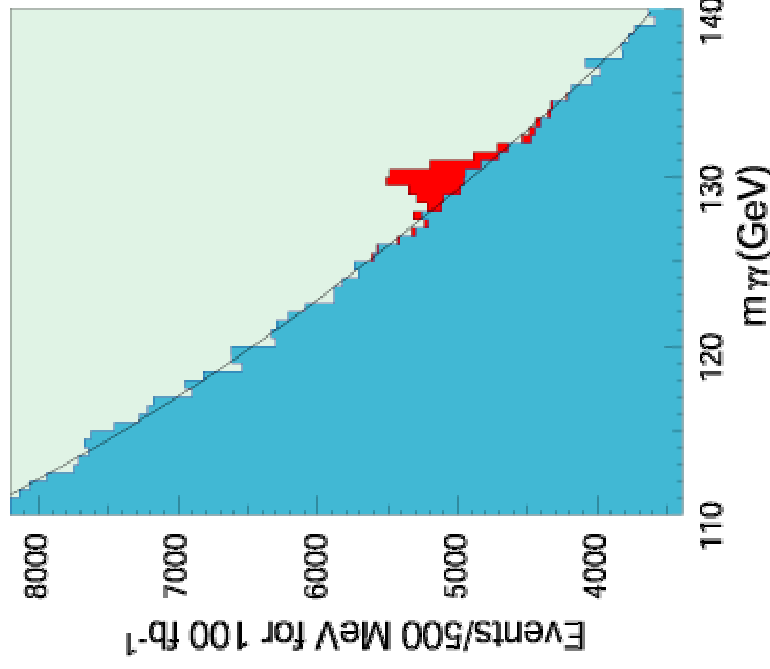
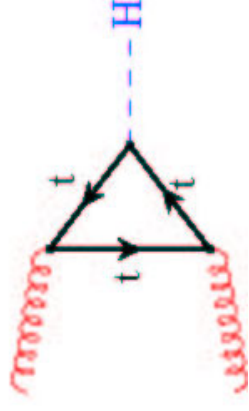
Alle Experimente stimmen mit dem
Standard Modell ueberein !!
...falls das Higgs existiert und
 $M_H < 200$ GeV



Sonst: Widerspruch
Alternativen ????

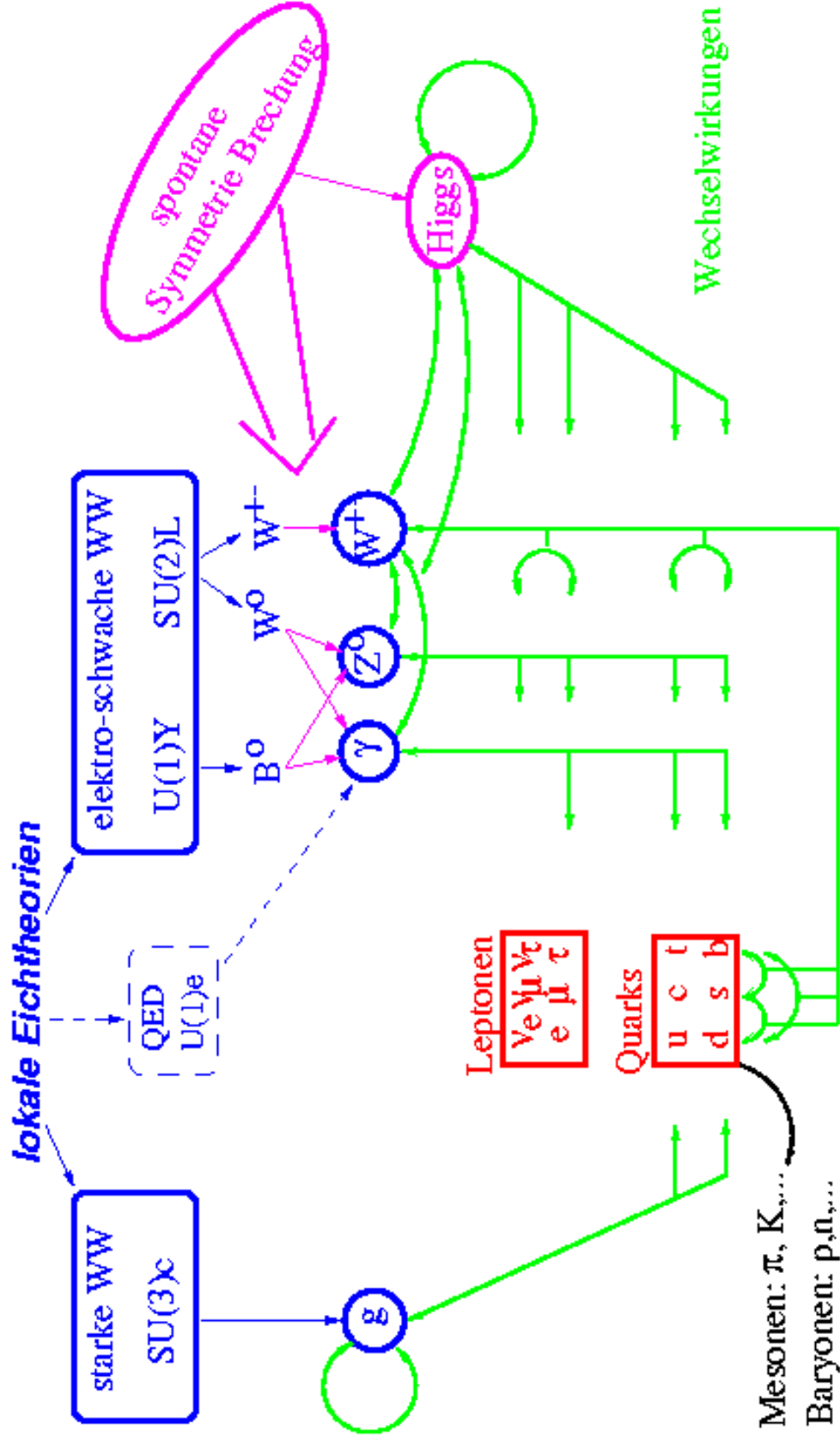
Higgs bei LHC

Gluonen aus Protonen: $gg \rightarrow H$



Higgs Entdeckung unvermeidbar
(falls es existiert)

Das Standard-Modell

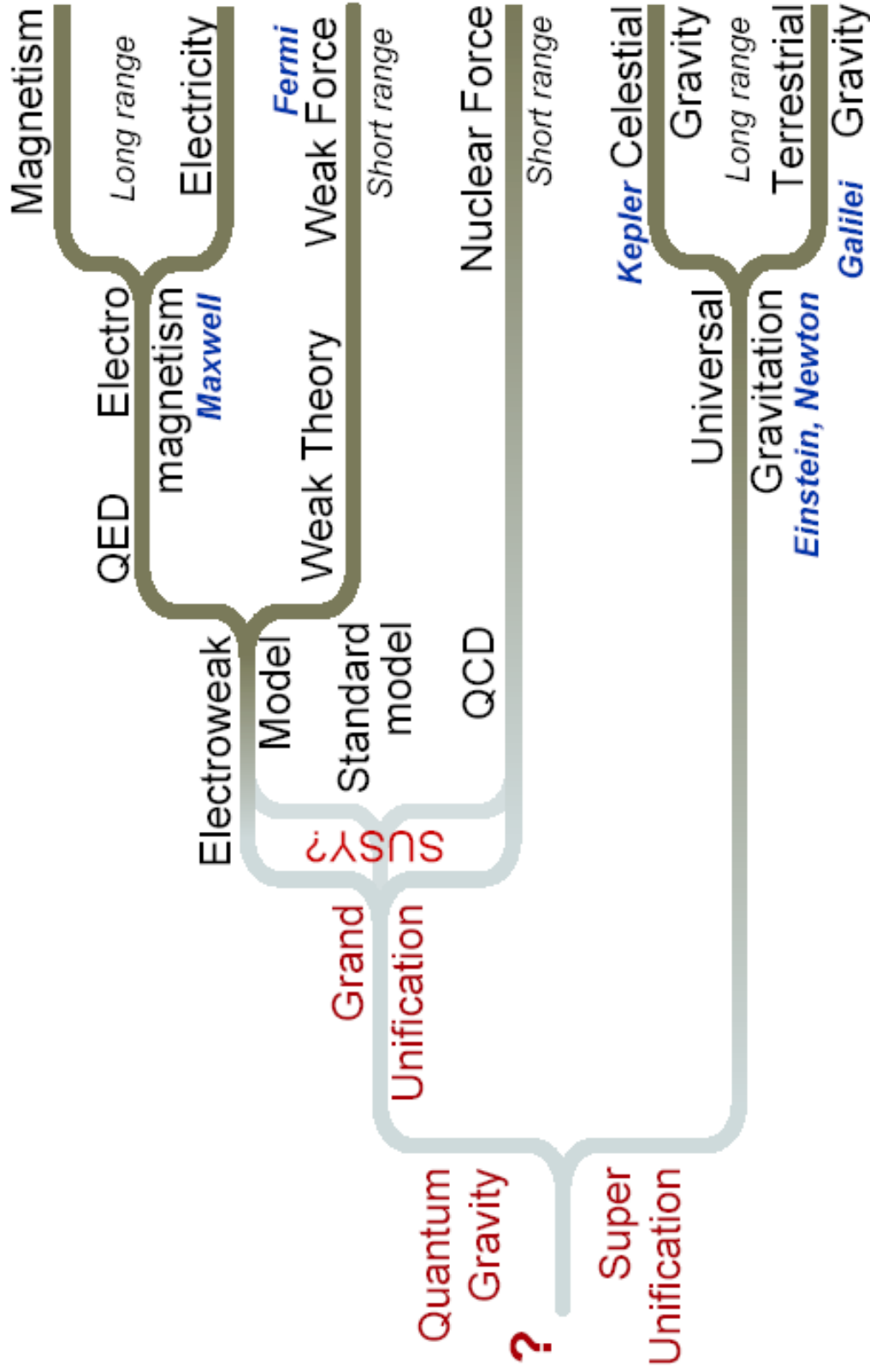


19 Teilchen, 26 freie Naturkonstanten

Ist das ALLES ? Bauprinzip ?

Vereinfachungen ? Vereinheitlichungen ?

Theorien der Physik



Energie, Temperatur, -Zeit

Kosmologie und Teilchen



Supersymmetrie

Symmetrie zwischen

Fermionen (Spin $1/2$, $3/2$) und Bosonen (Spin 0 , 1 , 2)

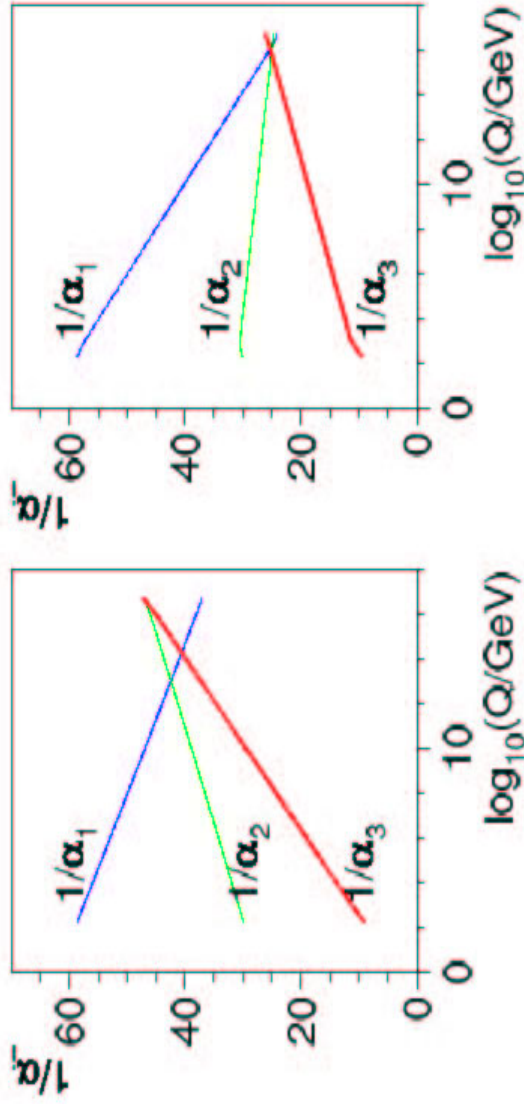
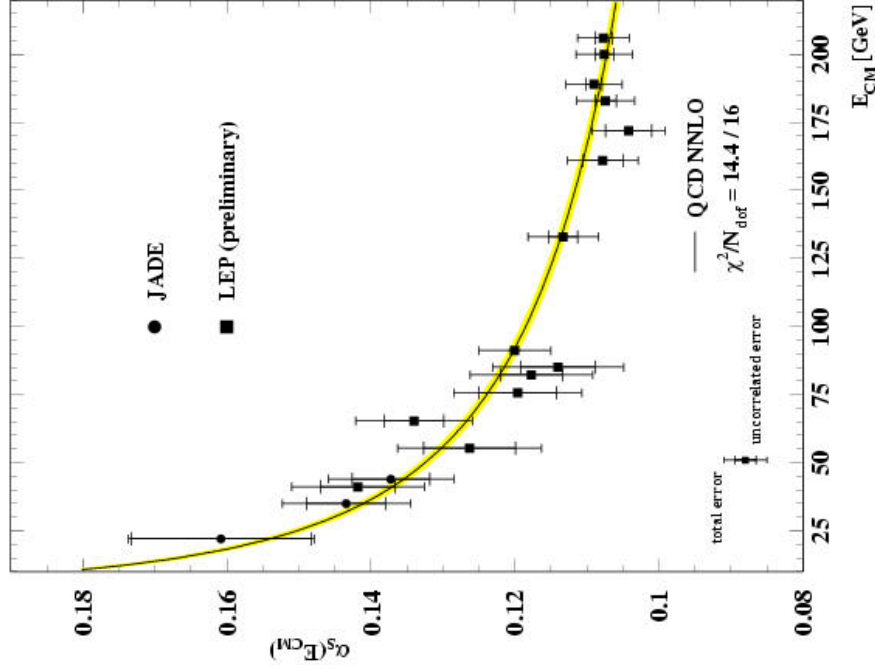
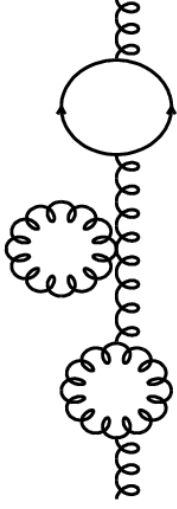
→ Jedes Teilchen bekommt ein Partnerteilchen

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	$3/2$

Photino kann nicht zerfallen !
Eich-Wechselwirkungen bleiben

Hinweise auf Supersymmetrie: Kopplungen

Quantenkorrekturen beeinflussen
Natur"Konstanten"

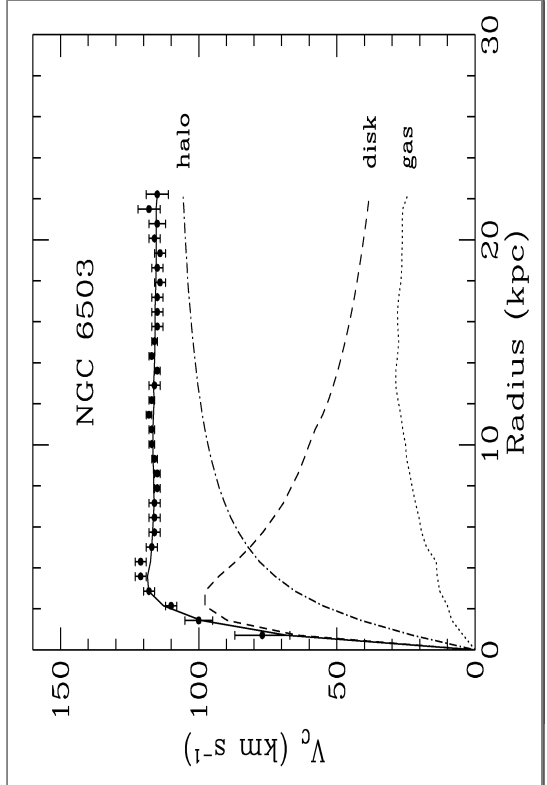
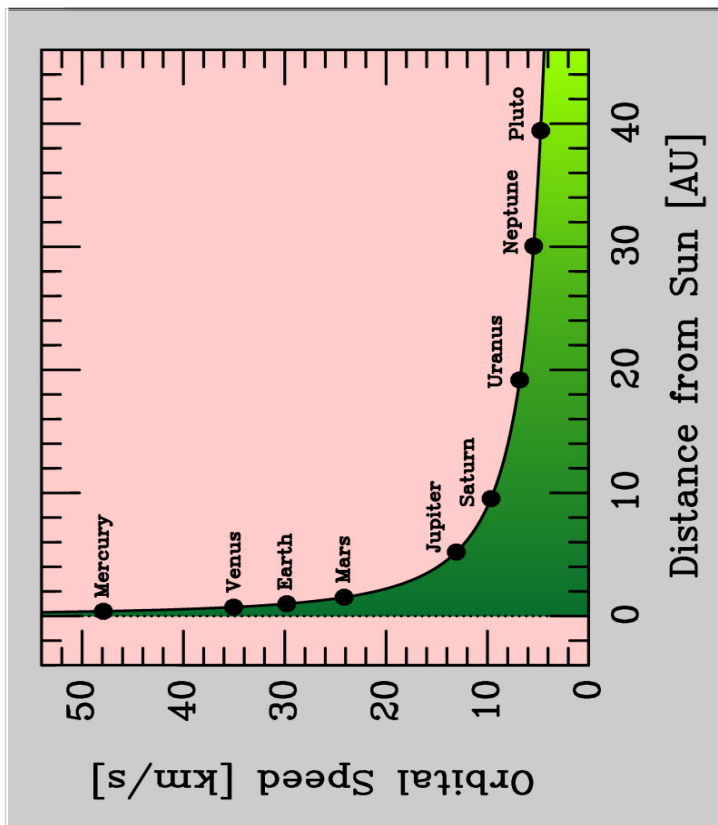
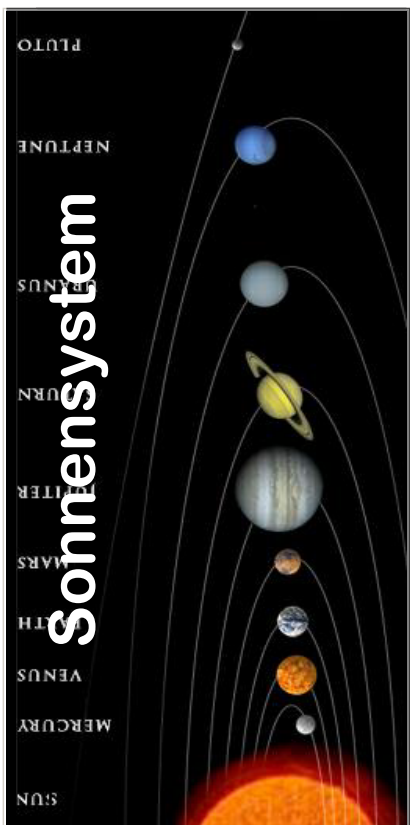


Standard-Modell:
keine Vereinheitlichung

Supersymmetrie:
Vereinheitlichung

Hinweise auf Supersymmetry Dunkle Materie im Kosmos

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



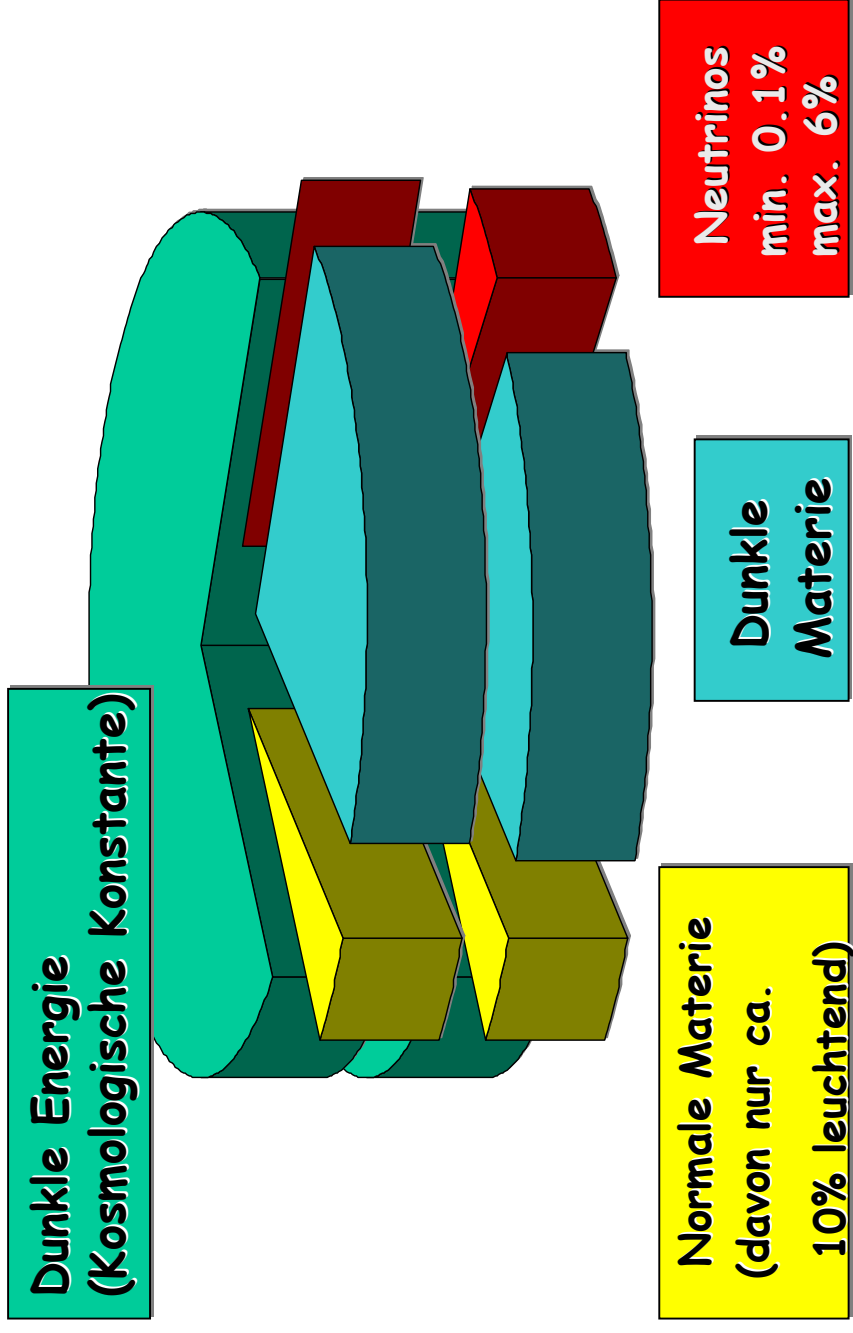
Abweichung von Keppler Gesetzen
 oder Neue Form unsichtbarer
 Materie: "Dark Matter" im HALO

Dunkle Materie im Kosmos

Peter Schleper
Revolutionen der
Teilchenphysik
Februar 2004

Aus Beobachtung weit entfernter Supernova Explosionen

→ Kosmologische Dichte



Unbekannte Form der Materie: Photino ???



Supersymmetrie kann mit grosser Wahrscheinlichkeit gefunden werden

Ein Zitat:

...it seems probable that most of the grand underlying principles of Physical Science have been firmly established and that further advances are to be sought chiefly in the rigorous applications of these principles to all the phenomena which come under our notice.

...

An eminent physicist has remarked that the future truths of Physical Science are to be looked for in the sixth place of decimals.

Aus: Physics Curriculum Uni. Chicago, 1898-99

Kurz danach:

Roentgen Strahlung, Entdeckung des Elektrons,

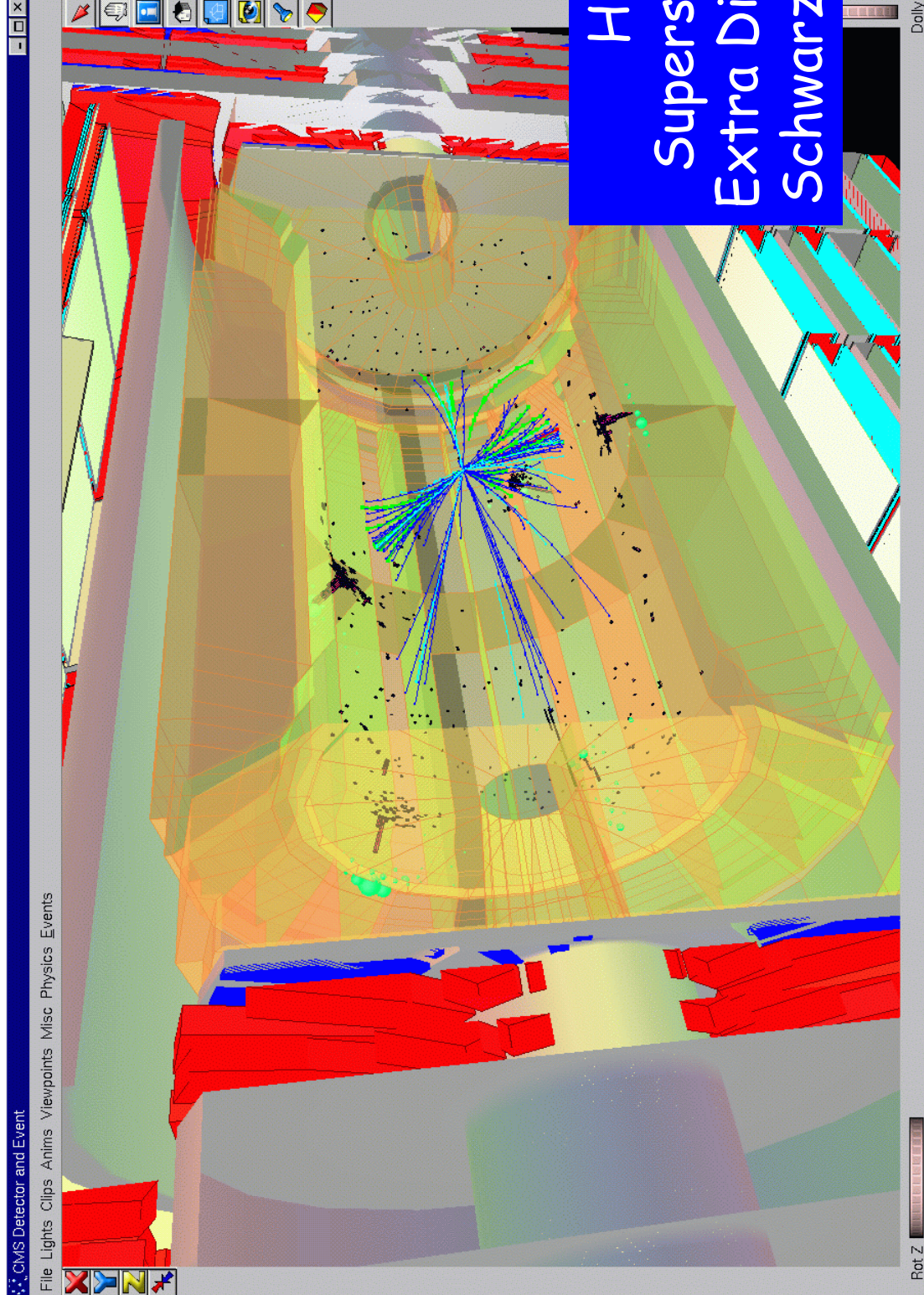
Atom = Kern+Huelle, Relativitaetstheorie,

Quantenmechanik

Bald: Higgs, SUSY

Experimenteller Urknall

Peter Schleper
Revolutionen der
Teilchenphysik
Februar 2004



Higgs
Supersymmetry
Extra Dimensionen
Schwarze Loecher