

Experimentelle Methoden der Teilchenphysik

Sommersemester 2012

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg



Prof. Markus Schumacher

Physikalisches Institut, Westbau, 2. OG Raum 008

Telefon 07621 203 7612

E-Mail: Markus.Schumacher@physik.uni-freiburg.de

<http://terascale.physik.uni-freiburg.de/lehre/Sommersemester%202012>

3 SWS Vorlesung + 2 SWS Übung → 7 ECTS-Punkte

Prüfungsleistung im Bereich Wahlpflicht

Syllabus (vorläufig)

- 0 Motivation / Einleitung
- 1 Grundlegende Begriffe
- 2 Wechselwirkung von Strahlung und Teilchen mit Materie
- 3 Spurdetektoren
- 4 Kalorimeter
- 5 Teilchenidentifikation
- 6 Elemente der elektronischen Signalverarbeitung
- 7 Statistik: Grundlagen und Wahrscheinlichkeitsverteilungen
- 8 MC-Methode
- 9 Parameterschätzung
- 10 Hypothesentests und Ereignisklassifizierung

Vorlesungszeiten

3 Semesterwochenstunden

Montags immer 14 c.t. bis 16 Uhr (13 Termine)

Freitags ~ alle 14 Tage 10 c.t. bis 12 Uhr (7 Termine)

Mo: 23.4. 30.4, 7.5. 14.5., 21.5. 4.6. 11.6. 18.6., 25.6., 2.7, 9.7, 16.7, 23.7

Fr: 4.5 18.5 8.6 15.6 22.6 6.7 20.7 27.7

Übungen und Scheinkriterium

Übungen: 2 Stunden pro Woche (Beginn Woche 30. April bis 4. Mai)
Anwesenheitsaufgaben (max.1 unentschuldigtes Fehlen)
Hausaufgaben (Abgabe in der Übung in der folgenden Woche)

Abgabe der Hausaufgaben in Zweiergruppe möglich und erwünscht.
Aber jede/jeder muss die gelösten Aufgaben vorrechnen/diskutieren können.

Verantwortlich: Dr. Martin Flechl, Dr. Stan Lai, Anna Kopp

Studienleistung und Klausurzulassung: 50% der Hausaufgabenpunkte
und regelmäßige (s.o.) Teilnahme

Prüfungsleistung: erfolgreiche Teilnahme an Klausur

Mögliche Übungstermine 3 Gruppen:

Freitag 13 - 15, 15 - 17, 16 -18 Uhr (2 Gruppen) , 8 -10 Uhr

Mittwoch 8 -10 Uhr oder Dienstag 14-16 Uhr

Literatur

Statistical Data Analysis, Autor: Glen D.Cowan
Taschenbuch, Englisch, 216 Seiten
Oxford University Press, 1997, 41 Euro

Datenanalyse: Autor: Siegmund Brandt
Gebundene Ausgabe, Deutsch, 646 Seiten mit Begleit-CD
Spektrum Akad. Verlag, 1999, 26 Euro

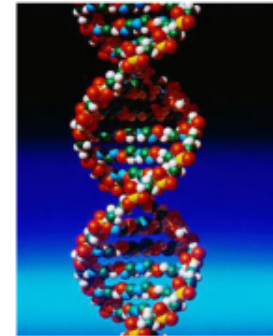
Detektoren für Teilchenstrahlung, Autor: Konrad Kleinknecht
Taschenbuch, Deutsch, 245 Seiten
Vieweg + Teubner Verlag, 2005, 45 Euro

Particle Detectors, Autor Claus Grupen und Boris Schwartz
Tadhenbuch, Englisch, 2011, 676 Seiten
Cambridge University Press, 72 Euro

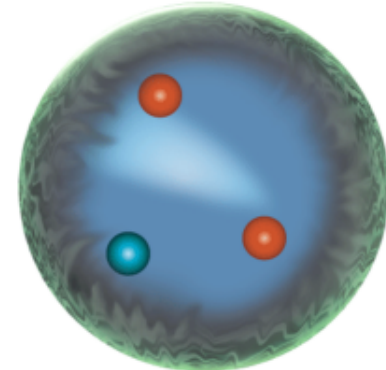
Techniques for Nuclear a. Particle Physics Experiments, Autor: William R. Leo
Taschenbuch, Englisch, 1994, 378 Seiten, 96 Euro

Motivation der Teilchenphysik

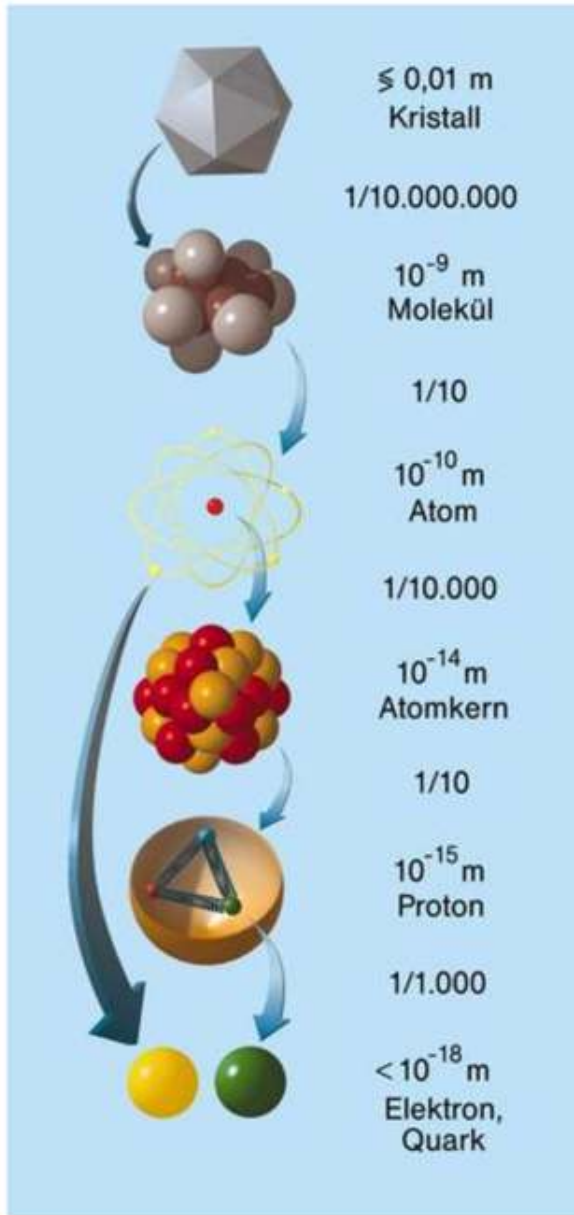
Dass ich erkenne, was die Welt
im Innersten zusammenhält ... (Goethe, Faust)



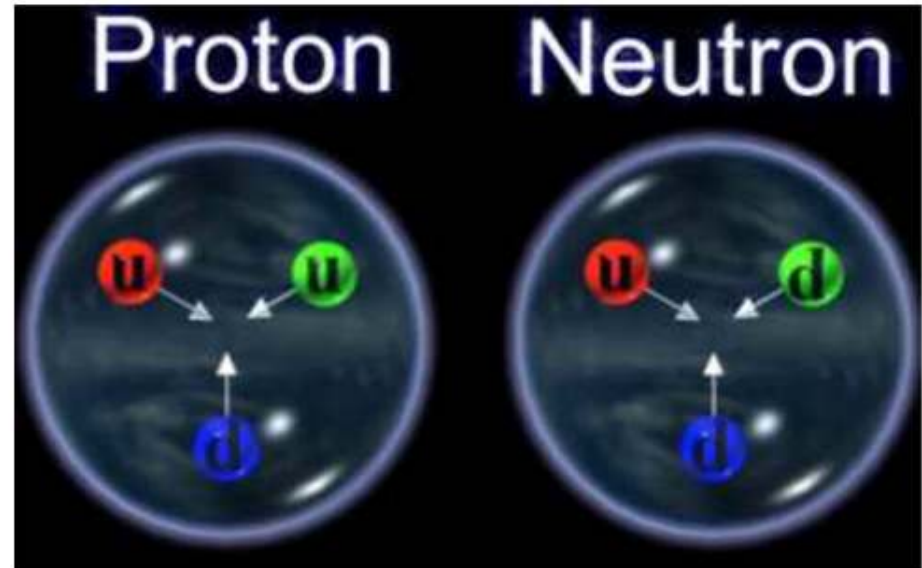
Einheitliche und umfassende
Beschreibung der Struktur
der Materie, der Kräfte und der Raum-Zeit
von kleinsten Abständen (10^{-18} m)
bis zu kosmischen Dimensionen (10^{25} m)



Aufbau der Materie

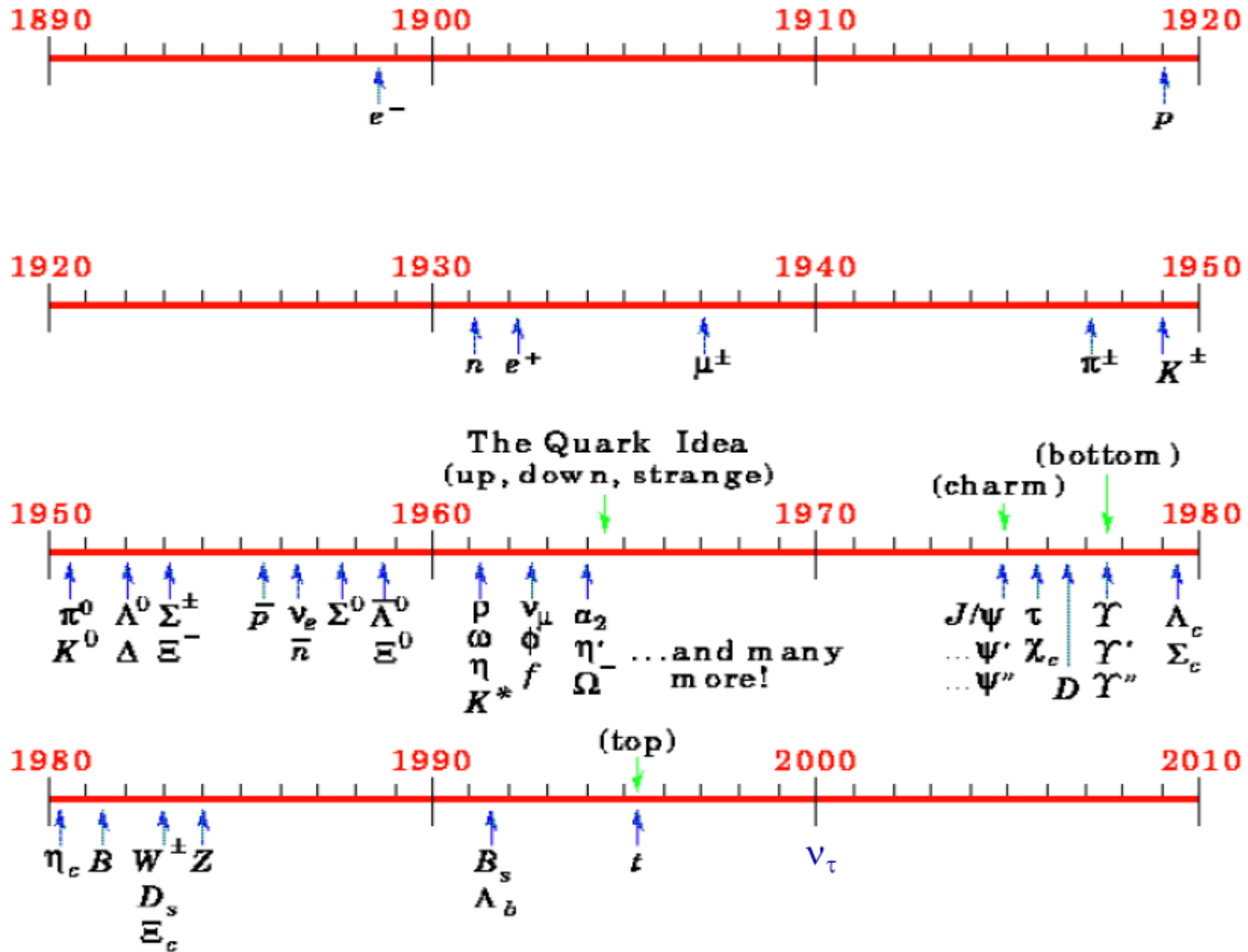


„unsere“ Welt besteht aus:
up-Quark, down-Quark, Elektron



bisher keine Substruktur
Theorie: punktförmig
Experiment: $< 10^{-18}$ m

Historie der Entdeckungen



Kräfte bzw. Wechselwirkungen



Kräfte = Austausch von Botenteilchen

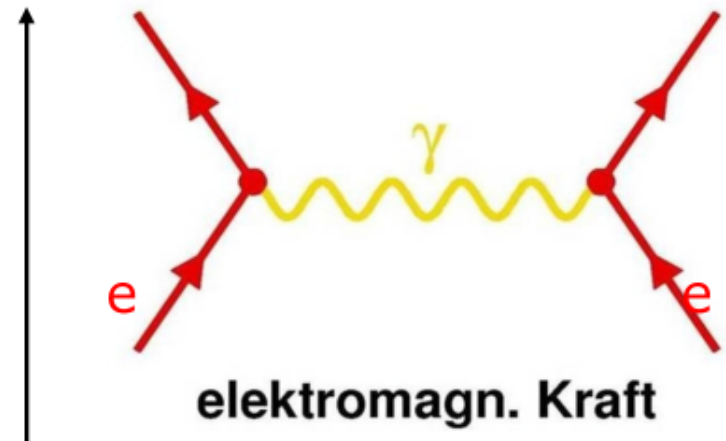
z.B. Elektromagnetismus:

zwei Elektronen tauschen
ständig Photonen aus

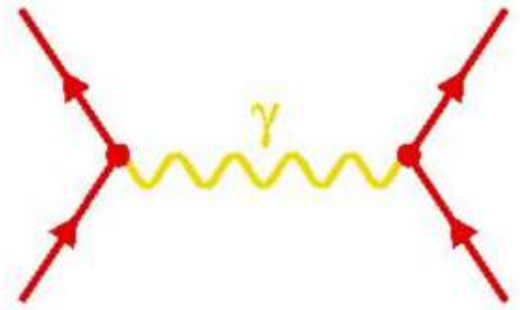
Stärke hängt von Ladung der
Materieteilchen (hier e)

u. Masse des Boten (hier 0) ab

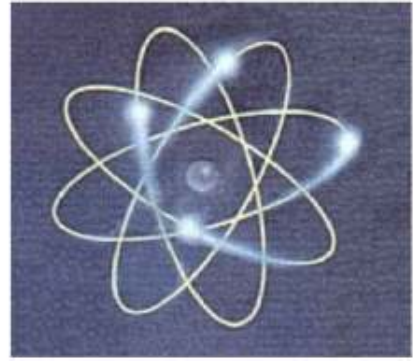
Zeit



Kräfte des Mikrokosmos und ihre Austauschteilchen



elektromagn. Kraft

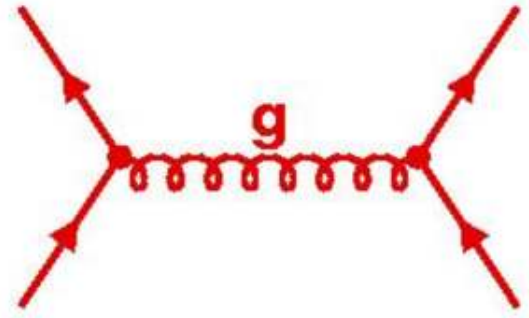


$$M_\gamma = 0 \quad (\text{Photon})$$

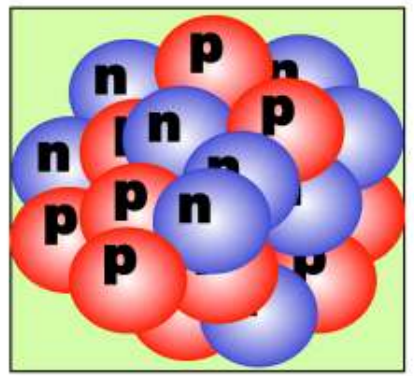
$$m_{\text{Elektron}} = 1/1836 M_{\text{Proton}}$$

Längenskala unserer Welt

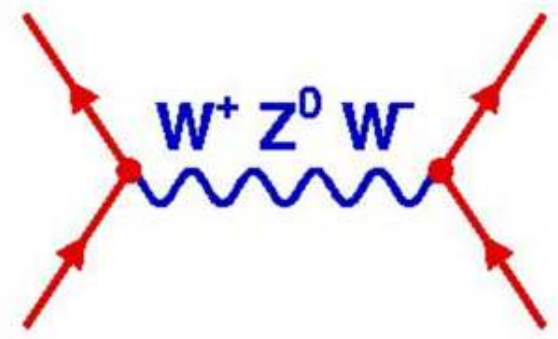
$m_e = 0 \rightarrow$ keine Atombindung



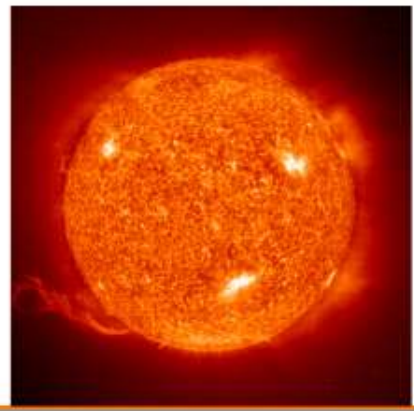
starke Kraft



$$M_g = 0 \quad (\text{Gluon})$$



schwache Kraft

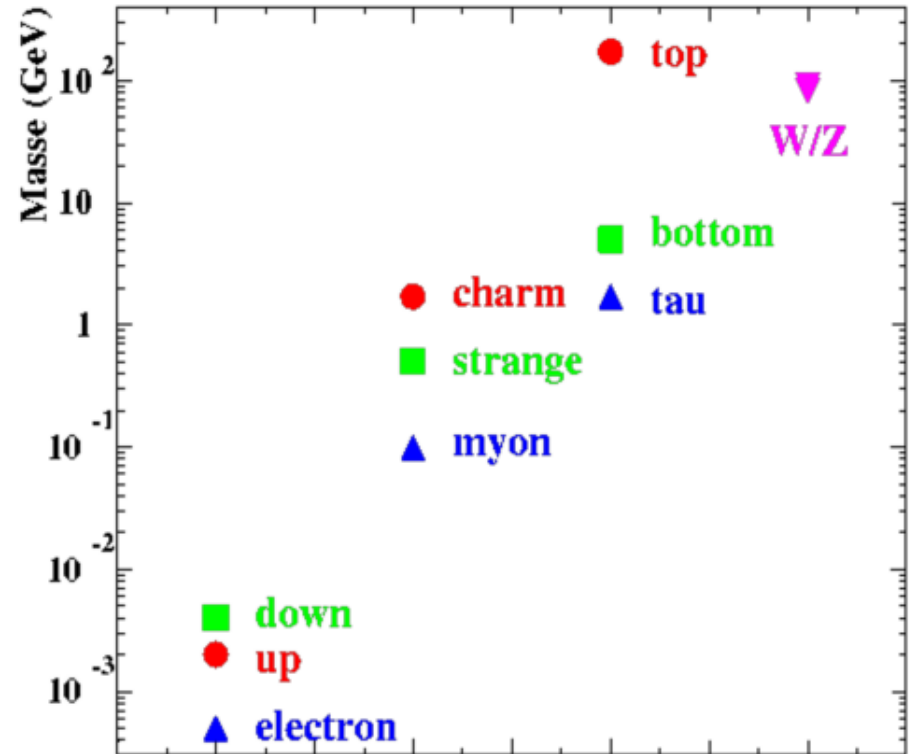


$$M_{W(Z)} = 100 (110) M_{\text{Proton}}$$

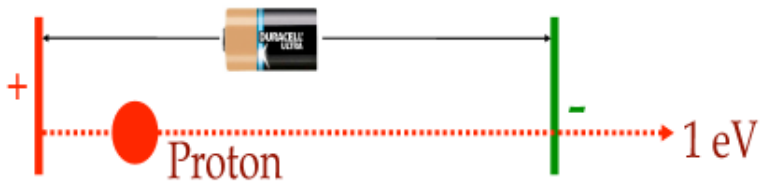
Das Standardmodell der Teilchenphysik

Drei Generationen der Materie (Fermionen)

	I	II	III	
Masse	2,4 MeV	1,27 GeV	171,2 GeV	0
Ladung	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	0
Spin	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
Name	u up	c charm	t top	γ Photon
	4,8 MeV	104 MeV	4,2 GeV	0
	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
Quarks	d down	s strange	b bottom	g Gluon
	<2,2 eV	<0,17 MeV	<15,5 MeV	91,2 GeV
	0	0	0	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
Leptonen	ν_e Elektron-Neutrino	ν_μ Myon-Neutrino	ν_τ Tau-Neutrino	Z^0 schwache Kraft
	0,511 MeV	105,7 MeV	1,777 GeV	80,4 GeV
	-1	-1	-1	± 1
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	e Elektron	μ Myon	τ Tau	W^\pm schwache Kraft



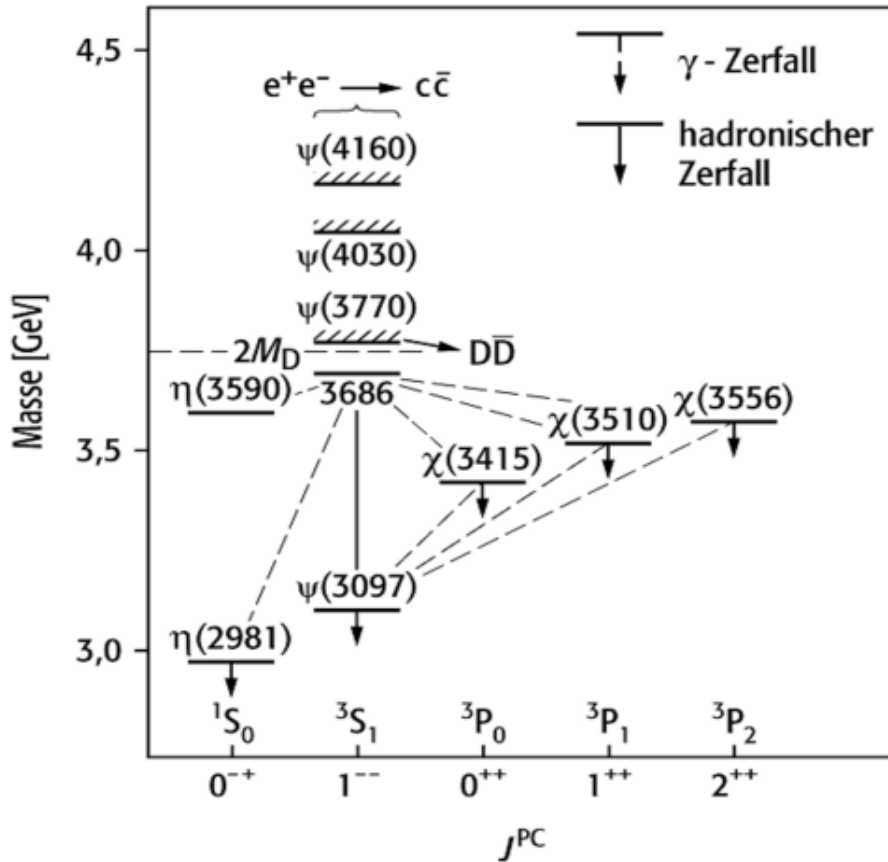
Energie = Masse c^2 (oft $c=1$)



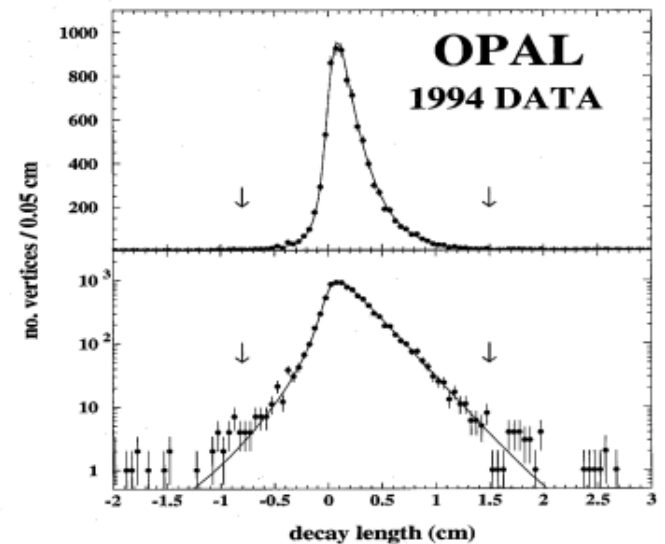
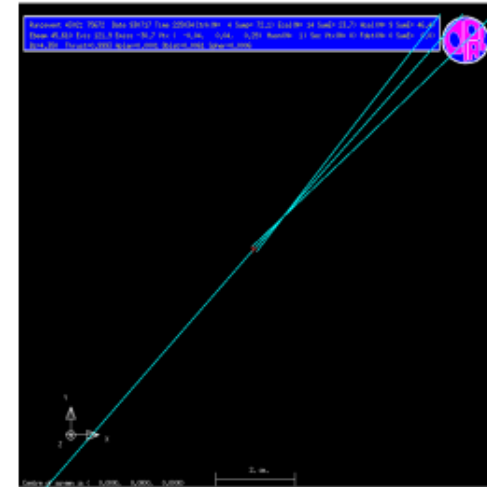
m_{Elektron}	=	511 keV	=	511 000 eV
m_{Proton}	=	938 MeV	=	938 000 000 eV
$m_{\text{Top-Quark}}$	=	172 GeV	=	172 000 000 000 eV
E_{LHC}	=	3.5 TeV	=	3 500 000 000 000 eV

Gegenstände der Untersuchung

Spektroskopie

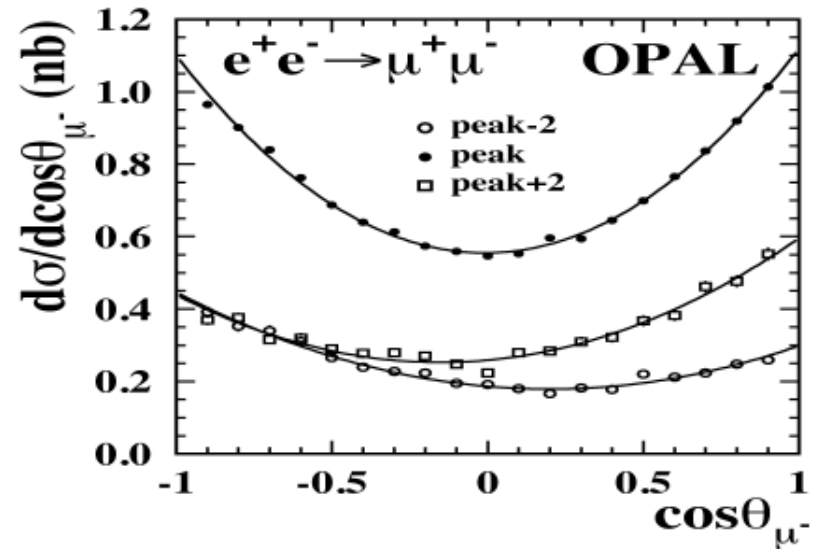
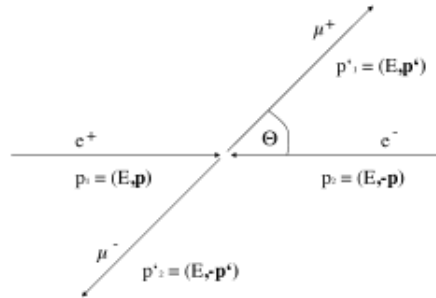


Lebensdauer, Zerfallswahrscheinlichkeiten



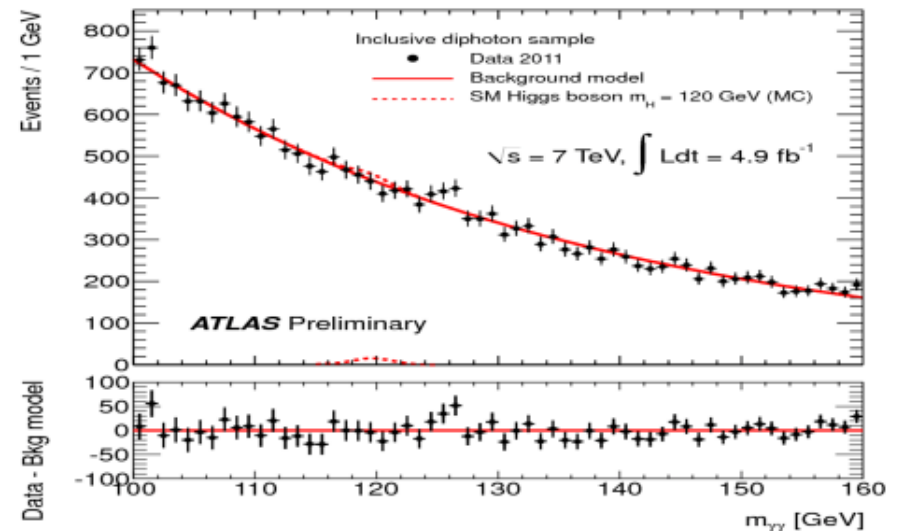
Gegenstände der Untersuchung

Streuhäufigkeiten

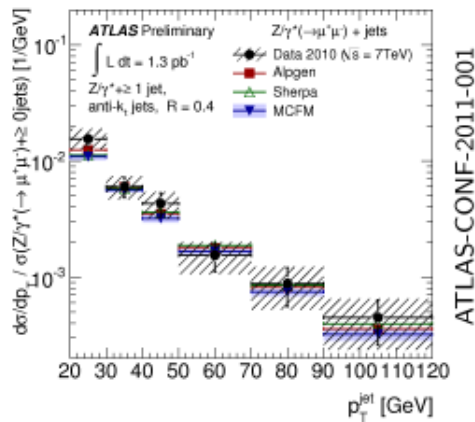
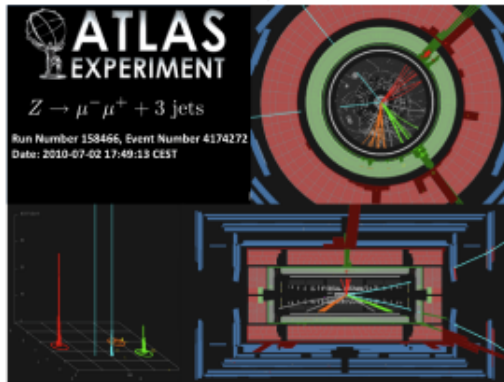
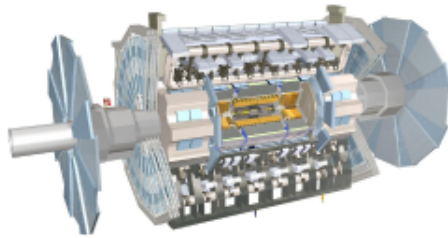


Suche nach neuen Teilchen

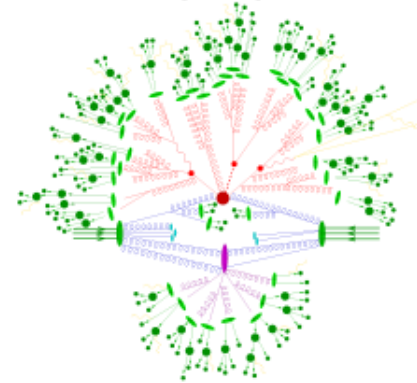
z.B. Higgs \rightarrow 2 Photonen



Werkzeuge



MC-Ereignisgenerator



+ Detektorsimulation

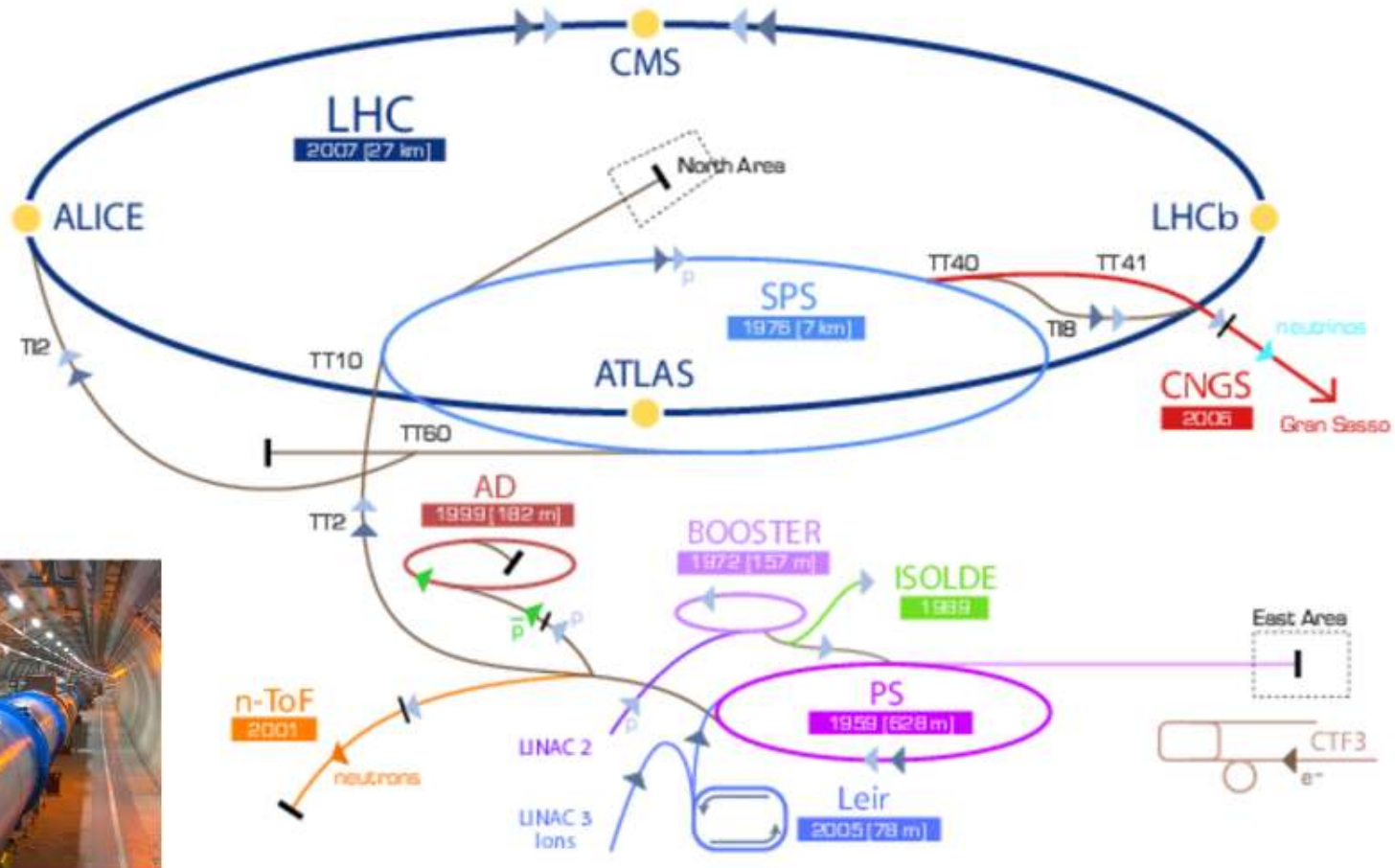
Teilchenquellen z.B. Beschleuniger

Detektoren + Signalverarbeitung
(MC-Ereignisgenerator + Simulation)

Ereignisrekonstruktion
(Spuren, Energidepositionen \rightarrow 4-er-Vektoren)

Stat. Analyse der Interessanten Observablen

Der Beschleunigerkomplex am CERN



▶ p [proton] ▶ ion ▶ neutrons ▶ \bar{p} (antiproton) ▶+▶ proton/antiproton conversion ▶ neutrinos ▶ electron

LHC Large Hadron Collider SPS Super Proton Synchrotron PS Proton Synchrotron

AD Antiproton Decelerator CTF3 CIRC Test Facility CNGS CERN Neutrinos to Gran Sasso ISOLDE Isotope Separator OnLine DEvice

LEIR Low Energy Ion Ring LINAC LINear ACcelerator n-ToF Neutrons Time Of Flight



Warum diese hohe Energien?

$$\Delta x \cdot \Delta p \geq \hbar$$

Werner Heisenberg:
kleine Strukturen – kleine Abstände

$$E = m \cdot c^2$$

Albert Einstein:
neue und schwere Materie

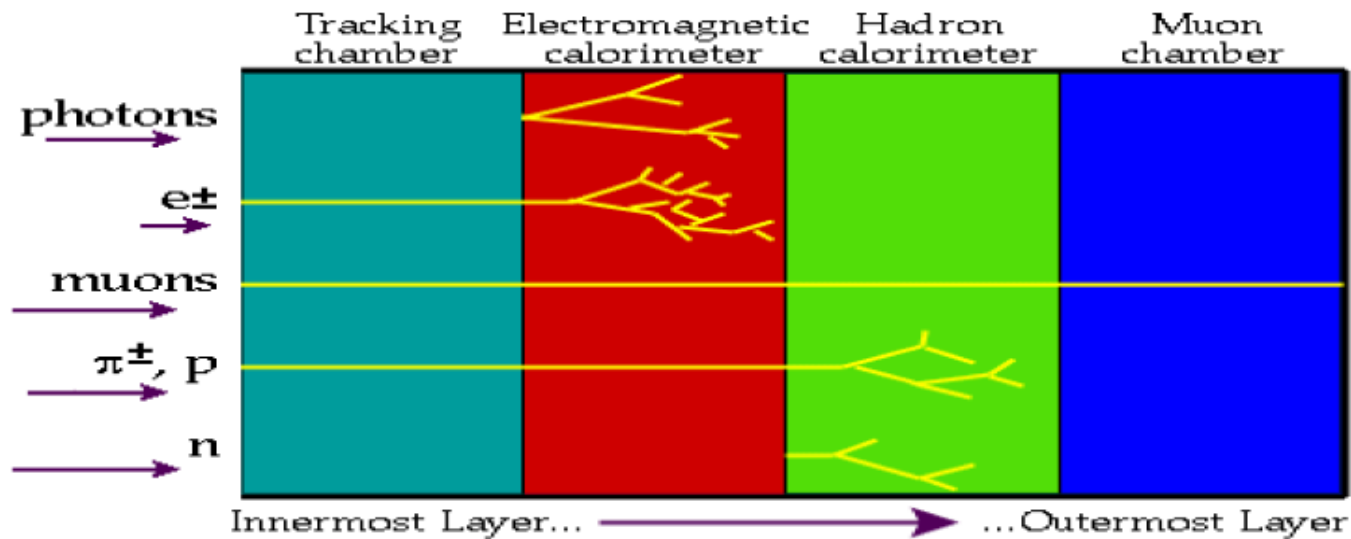
$$\langle E \rangle \approx k_b \cdot T$$

Ludwig Boltzmann:
hohe Temperaturen

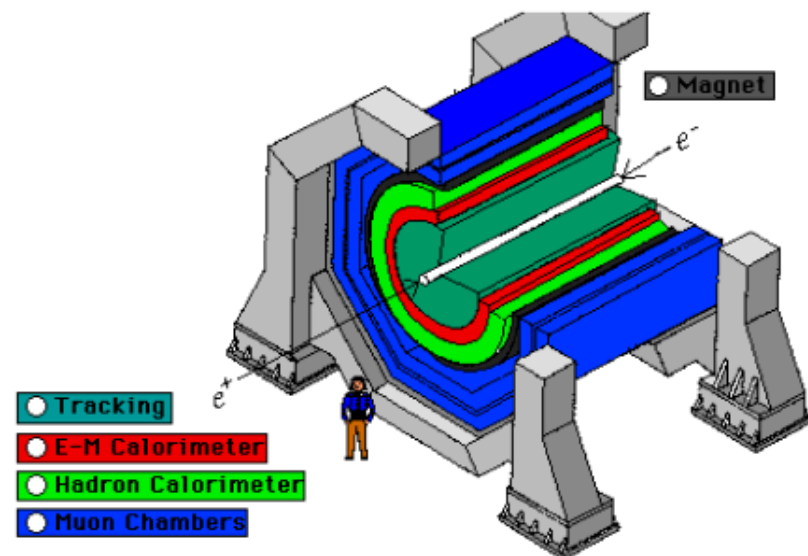
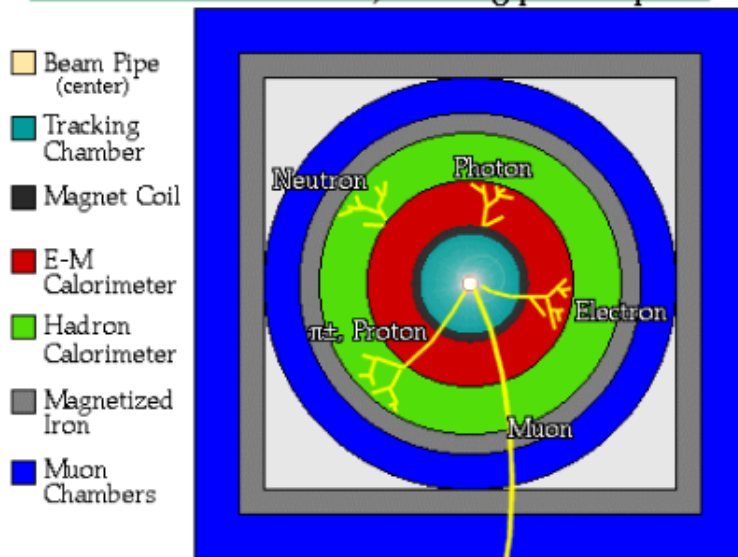
Mit dem LHC (2x4 TeV in 2012):

- Abstände von 10^{-19} m = 1/10 000 000 000 000 000 000 m
- Massen von 3000 Protonmassen bzw. 25 Goldkernen
- Temperaturen von 4×10^{16} K (Temperatur des Universum 10^{-12} s nach Urknall)

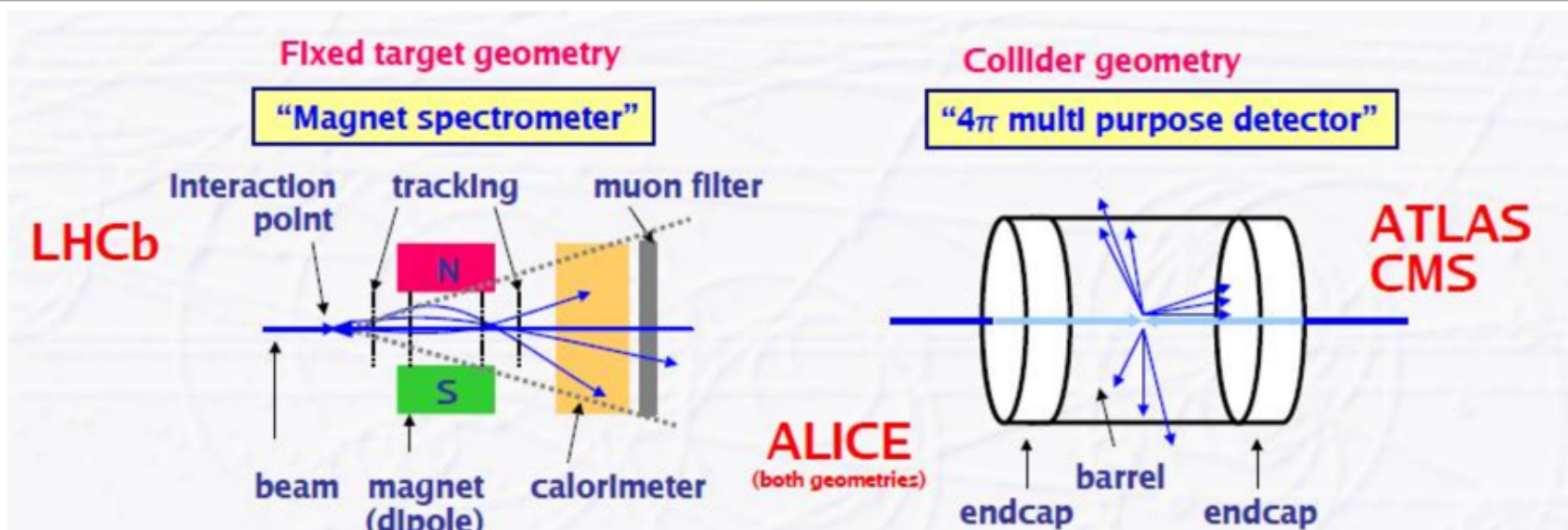
Übersicht über Collider-Detektor



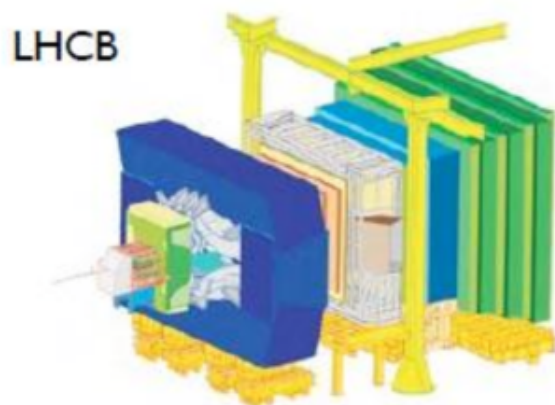
A detector cross-section, showing particle paths



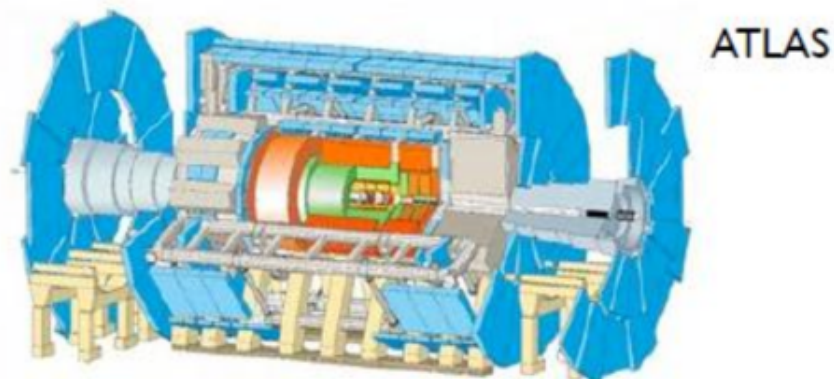
“Fixed Target” und “Collider”-Geometrie



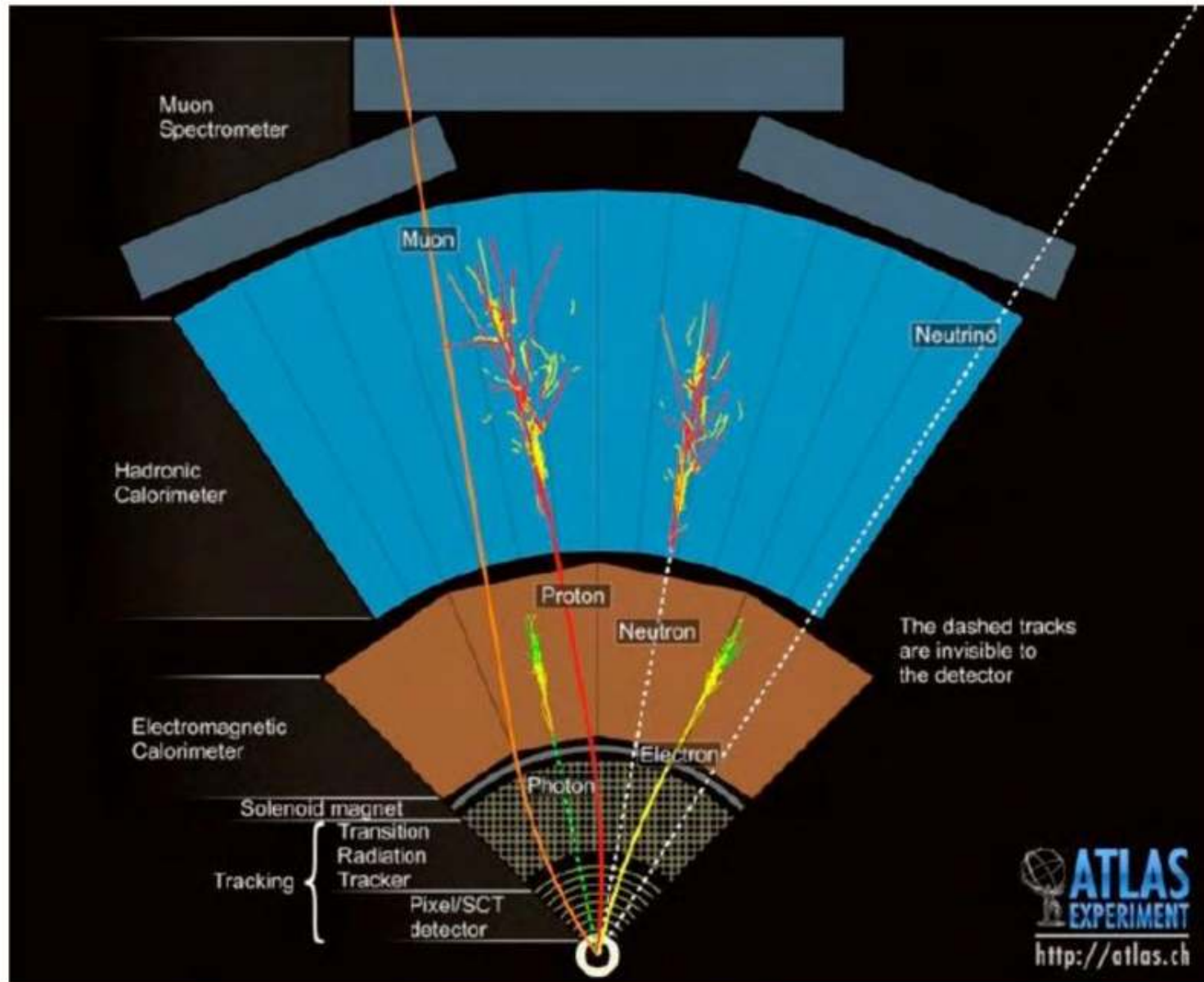
Fixed-Target Detector



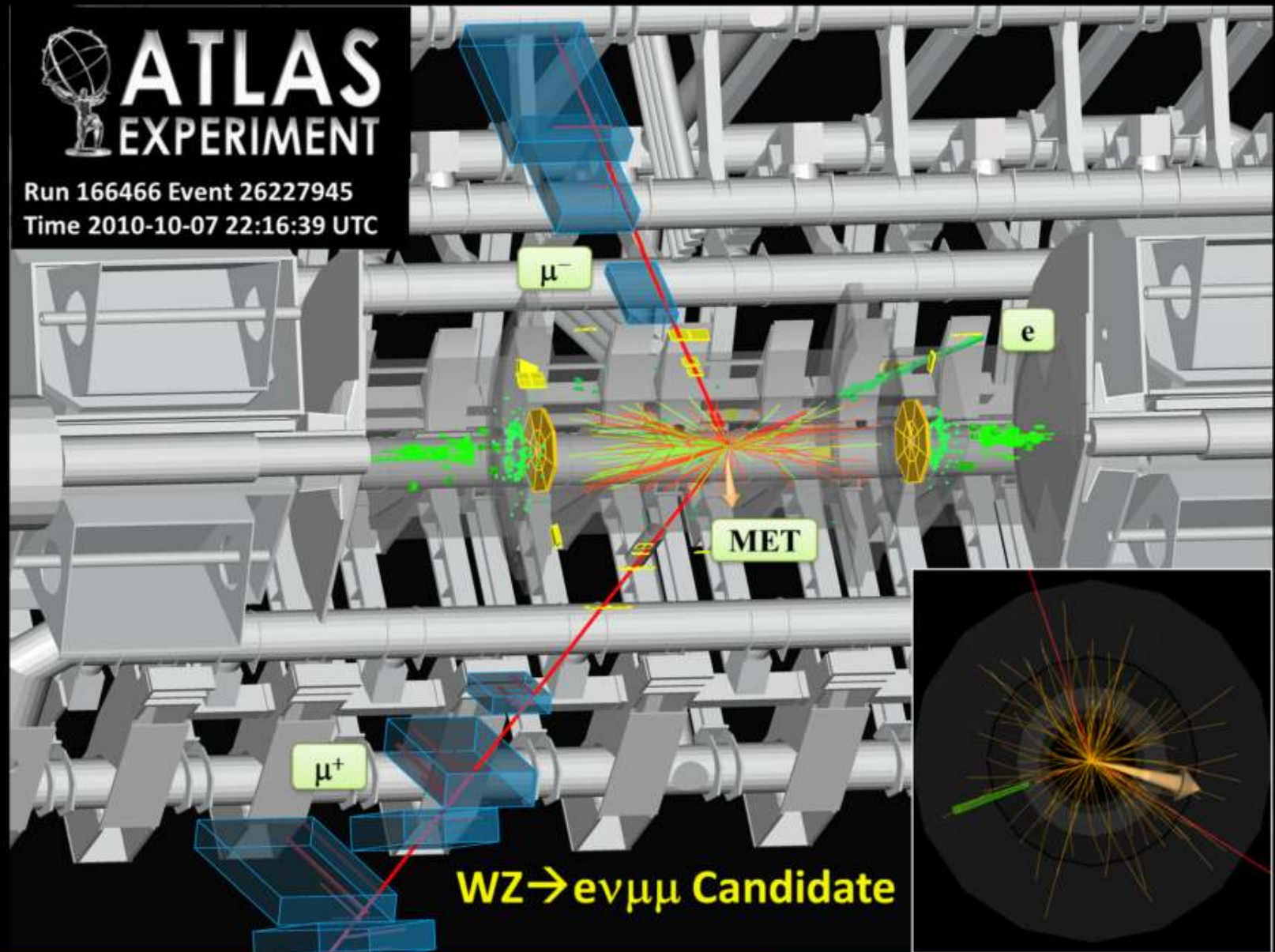
Collider Detector



Teilchenidentifikation in ATLAS



Identifikation von Teilchen in ATLAS



Z \rightarrow 2 Myonen mit 20 „Pileup“-Ereignissen

