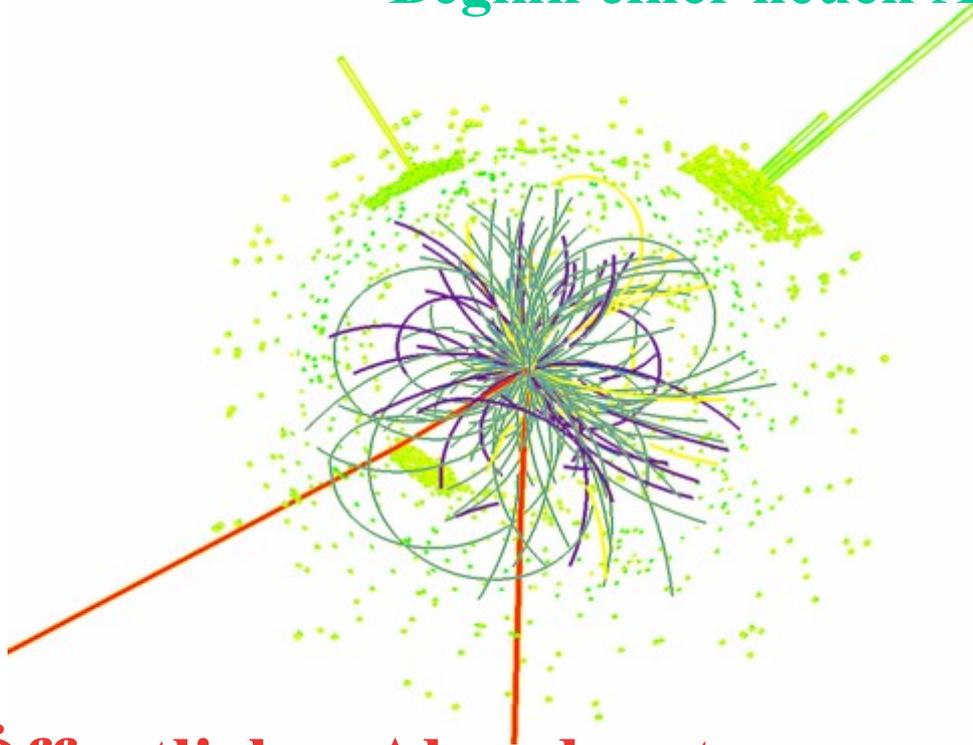


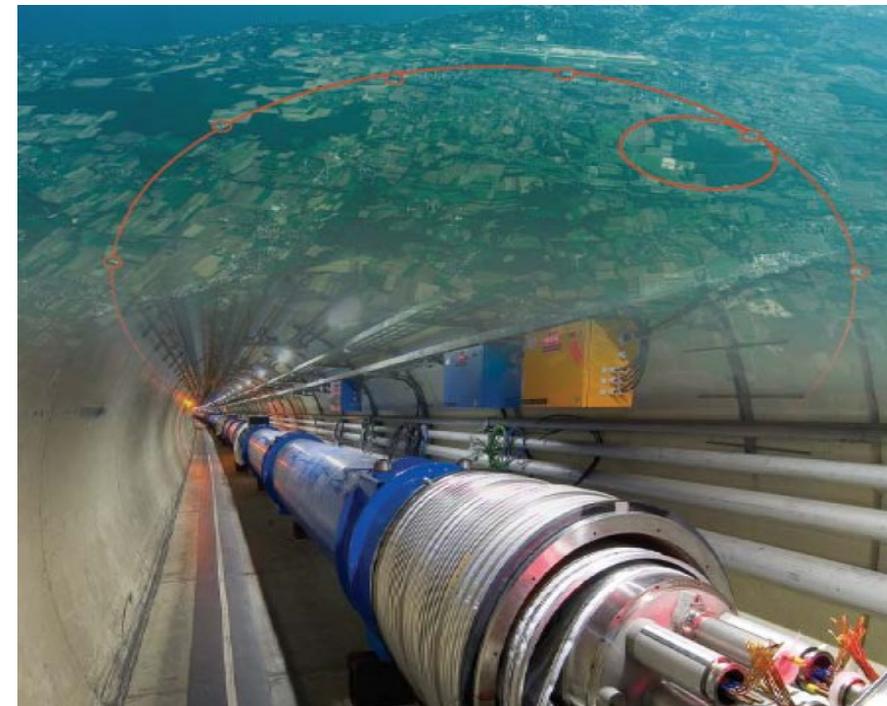
Die Weltmaschine des CERN

Der Large Hadron Collider LHC am CERN in Genf:
Beginn einer neuen Ära der Teilchenphysik



**Öffentlicher Abendvortrag,
17. Dezember 2008
Volkshochschule Urania Berlin**

**Dr. Martin zur Nedden
Humboldt-Universität zu Berlin**



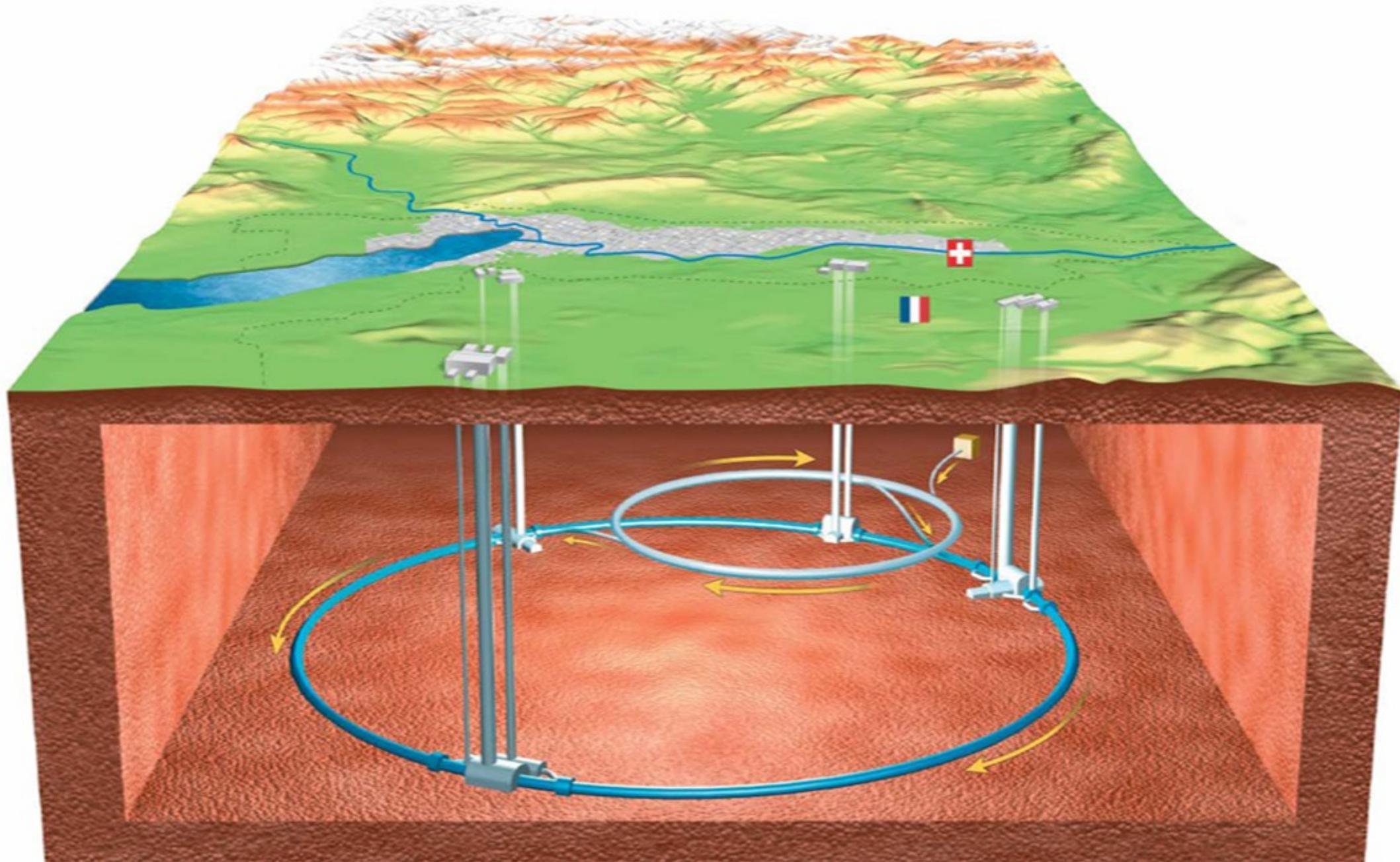


Der **Large Hadron Collider** am CERN ist eine **Weltmaschine**

- **weltweit** grösstes Forschungsvorhaben
- **weltweite** Forschungszusammenarbeit
- **weltweit** grösstes Forschungszentrum
- **weltweite** Beteiligung von Instituten
- **weltweite** Spitzentechnologie
- **weltweites** Interesse
- **weltweite** Datenflut und Datenverarbeitung

- Suche nach dem, was die **Welt** im Innersten zusammenhält

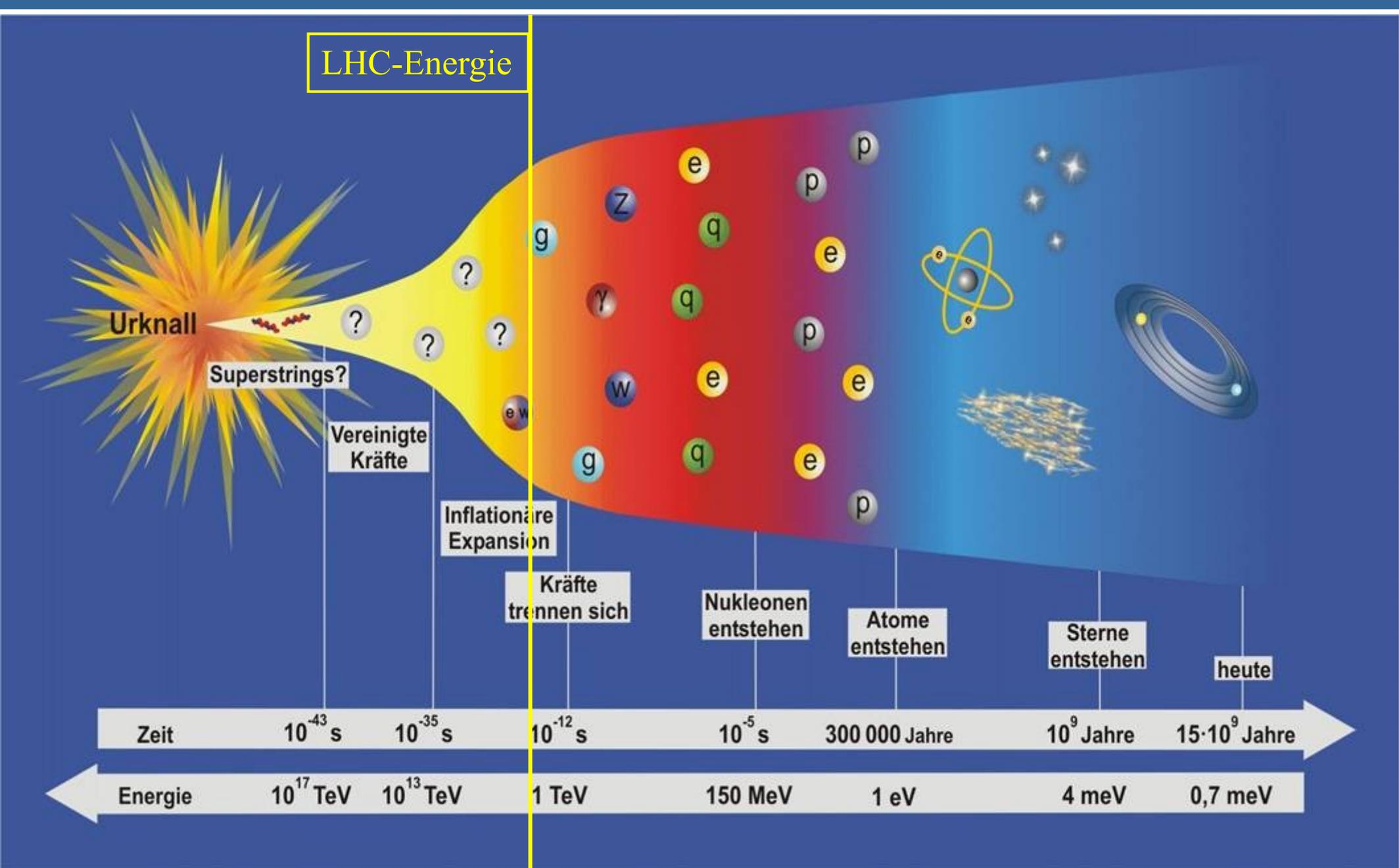
Die “Weltmaschine” ist ein Beschleuniger...



- **Was wir heute wissen:**
 - das Standardmodell: Teilchen und Kräfte
- **Methoden der Teilchenphysik:**
 - Streuexperimente und Teilchen-Kollision
- **Die Maschinen und Augen der Teilchenphysik:**
 - Beschleuniger und Detektoren
- **Symmetrien:**
 - Vereinheitlichung der Kräfte
 - Super-Symmetrie
- **Offene Frage der Teilchenphysik:**
 - Was uns noch fehlt
- **Die Weltmaschine LHC:**
 - Technologische Herausforderung
 - Experimente am LHC

- **Was wir heute wissen:**
 - **das Standardmodell: Teilchen und Kräfte**
- **Methoden der Teilchenphysik:**
 - Streuexperimente und Teilchen-Kollision
- **Die Maschinen und Augen der Teilchenphysik:**
 - Beschleuniger und Detektoren
- **Symmetrien:**
 - Vereinheitlichung der Kräfte
 - Super-Symmetrie
- **Offene Frage der Teilchenphysik:**
 - Was uns noch fehlt
- **Die Weltmaschine LHC:**
 - Technologische Herausforderung
 - Experimente am LHC

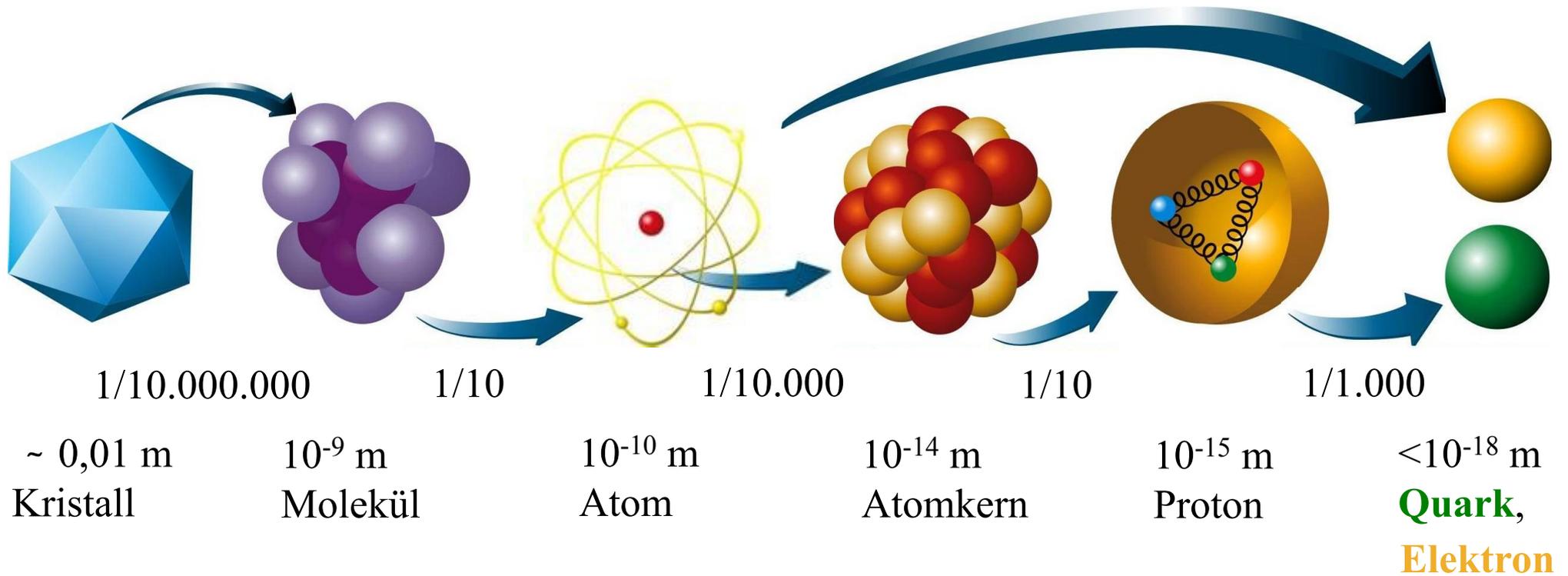
Entwicklung des Universums



Das Standard-Modell der Teilchenphysik

- Beschreibt die fundamentalen Wechselwirkungen
 - Starke Kraft (Kernkraft)
 - Schwache Kraft (Umwandlungsprozesse von Teilchen)
 - Elektromagnetische Kraft
- Gute Beschreibung aller bekannten Prozesse
 - Zerfälle von Teilchen
 - Innere Struktur nicht fundamentaler Teilchen
- Systematik aller bekannten Teilchen
- Beruht auf Symmetrie-Prinzipien
- Sehr erfolgreiche physikalische Theorie

Der Aufbau der Materie



Stecknadelkopf:

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

Elektron, Quark:

$$<10^{-18} \text{ m} = 0,00000000000000000001 \text{ m}$$

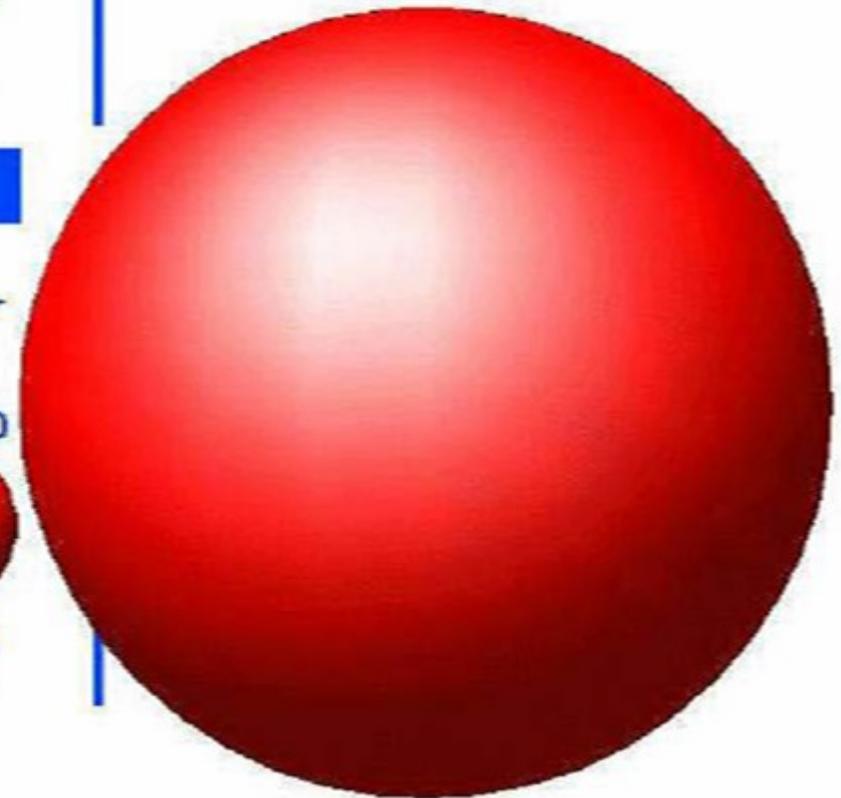
Bausteine der Materie: Quarks und Leptonen

Stabile Materie: **up-** und **down-Quark**, **Elektronen**

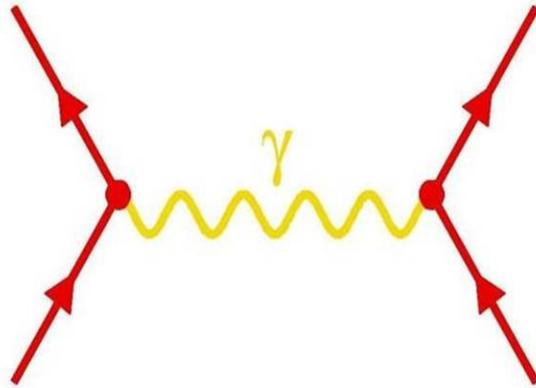
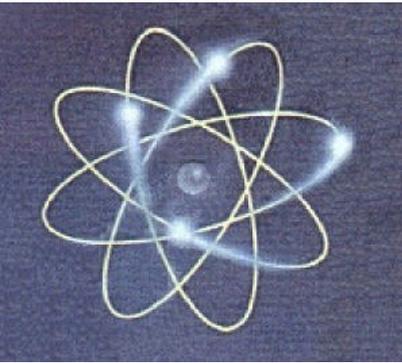
Strukturlose, fundamentale
Teilchen: Alle **Leptonen**

Teilchen mit innerer Struktur:
Proton, Neutron,....
aufgebaut aus **Quarks**

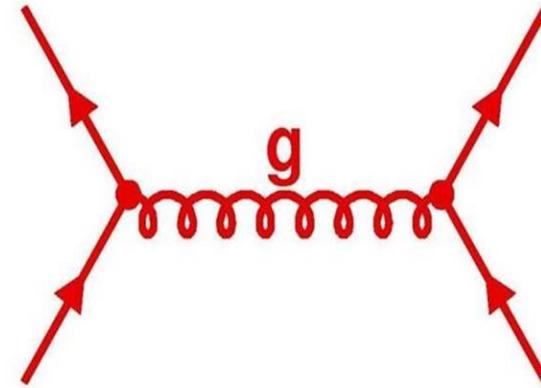
LADUNG	LEPTONS		
0	Electron Neutrino Mass ~0	Muon Neutrino ~0	Tau Neutrino ~0
-1	Electron .511	Muon 105.7	Tau 1 777
QUARKS			
+2/3	Up Mass: 5	Charm 1 500	Top ~180 000
-1/3	Down 8	Strange 160	Bottom 4 250



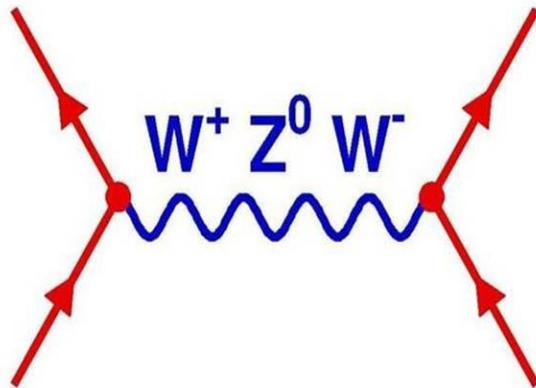
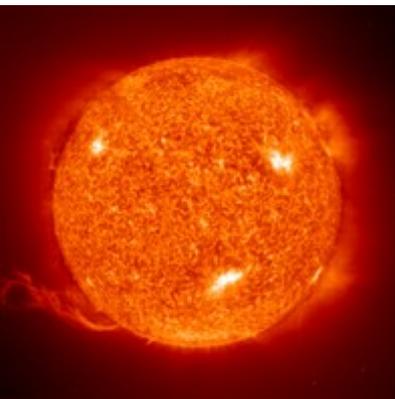
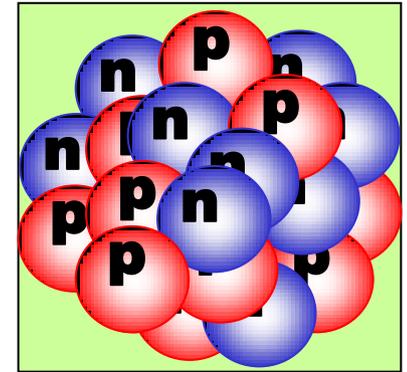
Teilchen als Kraftvermittler



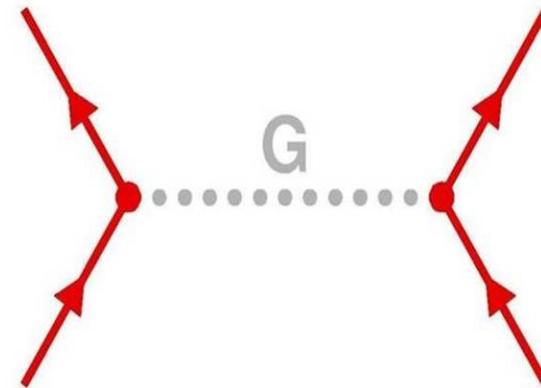
elektromagn. Kraft



starke Kraft



schwache Kraft



Gravitation



Austauschteilchen sind die Quanten der Kraftfelder

Offene Fragen

Das Standard-Modell der Teilchenphysik hat bis jetzt allen experimentellen Tests standgehalten.

Dennoch ist vieles unverstanden:

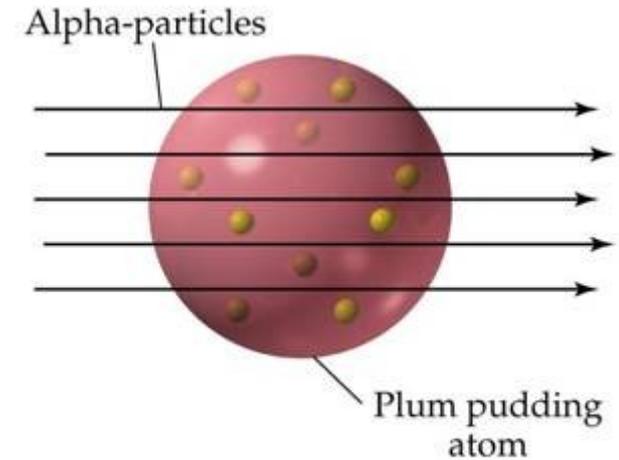
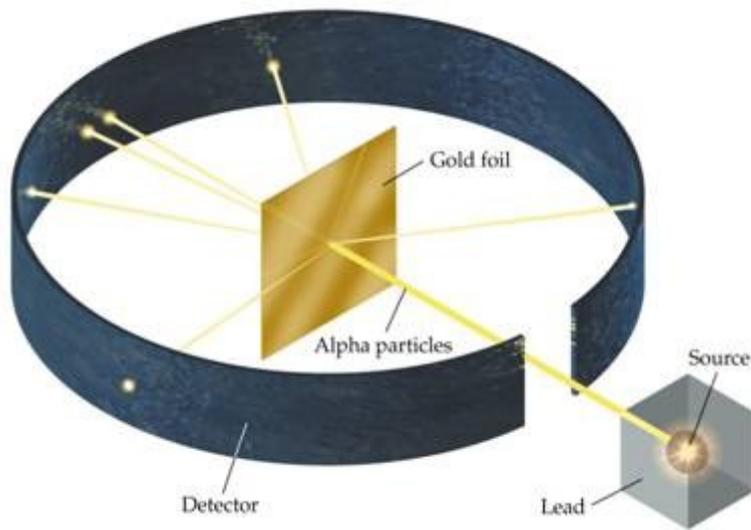
- Woher kommt die Masse (**Higgs-Teilchen**)?
- Gibt es **eine fundamentale Kraft**?
- Welche **Symmetrie** liegt unserer Welt zugrunde?
- Gibt es **zusätzliche Dimensionen**?
- Kennen wir alle Teilchen (**Supersymmetrie**)?

Um Neues zu entdecken, muss man neue Dinge tun:

Der **Large Hadron Collider** (Proton-Proton) mit den Experimenten **ATLAS** und **CMS** am Europäischen Forschungszentrum **CERN** in Genf

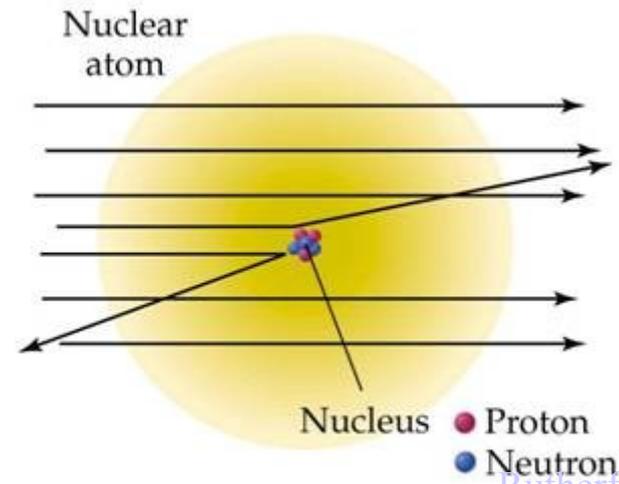
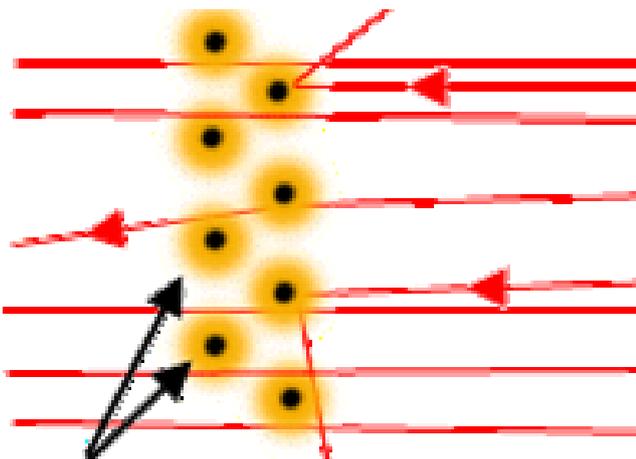
- **Was wir heute wissen:**
 - das Standardmodell: Teilchen und Kräfte
- **Methoden der Teilchenphysik:**
 - **Streuexperimente und Teilchen-Kollision**
- **Die Maschinen und Augen der Teilchenphysik:**
 - Beschleuniger und Detektoren
- **Symmetrien:**
 - Vereinheitlichung der Kräfte
 - Super-Symmetrie
- **Offene Frage der Teilchenphysik:**
 - Was uns noch fehlt
- **Die Weltmaschine LHC:**
 - Technologische Herausforderung
 - Experimente am LHC

E.Rutherford: Struktur der Atome durch Streuversuche



(a) Rutherford's Expected Result

Goldatome in einer Folie



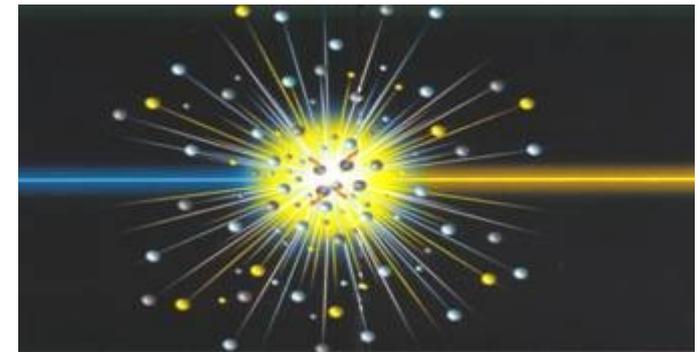
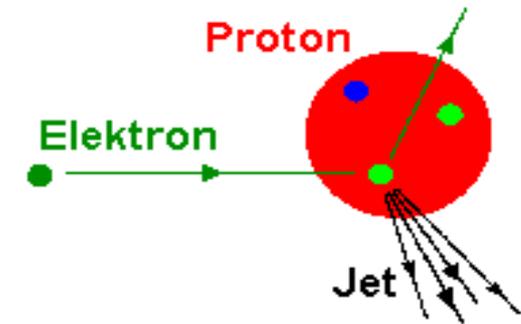
(b) Rutherford's Actual Result

[Rutherford Applet](#)

Experimente mit Teilchenstrahlen

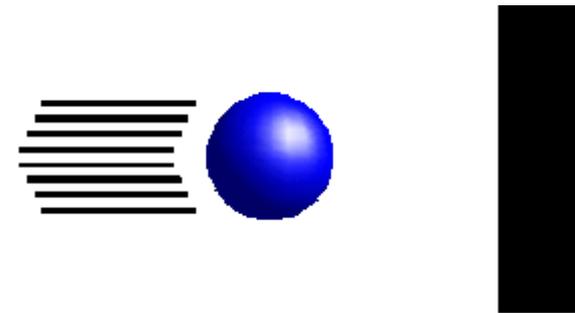
Teilchenstrahlen höchster Energie notwendig, denn mit steigender Energie **E** (bzw. Impuls **p**) der Projektile steigt

- die Fähigkeit,
kleine Strukturen Δx zu erkennen
 $\Delta x \Delta p = \hbar$ (Heisenberg)
- die Fähigkeit,
neue schwere Teilchen zu erzeugen
 $E = mc^2$ (Einstein)
- **Streuexperimente:**
 - Kollision von Teilchenstrahlen mit Materie
 - Kollision von zwei Teilchenstrahlen

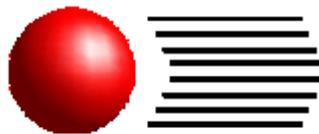


Vom Beschleuniger zum Collider

Ein **Beschleuniger** lenkt einen Strahl von beschleunigten Teilchen auf ein festes Ziel.



Collider – zwei kombinierte Beschleuniger:
Zwei Teilchenstrahlen werden beschleunigt
und zur Kollision gebracht:
Größere Energien werden erreicht



Arten von Collidern

- **Elektron-Positron**-Collider: **Präzisionsmessungen**

- **LEP, CERN** in Genf bis 2000

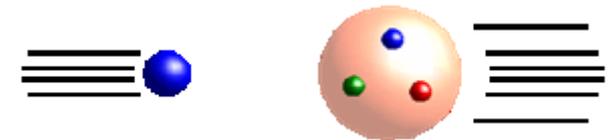


- (bis 105 GeV pro Strahl)

- **ILC** (International Linear Collider) ab 2015(?)

- **Elektron-Proton**-Collider: **Substrukturmessungen**

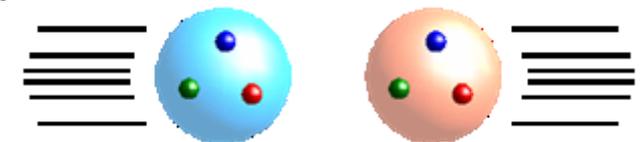
- **HERA, DESY** in Hamburg, bis 2007



- (e: 30 GeV, p: 920 GeV)

- **Hadron-Hadron**-Collider: **Entdeckungsmaschinen**

- **TEVATRON, FERMILAB** in Chicago, bis 2009

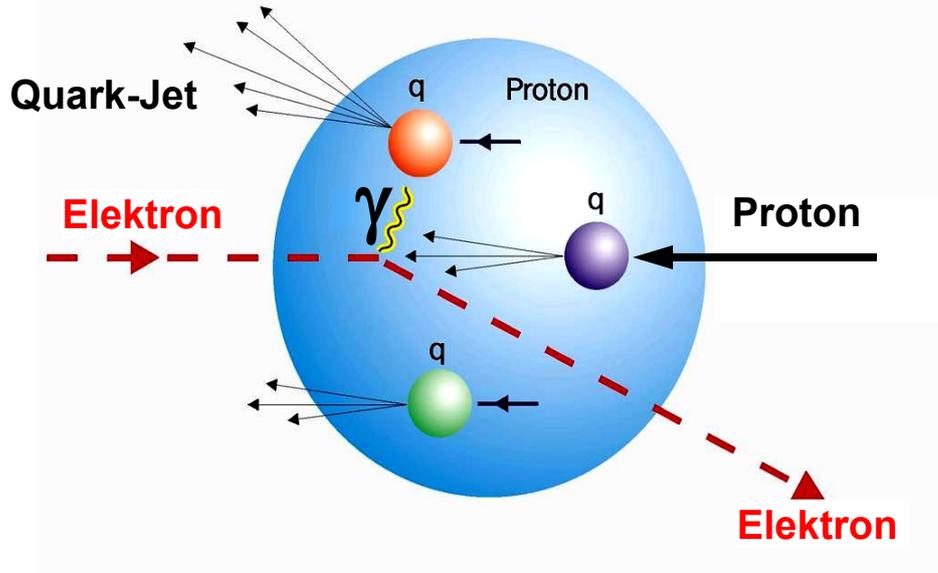


- (900 GeV pro Strahl)

- **LHC, CERN** in Genf (Large Hadron Collider, Proton-Proton) ab 2008

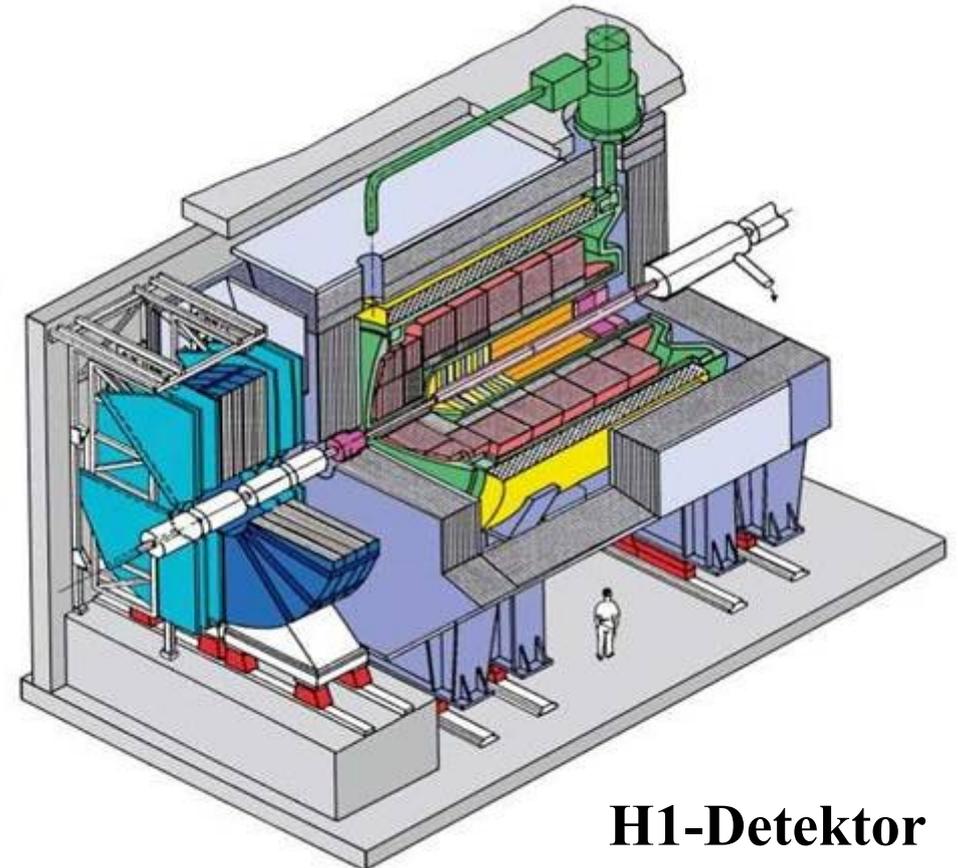
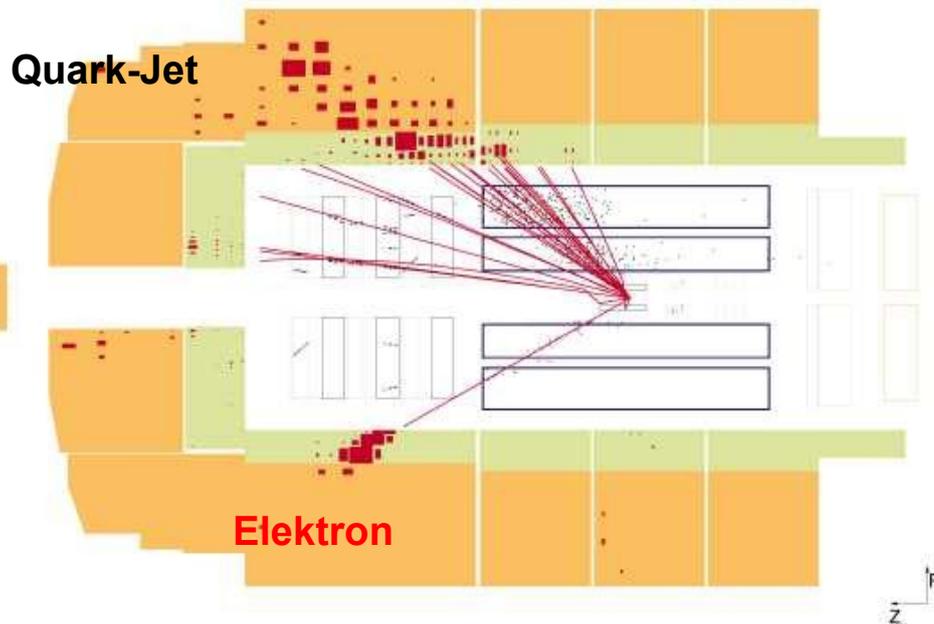
- (7000 GeV pro Strahl)

Untersuchung der Substruktur des Protons



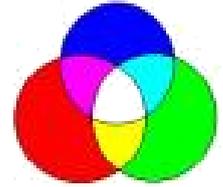
Proton-Elektron Kollisionen bei HERA (DESY):

Schwerpunktsenergie von **320 GeV**
entspricht einer Ortsauflösung von **10^{-18} m**
Untersuchung der Protonstruktur



Die starke Kraft: „Quantenchromodynamik“

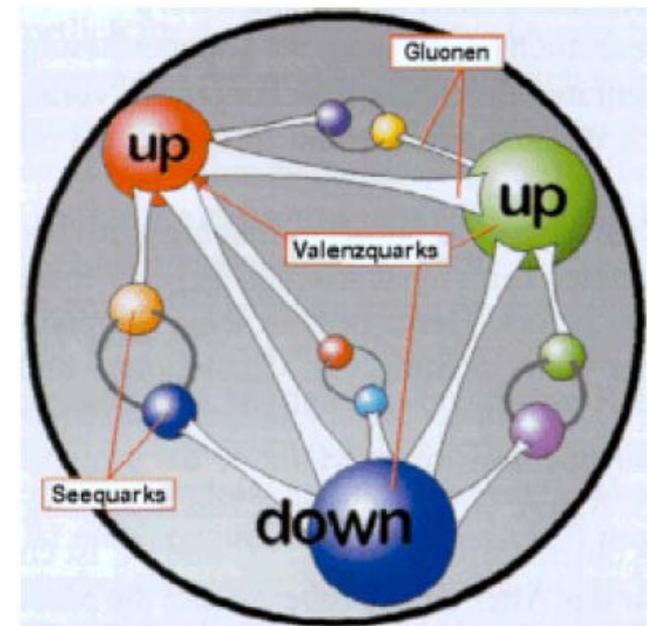
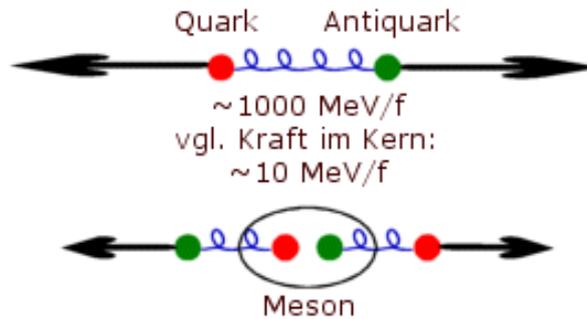
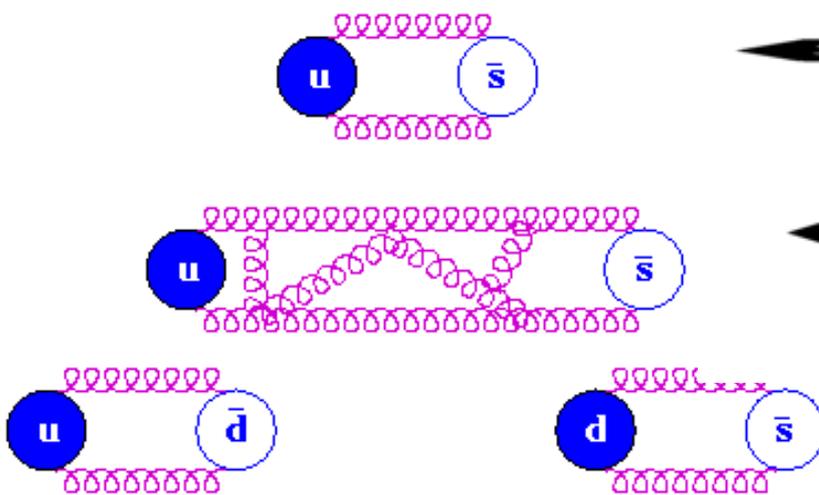
Quarks erscheinen nur im Verband (Bsp Proton = $|uud\rangle$, Neutron = $|ddu\rangle$)
 Quarks erscheinen frei beweglich im Verband



Eigenschaft der starken Kraft:

- die notwendige Energie zum separieren von Quarks **wächst mit dem Abstand** (Analogie: Federkraft)
- Gluonen tragen Farbladung und **koppeln aneinander**
- **Quarks sind eingesperrt**, es gibt nur farbneutrale Objekte

Grund:
 3 Ladungen: **rot**, **grün**, **blau**

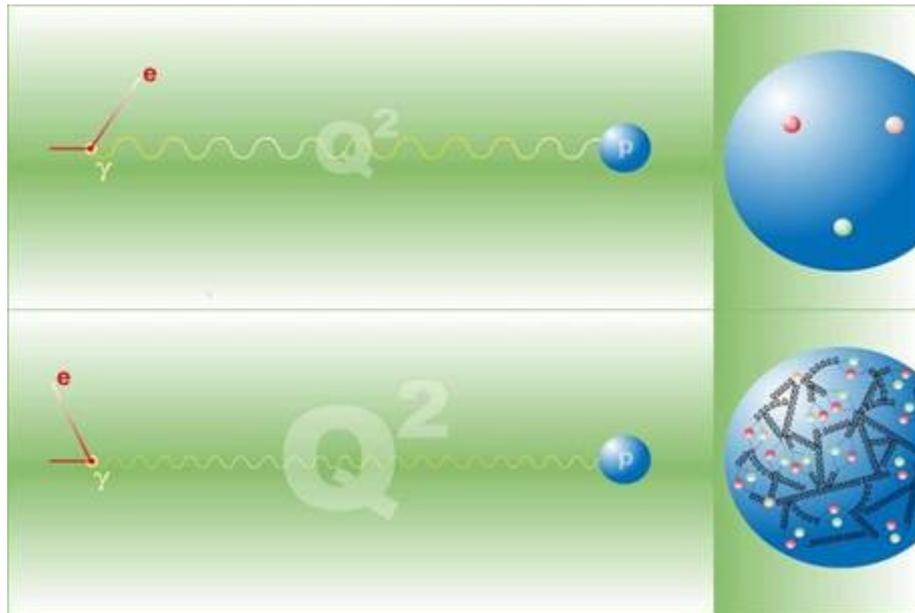
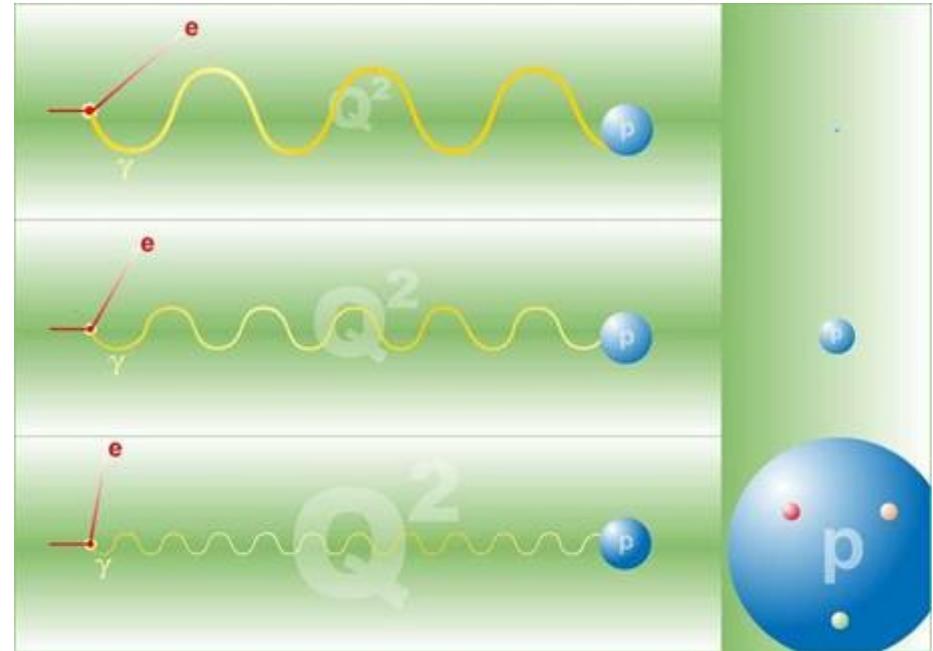


Innere Struktur des Protons

Mit **wachsender Energie**, werden **kleinere Strukturen** sichtbar:
Impulsübertrag Q^2 entspricht der **Ortsauflösung**:

Erkennen von **inneren Strukturen**

Die **Starke Wechselwirkung** ist für die Protonstruktur verantwortlich



Bei Experimenten mit Protonen muß deren **innere Struktur** gut bekannt sein.

Ausnutzung der inneren Struktur für Entdeckungen

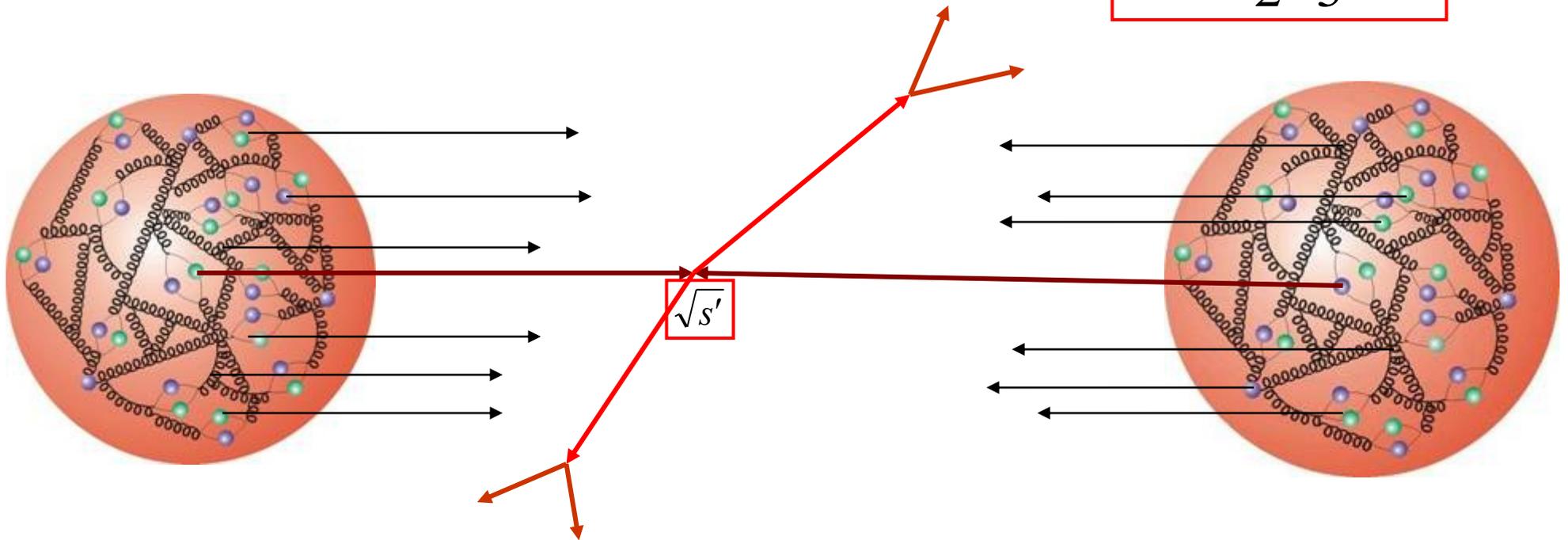
Suche nach neuen Teilchen und Phänomenen

\sqrt{s} : Gesamtenergie der Proton-Proton Wechselwirkung

Wechselwirkung nur von Bruchteilen des Protons (**Partonen: Quarks und Gluonen**)

Schwerpunktsenergie der kollidierenden **Partonen** (q, g)

$$\sqrt{s'} \approx \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{3} \cdot \sqrt{s}$$



Energie, um **neue Teilchen** mit **Massen bis zu 1 TeV (ca. 1000 Protonmassen)** zu erzeugen:

$$\sqrt{s} \approx 6 \cdot 2 \cdot 1 \text{ TeV} \approx 12 \text{ TeV} \rightarrow 14 \text{ TeV}$$

Prozess der Proton-Proton-Streuung

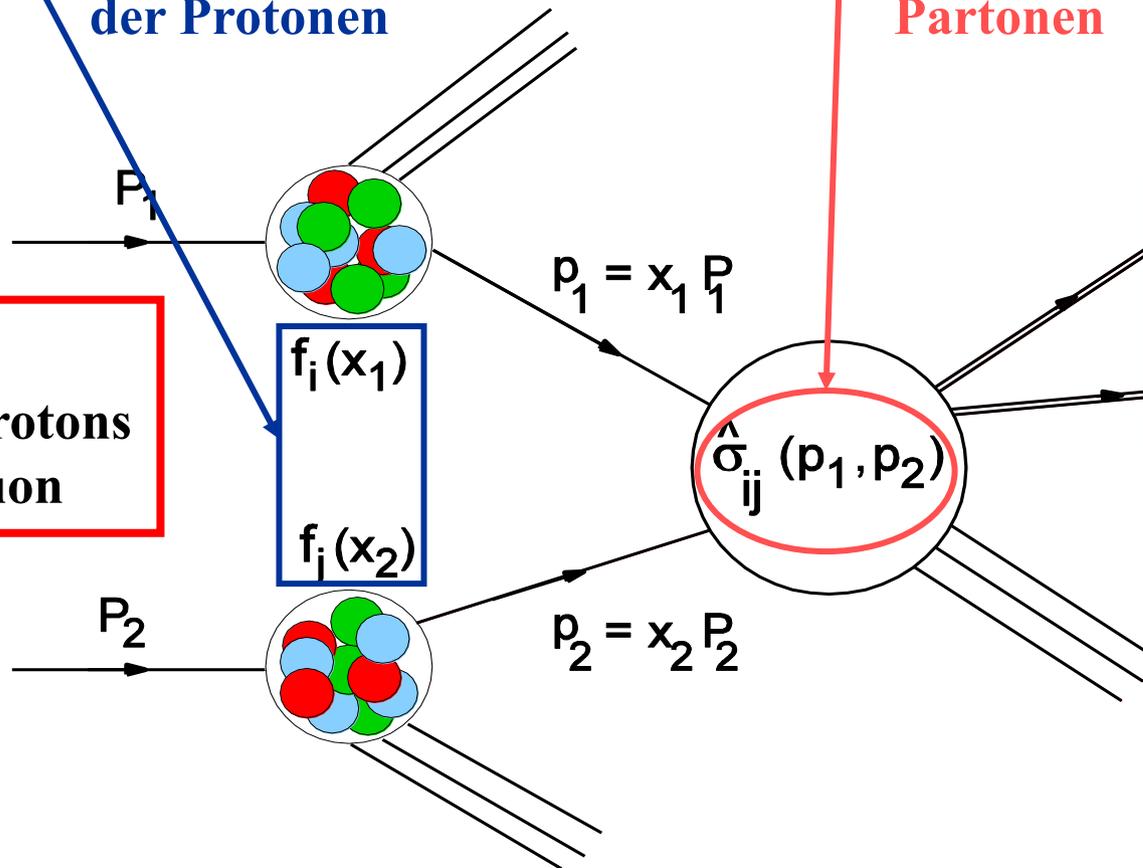
$$\sigma = \sum_{ij} \int f_i(x_1, \mu_F^2) f_j(x_2, \mu_F^2) \hat{\sigma}_{ij}(p_1, p_2, \mu_R^2, \mu_F^2) dx_1 dx_2$$

Innere Struktur
der Protonen

Wechselwirkung der
Partonen

Parton:
Bruchteil des Protons
Quark oder Gluon

Hadronisation:
Bildung von
neuen Teilchen

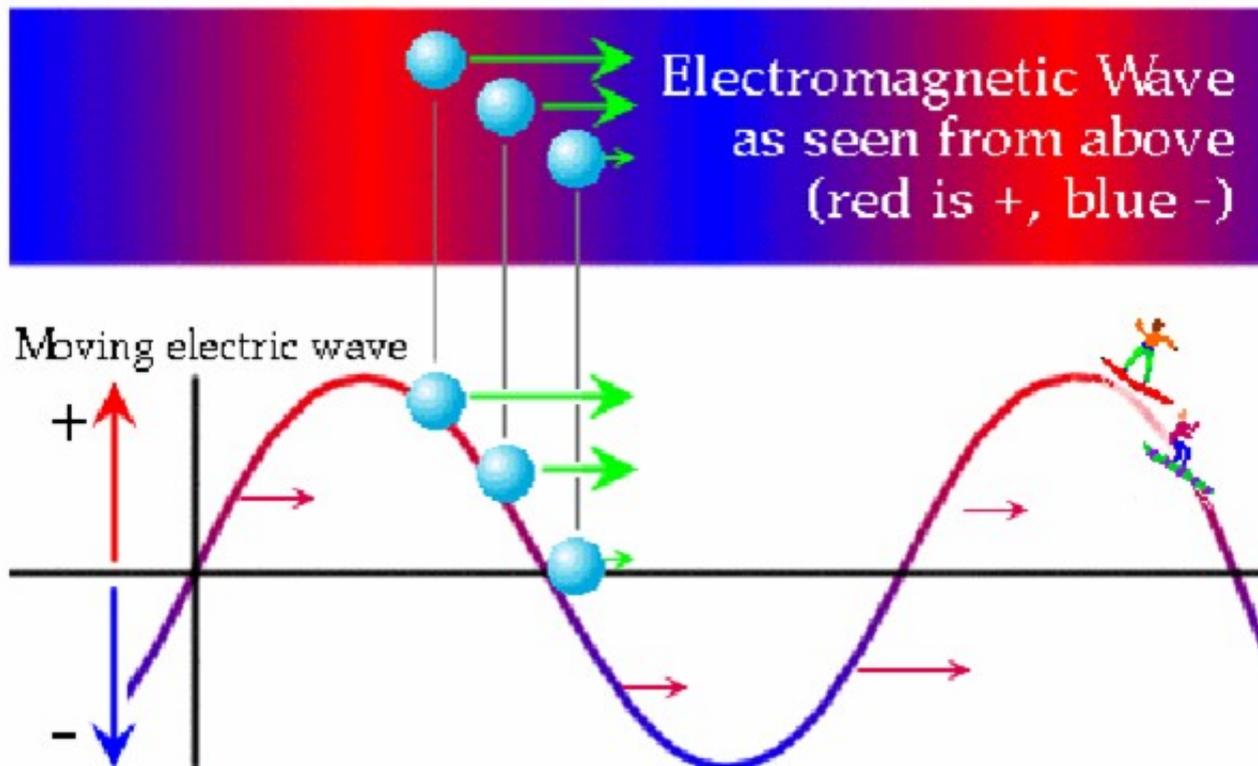
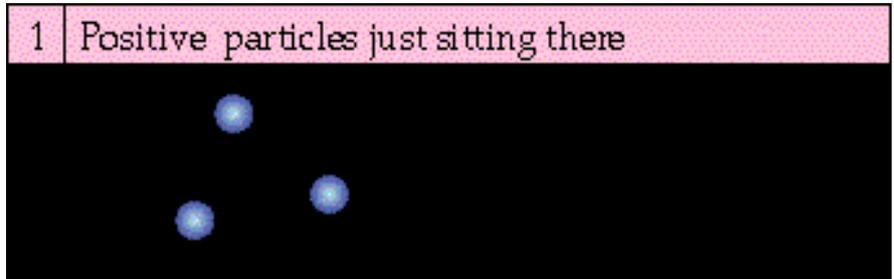


Prozess faktorisiert: entscheidend für theoretische Beschreibung

- **Was wir heute wissen:**
 - das Standardmodell: Teilchen und Kräfte
- **Methoden der Teilchenphysik:**
 - Streuexperimente und Teilchen-Kollision
- **Die Maschinen und Augen der Teilchenphysik:**
 - **Beschleuniger und Detektoren**
- **Symmetrien:**
 - Vereinheitlichung der Kräfte
 - Super-Symmetrie
- **Offene Frage der Teilchenphysik:**
 - Was uns noch fehlt
- **Die Weltmaschine LHC:**
 - Technologische Herausforderung
 - Experimente am LHC

Beschleunigung von Teilchen

Mit elektrischen Wechselfeldern:



nur möglich mit elektrisch geladenen Teilchen

Mit Magnetfeldern:

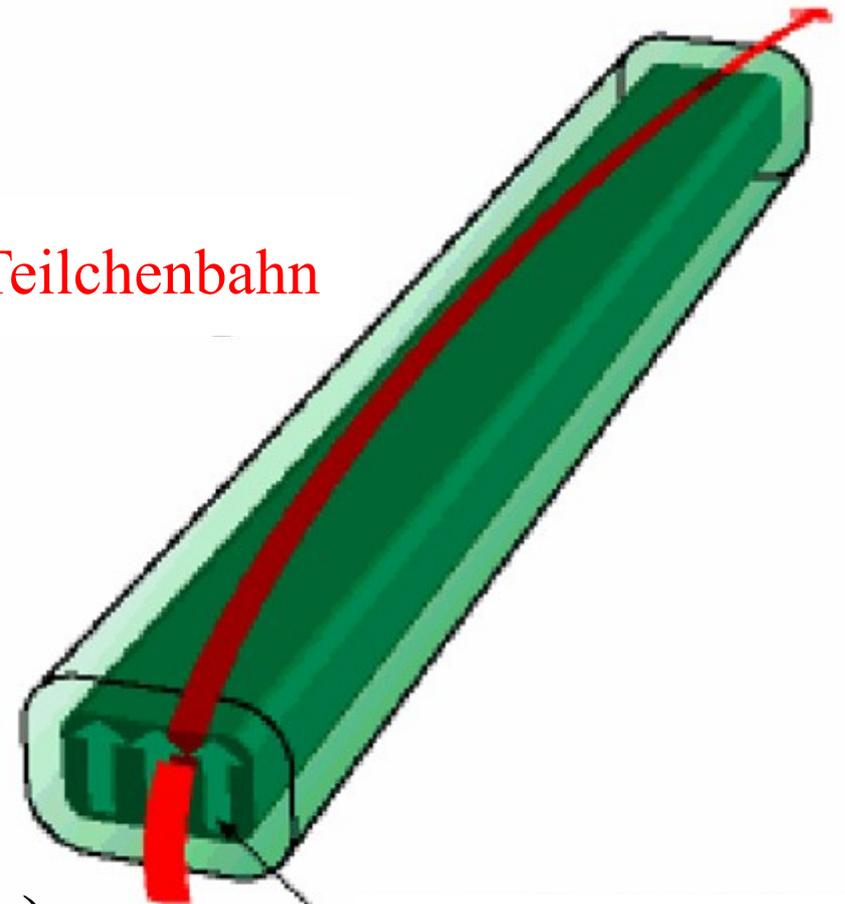
- Dipole zur Strahlführung
- Multipole zur Fokussierung

sehr starke Magnetfelder

Notwendig (LHC: bis zu 9 Tesla)

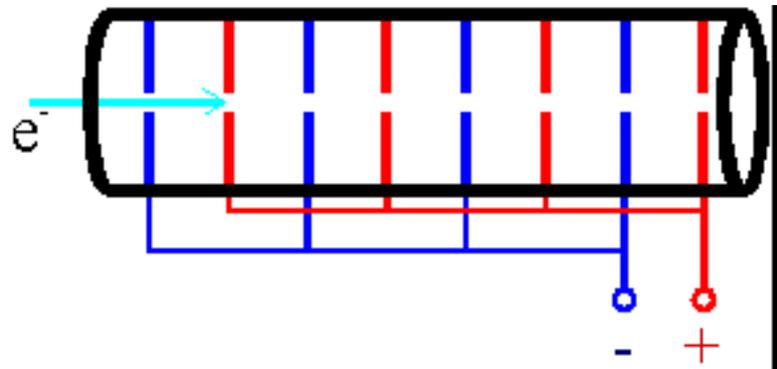
- hoher Stromverbrauch
- Nur möglich mit **supraleitenden Magneten**

Teilchenbahn



magnetisches Feld

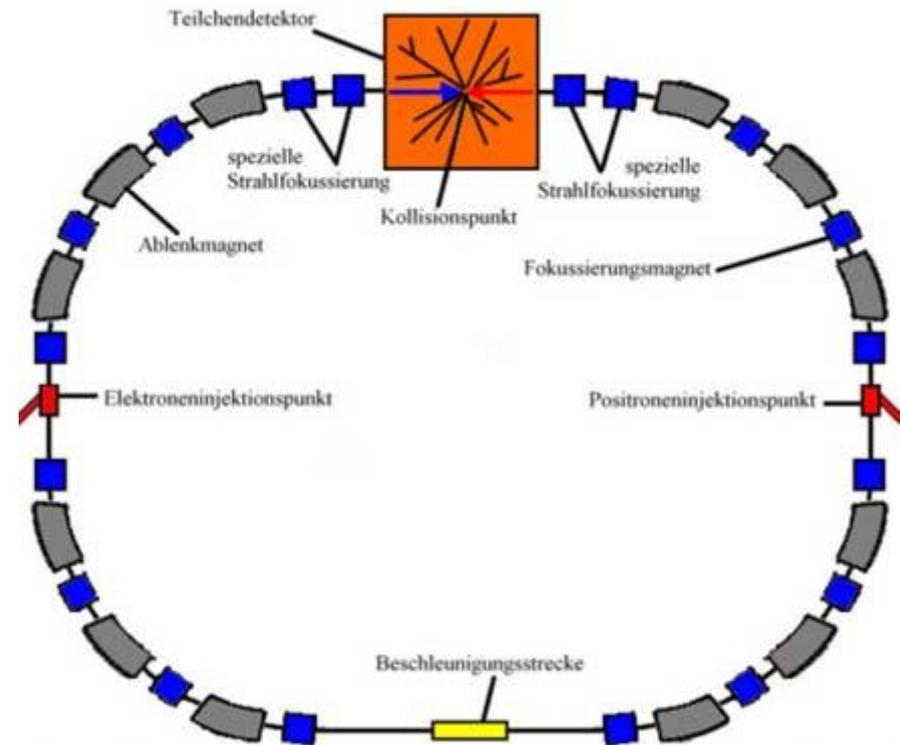
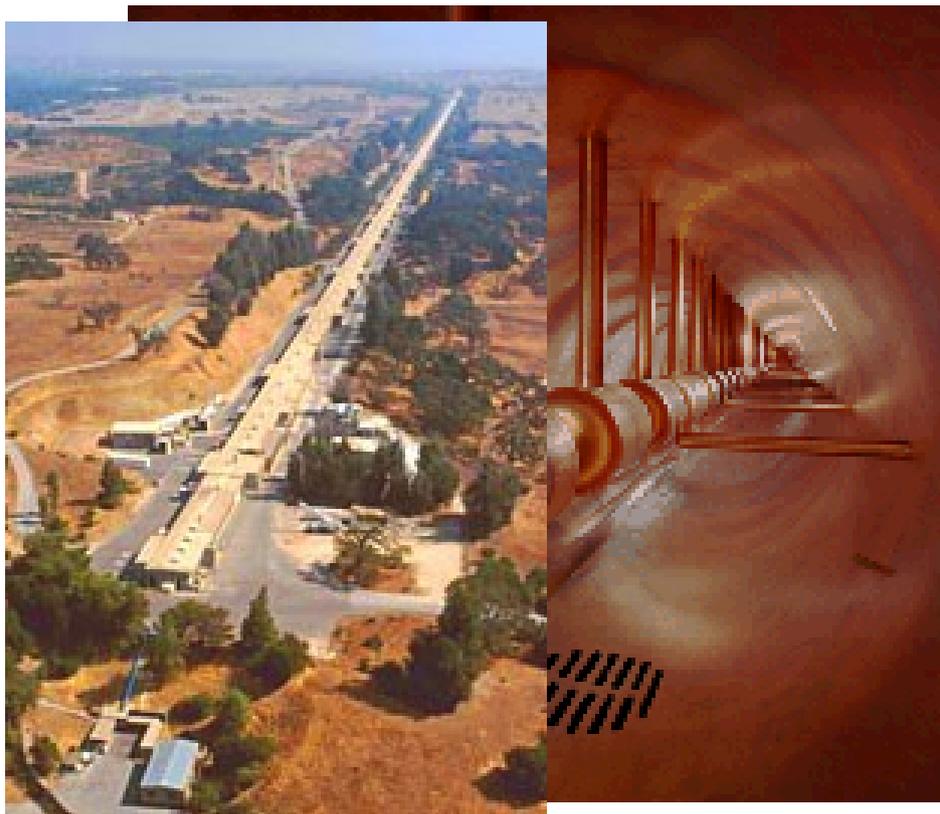
Verschiedene Arten von Beschleunigern



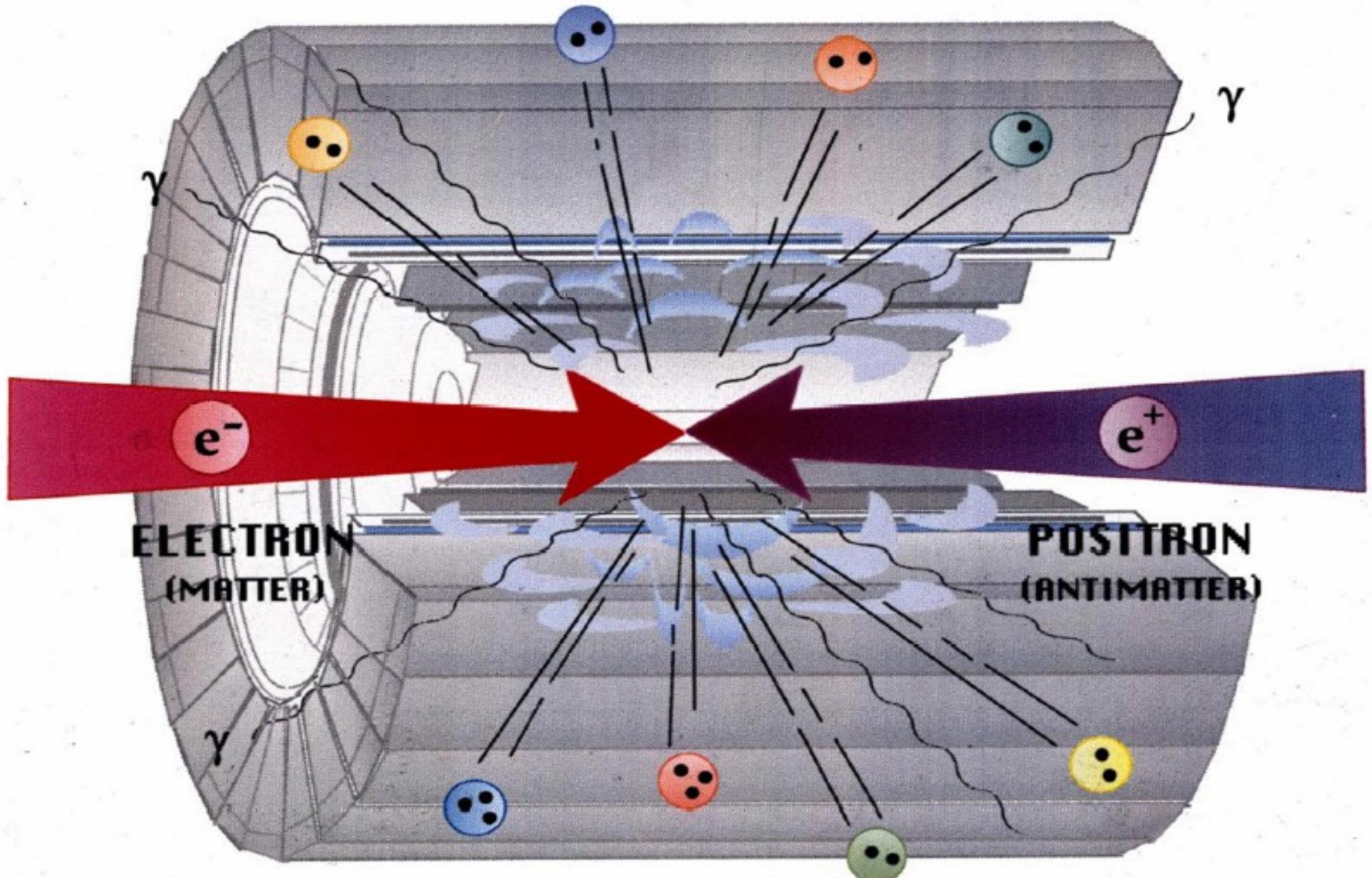
Simulation

Linearbeschleuniger:

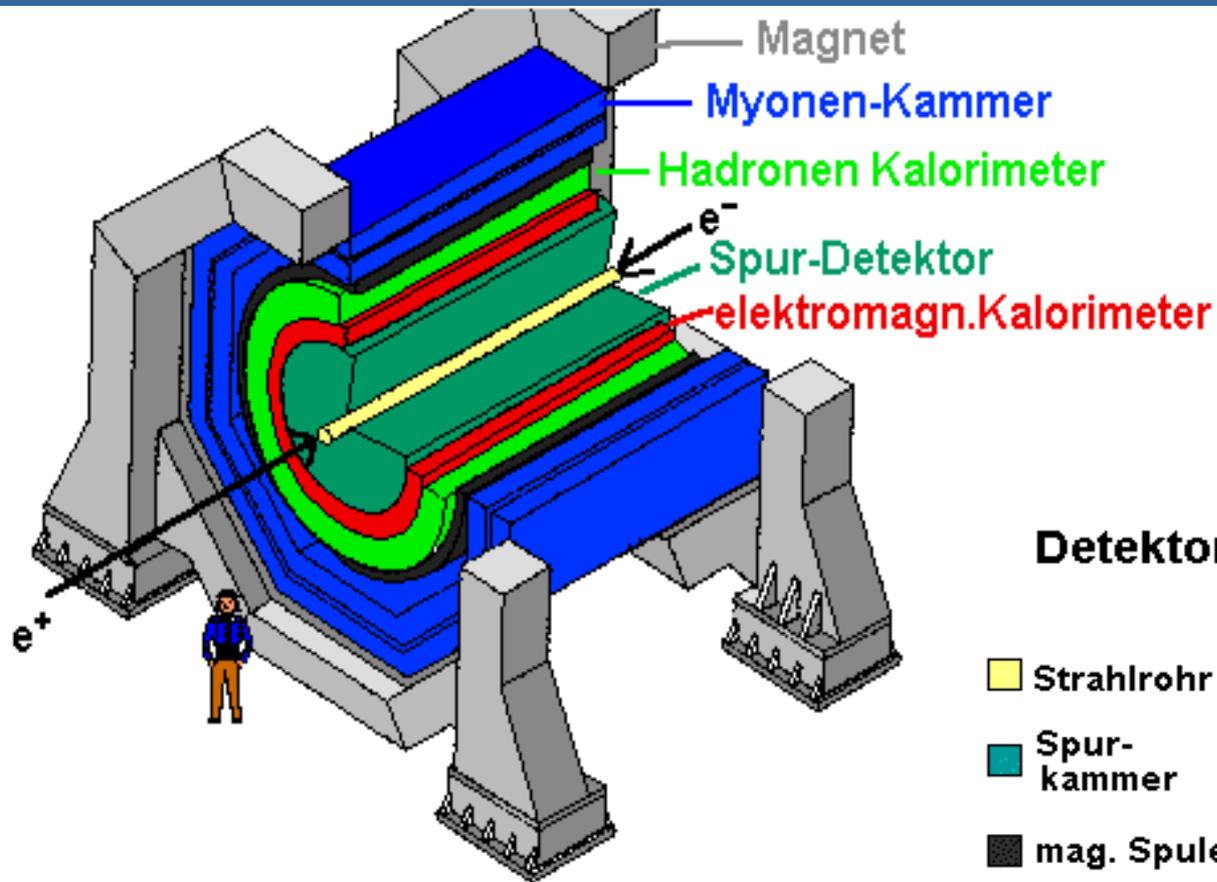
Speicherring:



Neue Teilchen entstehen ...



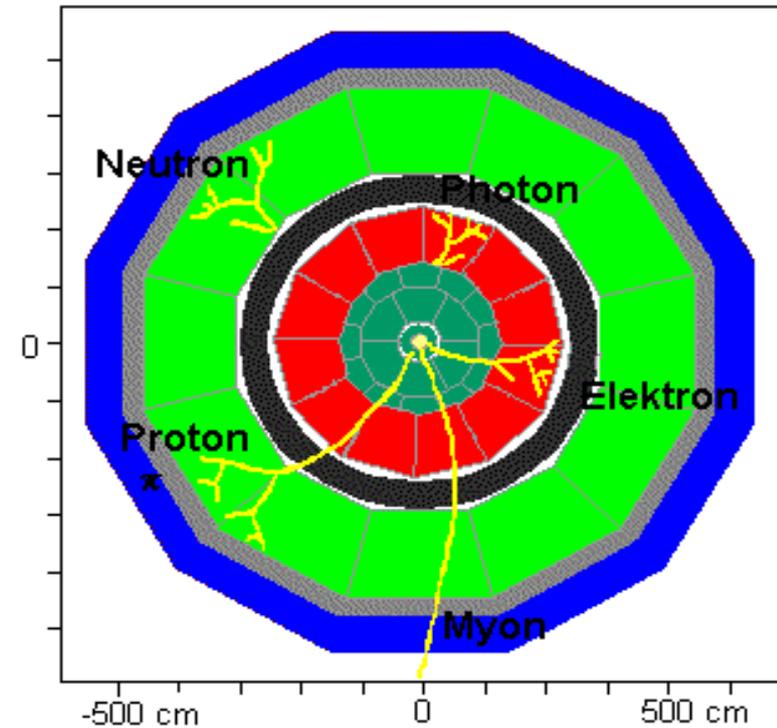
Teilchenidentifikation



Zwiebelschalenartiger Aufbau
verschiedener Komponenten
Jede Teilchenart hinterlässt bestimmte
Kombination von Signalen in den
Komponenten

Detektorquerschnitt mit Teilchenspuren

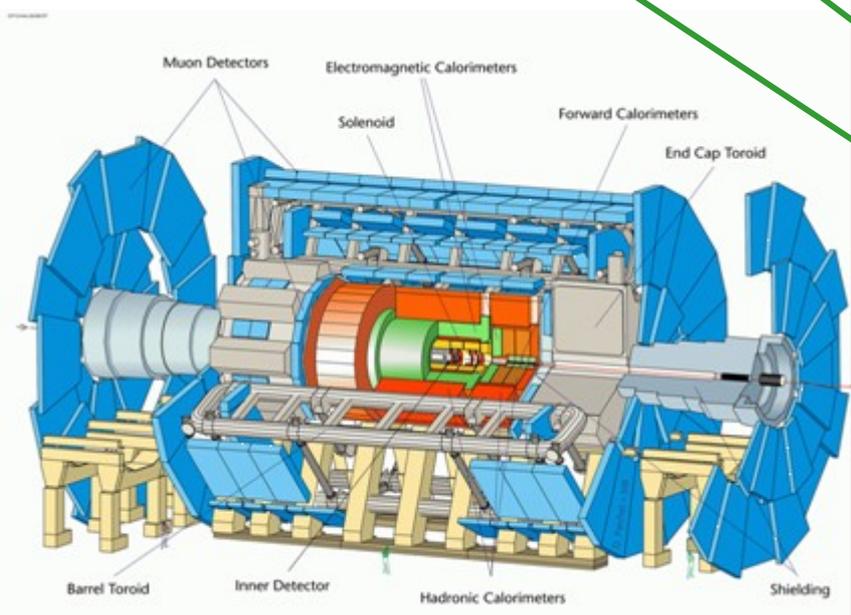
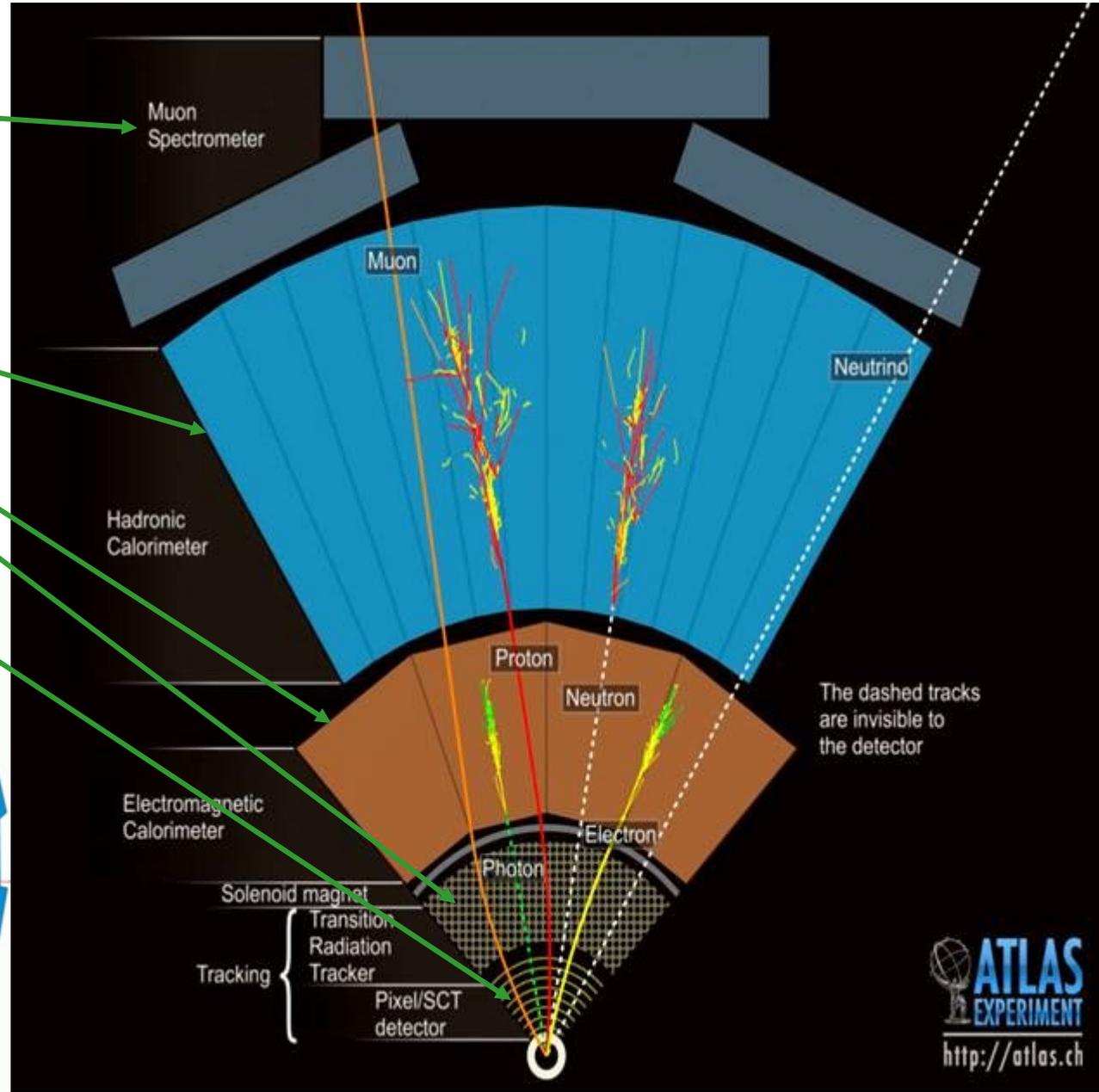
- Strahlrohr
- Spur-kammer
- mag. Spule
- elektr. mag. Kalorimeter
- hadron. Kalorimeter
- magnet. Eisen
- Myonen Kammer



- feststellbare **Teilcheneigenschaften:**
 - aus Quarks („Hadronen“)?
 - Lepton ?
 - elektr. geladen / ungeladen
 - leicht / schwer
 - Impuls und Energie

Teilchen-Identifikation bei ATLAS

- Detektorkomponenten:**
- **Myon-Spektrometer:**
 - Toroid mit Driftröhren**
 - **Energiemessung:**
 - Hadronisch
 - Elektromagnetisch
 - **Spurerkennung :**
 - Übergangsstrahlungs-Detektor
 - Halbleiter-Detektor



- **Was wir heute wissen:**
 - das Standardmodell: Teilchen und Kräfte
- **Methoden der Teilchenphysik:**
 - Streuexperimente und Teilchen-Kollision
- **Die Maschinen und Augen der Teilchenphysik:**
 - Beschleuniger und Detektoren
- **Symmetrien:**
 - **Vereinheitlichung der Kräfte**
 - **Super-Symmetrie**
- **Offene Frage der Teilchenphysik:**
 - Was uns noch fehlt
- **Die Weltmaschine LHC:**
 - Technologische Herausforderung
 - Experimente am LHC

Systematik in der Welt der Teilchen

Periodic Table of the Elements

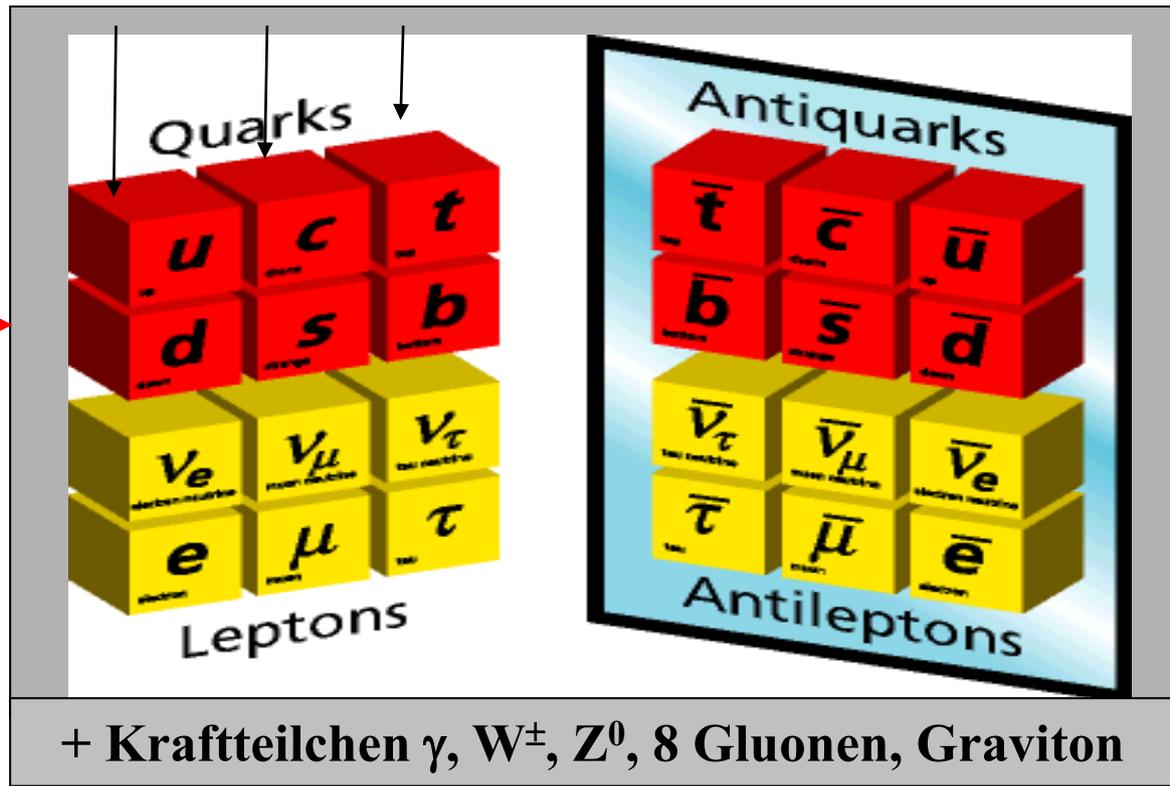
1																	2	
2	3	4											5	6	7	8	9	10
3	Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
4	Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
5	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
6	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
7	Cs	Ba	*La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
8	Fr	Ra	+Ac	Rf	Ha	106	107	108	109	110	111	112						

Naming conventions of new elements

58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103
Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr

Systematik ↔ Symmetrien

3 Familien von Quarks und Leptonen

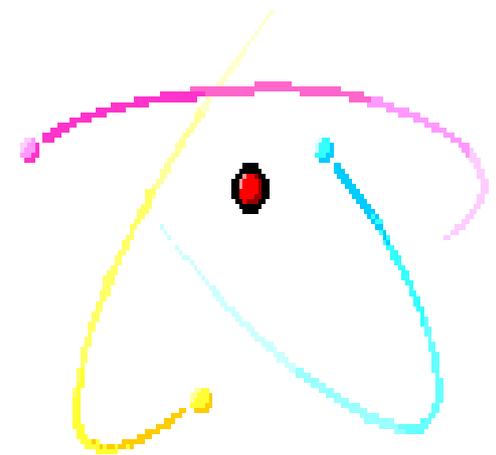


Brauchen nur 1. Familie für die stabile Materie:

Proton = $|uud\rangle$, Neutron = $|udd\rangle$,
Elektron = e

Symmetrie in der Physik

- Vereinfachung von Problemlösungen
 - Schwingungen des Doppelpendels
- Erkennen von Systemeigenschaften
 - Erhaltungsgrößen und Invarianzen
- Klassifizierung
 - Kristalle, Elementarteilchen, Theorien
- Vereinheitlichung der Naturkräfte
 - Elektro-Magnetismus



Symmetrie \leftrightarrow Fundamentales Naturgesetz

Das Noether-Theorem

Symmetrie \rightarrow Erhaltungsgröße (\rightarrow Kraftgesetz)



**Emmi Noether
(1882-1935)**

Physikalische Gesetze sind unabhängig von:

Nullpunkt der **Zeit**achse \rightarrow Erhaltung der **Energie**

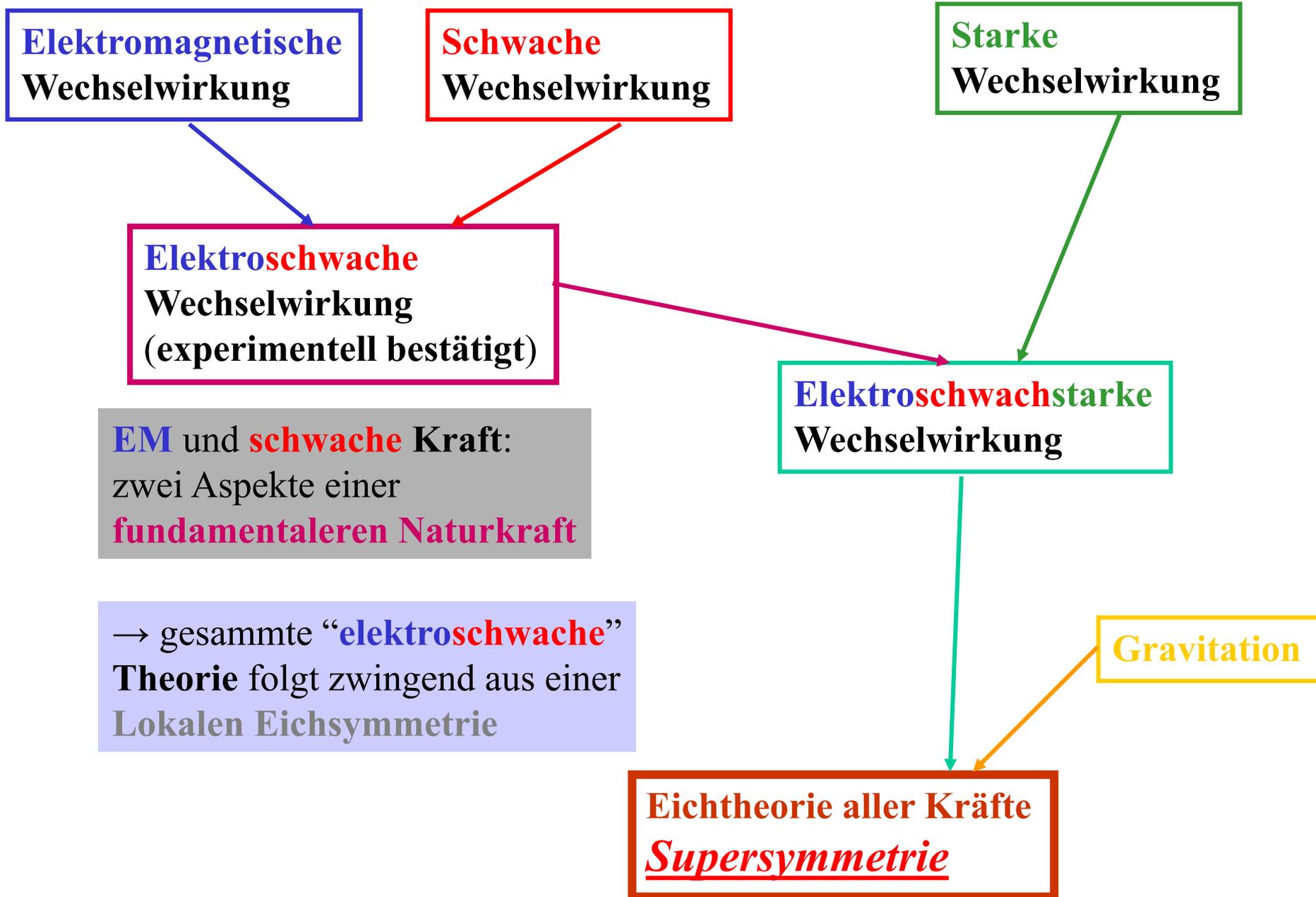
Nullpunkt der **Raum**achsen \rightarrow Erhaltung des **Impulses**
 \rightarrow **Newtonsches Kraftgesetz**

Richtung der **Raum**achsen \rightarrow Erhaltung des **Drehimpulses**

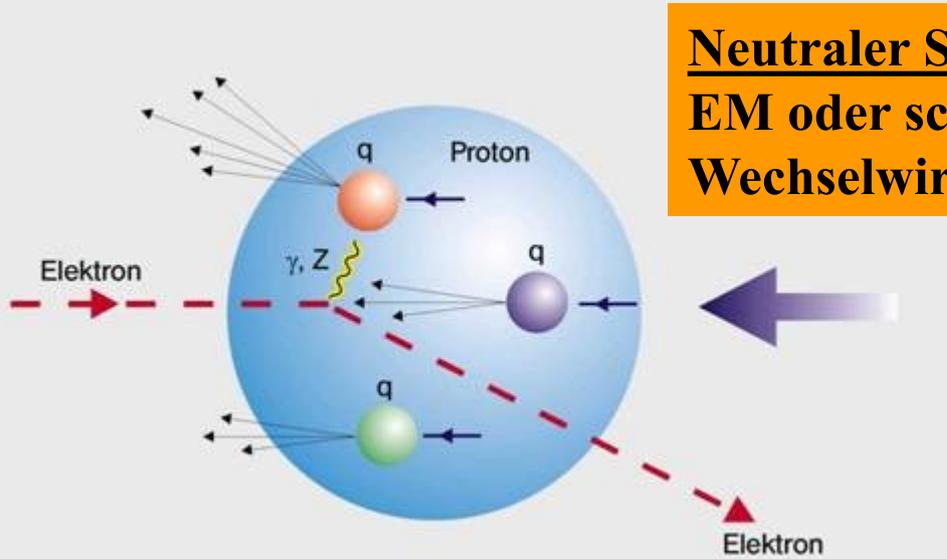
Folgerung aus dem Noether-Theorem:

- Die Natur besitzt eine **lokale Eichsymmetrie**
- Die **lokale Eichsymmetrie** ist ein **fundamentales Naturgesetz**
- Die gesamte Theorie der **elektromagnetischen** Kraft folgt zwingend aus dieser **lokalen Eichsymmetrie**
- Die **elektromagnetische** und die **schwache** Kraft sind nur zwei Aspekte einer fundamentaleren Naturkraft, der **elektroschwachen** Kraft
- Die gesamte Theorie der **elektroschwachen** Kraft folgt zwingend aus einer **lokalen Eichsymmetrie**
- Die verallgemeinerte **lokale Eichsymmetrie** ist ein noch **fundamentaleres Naturgesetz**

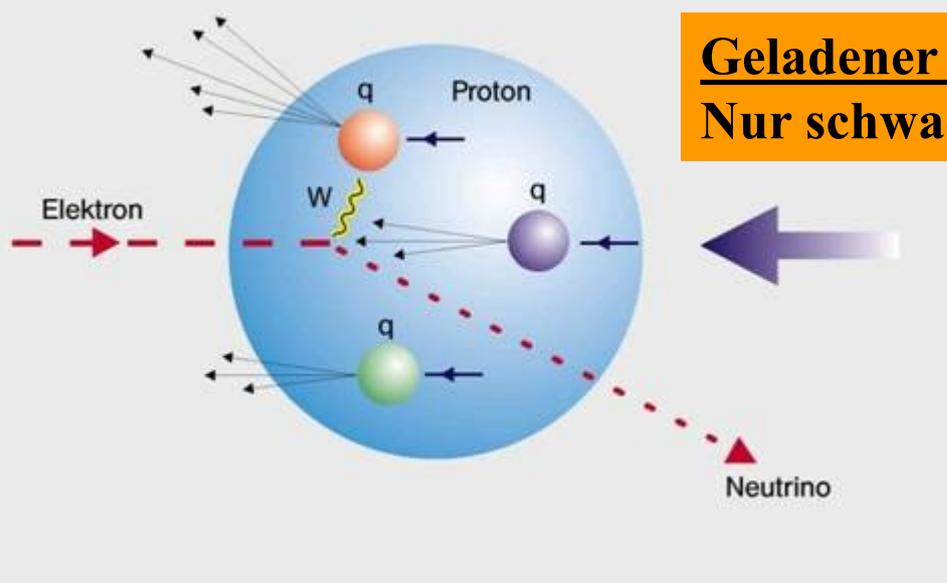
Vereinheitlichung der Naturkräfte



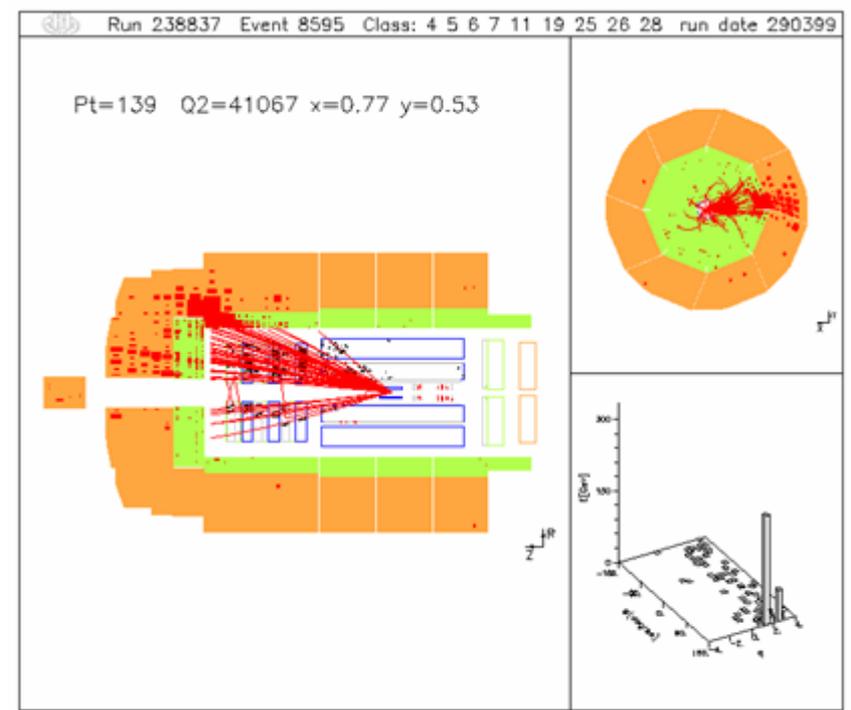
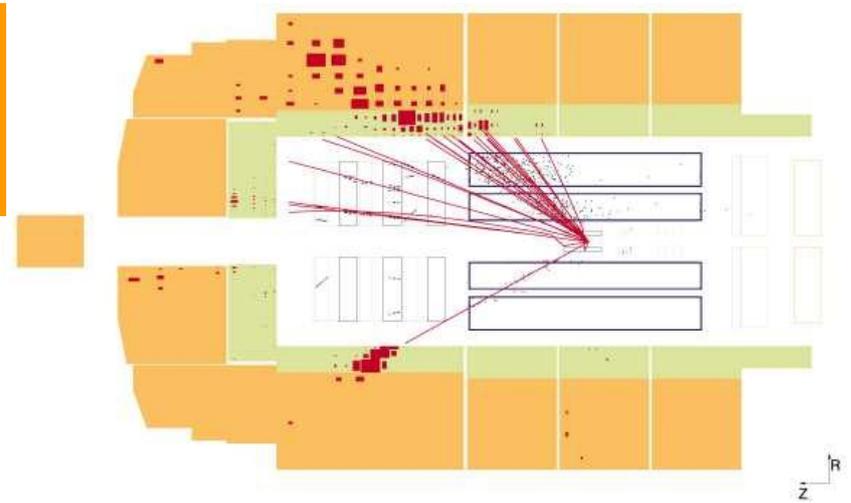
Messung der Elektroschwachen Vereinheitlichung



**Neutraler Strom:
EM oder schwache
Wechselwirkung**

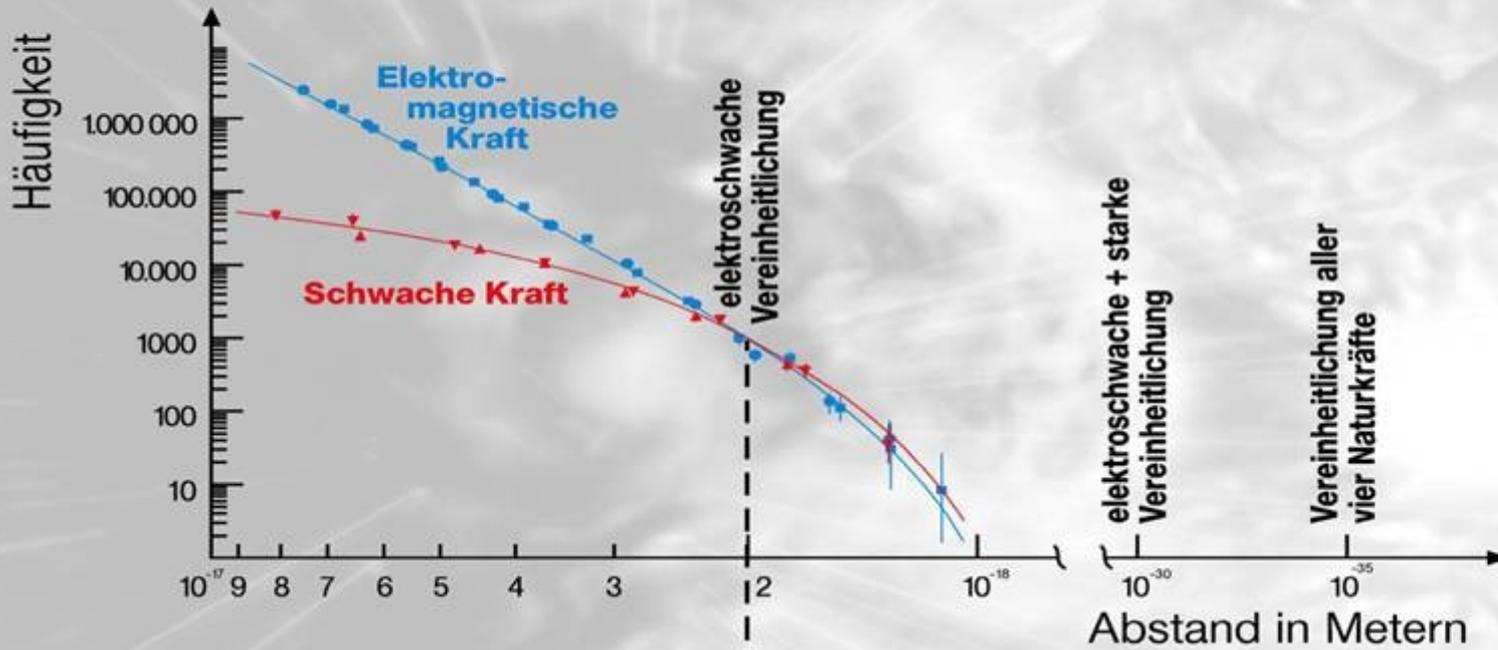


**Geladener Strom:
Nur schwache WW**



Messung der Vereinheitlichung

Messung bei HERA
am DESY Hamburg



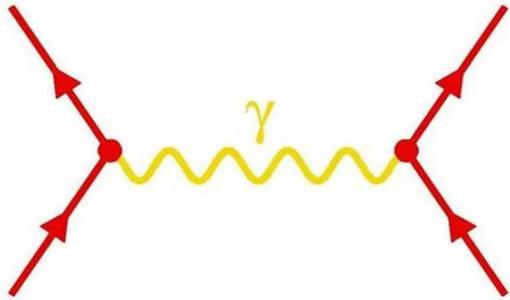
JANES G. M. IN 19

- **Was wir heute wissen:**
 - das Standardmodell: Teilchen und Kräfte
- **Methoden der Teilchenphysik:**
 - Streuexperimente und Teilchen-Kollision
- **Die Maschinen und Augen der Teilchenphysik:**
 - Beschleuniger und Detektoren
- **Symmetrien:**
 - Vereinheitlichung der Kräfte
 - Super-Symmetrie
- **Offene Frage der Teilchenphysik:**
 - Was uns noch fehlt
- **Die Weltmaschine LHC:**
 - Technologische Herausforderung
 - Experimente am LHC

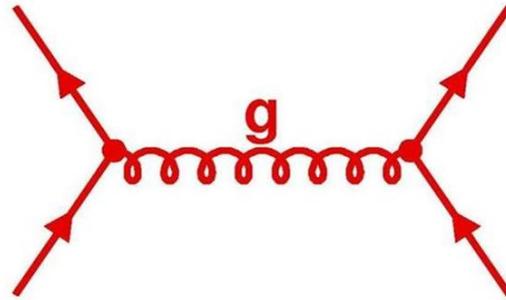
Vieles ist immer noch unverstanden:

- Woher kommt die Masse (**Higgs-Teilchen**)?
- Woher kommt die Materie (**CP – Verletzung**)?
- Gibt es **eine einzige fundamentale Kraft**?
- Welche **Symmetrie** liegt unserer Welt zugrunde?
- Gibt es **zusätzliche Dimensionen**?
- Kennen wir alle Teilchen (**Supersymmetrie**)?
- Verstehen wir das Weltall (**Dunkle Energie/Materie**)?

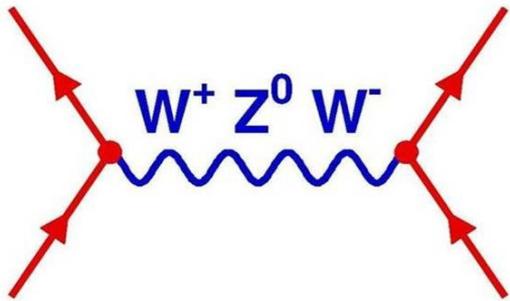
Ursprung der Masse: Higgs-Teilchen



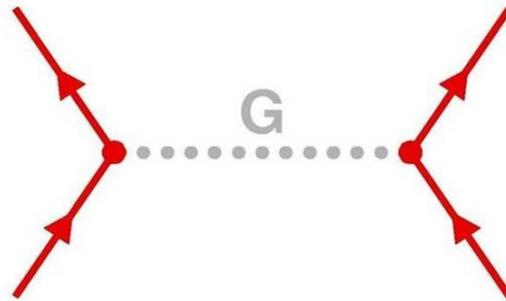
elektromagn. Kraft



starke Kraft



schwache Kraft



Gravitation

Hatten gesehen:

- perfekte Symmetrie ohne Masse
- Kräfte beschreibbar durch Eichtheorien:

Forderung: **Austauschteilchen müssen masselos sein**

Erfüllt für **Photon** und **Gluon**,
Aber nicht für **W- und Z-Bosonen**

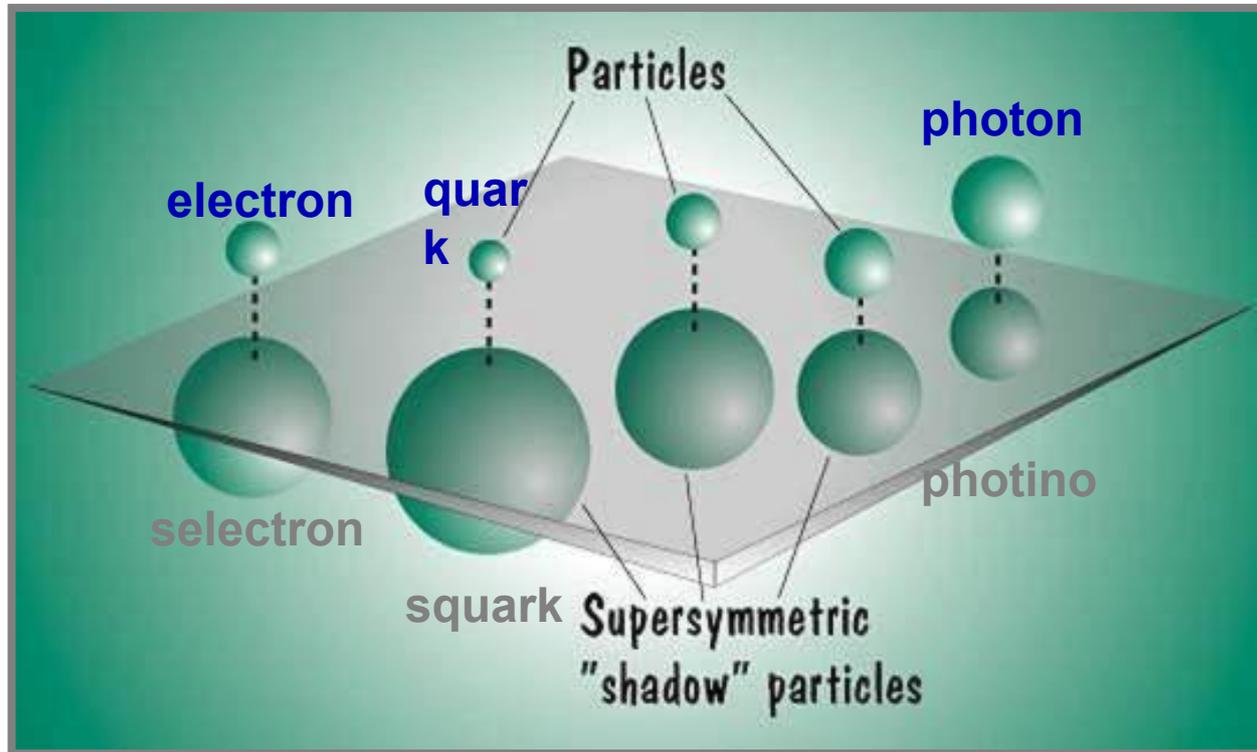
Konsequenz: → Symmetrie muss gebrochen sein ←

- Symmetriebrechung erzeugt neues, massives Feld: **Higgs-Feld**
- Konsequenz der Symmetrie-Brechung: **W- und Z-Bosonen** werden massiv
- Erzeugung von Massen durch Kopplung an das Higgs-Feld
- Teil des Standard-Modelles, noch nicht entdeckt

Super-Symmetrie

Fermion

Boson



Boson

Fermion

Super-Symmetrie

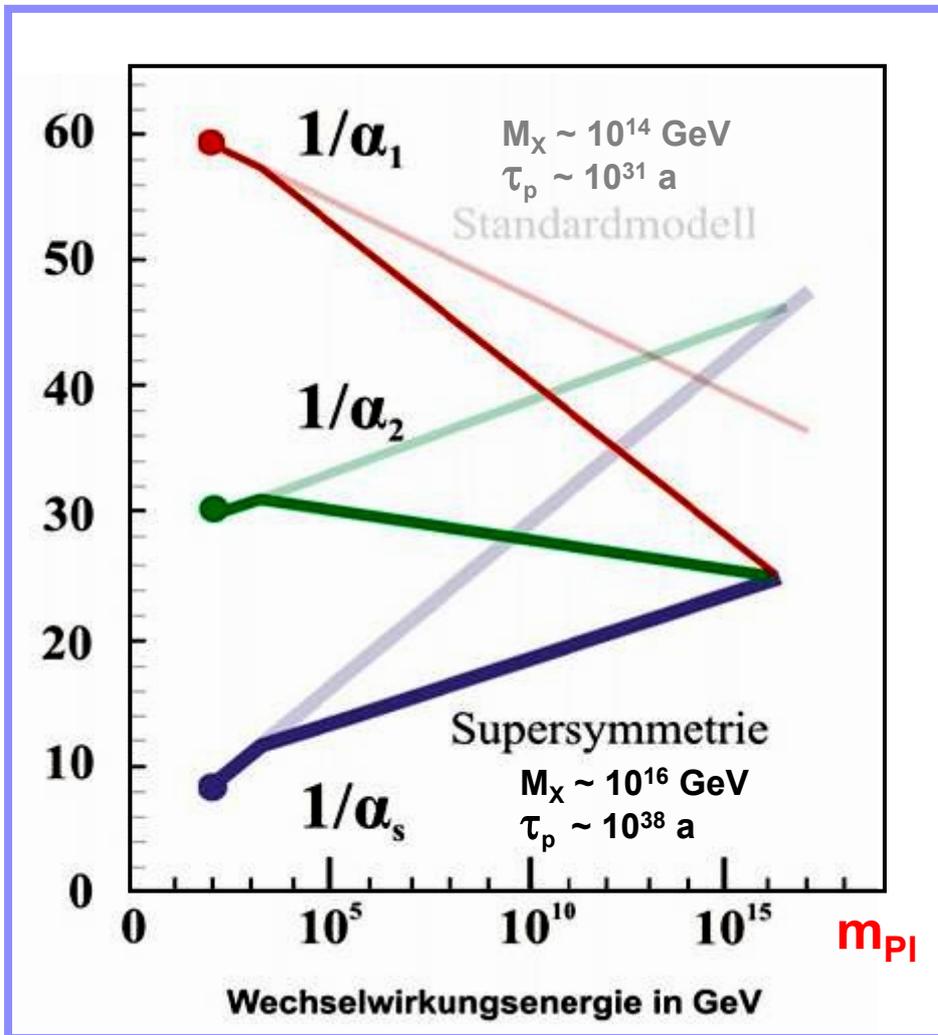
vereinigt

Bosonen mit Fermionen

Kraft mit Materie

Supersymmetrie

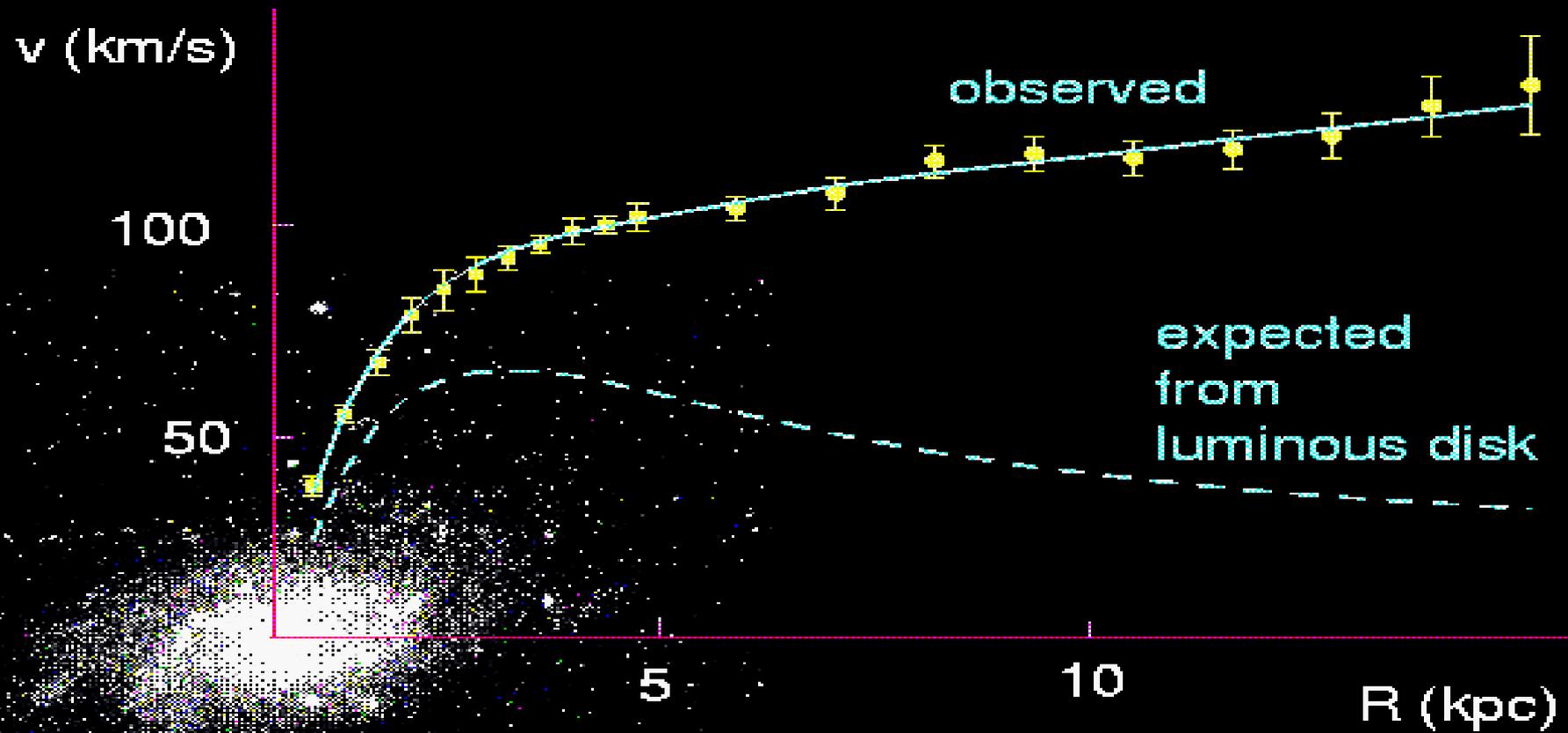
Vereinigt die Grundkräfte und liefert



- einen Vereinigungs-Punkt bei $M_X = 2 \cdot 10^{16}$ GeV !
- Proton-Lebensdauer $>$ expt. Grenze
- leichtestes SUSY-Teilchen
Dunkle Materie im Universum !
- beseitigt mathemat. Inkonsistenzen in der Theorie

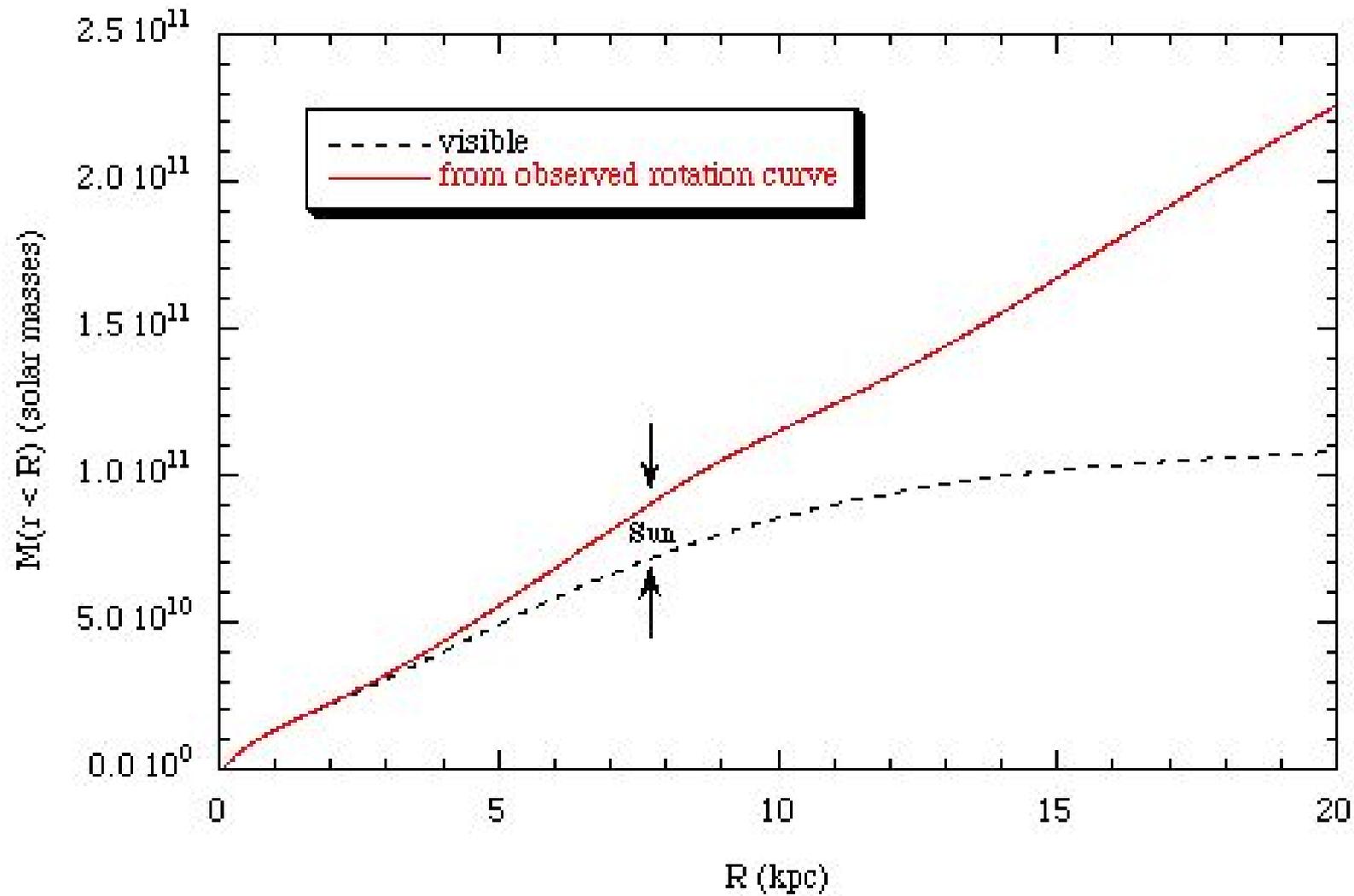
Hinweise auf Dunkle Materie

Rotationskurven von Galaxien: Die Beobachtung widerspricht der Vorhersage!

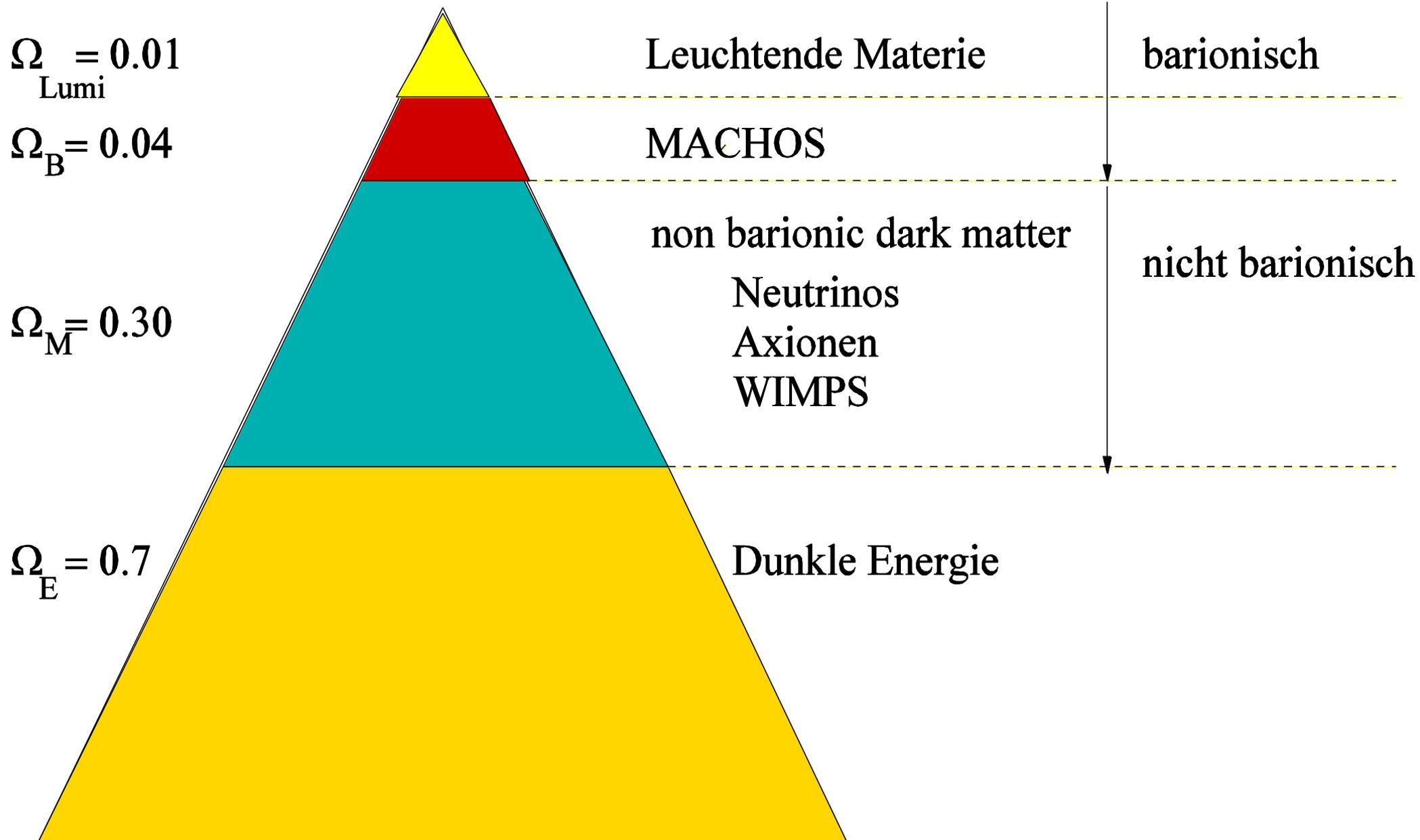


M33 rotation curve

Verteilung der Dunklen Materie



Wir kennen nur die Spitze des Eisberges



- **Was wir heute wissen:**
 - das Standardmodell: Teilchen und Kräfte
- **Methoden der Teilchenphysik:**
 - Streuexperimente und Teilchen-Kollision
- **Die Maschinen und Augen der Teilchenphysik:**
 - Beschleuniger und Detektoren
- **Symmetrien:**
 - Vereinheitlichung der Kräfte
 - Super-Symmetrie
- **Offene Frage der Teilchenphysik:**
 - Was uns noch fehlt
- **Die Weltmaschine LHC:**
 - **Technologische Herausforderung**
 - **Experimente am LHC**

Wozu den LHC?

- Steigerung der Schwerpunktsenergie (Energie, die zur Erzeugung neuer Teilchen zur Verfügung steht) von **1800 GeV** auf **14000 GeV**
- Erlaubt die **Entdeckung neuer Teilchen** sowie den Zugang in bislang **unerforschte Bereiche** im **Standard Modell** der Teilchenphysik:
 - **Higgs (Standard Modell)**
 - **Supersymmetrische Teilchen (Erweiterung des Standardmodelles)**
- Enorme Steigerung der Luminosität (ein Maß für die Rate der Teilchenkollisionen) um **einen Faktor 100**

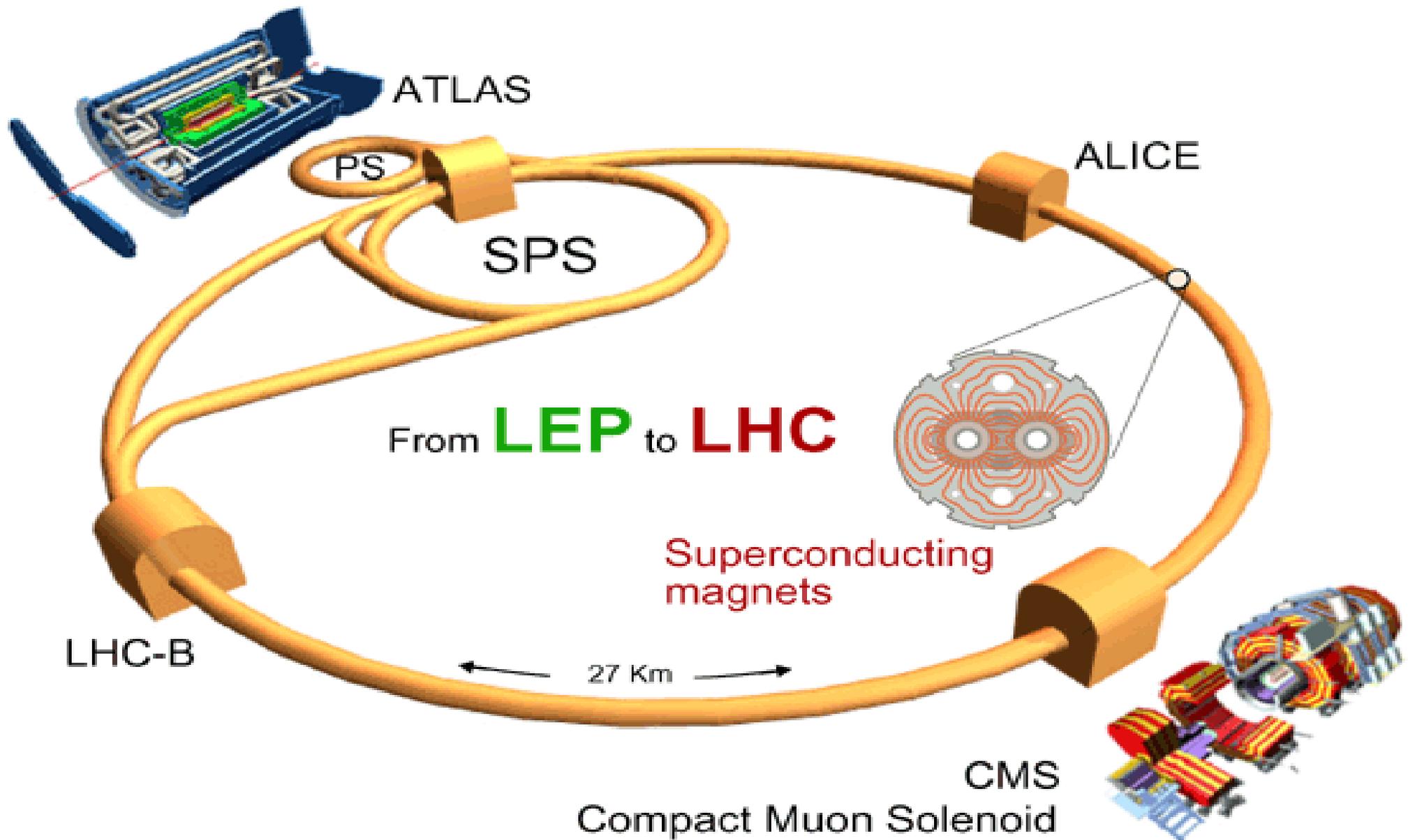
Herausforderungen beim LHC

- Strahlen enthalten viele Protonen bei sehr hoher Energie: **extrem gute Kontrolle notwendig**
- Magnete:
 - sehr große Felder (**9 Tesla**) notwendig: Supraleitung!
 - LEP-Tunnel: kompakte Bauweise
 - komplett neues Design!

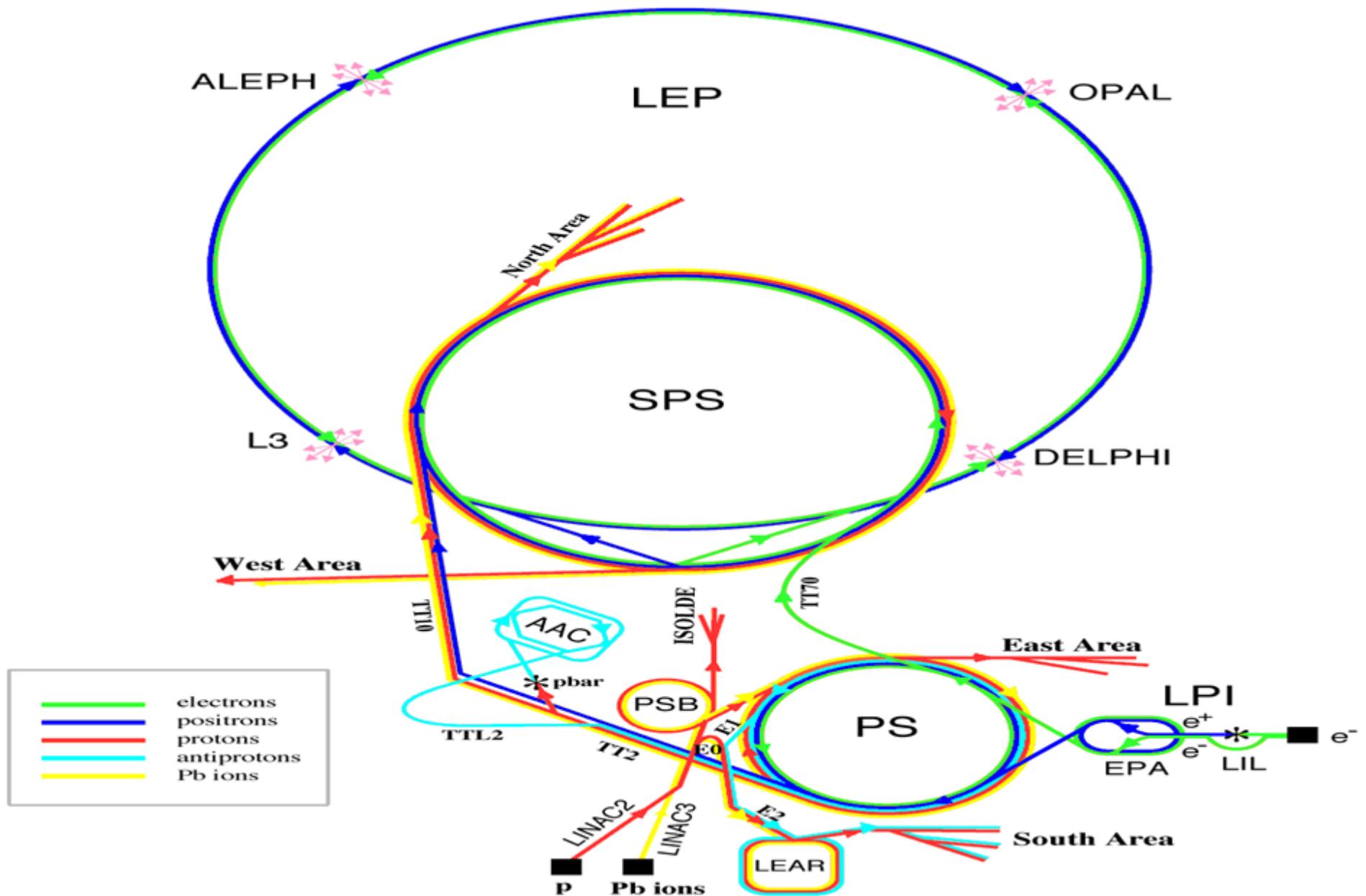




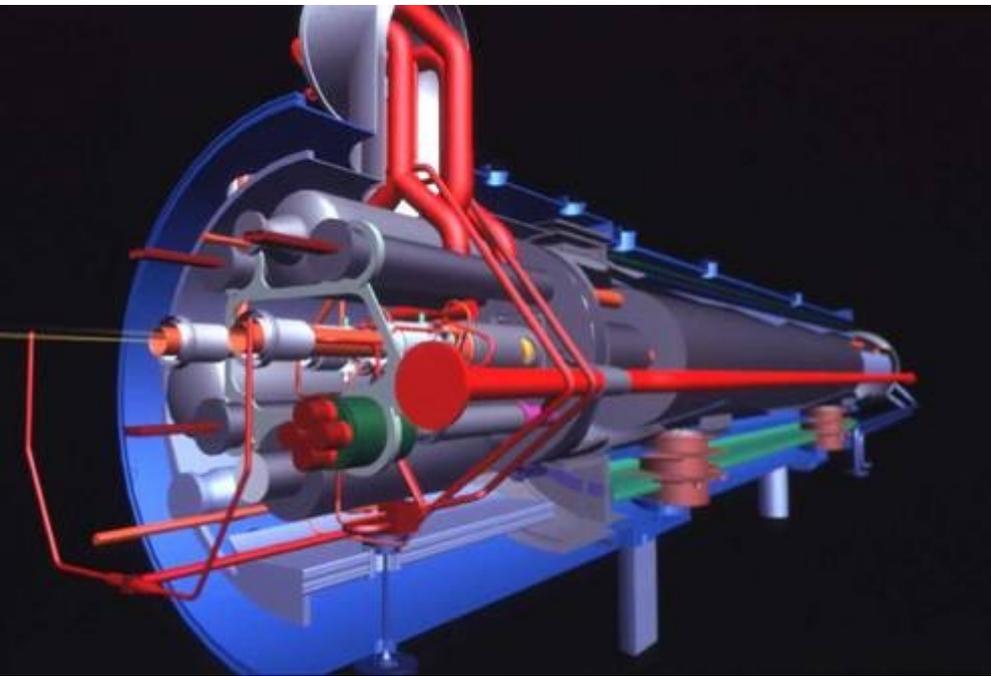
LHC: Das Instrument der Zukunft



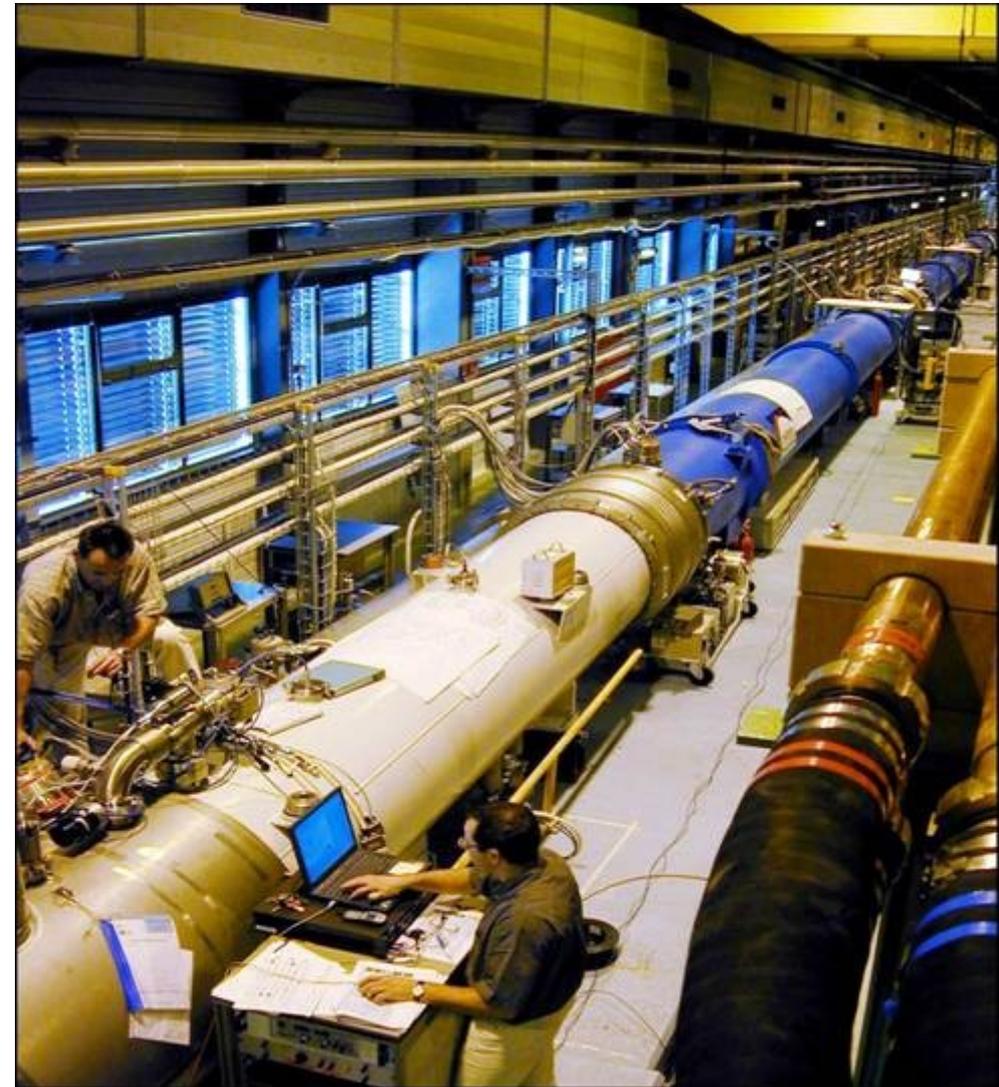
Beschleuniger-Systeme am CERN



Die Magnete des LHC



**Erstes komplettes LHC Element (~ 120 m) :
6 Diopole + 4 Quadrupole
Erfolgreicher Test bei voller Leistung (12 kA)**



Installation des LHC



- Magnete werden
- abgesenkt
 - transportiert
 - verbunden



Tests der Dipole im Tunnel

**Installationsrate:
Max. 20 Dipole pro Woche**

- Installation Abgeschlossen zu Beginn 2008**
- Erfolgreiche Hochstromtests
 - Unfall bei einer Verbindung im September 2008



Dipol-Verbindungen



ATLAS: weltweite Kollaboration

(Status Oktober 2005)

34 Länder

153 Institute

1650 Wissenschaftler

(1330 mit PhD)

Neue Mitglieder 2005:

UN La Plata, U Buenos Aires (Argentina)

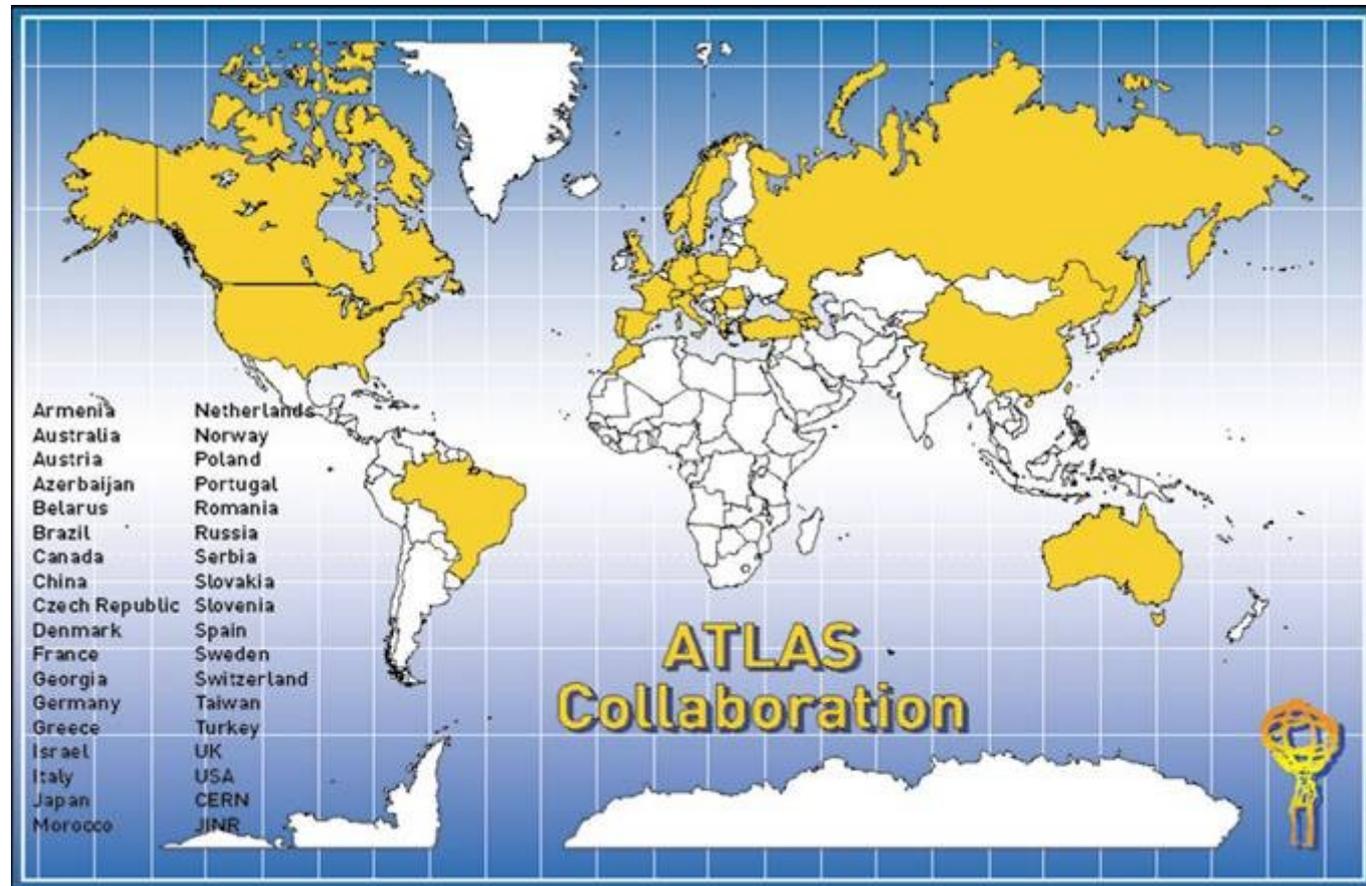
TU Dresden, U Giessen (Germany)

U Oregon, U Oklahoma (USA)

Neue Mitglieder seit 2006:

Humboldt-Universität zu Berlin,

DESY, SLAC, New York U (USA)



Albany, Alberta, NIKHEF Amsterdam, Ankara, LAPP Ancey, Argonne NL, Arizona, UT Arlington, Athens, NTU Athens, Baku,

IFAE Barcelona, Belgrade, Bergen, Berkeley LBL and UC, Bern, Birmingham, Bologna, Bonn, Boston, Brandeis, Bratislava/SAS Kosice, Brookhaven NL, Bucharest, Cambridge, Carleton, Casablanca/Rabat, CERN, Chinese Cluster, Chicago, Clermont-Ferrand, Columbia, NBI Copenhagen, Cosenza, INP Cracow, FPNT Cracow, Dortmund, JINR Dubna, Duke, Frascati, Freiburg, Geneva, Genoa, Glasgow, LPSC Grenoble, Technion Haifa, Hampton, Harvard, Heidelberg, Hiroshima, Hiroshima IT, Indiana, Innsbruck, Iowa SU, Irvine UC, Istanbul Bogazici, KEK, Kobe, Kyoto, Kyoto UE, Lancaster, Lecce, Lisbon LIP, Liverpool, Ljubljana,

QMW London, RHBNC London, UC London, Lund, UA Madrid, Mainz, Manchester, Mannheim, CPPM Marseille, Massachusetts, MIT, Melbourne, Michigan, Michigan SU, Milano, Minsk NAS, Minsk NCPHEP, Montreal, McGill Montreal, FIAN Moscow,

ITEP Moscow, MEPhI Moscow, MSU Moscow, Munich LMU, MPI Munich, Nagasaki IAS, Naples, Naruto UE, New Mexico, Nijmegen, BINP Novosibirsk, Ohio SU, Okayama, Oklahoma, LAL Orsay, Osaka, Oslo, Oxford, Paris VI and VII, Pavia, Pennsylvania, Pisa, Pittsburgh, CAS Prague, CU Prague, TU Prague, IHEP Protvino, Ritsumeikan, UFRJ Rio de Janeiro, Rochester, Rome I, Rome II, Rome III, Rutherford Appleton Laboratory, DAPNIA Saclay, Santa Cruz UC, Sheffield, Shinshu, Siegen,

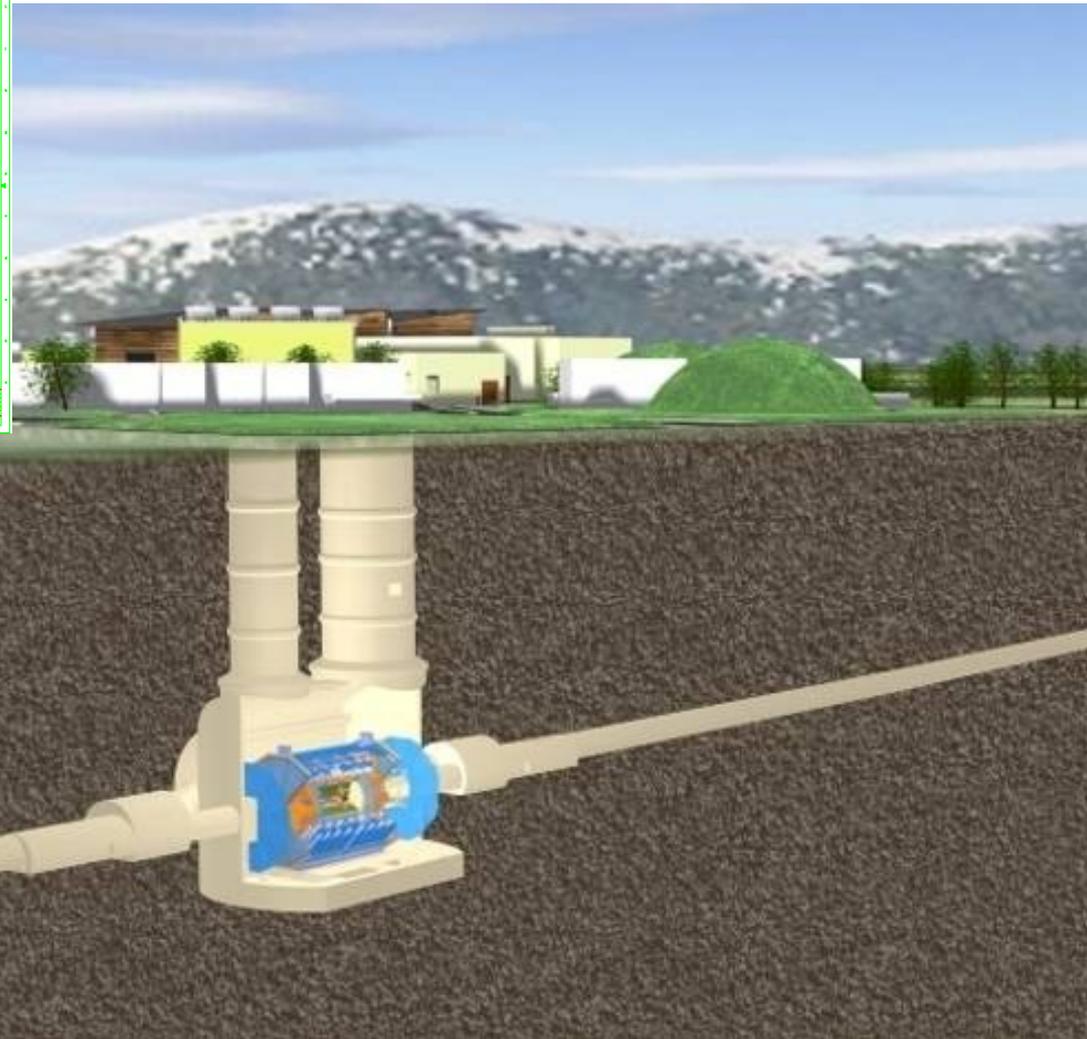
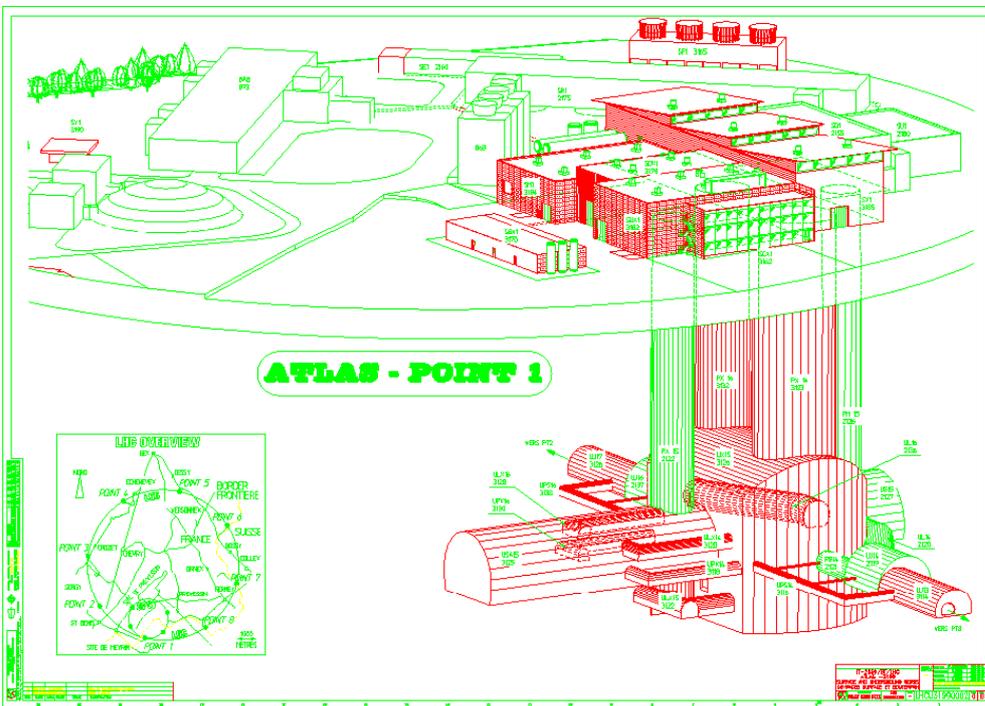
Simon Fraser Burnaby, Southern Methodist Dallas, NPI Petersburg, Stockholm, KTH Stockholm, Stony Brook, Sydney, AS Taipei, Tbilisi, Tel Aviv, Thessaloniki, Tokyo ICEPP, Tokyo MU, Toronto, TRIUMF, Tsukuba, Tufts, Udine, Uppsala, Urbana UI, Valencia,

UBC Vancouver, Victoria, Washington, Weizmann Rehovot, Wisconsin, Wuppertal, Yale, Yerevan

Ein Teil der ATLAS-Kollaboration

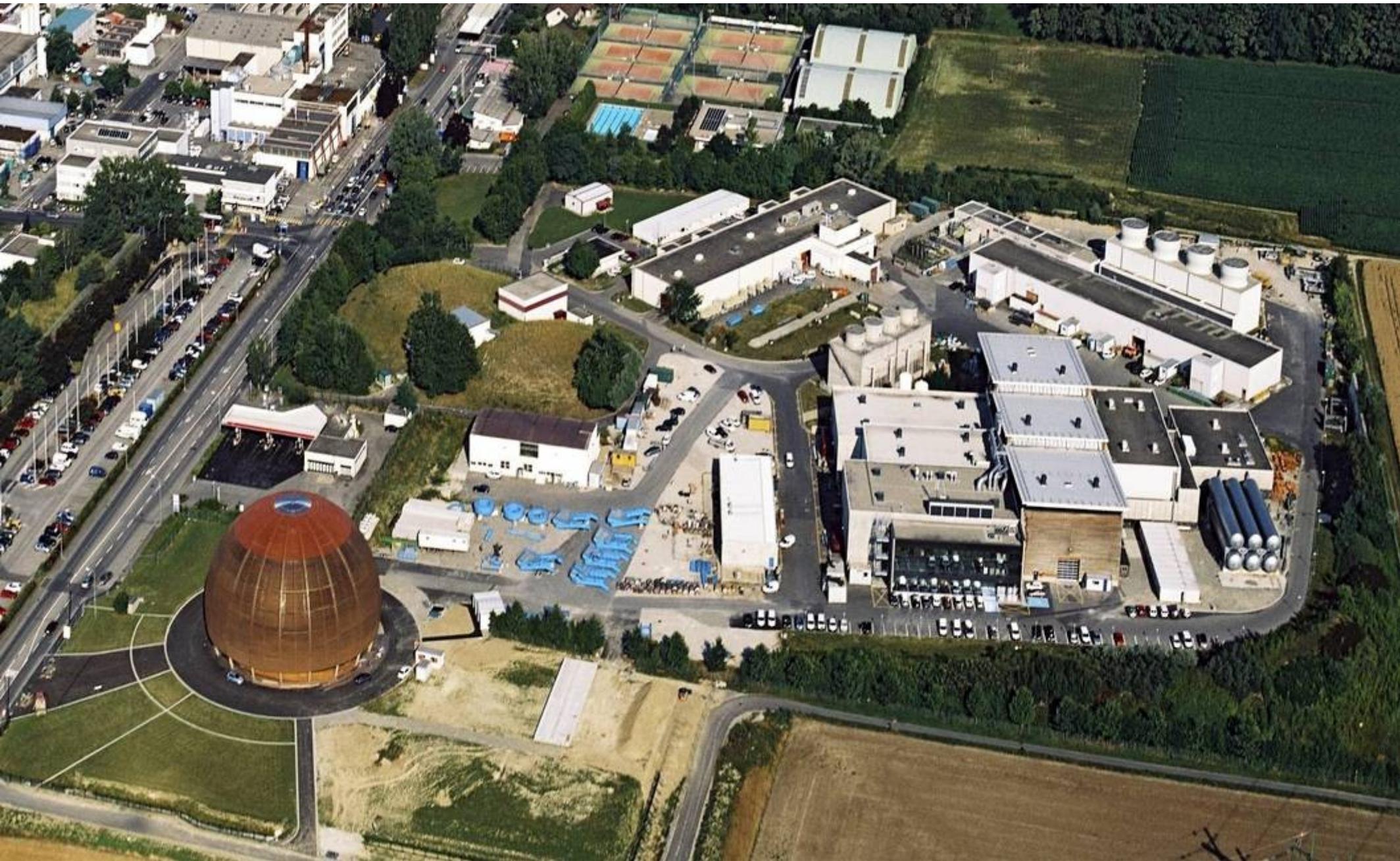


Die unterirdische Kaverne des ATLAS Detektors



Länge = 55 m
Breite = 32 m
Höhe = 35 m
Tiefe = 100 m

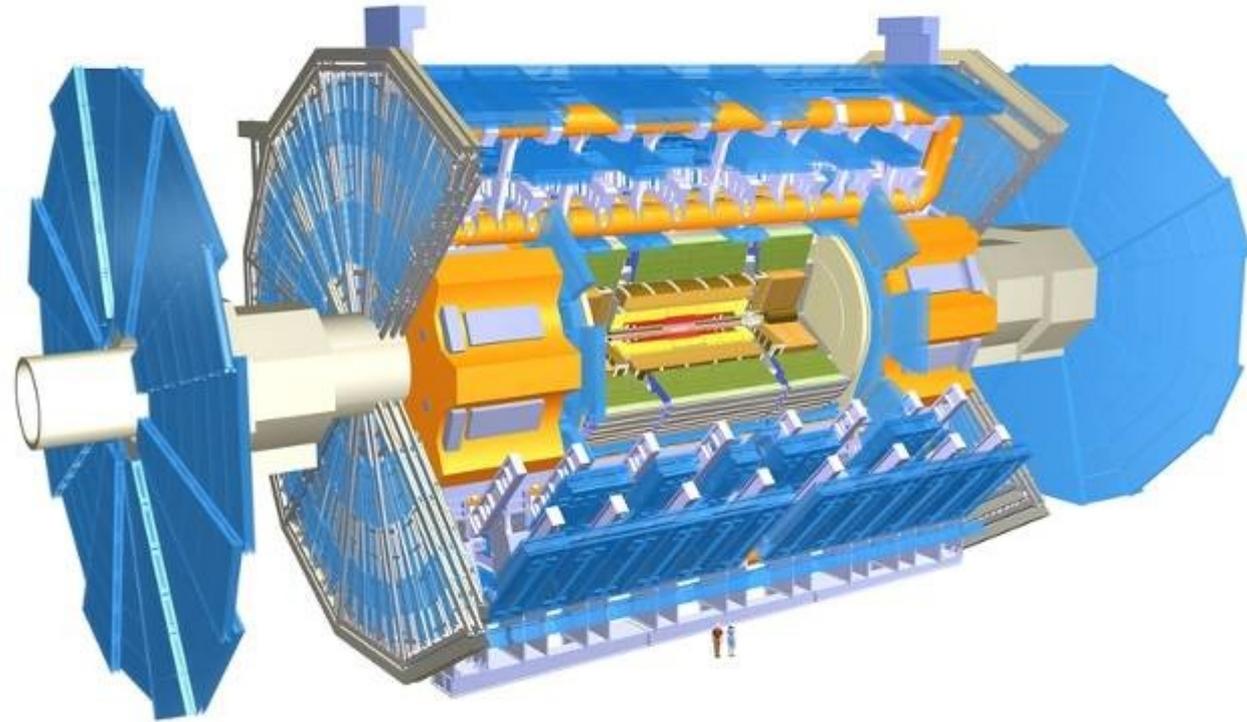
Das ATLAS-Areal überirdisch gesehen



Der Atlas Detektor hat unerreichte Größe

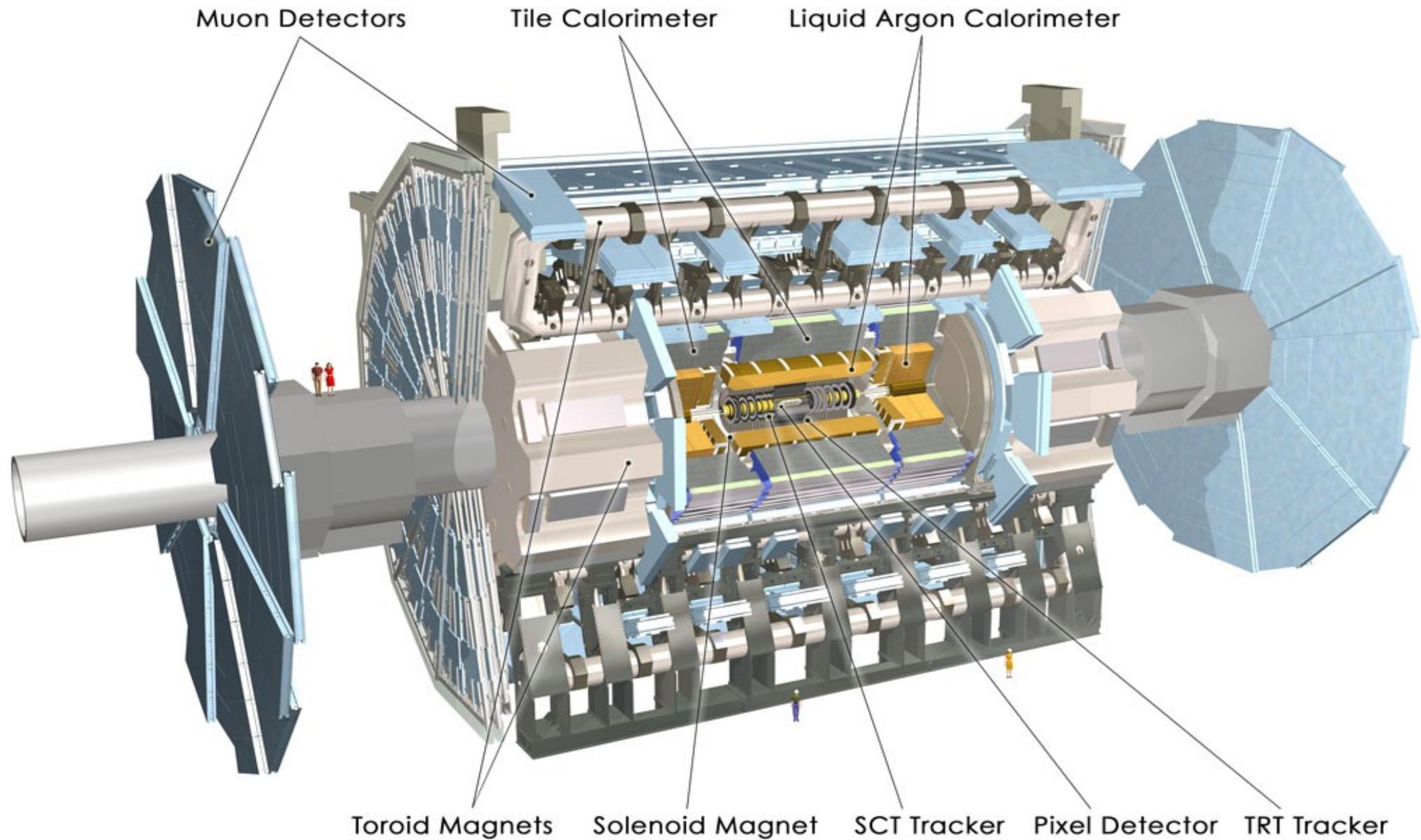


**ATLAS ist höher als das
Bürogebäude mit 5
Stockwerken**

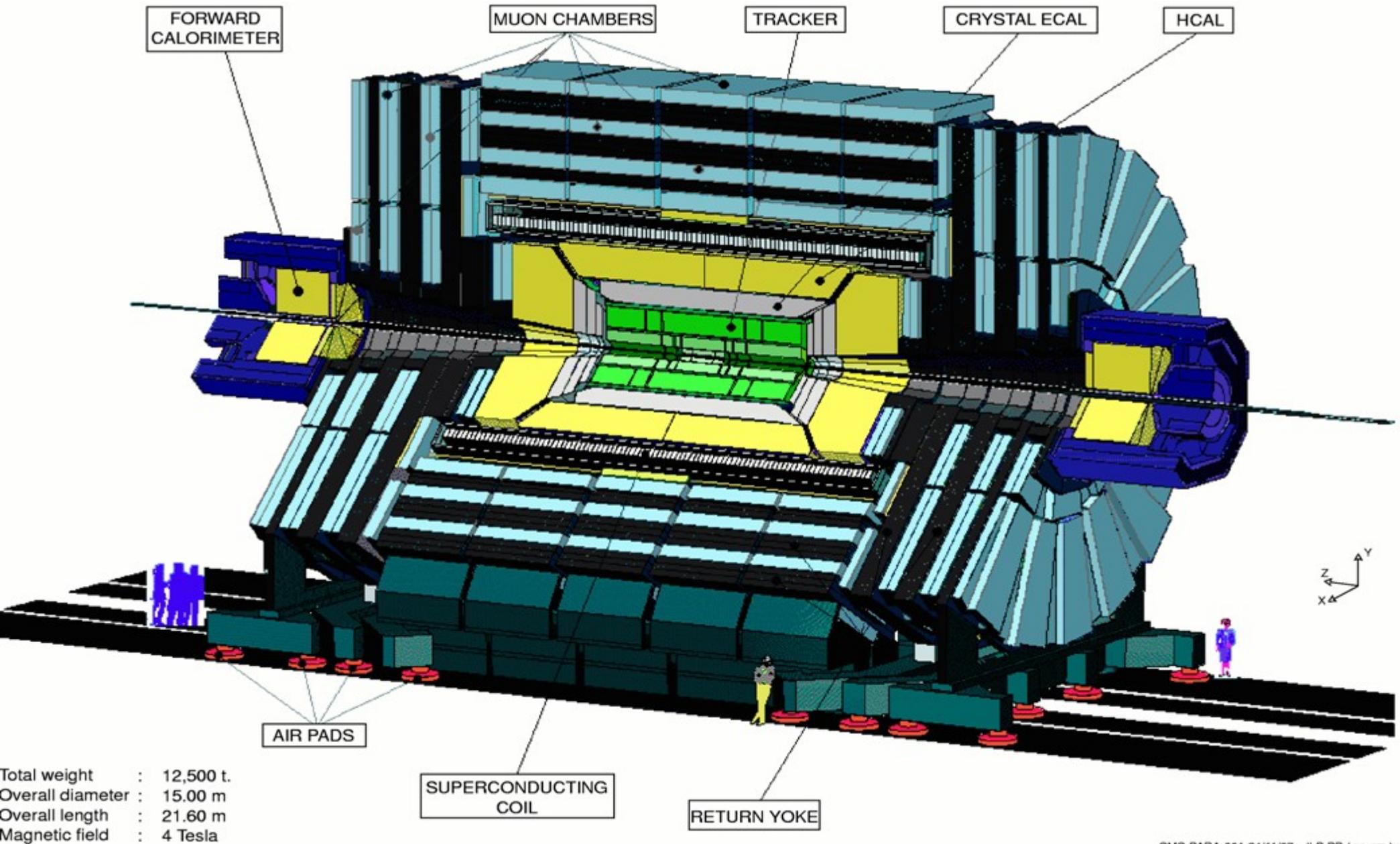


<i>Durchmesser</i>	<i>25 m</i>
<i>Barrel Toroid Länge</i>	<i>26 m</i>
<i>Gesamtlänge</i>	<i>46 m</i>
<i>Totales Gewicht</i>	<i>7000 t</i>

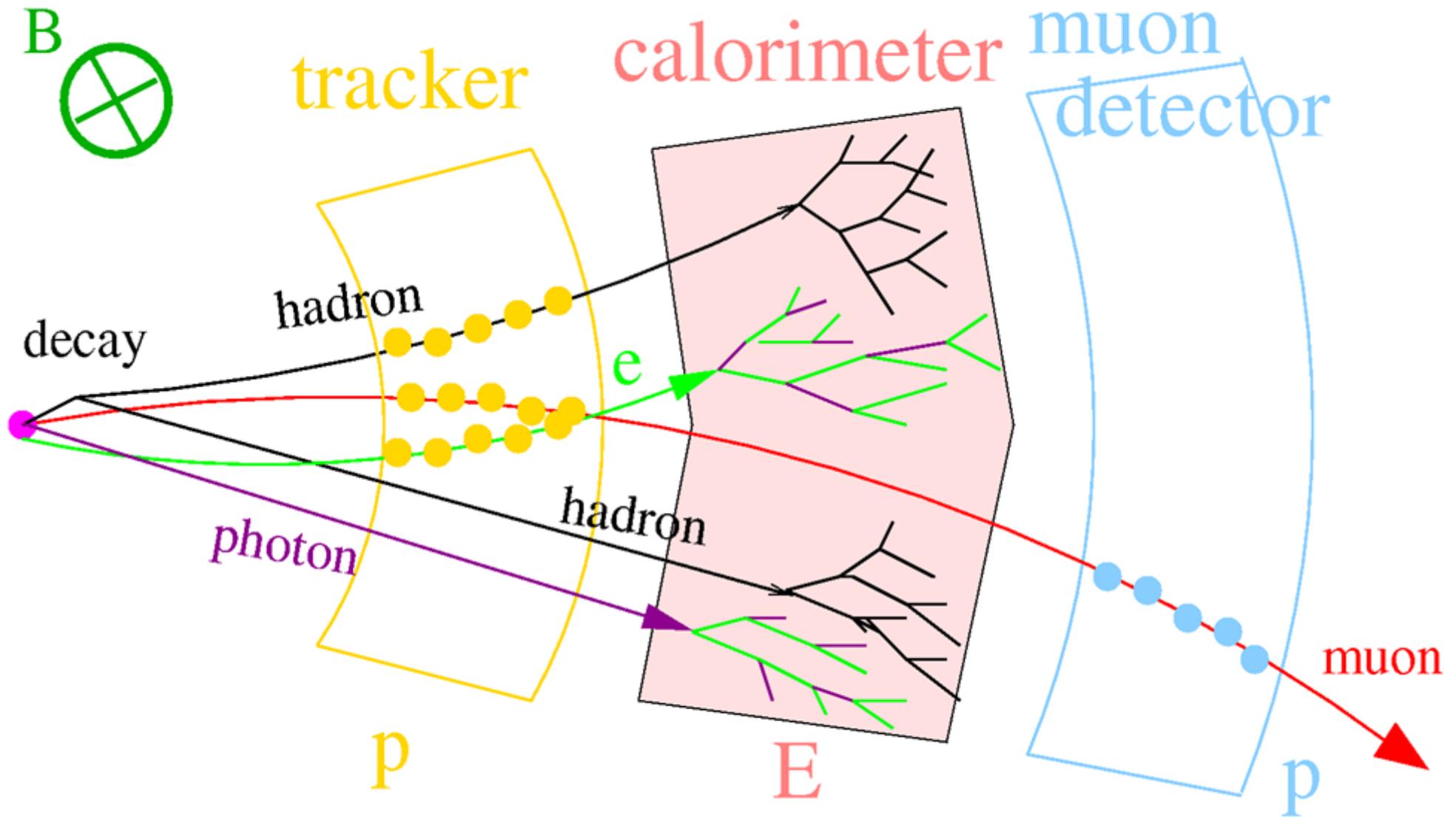
Der ATLAS-Detektor: Übersicht



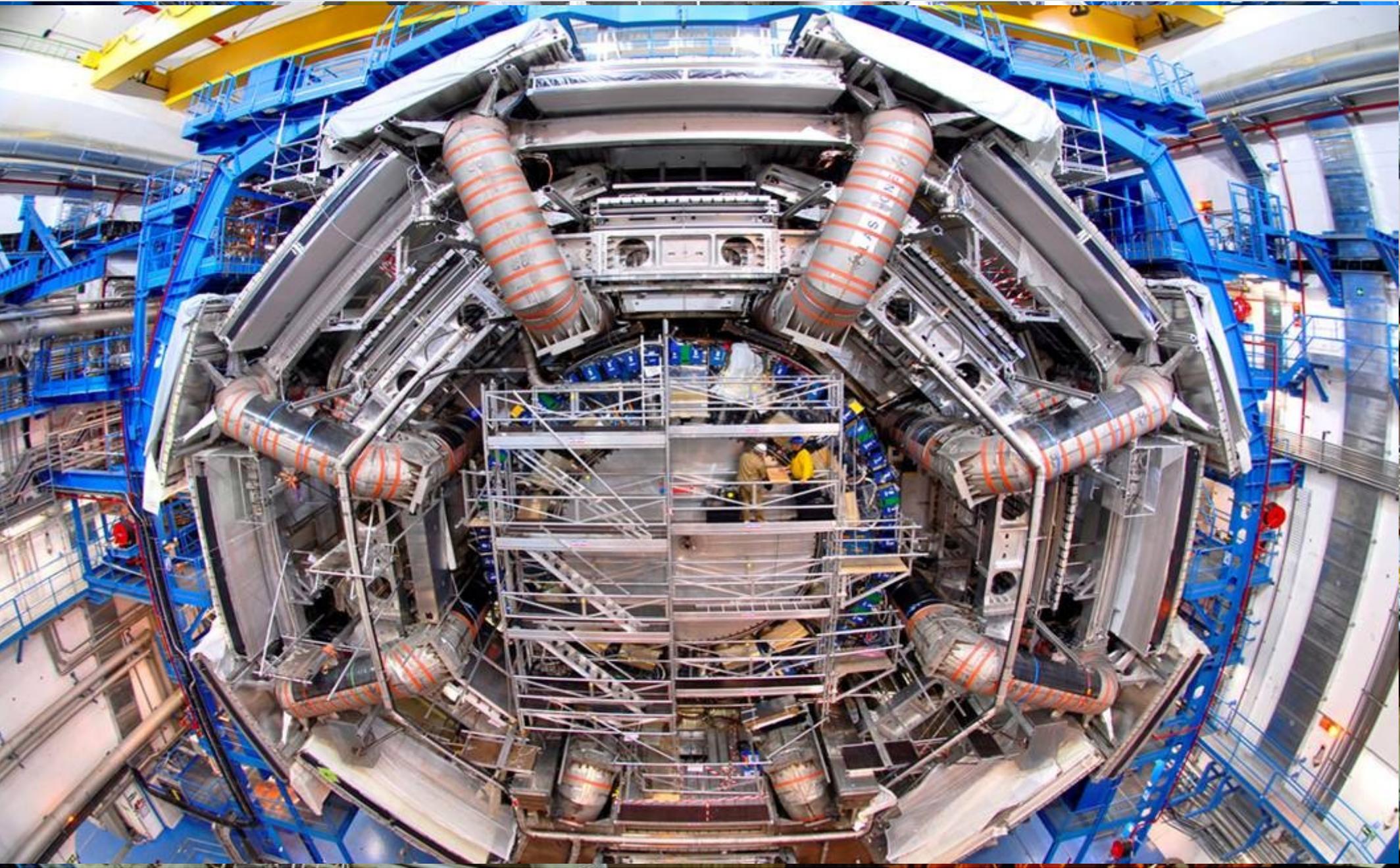
Die kompakte Schwester: Der CMS Detektor



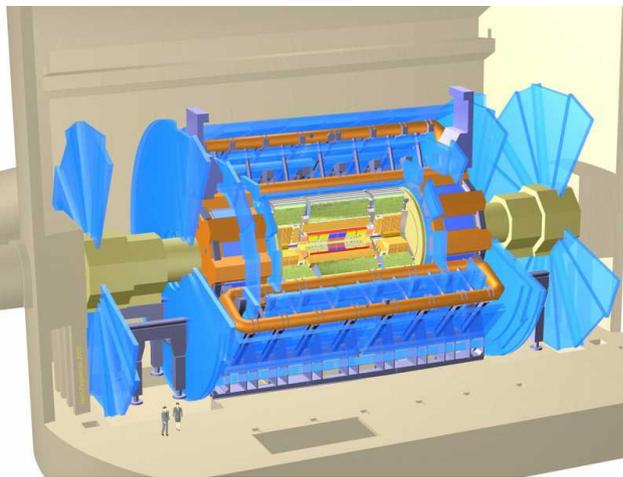
Teilchennachweis bei CMS



Der ATLAS Detektor im Aufbau



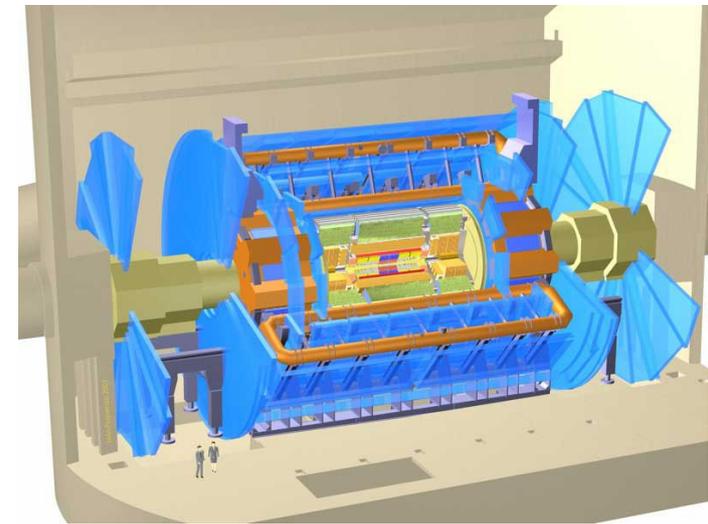
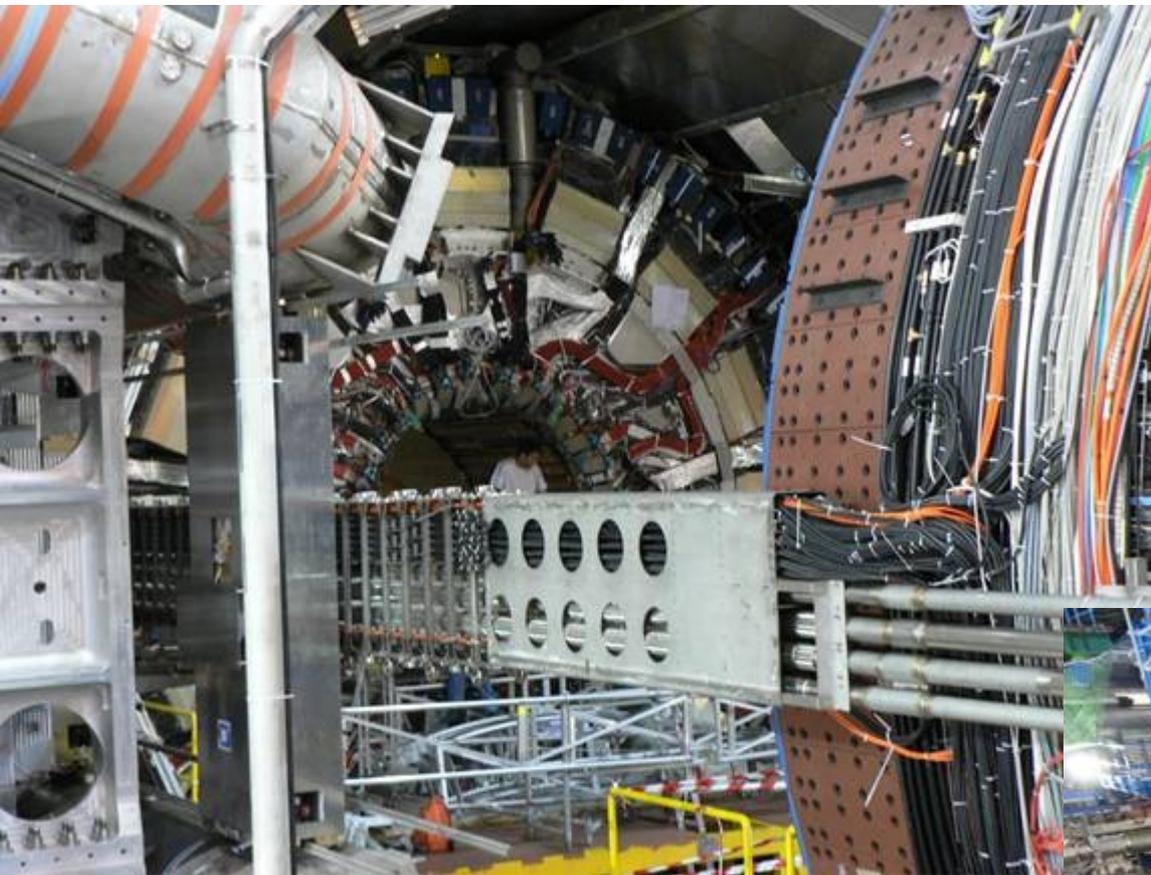
Der ATLAS Detektor im Aufbau



**Absenkung und
Montage der
Muon-Toroid
Magnetspulen**



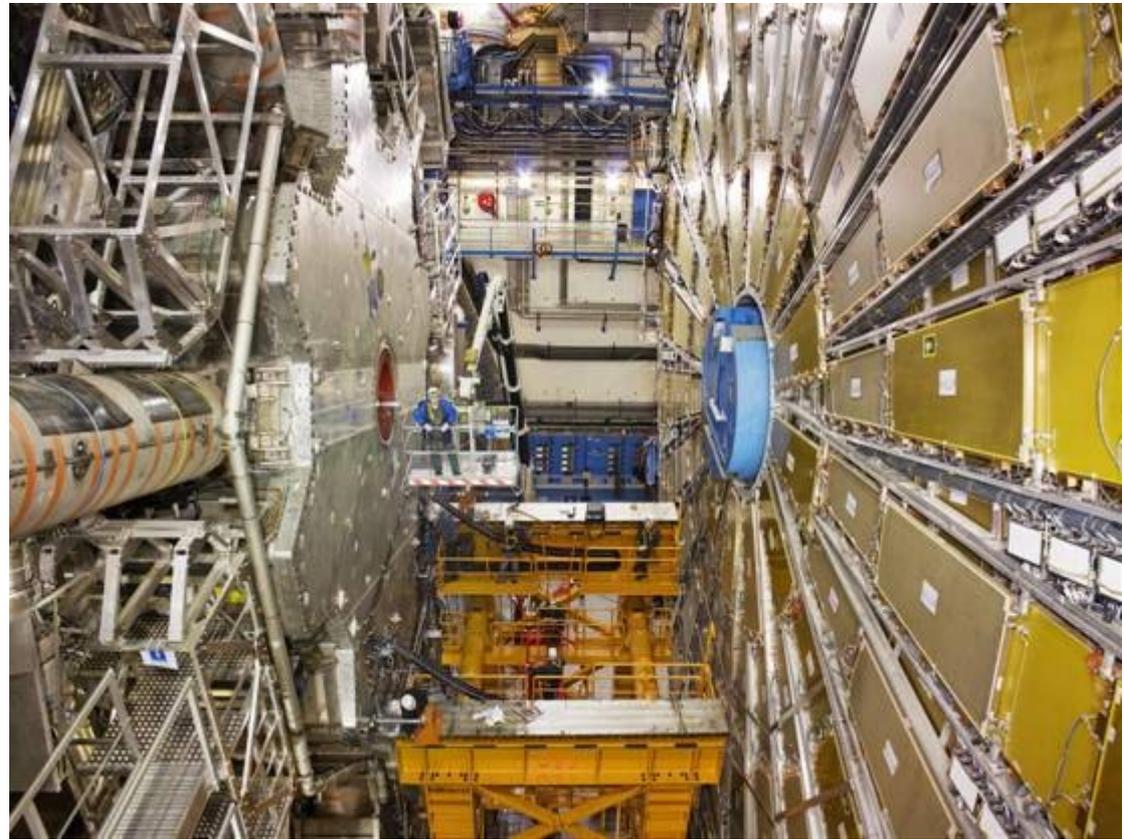
Der ATLAS Detektor 2007/08



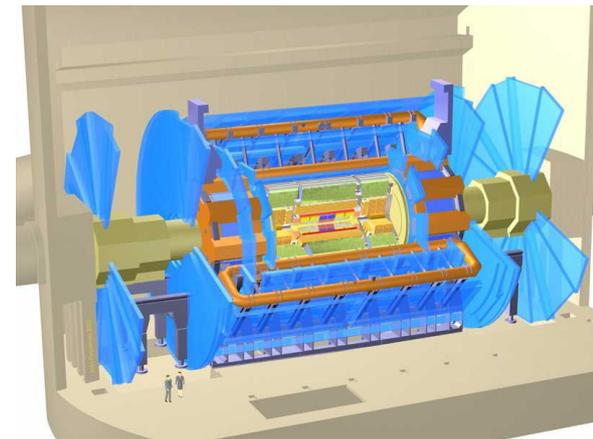
**Montage des Spurkammersystemes
Und der Kalorimeter**



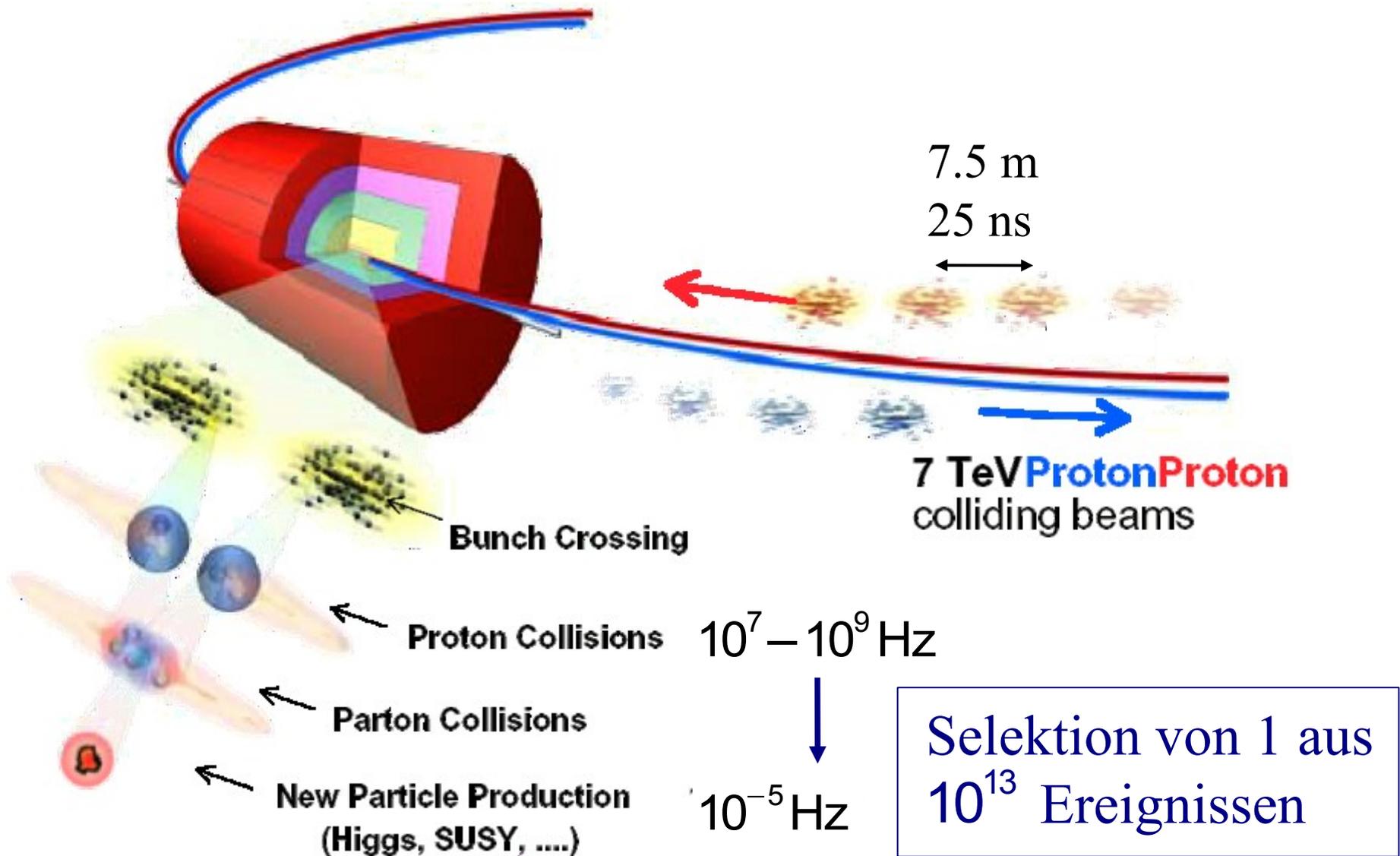
Der ATLAS Detektor 2007/08



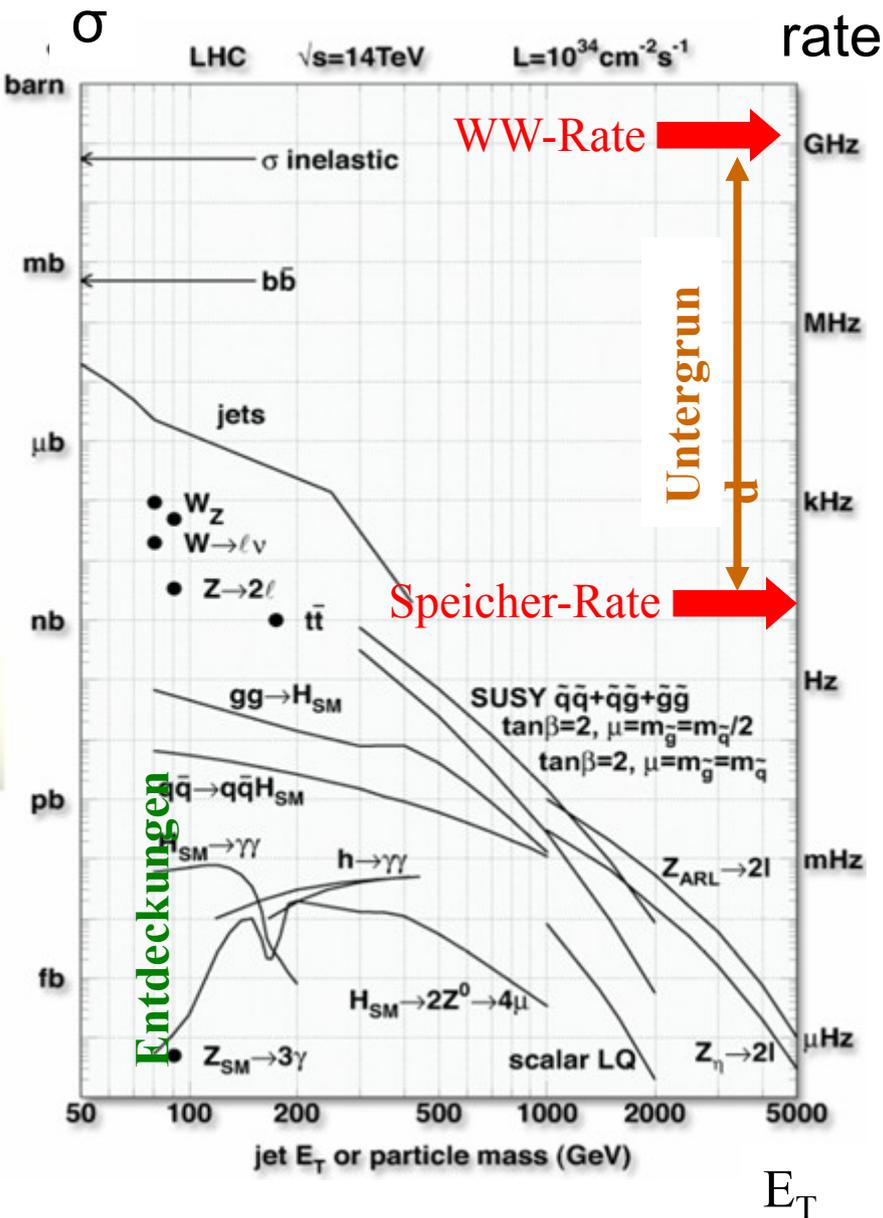
**Instalation der
Muon-
Endkappen**



Teilchenkollisionen bei LHC und Selektion



Anforderungen an den Trigger



WW-Rate: **~ 1 GHz**
 BC-Rate: **40 MHz**

Speicher-Rate: **~ 200 Hz**

→ “online”-Reduktion: **99.9995%**

Leistungsfähiger Trigger unabdingbar:

Selektion der **seltenen Ereignisse** aus der extrem **untergrundreichen** LHC Umgebung

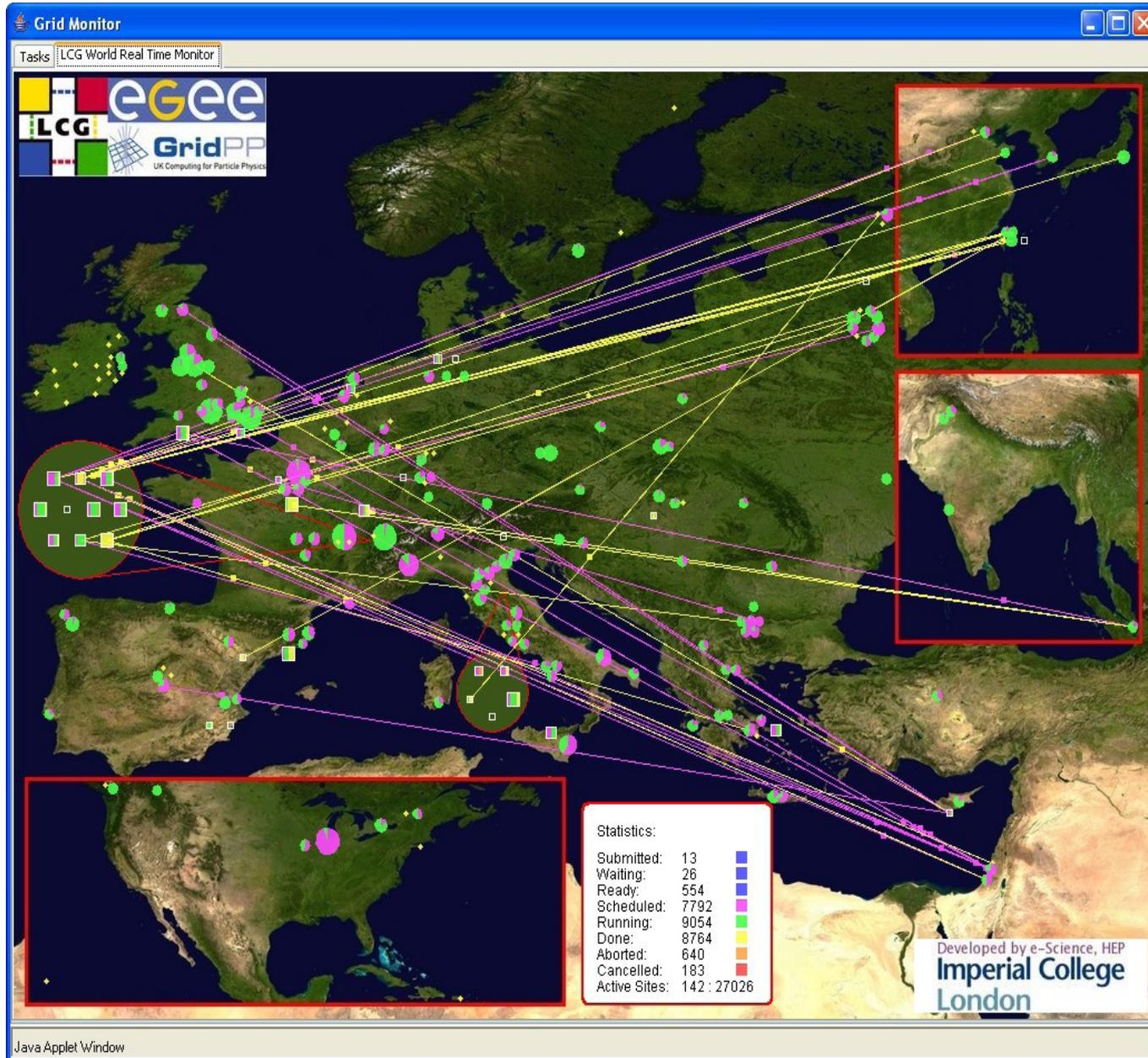
- **Physik-Trigger**
- **Technische Trigger**

Grid: Weltweiter Datenfluss

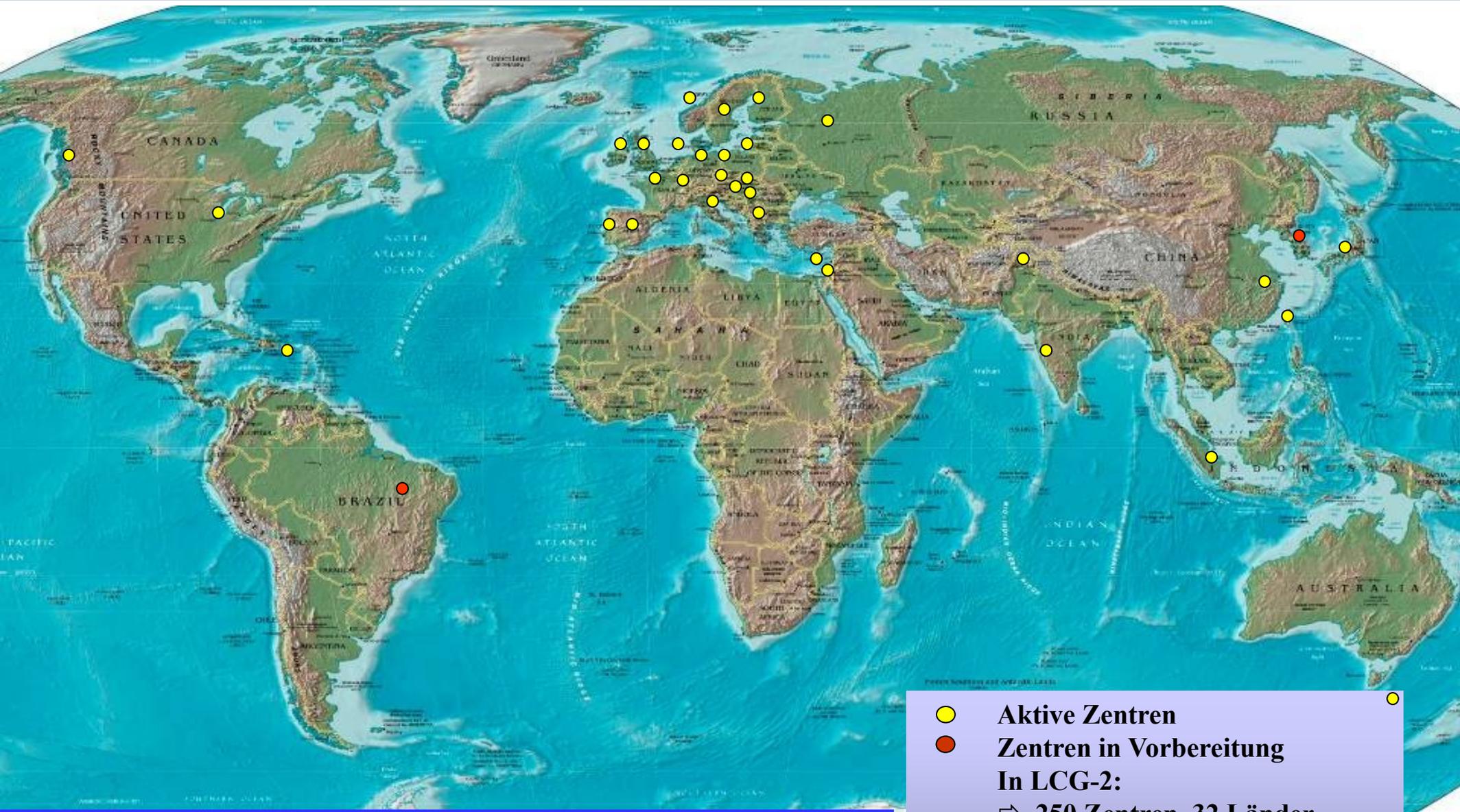


Riesige Datenflut:

Nur mittels weltweit verteilten Rechenzentren verarbeitbar.



Weltweite Computer-Vernetzung

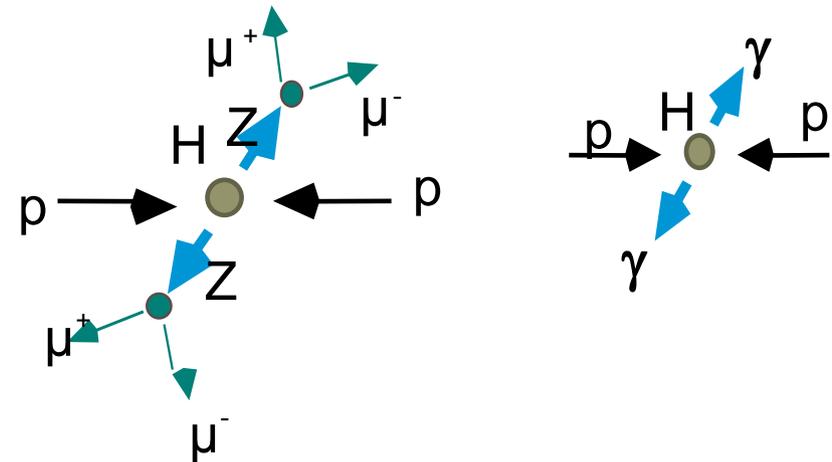
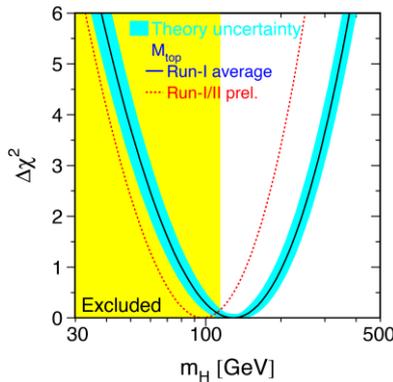


- Aktive Zentren
 - Zentren in Vorbereitung
- In LCG-2:
- ⇒ 250 Zentren, 32 Länder
 - ⇒ ~50,000 Prozessoren
 - ⇒ ~20,000 TB Speicherplatz

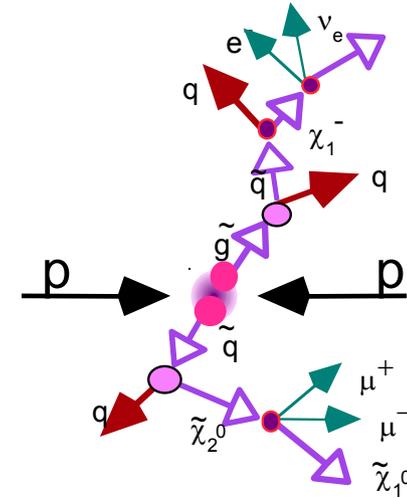
Die Anzahl der Zentren entspricht der, die zum Betrieb von LHC notwendig ist: extrem komplexe Betriebsbedingungen

Physikalische Fragestellungen beim LHC

Elektroschwache Symmetriebrechung ?
 - **Suche nach dem Higgs Boson**



Erweiterung des Standardmodelles ?
 - **Suche nach SUSY oder anderer "BSM-Physik"**



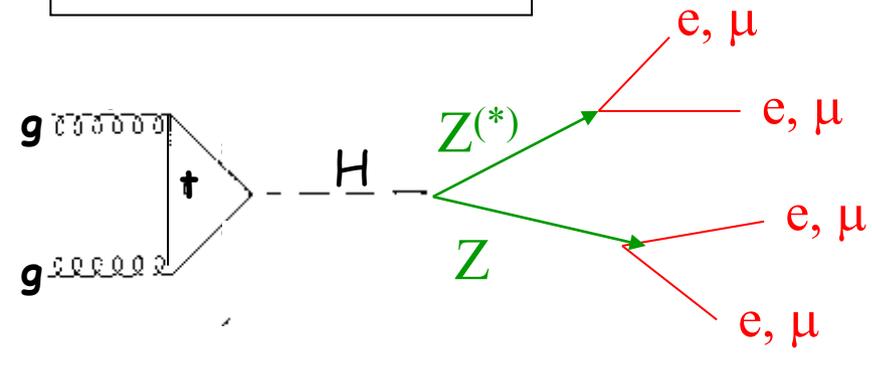
Was noch?

- **Schwere Quarks, QCD, Elektro-schwache Prozesse:
 Physik des Standard-Modelles**

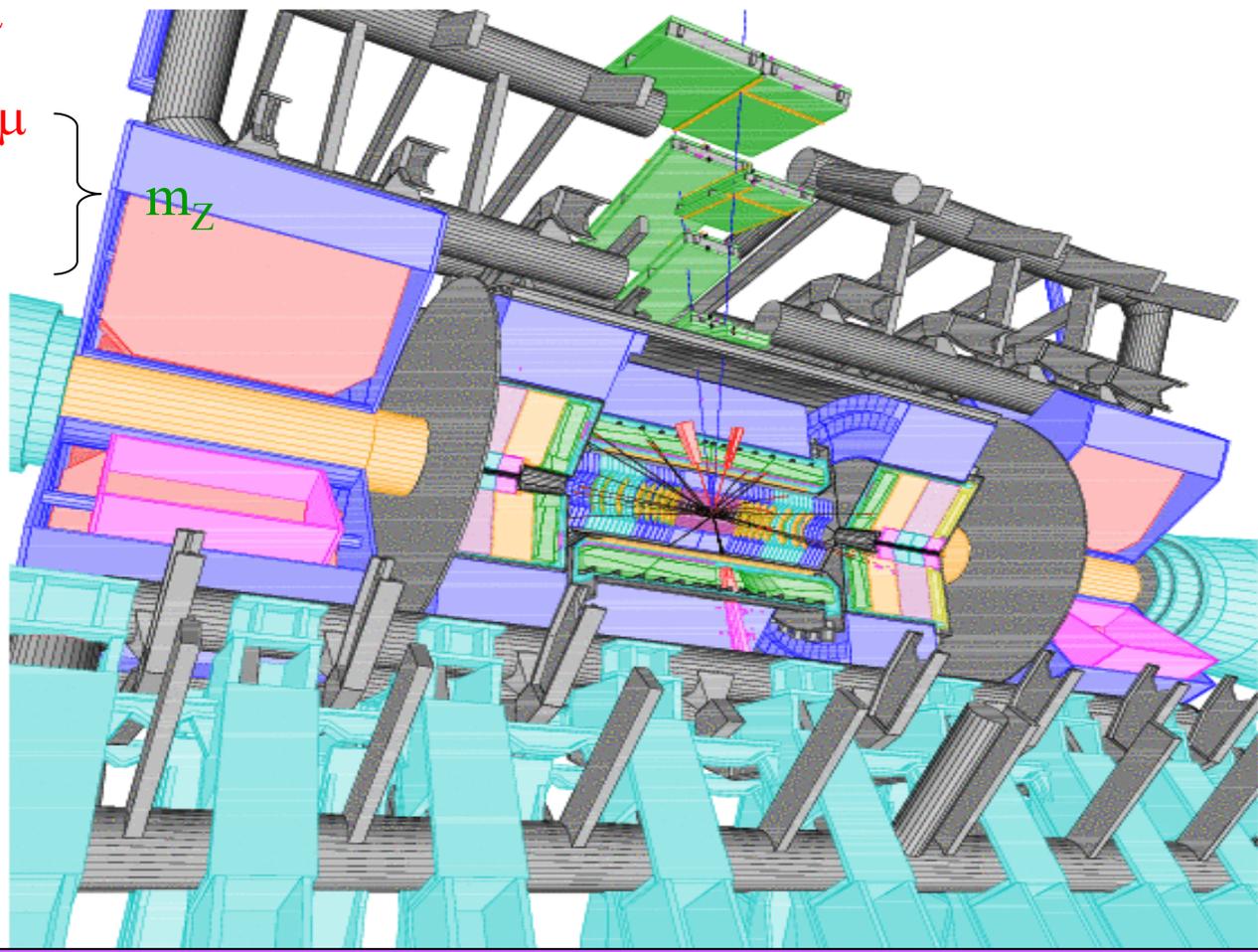
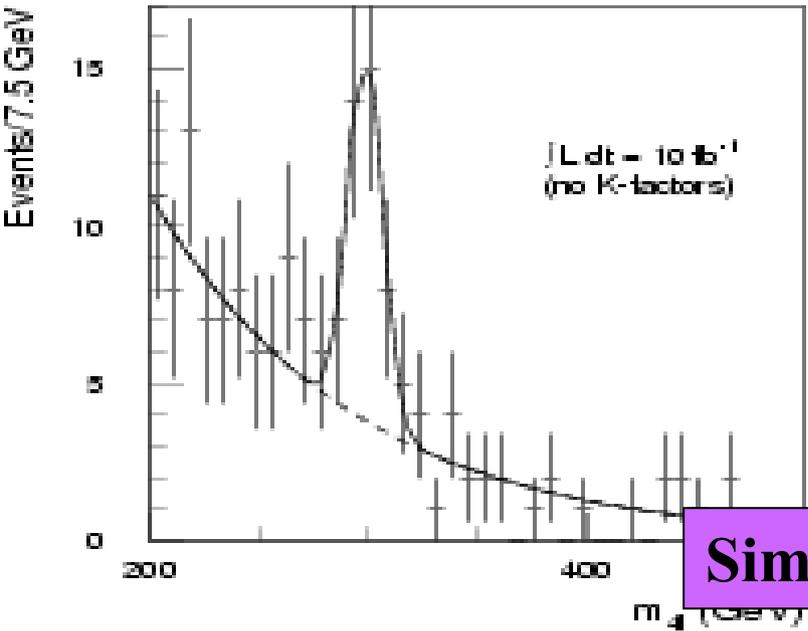
Beispiel: Higgs-Ereignis

$$H \rightarrow ZZ \rightarrow 4 \ell$$

Optimaler Kanal zur Entdeckung des Higgs-Teilchens bei LHC

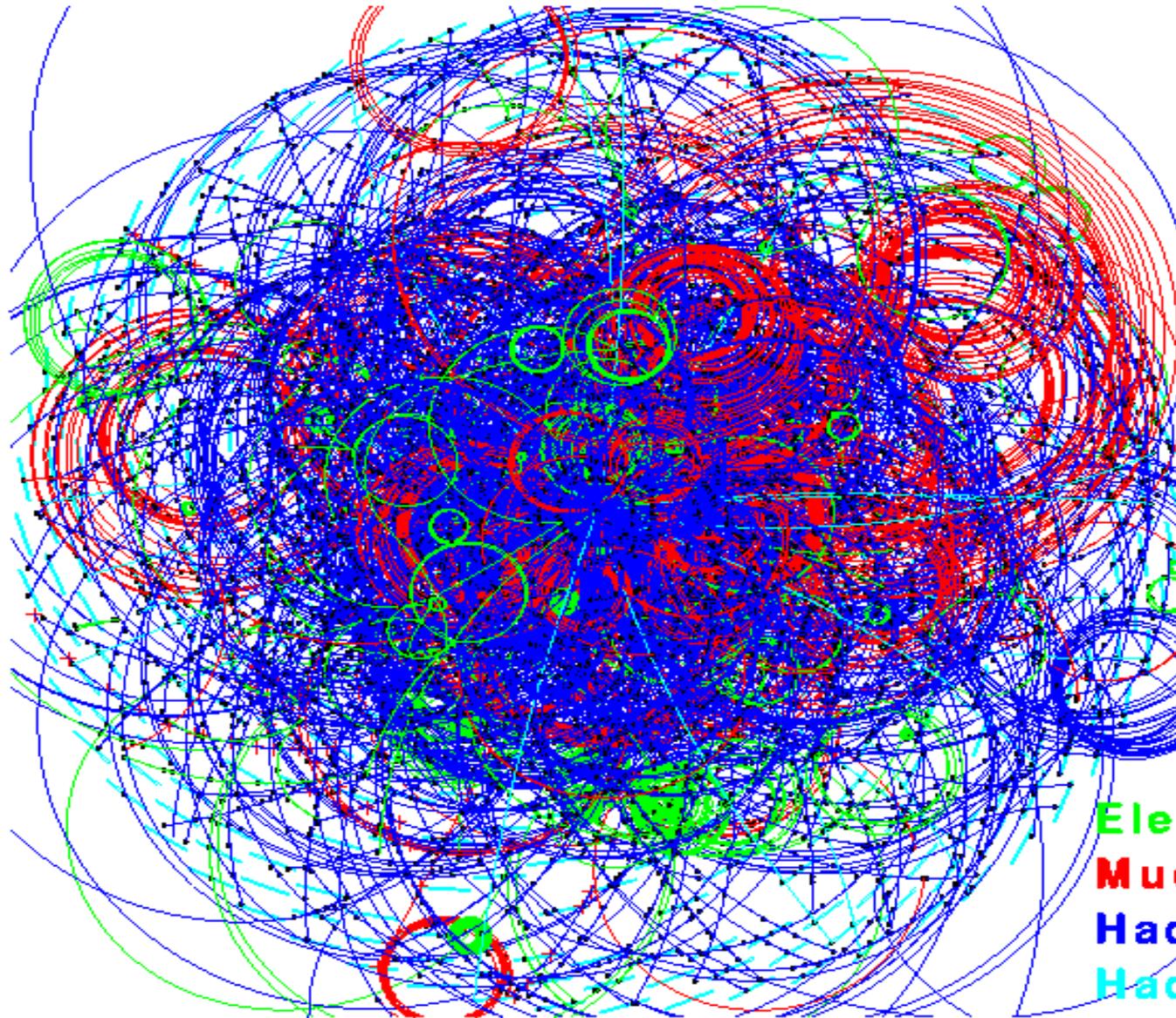


Zu erwartendes Higgs-Signal nach 1 Jahr Messen



Simulation eines $H \rightarrow \mu\mu ee$ Ereignisses in ATLAS

Higgs Ereigniss: Radiale Projektion



CMS

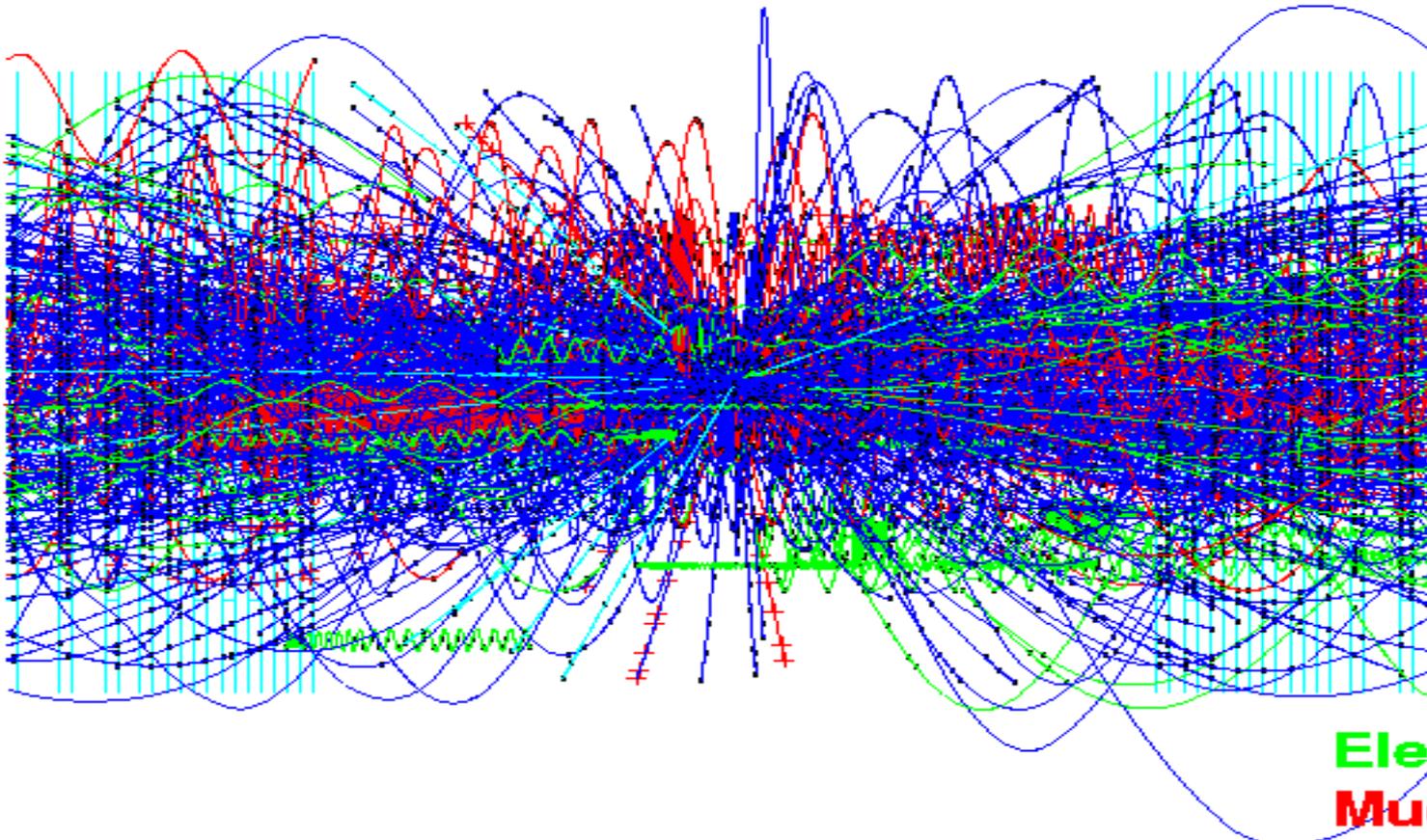
$H \rightarrow \mu\mu\mu\mu$
 $m(H) = 150 \text{ GeV}$
+ 20 Min bias

Electrons
Muons
Hadrons $pt < 2 \text{ GeV}$
Hadrons $pt > 2 \text{ GeV}$

Higgs Ereigniss: Longitudinale Projektion

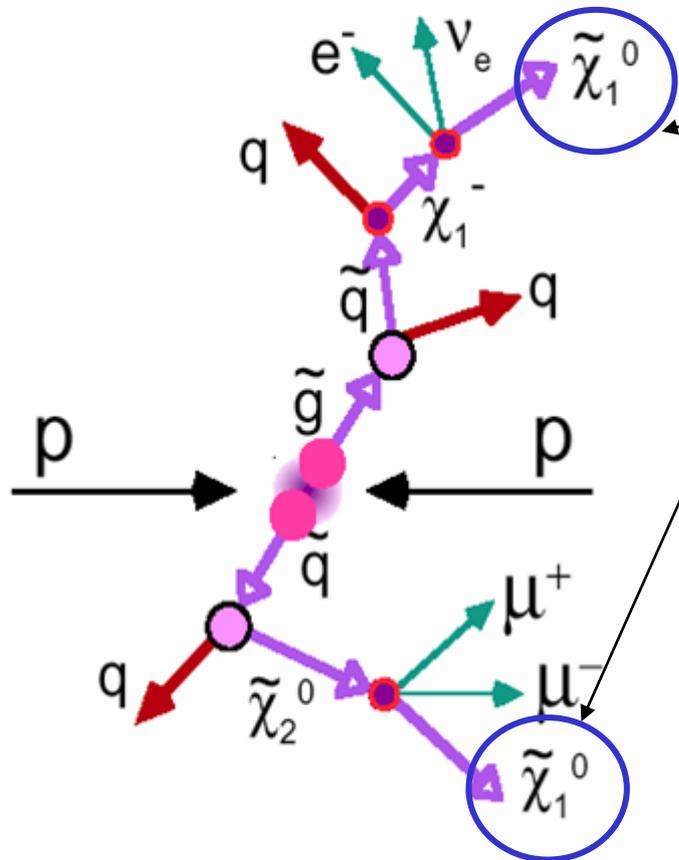
CMS

$H \rightarrow \mu\mu\mu\mu$
 $m(H)=150\text{GeV}$
+ 20 Min bias



Electrons
Muons
Hadrons $p_t < 2\text{GeV}$
Hadrons $p_t > 2\text{GeV}$

Beispiel: Supersymmetrische Teilchen



Dieses Teilchen (Neutralino) ist ein guter Kandidat für die dunkle Materie im Universum

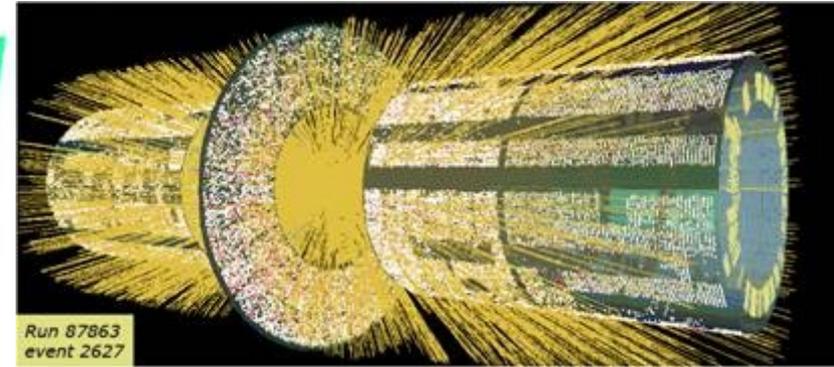
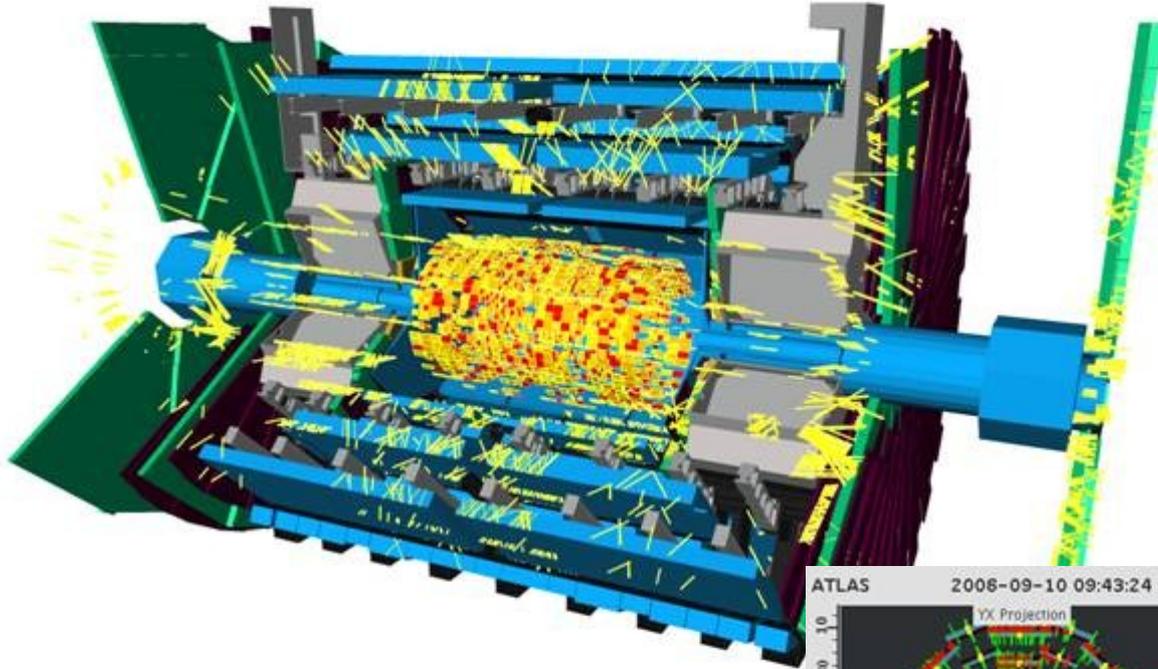
LHC Entdeckungspotential

Messzeit	Massenbereich
1 Monat	~ 1.3 TeV
1 Jahr	~ 1.8 TeV
3 Jahre	~ 2.5 TeV
Obergrenze	~ 3 TeV

Neutralinomassen bei LHC messbar

→ Entdeckung von SUSY und Messung der Neutralinomasse am LHC kann das Problem der kalten dunklen Materie im Universum lösen.

Erste Strahlen in LHC am 10. September 2008



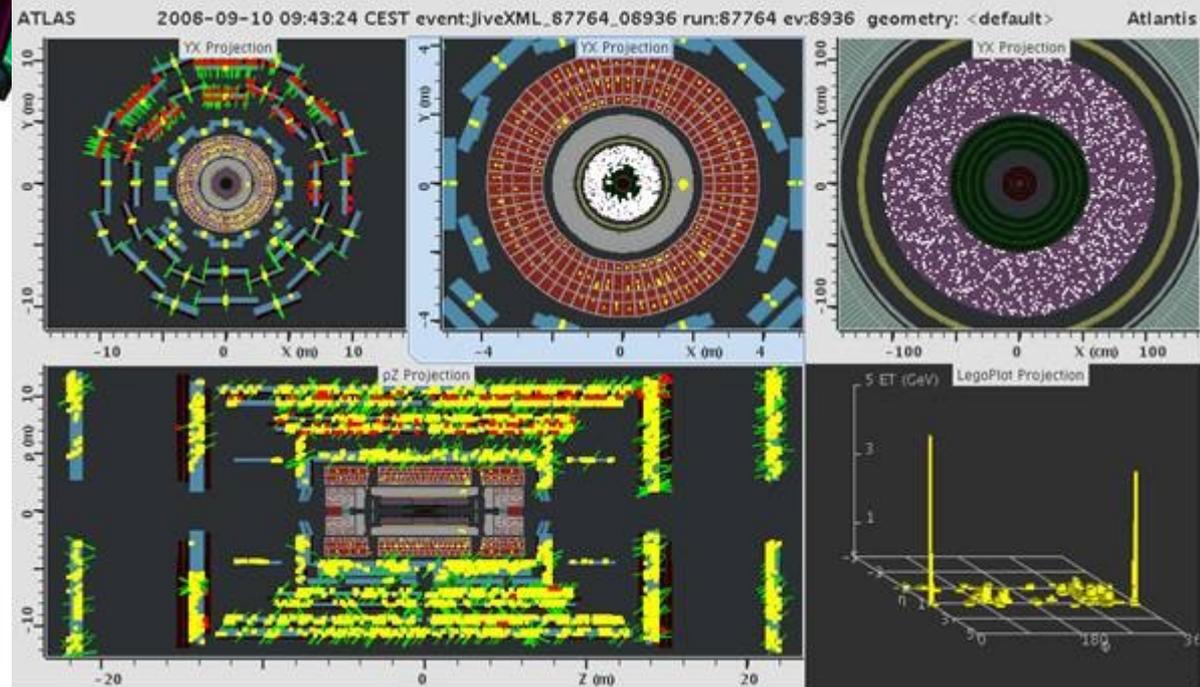
Run 87863
event 2627

Spurkammersystem

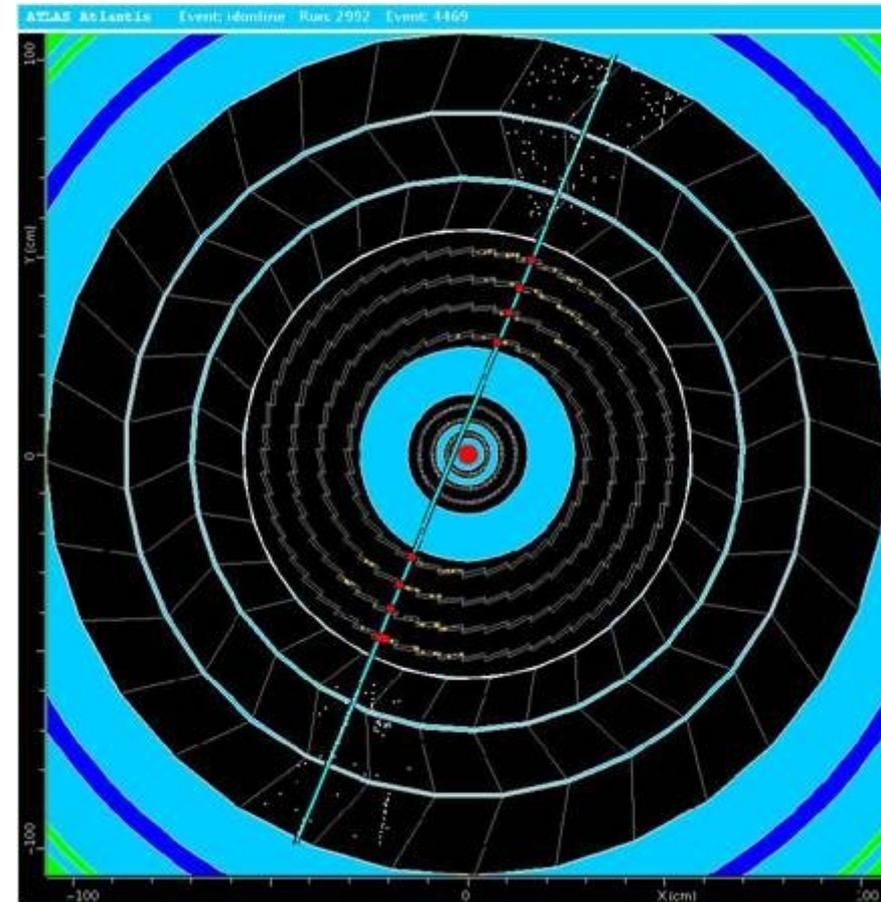
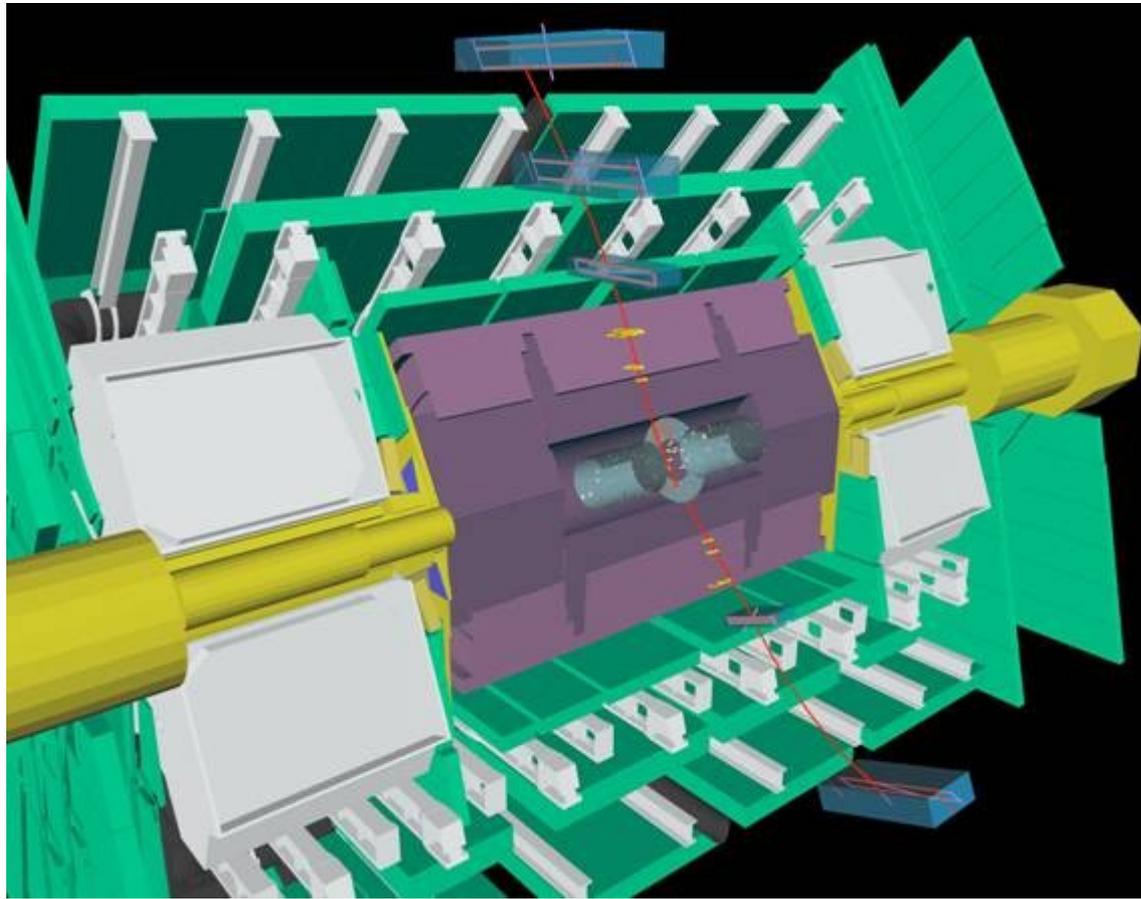
Erste Strahlen im Beschleuniger (September 2008)

Untergrundreaktionen

Ereignis-Display



Cosmische Ereignisse bei ATLAS



Testmessungen mit kosmischen Teilchen (Myonen):

- sehr guter Test aller Detektorsysteme in Echtzeit
- wichtiger Referenzpunkt zur Eichung
- **erfolgreiche Tests von Oktober bis Dezember 2008**

