

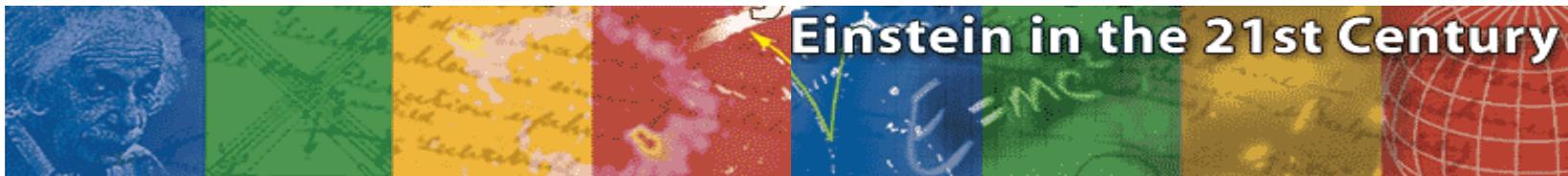


CERN MASTER CLASS 2013



Dr. Martin zur Nedden
Dr. Ulrich Schwanke
Humboldt-Universität zu Berlin

Adelheid Sommer
DESY in Zeuthen



Ablauf



- 09.30 Begrüßung
- 09.45 – 11.00 Ein Universum voller Teilchen
 - Einführung in die Teilchenphysik (**Dr. M. zur Nedden**)
- 11.00 – 11.45 Das Unsichtbare sichtbar machen
 - Detektoren und Nachweismethoden (**Dr. U. Schwanke**)
- 11.45 – 12.45 Mittagspause (WISTA-Kantine)
- 12.45 – 14.30 Praktische Übung mit LHC Daten am PC
 - geleitet von **Studierenden der HU Berlin**
- 14.30 – 15.00 Pause
- 15.00 – 15.45 Neues vom Higgs-Boson
 - Vortrag (**Dr. M. zur Nedden**)
- Lehrer: 15.45 – 16.15 Das Programm Netzwerk Teilchenwelt
 - Vorstellung durch **Adelheid Sommer**
- Lehrer: 16.15 – 17.30 Discover the Cosmos: europäische Aktivität
 - Förderung von moderner Naturwissenschaft im Unterricht, **Michael Rockstroh**
- Schüler: 15.45 – 17.00 Internationale Videokonferenz

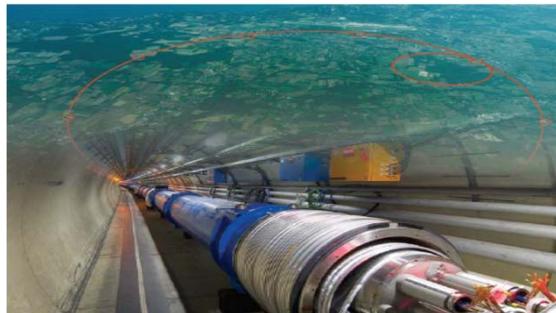
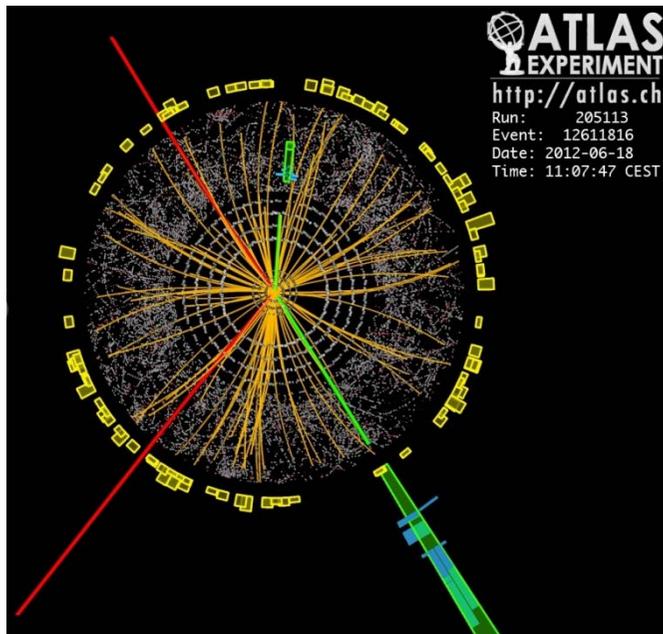
Mitwirkende



- **HU Berlin**
 - Dr. Martin zur Nedden, Physik am LHC
 - Dr. Ullrich Schwanke, Astroteilchenphysik
 - Studierende / Doktoranden: Christoph Schwanke, Laura Rehnisch, Martin Mamach, Dennis Sperlich, Thomas Murach, Thomas Kintscher, Phillip Wagner
- **DESY in Zeuthen**
 - Adelheid Sommer, Schülerprojekte und Öffentlichkeitsarbeit
- **TU Dresden**
 - Michael Rockstroh, Dicover the Cosmos Project



Einführung in die Teilchenphysik, den Beschleuniger LHC und die Experimente



CERN Masterclass
an der HU Berlin
14./15. März 2013

Dr. Martin zur Nedden
(Teilchenphysik und Higgs)
Dr. Ullrich Schwanke
(Detektoren)

Inhalt

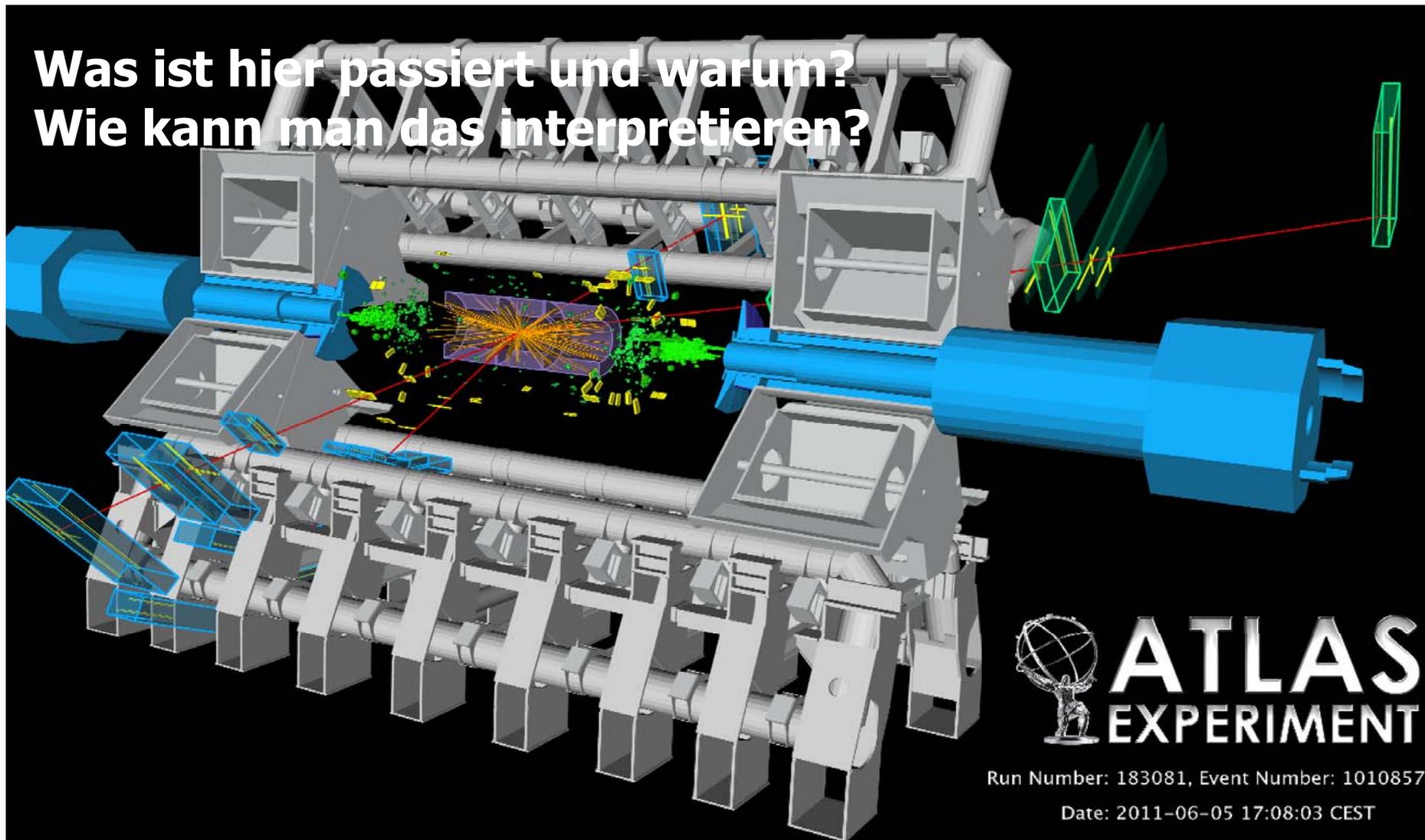


- **Einführung in die Teilchenphysik**
 - Das Standardmodell der Teilchenphysik
 - Aktuelle Resultate des LHC
- **Beschleuniger und Detektoren**
 - Der Beschleuniger LHC und das Experiment ATLAS
 - Nachweis von Teilchen und Detektoren
 - Experimentierarbeit beim ATLAS-Experiment am CERN
- **Unser Plan für Heute**
 - Suche nach Z- und Higgs Bosonen
- **Suche nach dem Higgs Boson**
 - Warum brauchen wir das Higgs?
 - Die schwierige Suche nach dem Higgs

Was Wollen Wir heute verstehen?



Was ist hier passiert und warum?
Wie kann man das interpretieren?





Einführung in die Elementarteilchenphysik

Vorbemerkung: Nützliche Einheiten für Teilchen

- Größe:

1 fm = 1 Femtometer („Fermi“) = 10^{-15} m
(1 μm = 1.000.000.000 fm)

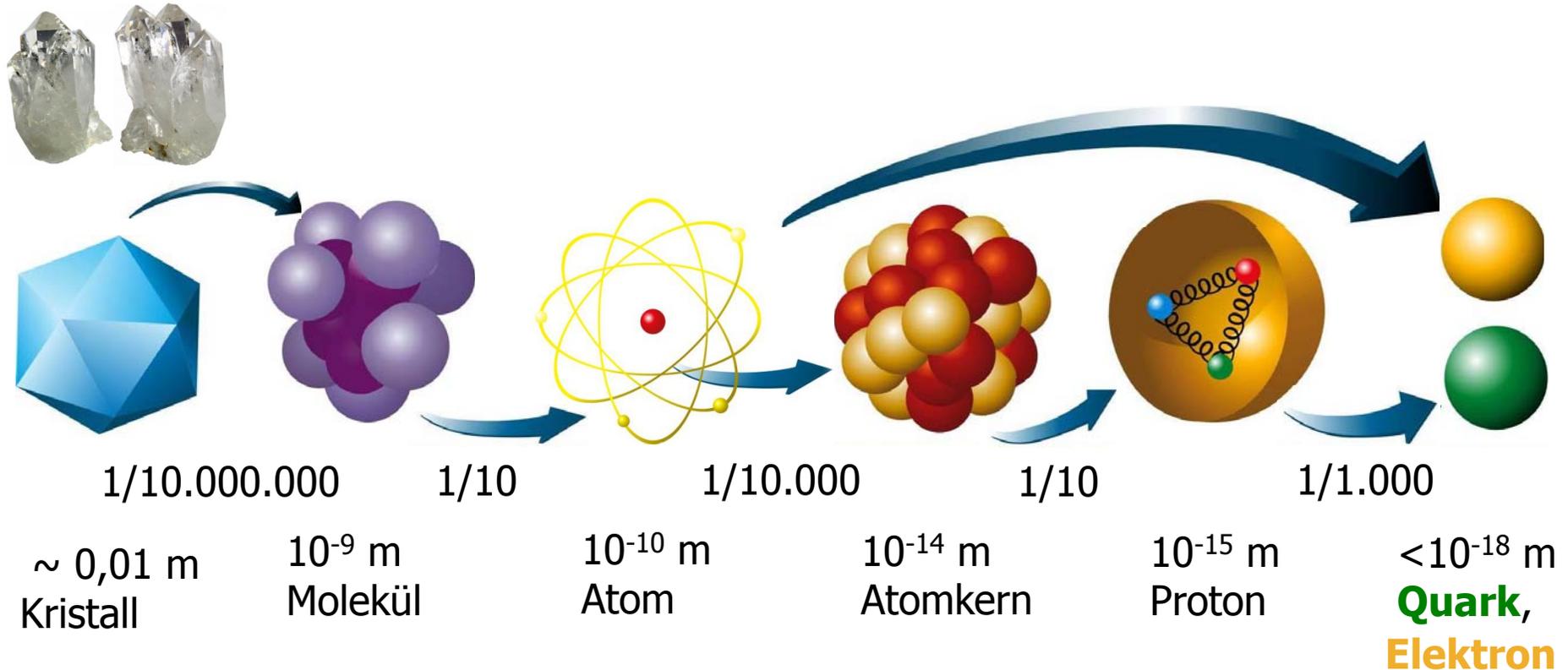
- Energie:

1 eV = 1 Elektronvolt = $1.6 * 10^{-19}$ J
(eine Ladung auf einem
Meter bei 1 V Spannung)

**1 GeV: „viel“ für ein Teilchen, aber makroskopisch winzig:
könnte Taschenlampe (1,6 Watt) für ganze
0,000.000.0001 Sekunden zum Leuchten bringen**



Der Aufbau der Materie



Stecknadelkopf:

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

Elektron, Quark:

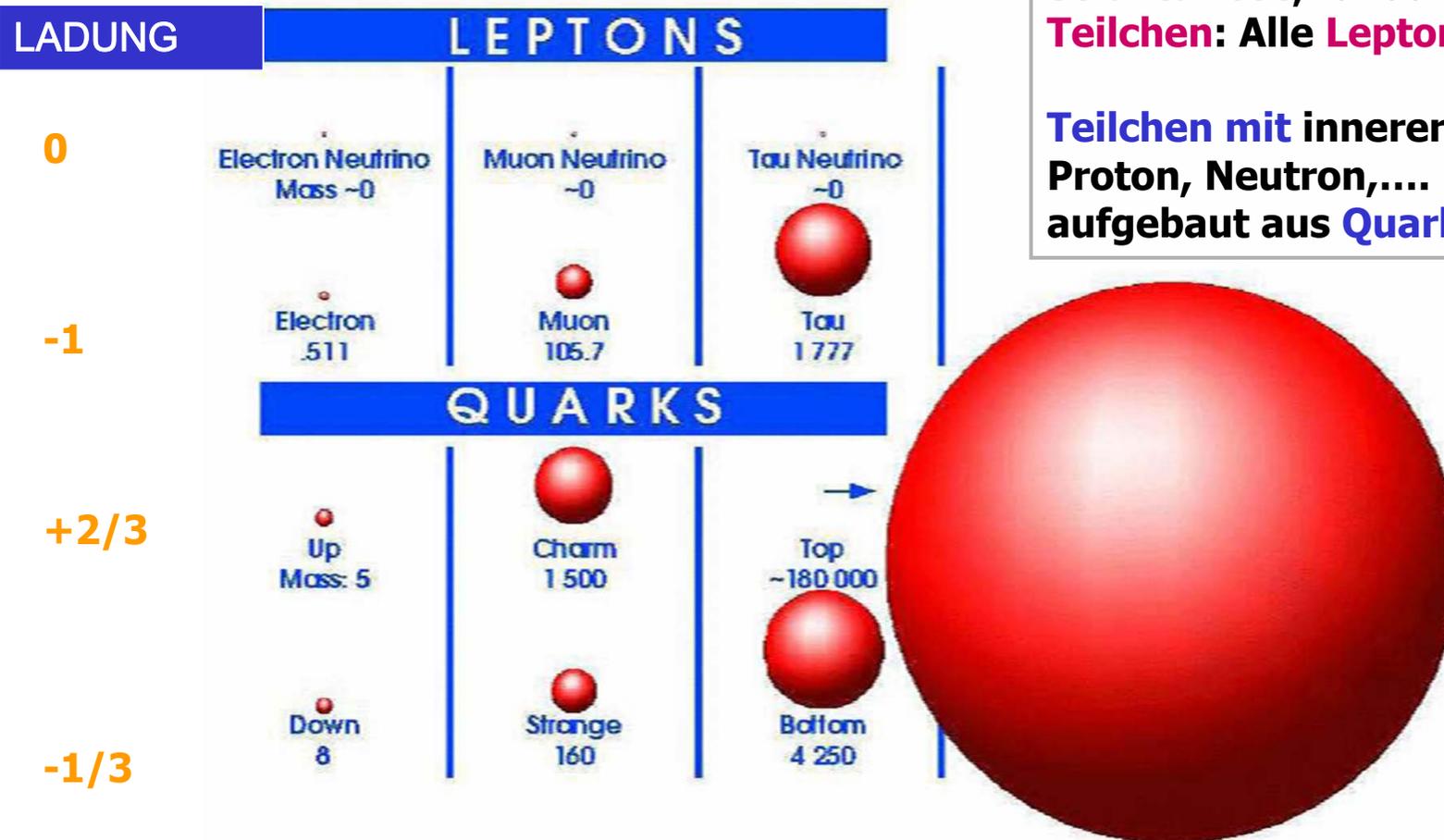
$< 10^{-18}m = 0,0000000000000000001m$

Bausteine der Materie: Quarks und Leptonen

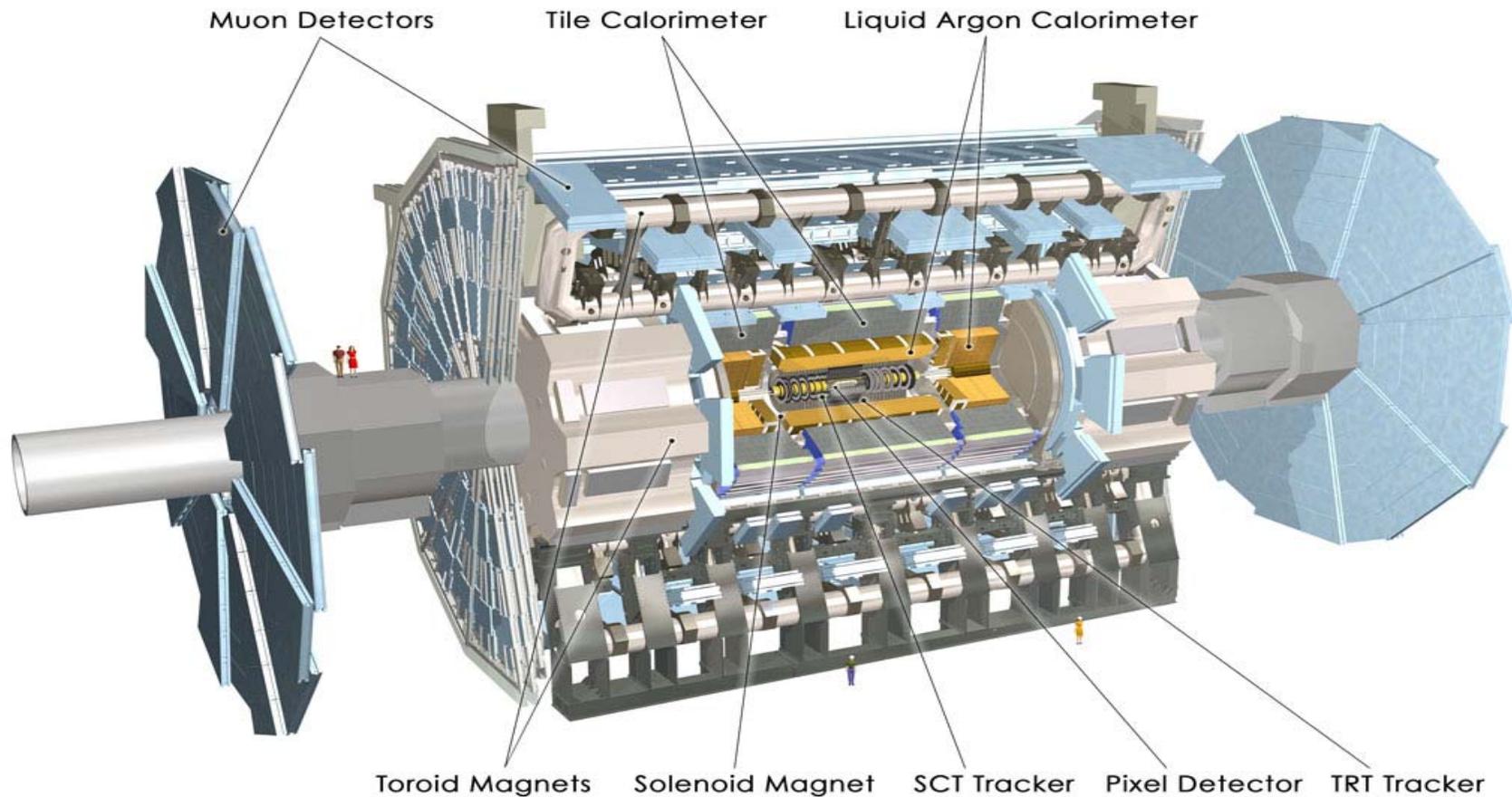
Stabile Materie: up- und down-Quark, Elektronen

Strukturlose, fundamentale Teilchen: Alle Leptonen

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

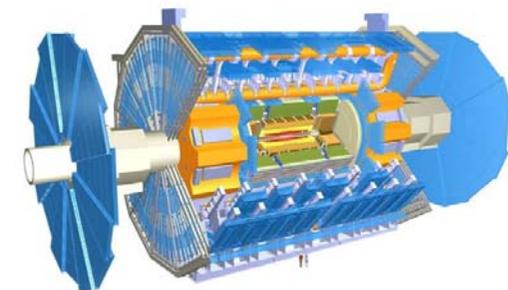
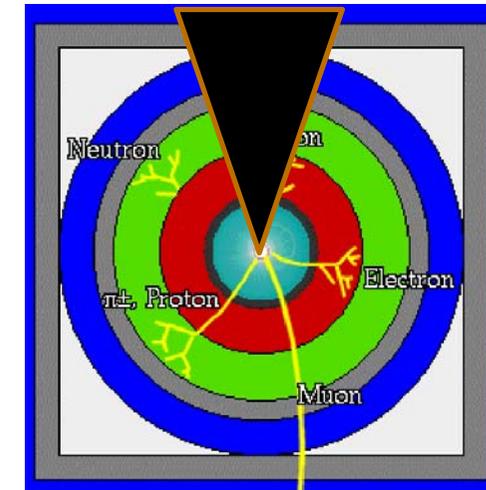
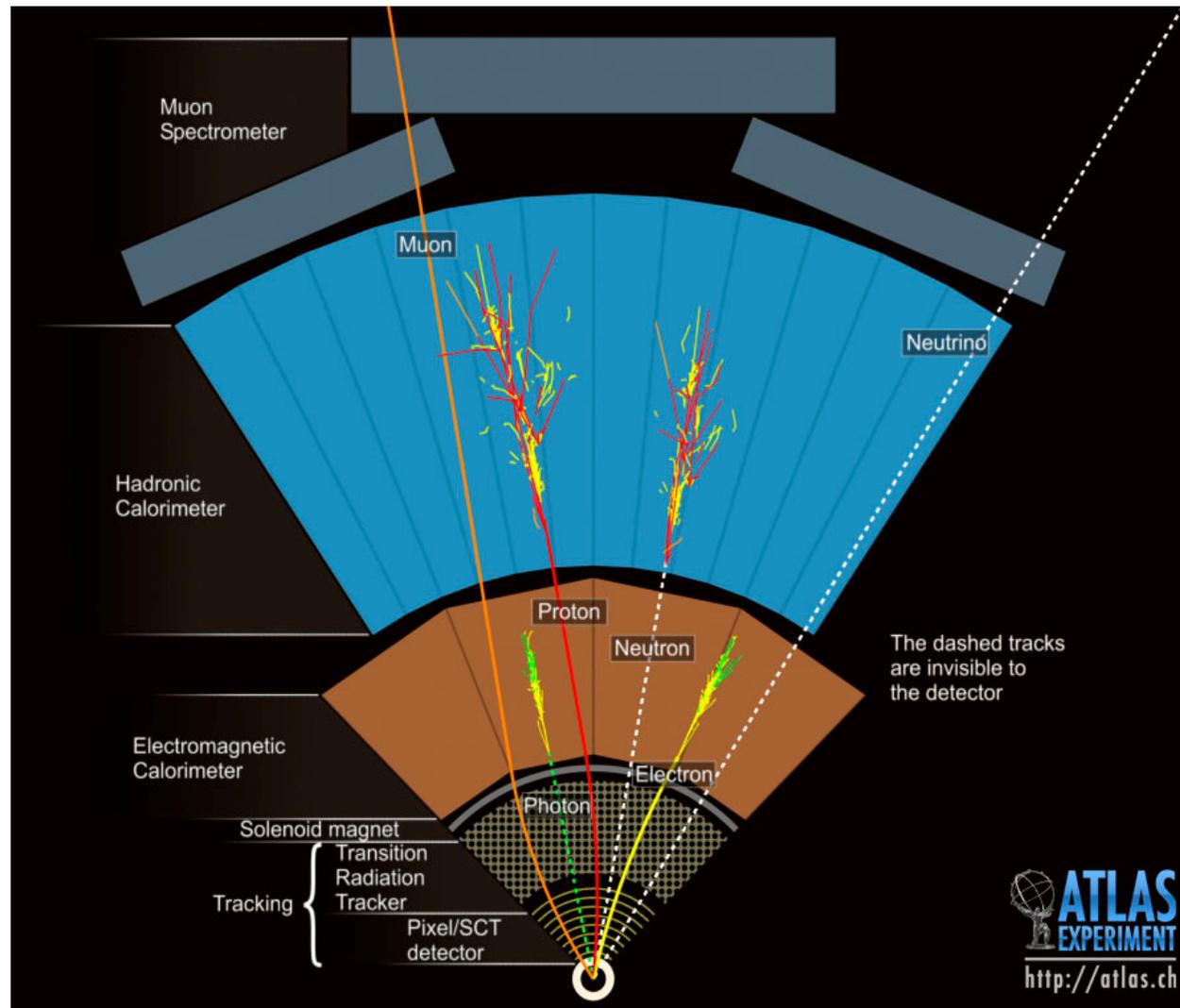


Teilchennachweis: ATLAS-Detektor



Siehe Vortrag von U. Schwanke

Teilchen im ATLAS-Detektor (LHC)

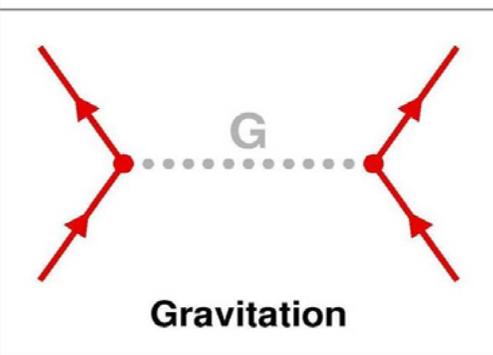
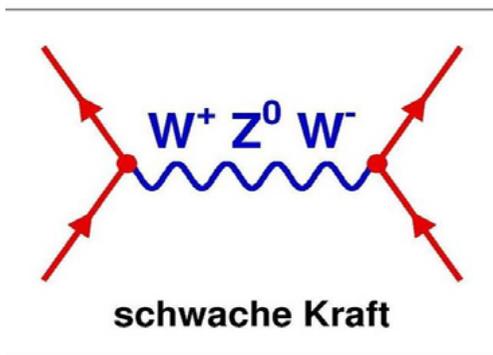
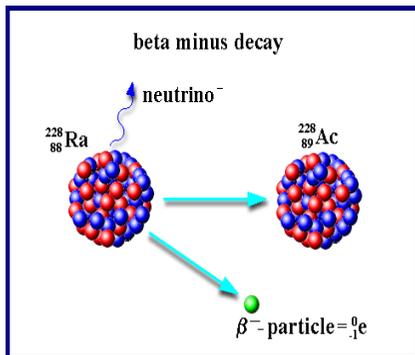
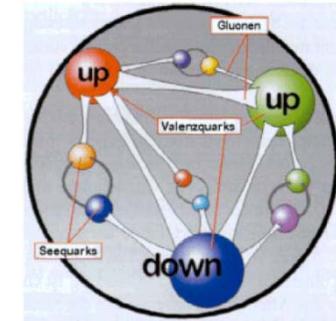
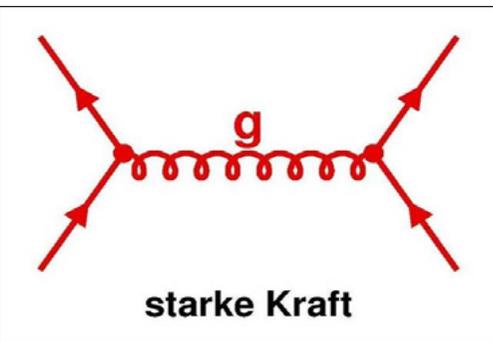
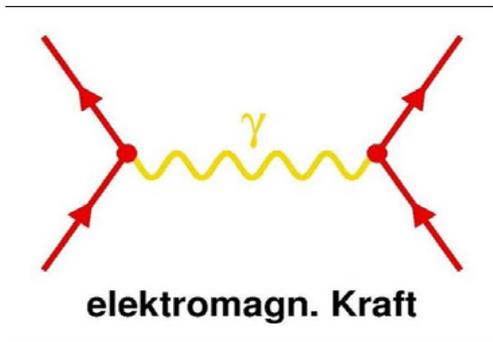
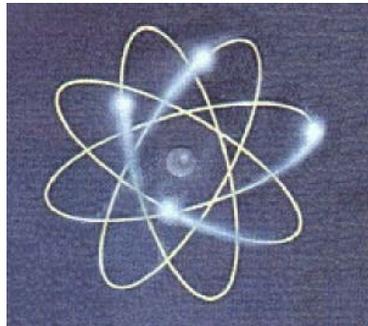


Die vier Grundkräfte



- Elektromagnetische Kraft
 - wirkt zwischen allen geladenen Teilchen
 - verantwortlich z.B. für den Zusammenhalt von Atomen
- Starke Kraft
 - wirkt zwischen den Quarks
 - verantwortlich für den Aufbau von Elementarteilchen und den Zusammenhalt der Kerne
- Schwache Kraft
 - verantwortlich für Umwandlungsprozesse von Elementarteilchen (z.B. Teilchenzerfälle)
- Gravitationskraft
 - 10^{36} mal schwächer als die starke Kraft
 - spielt in der Teilchenphysik keine Rolle

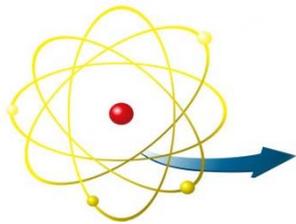
Kraftvermittler: Austauschteilchen



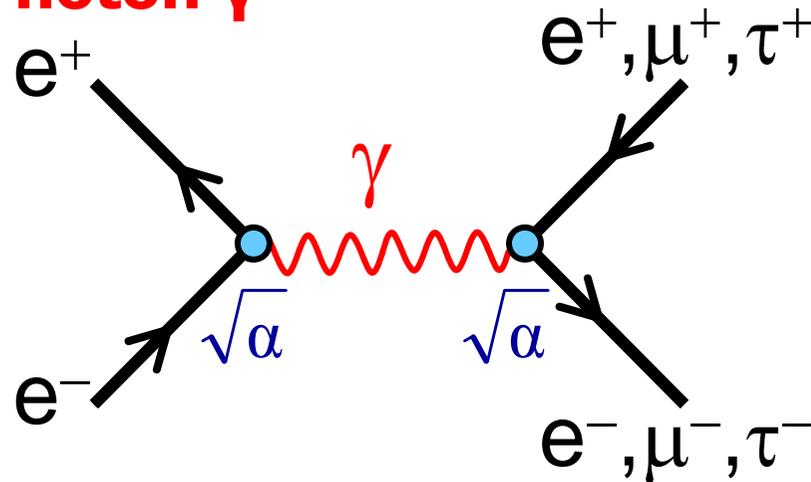
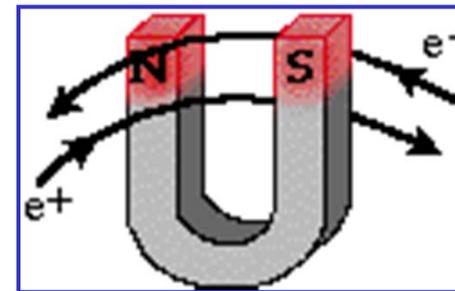
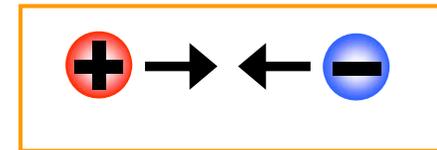
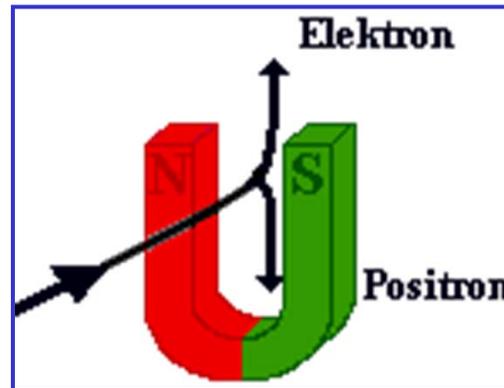
Austauschteilchen sind die Quanten der Kraftfelder

Elektromagnetische Wechselwirkung

bekannteste aller Kräfte:
elektrische und **magnetische** Phänomene



Botenteilchen:
Photon γ



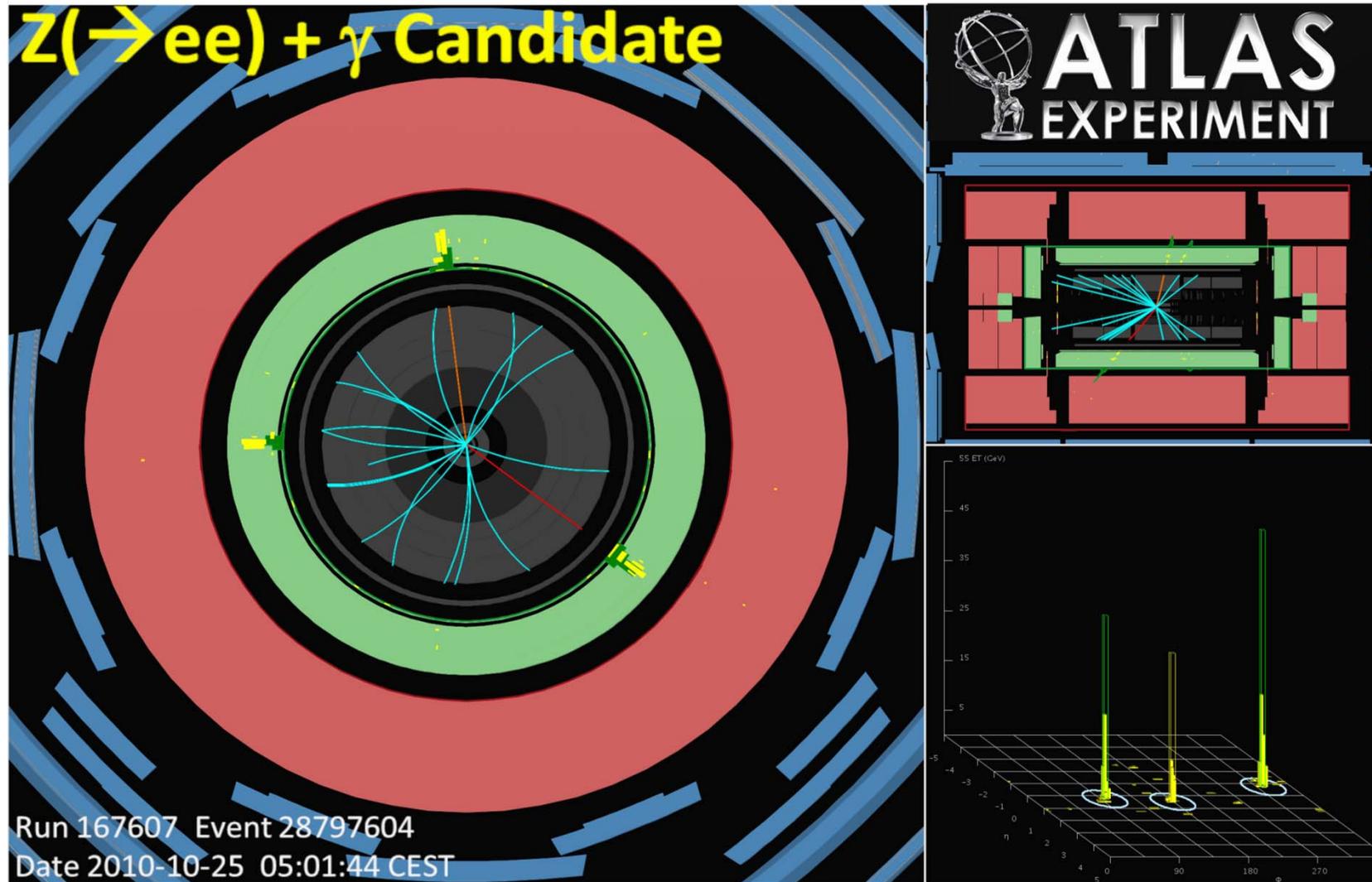
Verantwortlich u.a. für:

- Elektrizität
- Zusammenhalt der Atome und Moleküle
- elektromagnetische Wellen

Elektromagnetische Wechselwirkung



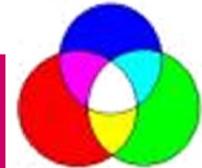
$Z(\rightarrow ee) + \gamma$ Candidate



Die starke Kraft: „Quantenchromodynamik“

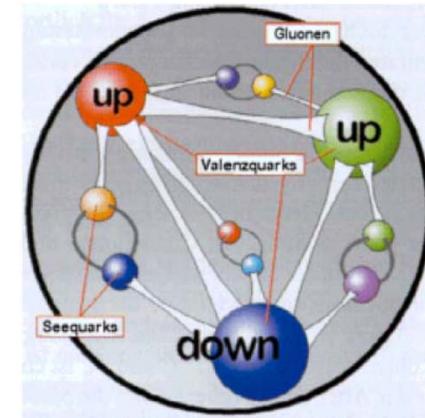
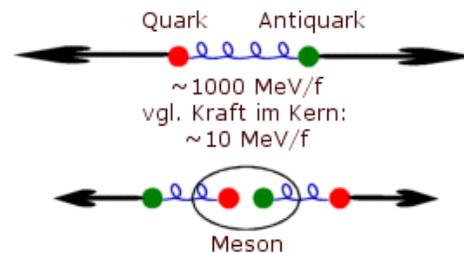
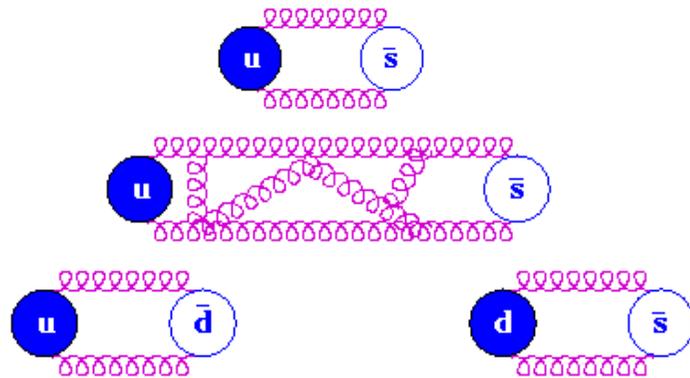
Quarks erscheinen nur im Verband (Bsp Proton = $|uud\rangle$, Neutron = $|ddu\rangle$)
 Quarks erscheinen frei beweglich im Verband

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



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

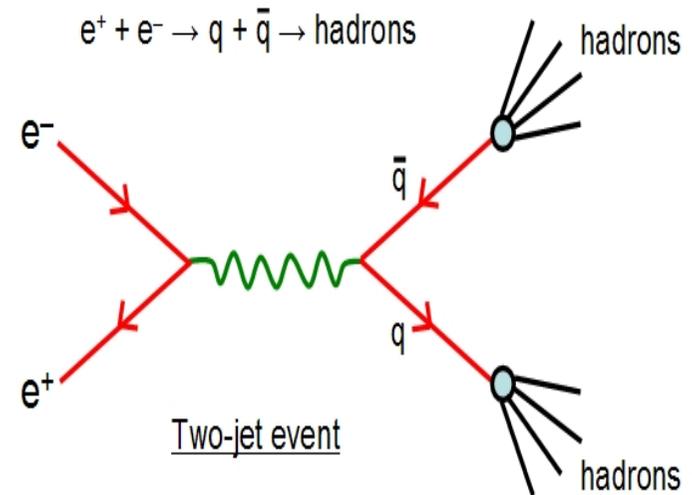
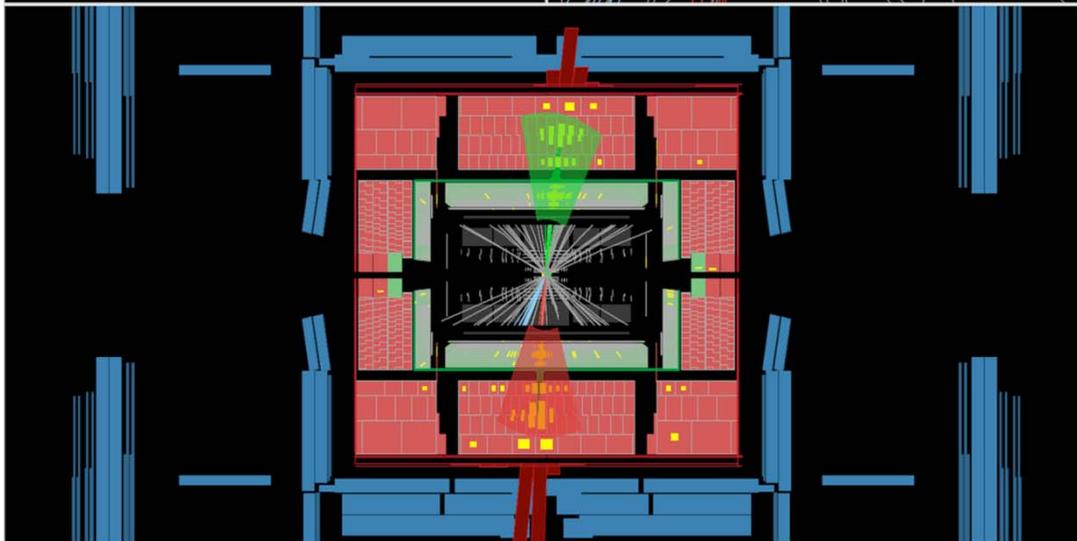
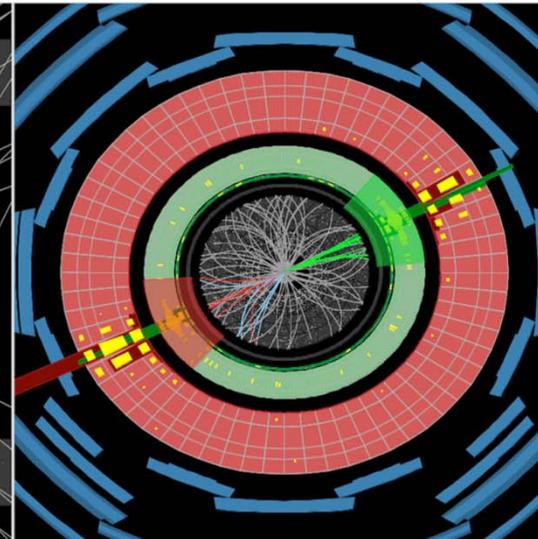
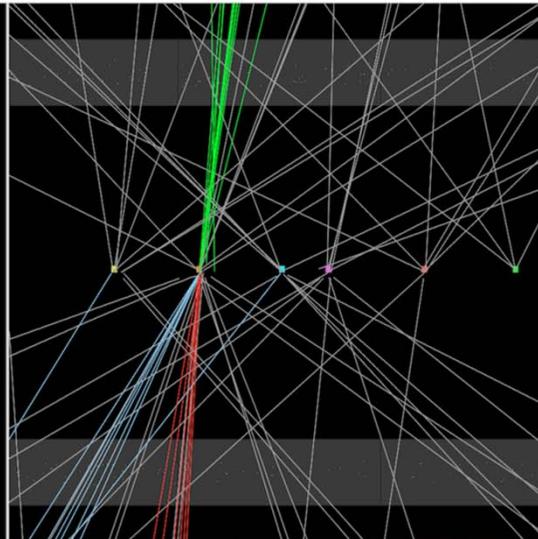


Starke Wechselwirkung: 2 Jets



 **ATLAS**
EXPERIMENT

Run Number: 201006, Event Number: 55422459
Date: 2012-04-09 14:07:47 UTC

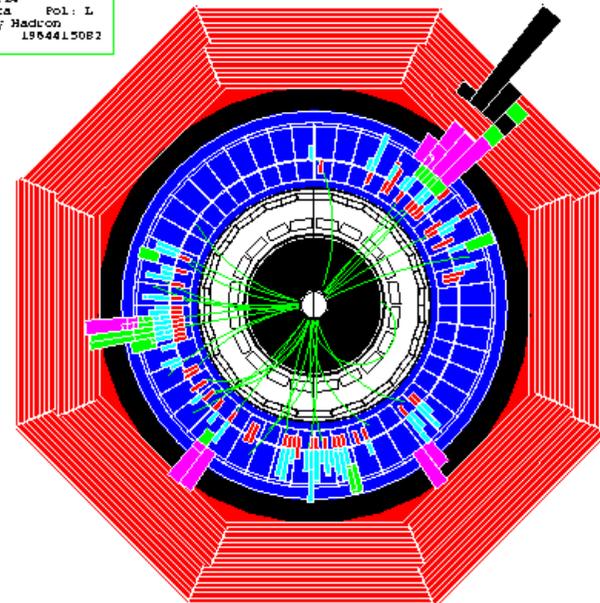
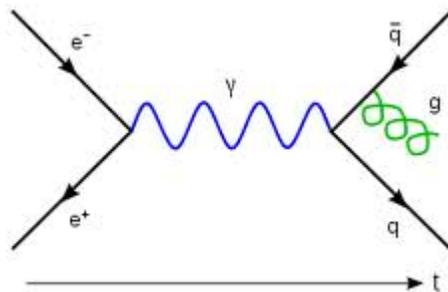


Entdeckung des Gluons (1982, DESY)



Entdeckung des Gluons:
Ereignisse mit 3 Jets!
Nur erklärbar, durch die
Anwesenheit des Gluons.

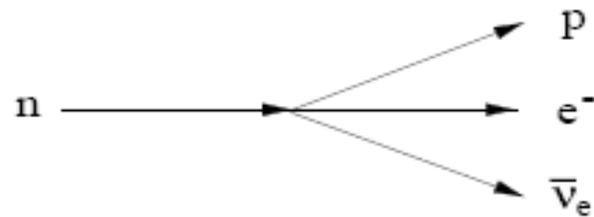
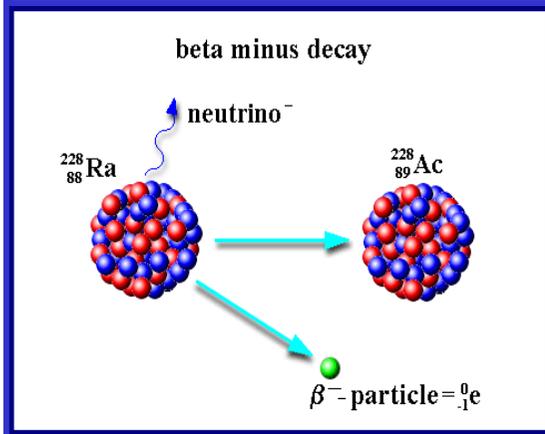
```
Run 12037, EVENT 0353
8-JUL-1982 10:14
Source: Run Data Pol: L
Trigger: Energy Hadron
Beam Crossing 1904415082
```



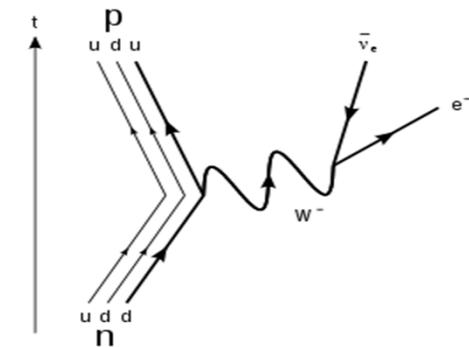
Entdeckung der schwachen Wechselwirkung



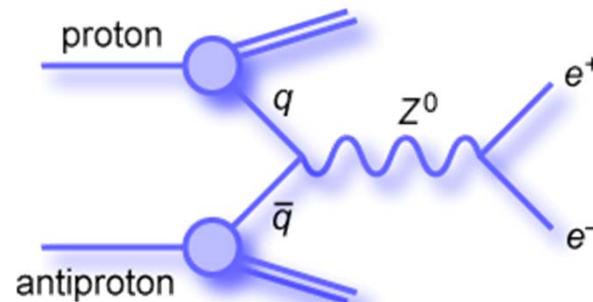
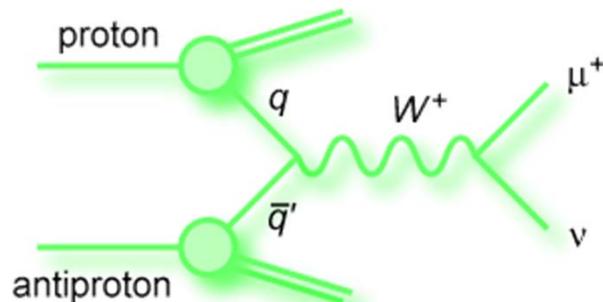
nuklearer β -Zerfall beruht auf dem Neutronenzerfall



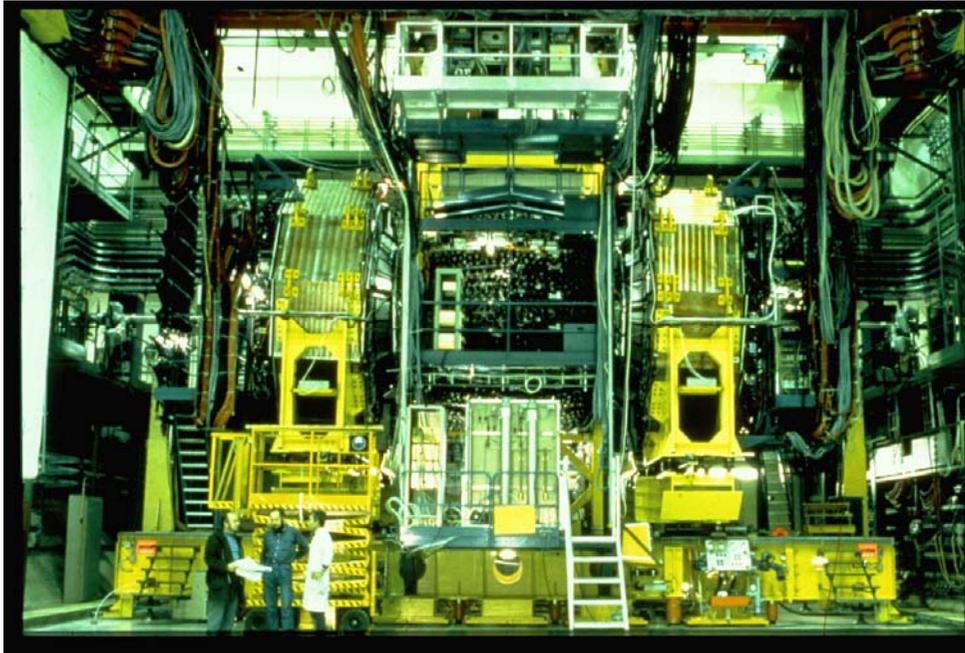
Quark-Niveau:
d-Quark zerfällt in ein **u-Quark**
 unter Austausch eines **virtuellen W-bosons**



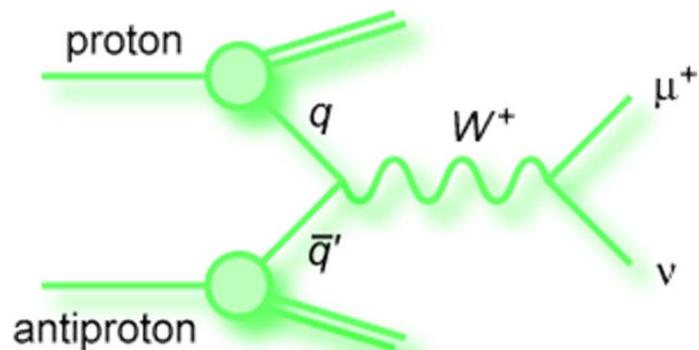
Produktion **reeller W und Z-Bosonen** in Wechselwirkungen von **Proton (Quark)** und **Antiproton (Antiquark)**



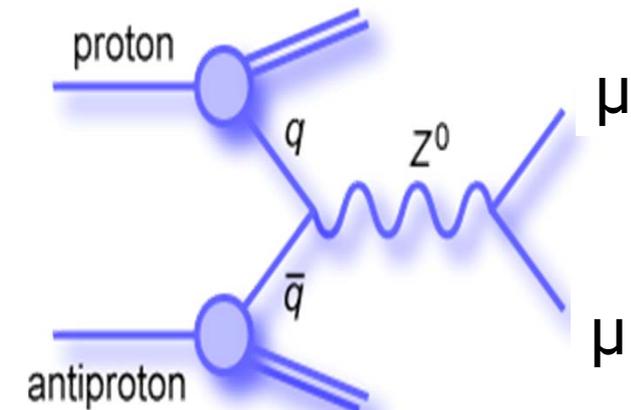
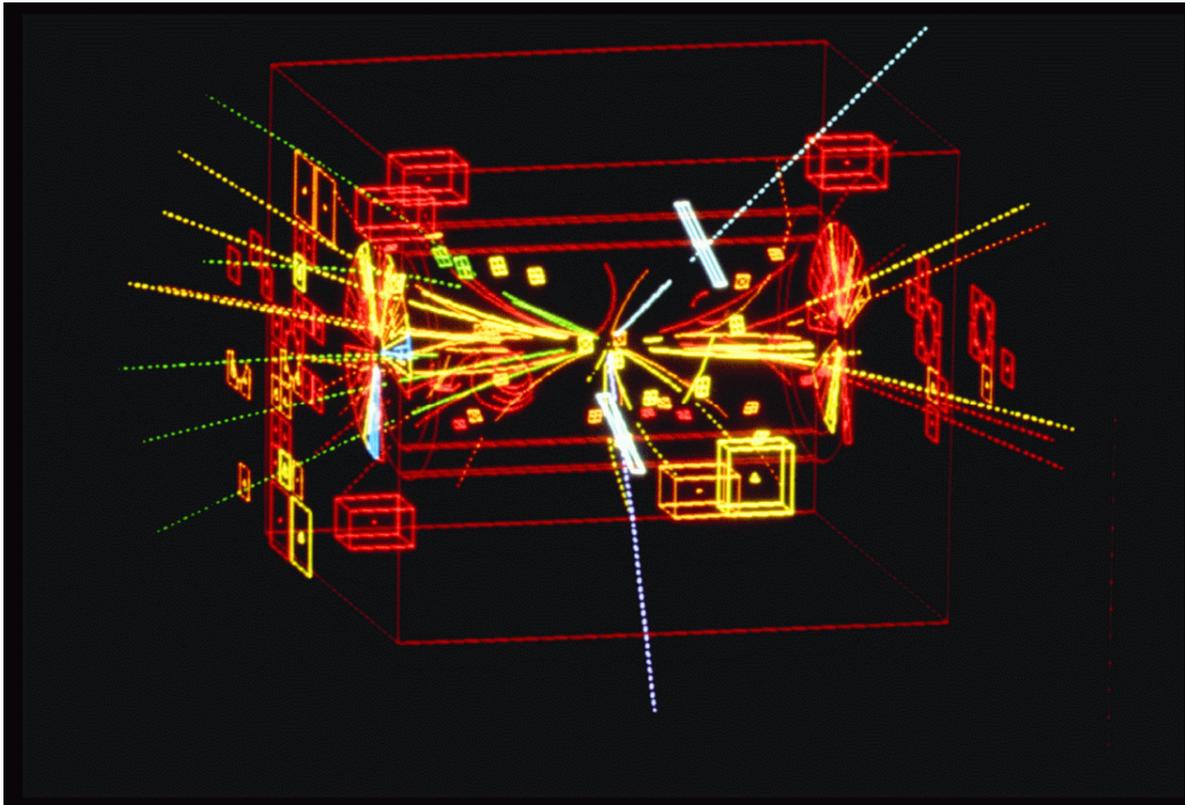
Entdeckung des W-Bosons (1982, CERN)



An den Experiment
UA1 und UA2
am CERN

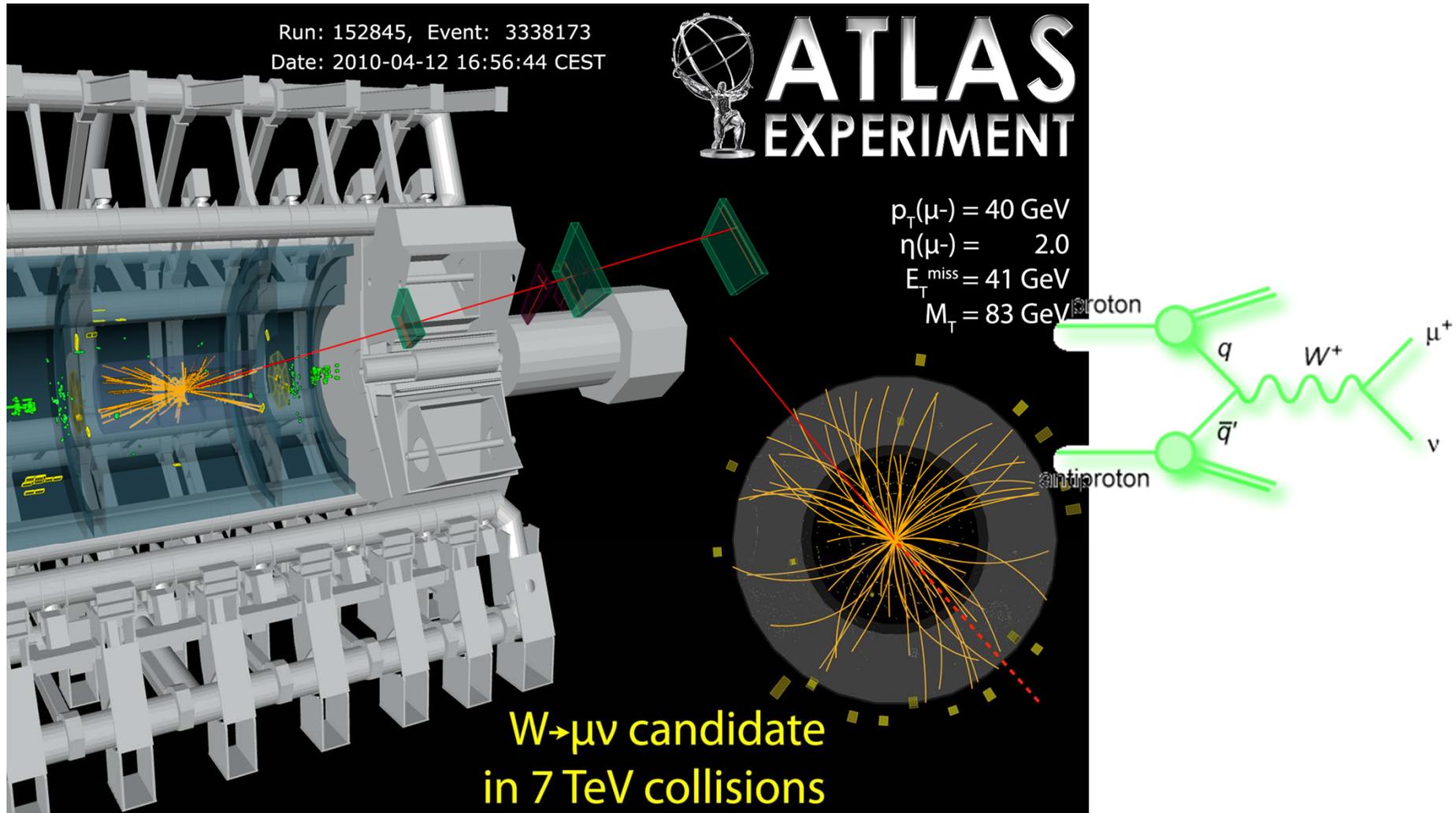


Entdeckung des Z-Bosons

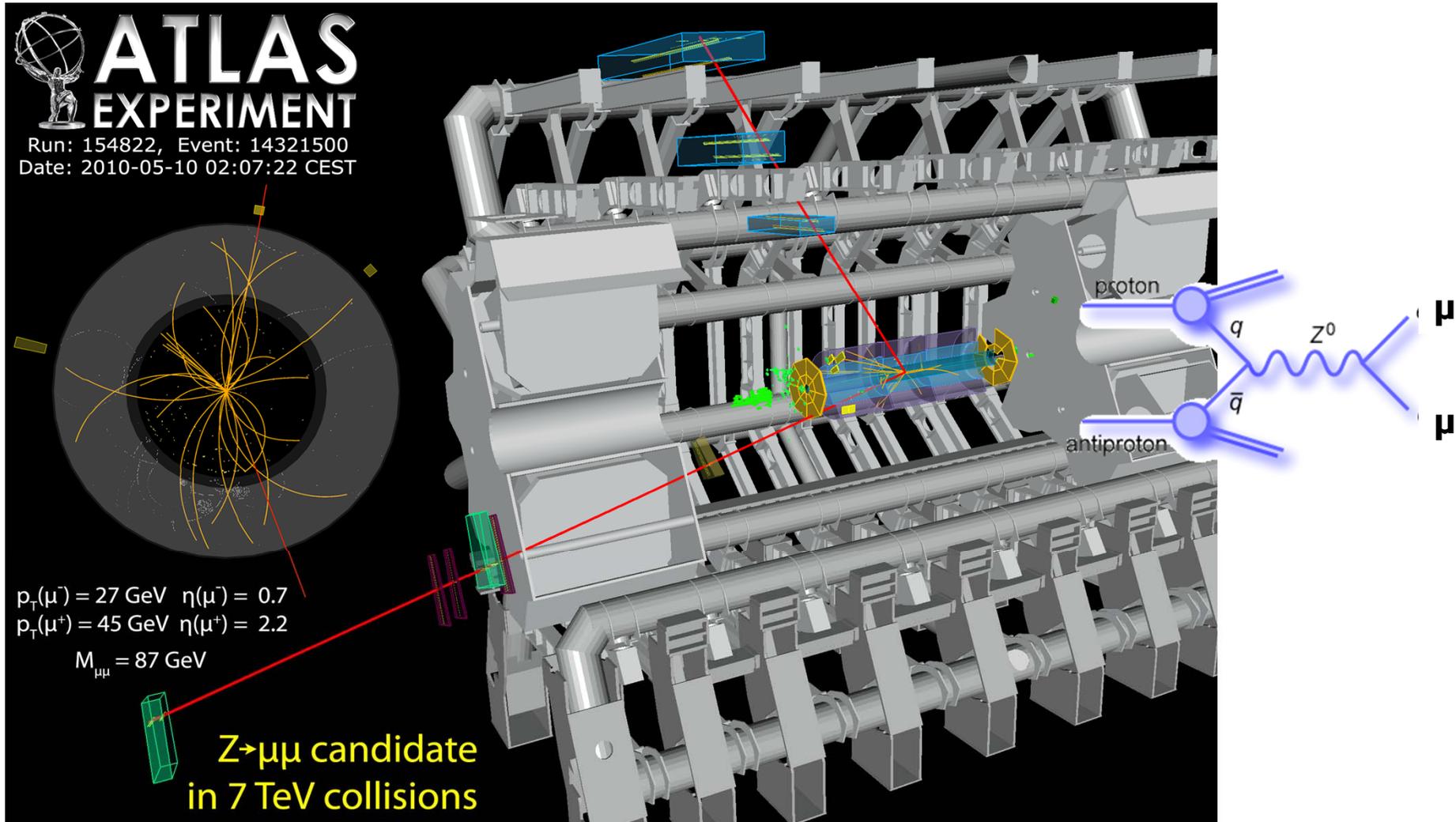


Gemeinsam mit der W-Entdeckung einer der wichtigsten Leistungen der Teilchenphysik des 20. Jahrhunderts!

W-Boson am LHC

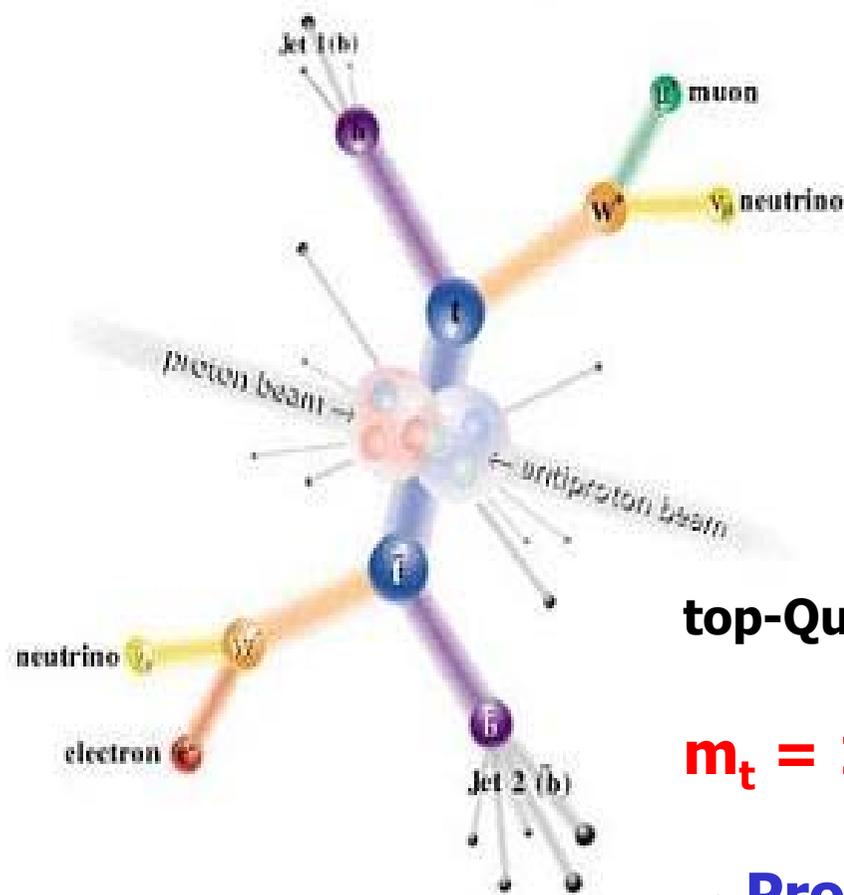


Z-Boson am LHC

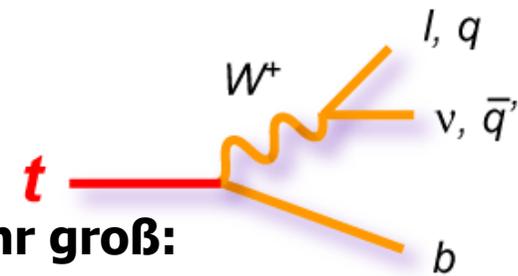
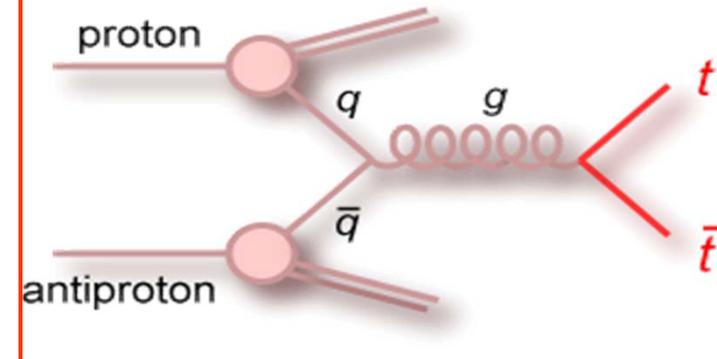


Entdeckung des Top-Quarks

Produktion in Proton-Antiproton Kollisionen:



1995 am TEVATRON

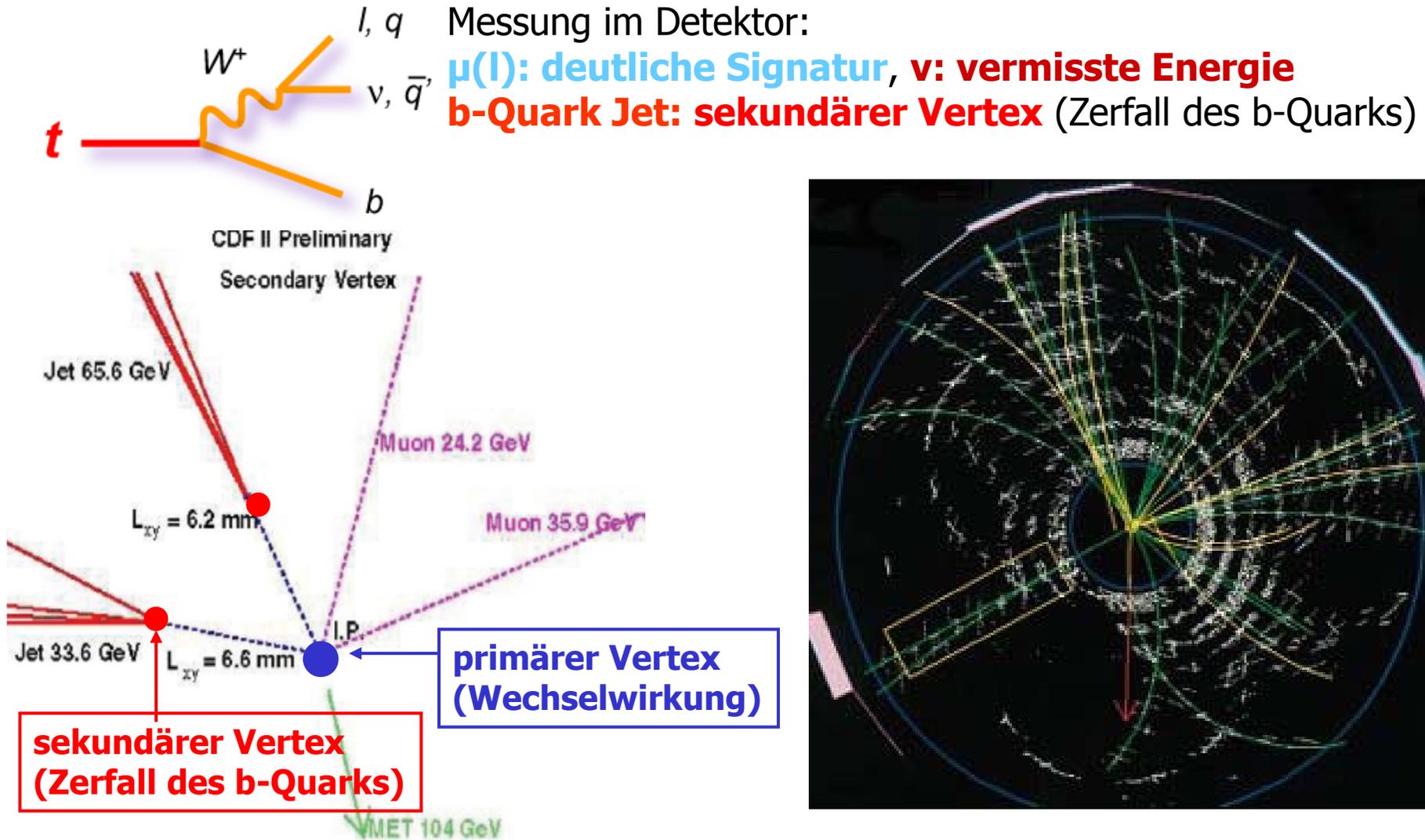


top-Quark Masse ist sehr groß:

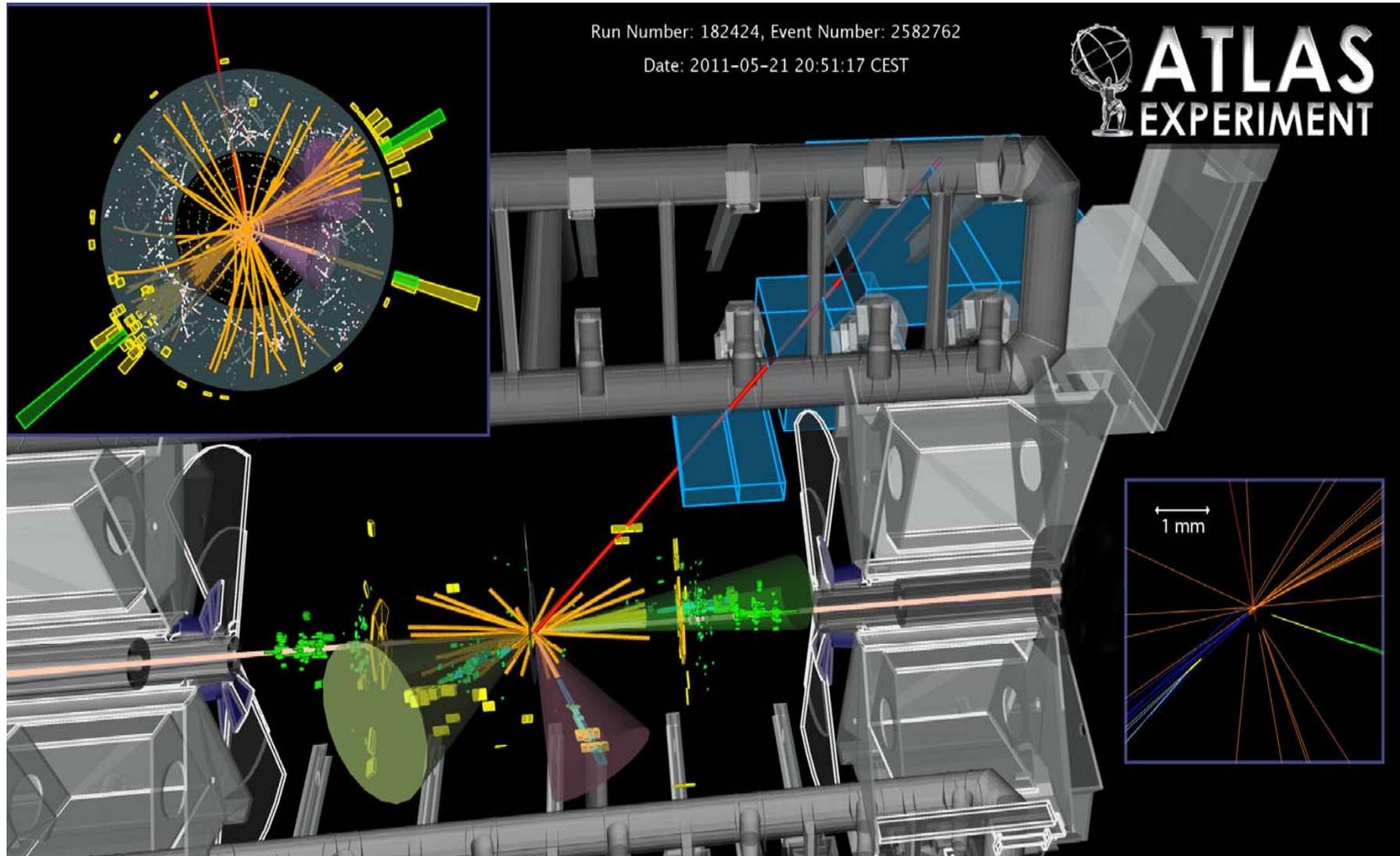
$$m_t = 173 \text{ GeV} > m_W$$

→ Produktion realer W-Bosonen

Signatur eines Top-Quarks



Top Ereignis im LHC



Das Standard-Modell



Fundamentale Teilchen:

6 Quarks (u, d, c, s, t, b)

6 Leptonen (e, μ , τ , ν_e , ν_μ , ν_τ)

Fundamentale Kräfte:

starke Wechselwirkung (g)
schwache Wechselwirkung (W,Z)
elektromagnetische Wechselwirkung (γ)

Hart auf der Spur:

Higgs-Boson

erklärt, wie Teilchen Masse bekommen

THE STANDARD MODEL

	Fermions			Bosons	
Quarks	u up	c charm	t top	γ photon	Force carriers
	d down	s strange	b bottom		
Leptons	ν_e electron neutrino	ν_μ muon neutrino	ν_τ tau neutrino	W W boson	
	e electron	μ muon	τ tau	g gluon	

Higgs*
boson

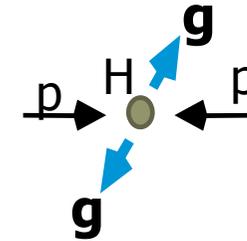
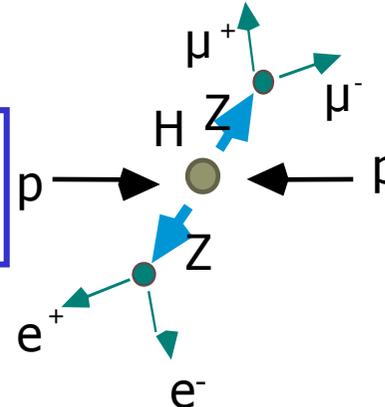
Yet to be confirmed

Source: AAAS

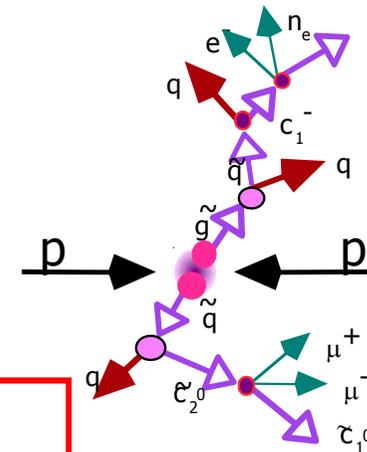
sehr erfolgreiches Modell: bisher in allen experimentellen Tests gut bestätigt

Physikalische Fragestellungen am LHC

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



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



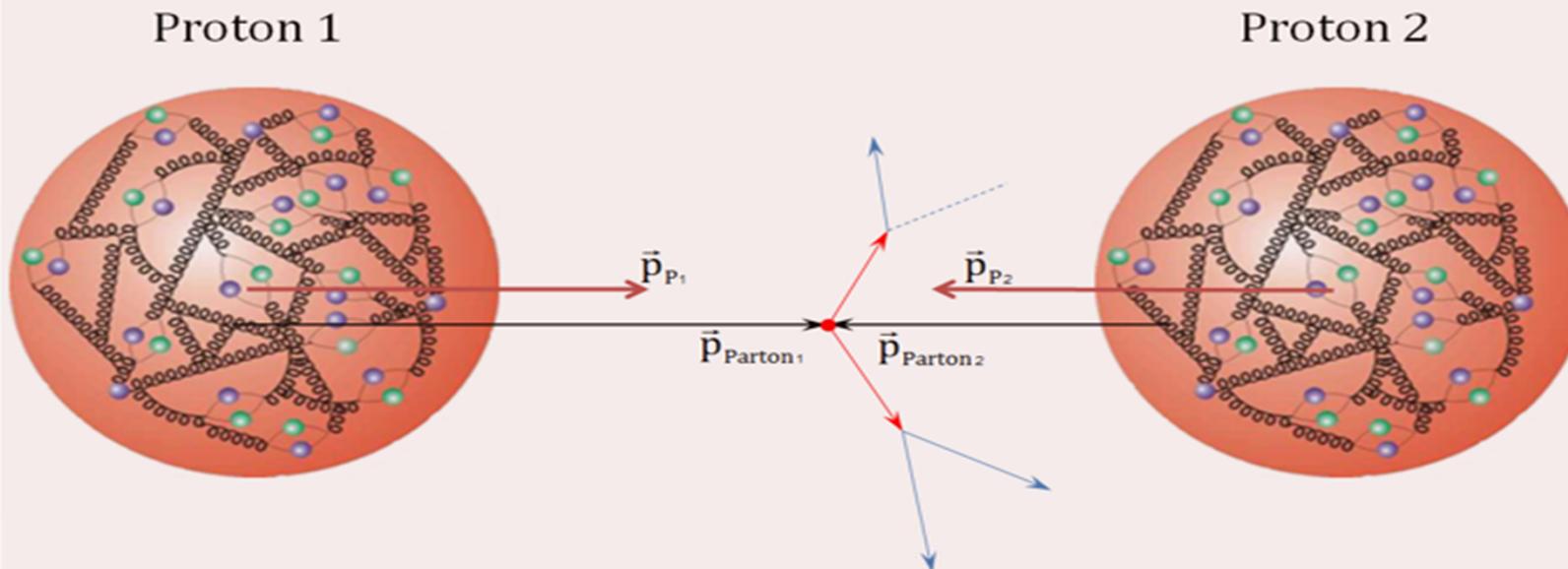
Was noch?

- **Schwere Quarks, QCD, Elektro-schwache Prozesse: Physik des Standardmodells**
- **Physik des Top-Quarks**
- **Kollisionen von Schwerionen (Pb)**

Teilchenkollision zweier Protonen



Wechselwirkung von Teilen der beiden kollidierenden Protonen – den sog. Partonen (Quarks, Gluonen)

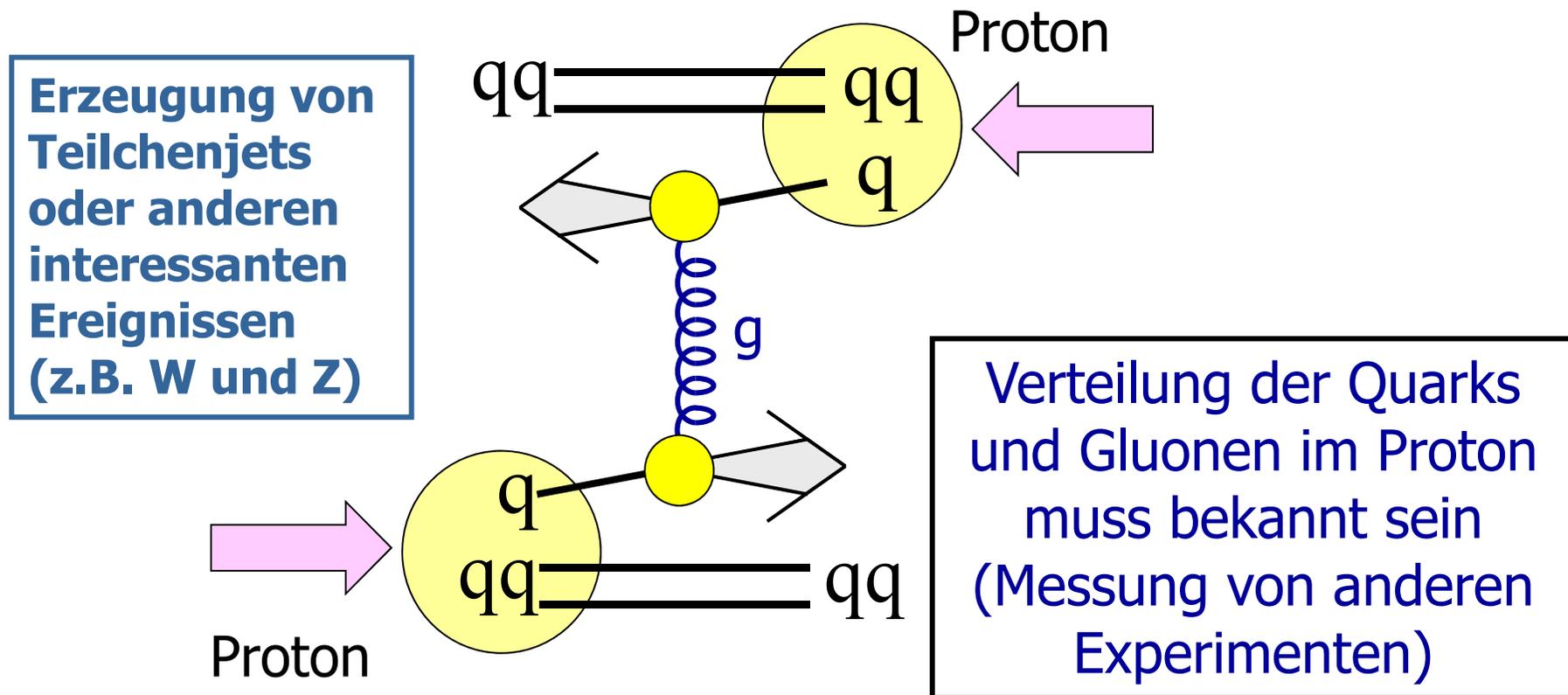


\vec{P}_{P_1} ... Gesamtimpuls Proton 1
 \vec{P}_{P_2} ... Gesamtimpuls Proton 2
• Wechselwirkungspunkt

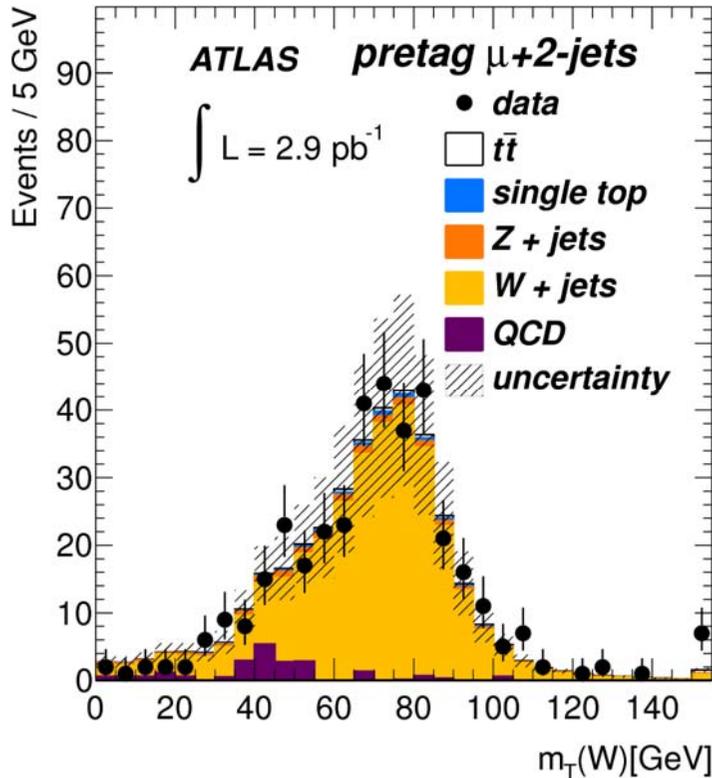
$\vec{p}_{\text{Parton 1}}$... Impuls Parton 1
 $\vec{p}_{\text{Parton 2}}$... Impuls Parton 2

Harte Kollision von Protonen

LHC: Kollision **freier** Quarks und **Gluonen** im Proton

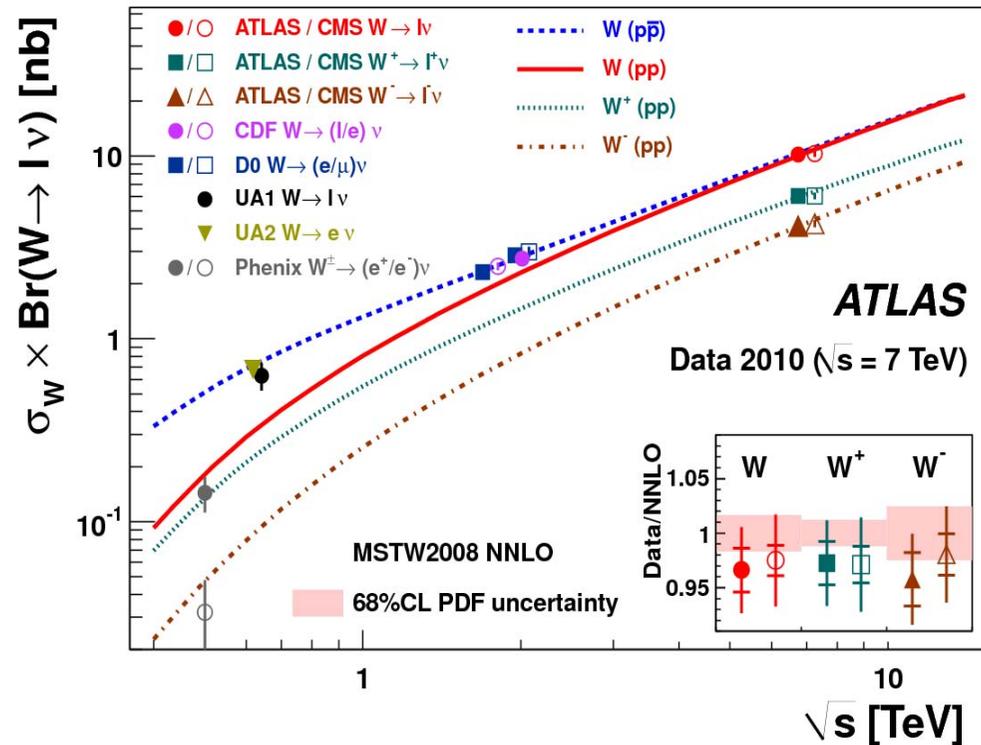


Vermessung des W-Bosons

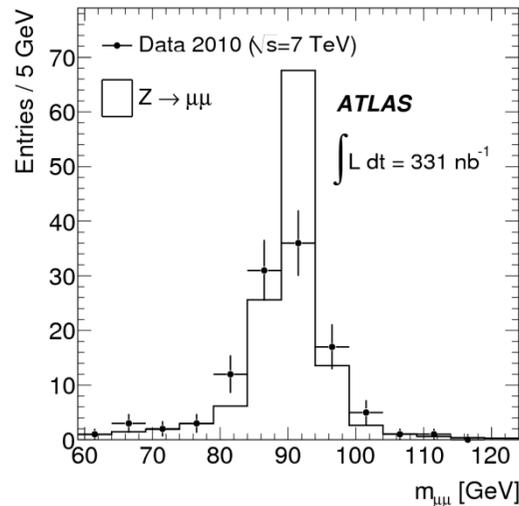
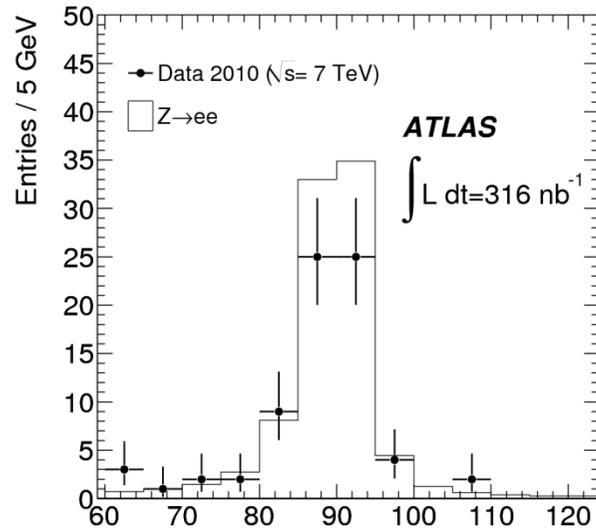


Bestimmung der W-Boson Masse

Bestätigung der theoretischen Vorhersage

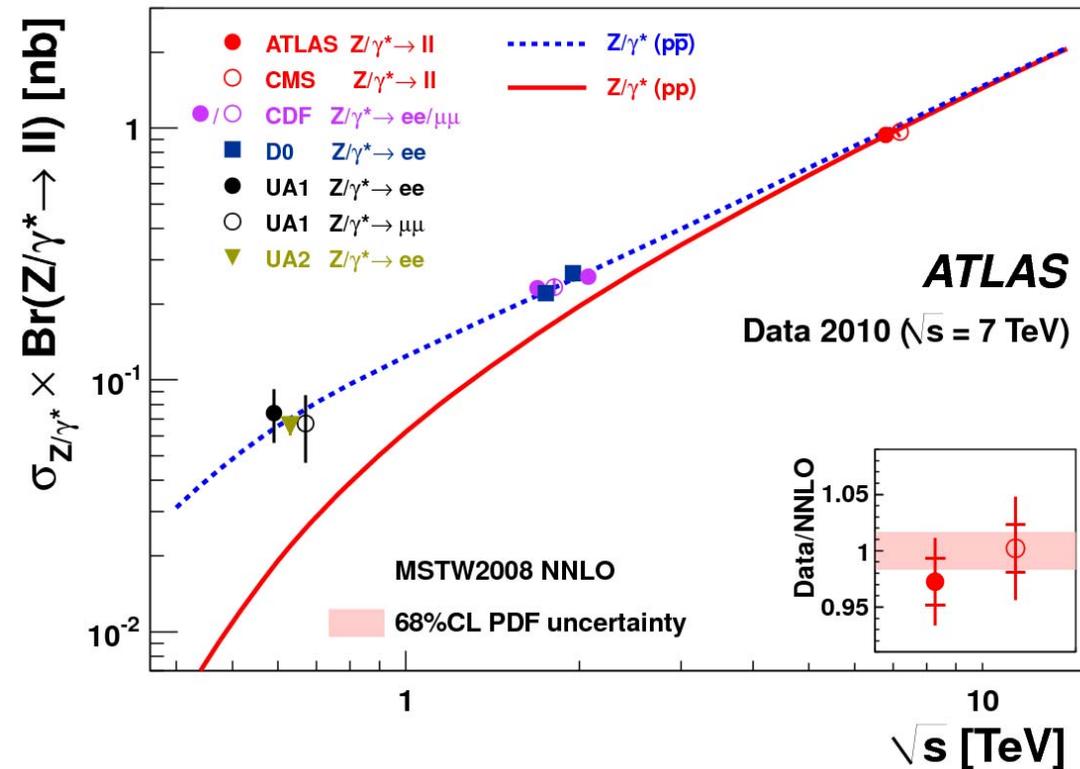


Vermessung des Z-Bosons

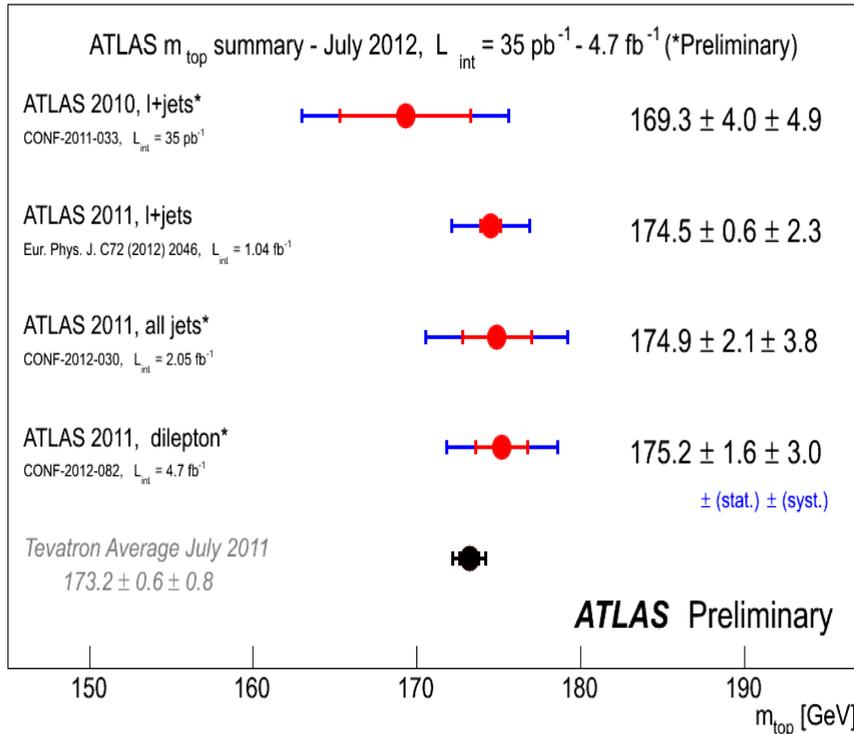


Bestimmung der Z-Boson Masse

Bestätigung der theoretischen Vorhersage

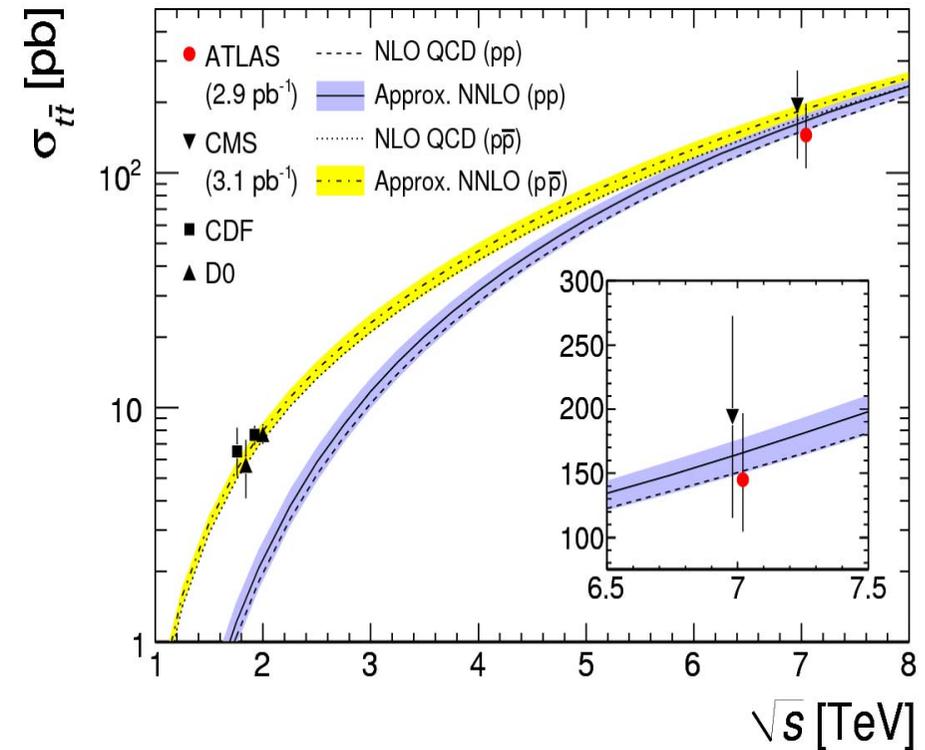


Vermessung des Top-Quarks



Bestimmung der Top-Quark Masse

Bestätigung der theoretischen Vorhersage

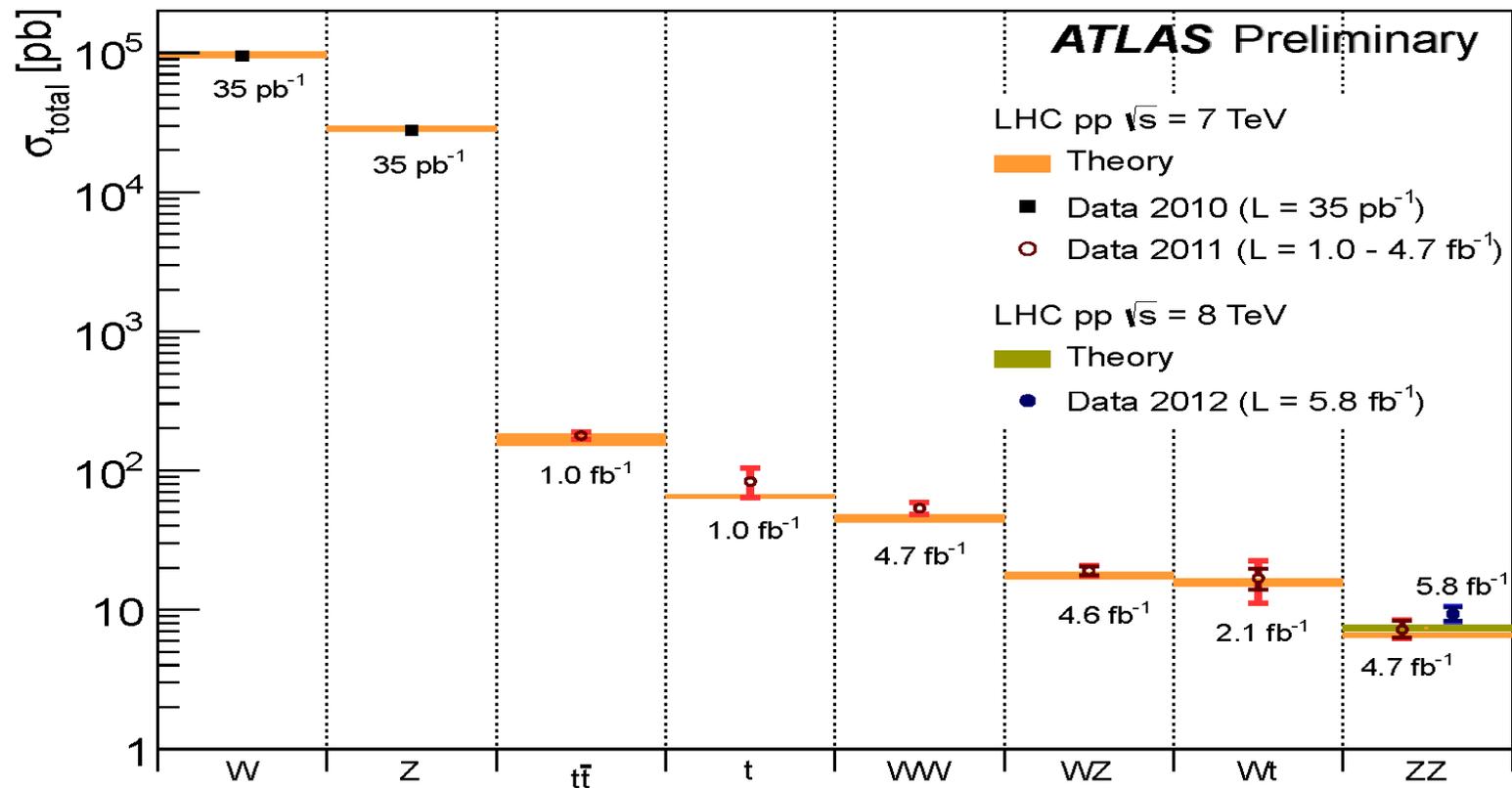


Vermessung des Standardmodelles



Alle Messungen sind in perfekter Übereinstimmung mit dem Standardmodell

esentielle Voraussetzung für Suche nach neuer Physik



Offene Fragen



Das Standard-Modell der Teilchenphysik hat bis jetzt allen experimentellen Tests erfolgreich standgehalten, lässt aber viele Fragen offen:

- Woher kommt die Masse (**Higgs-Teilchen**)?
- Was ist der Ursprung der Materie und wo ist die fehlende Antimaterie (**CP-Verletzung**)?
- Gibt es **eine fundamentale Kraft**?
- Welche **Symmetrie** liegt unserer Welt zugrunde?
- Gibt es **zusätzliche Dimensionen**?
- Kennen wir alle Teilchen (**Supersymmetrie, 4. Generation**)?
- Wir kennen nur einen kleinen Teil des Universums (**Dunkle Materie und dunkle Energie**)!

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



Das Forschungszentrum CERN und der LHC

Experimentelle Grundlagen

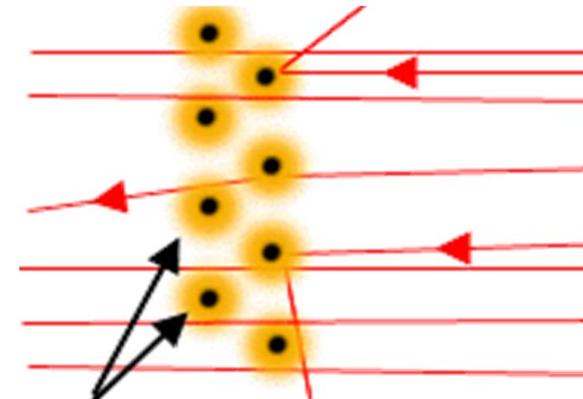
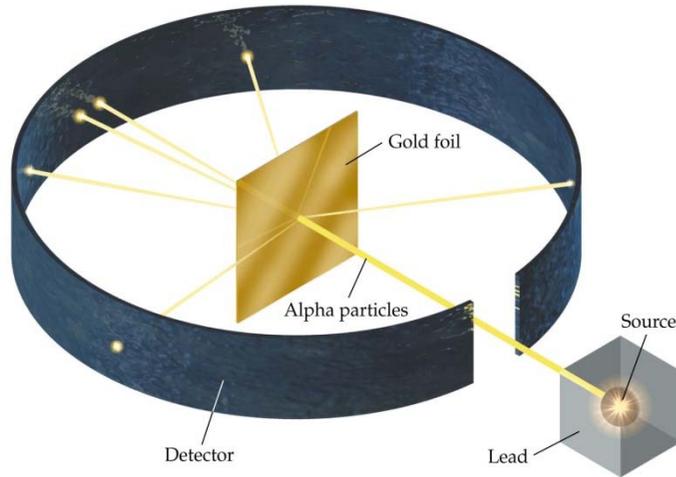


- **Experimente mit hochenergetischen Teilchen**
 - Beschleuniger
 - Detektoren (Experimente)
- Nachweis durch Wechselwirkungen mit Materie
- **Verschiede Arten von Beschleuniger**
 - Abhängig von der beschleunigten Teilchenart
 - Entdeckung oder Präzisionsmessung
 - Komplementäre Experimente

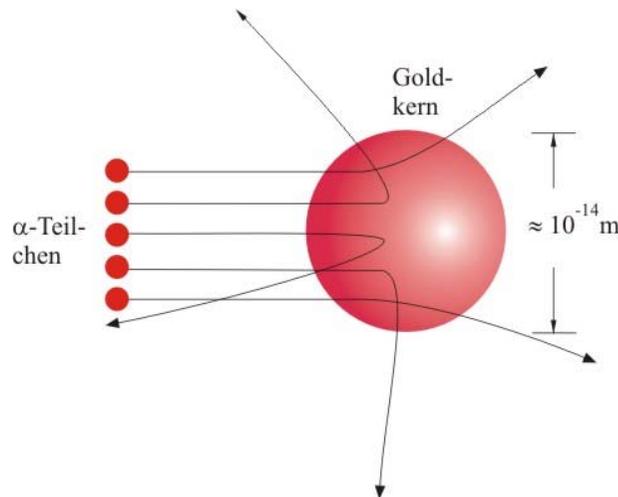
Streuversuche: Unsichtbares sichtbar machen



E. Rutherford: Struktur der Atome durch Streuversuche



Goldatome in einer Folie



Streuwinkelverteilung hängt direkt mit der Materieverteilung im Atom zusammen:

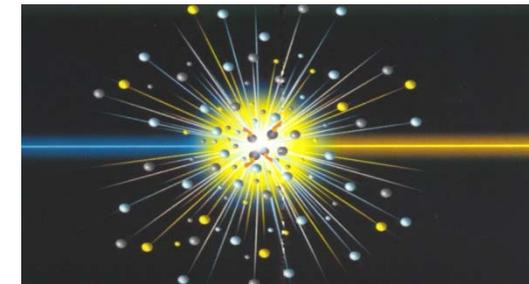
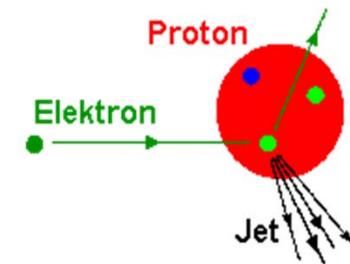
indirekte Messung der Substruktur

Experimente mit Teilchenstrahlen



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

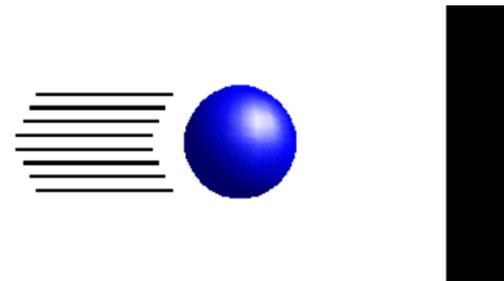
- die Fähigkeit, **kleine Strukturen Δx zu erkennen**
 $\Delta x \Delta p = \hbar$ (Heisenberg)
- die Fähigkeit, **neue schwere Teilchen zu erzeugen**
 $E = mc^2$ (Einstein)
- **Streuexperimente:**
 - Kollision von Teilchenstrahlen mit Materie
 - Kollision von zwei Teilchenstrahlen



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)

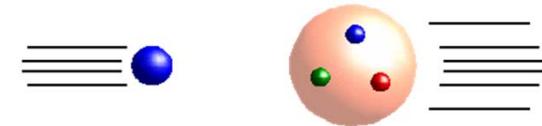
- **ILC** (International Linear Collider) ab 2020 (?)



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

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

(e: 30 GeV, p: 920 GeV)



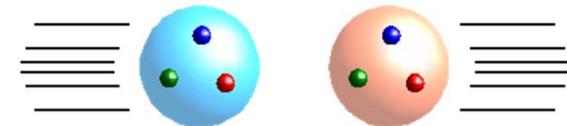
- **Hadron-Hadron-Collider: Entdeckungsmaschinen**

- **TEVATRON, FERMILAB** in Chicago, bis 2011

(980 GeV pro Strahl)

- **LHC, CERN** in Genf (Proton-Proton) seit 2009

(7000 GeV pro Strahl, z.Z. 3500 TeV)



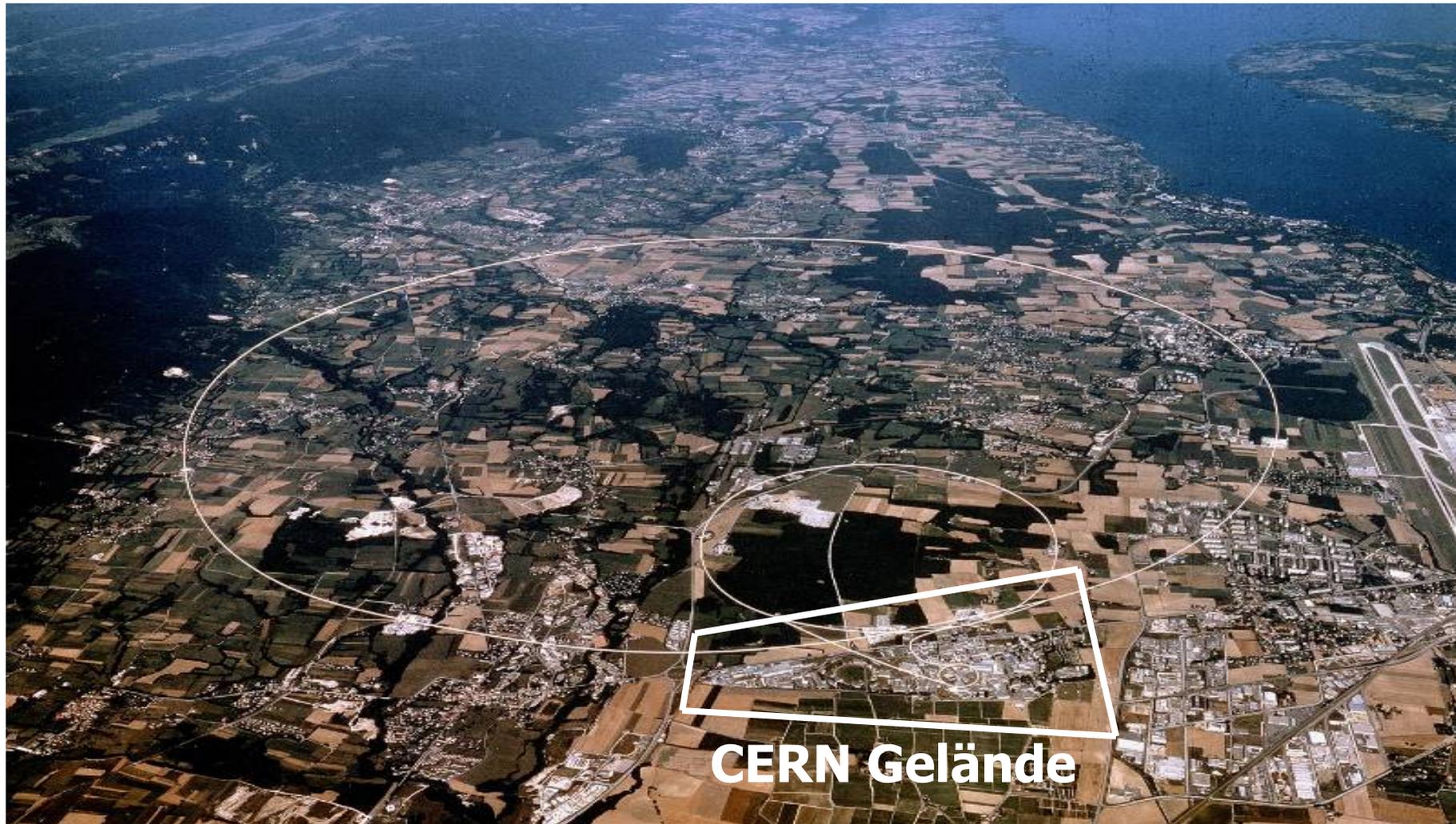
Das CERN



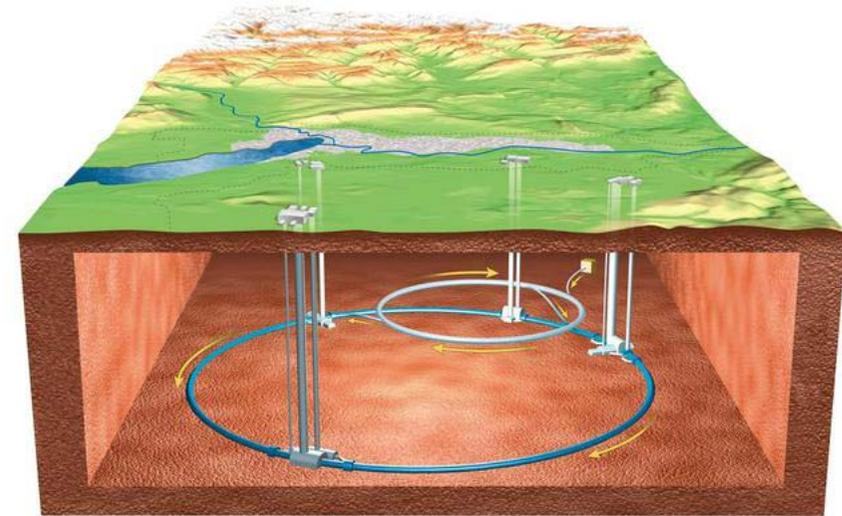
Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire

Standort	Genf (Schweiz und Frankreich)
Mitgliedstaaten	20 Europäische Nationen
Budget pro Jahr	~ 700 Millionen Euro (davon 20 % aus Deutschland)
Mitarbeiter vor Ort	~ 3.400, weltgrößtes Forschungszentrum
Beteiligte WissenschaftlerInnen	~8.000 aus 85 Nationen

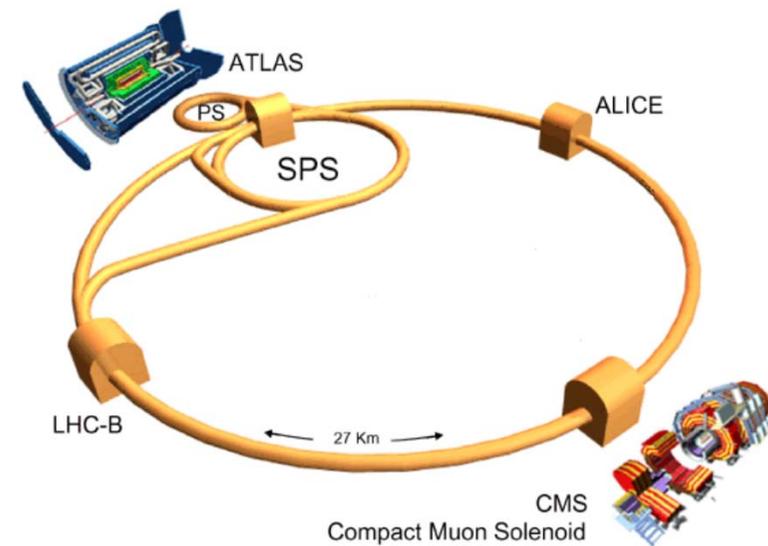
Das Forschungszentrum CERN in Genf



Der Beschleuniger LHC



Ringtunnel mit Umfang von 27 km
in 50 – 175 m Tiefe in Genf



Eigenschaften des LHC

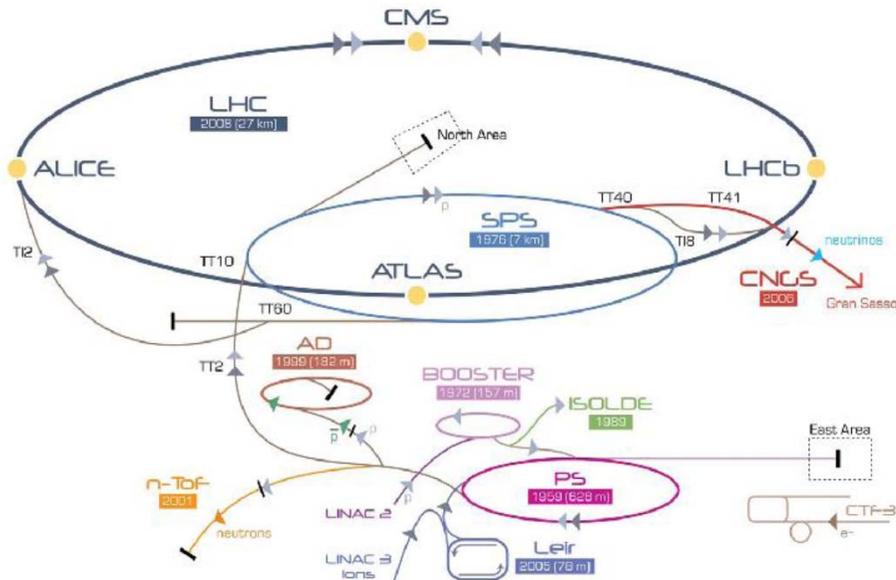


- Steigerung der **Schwerpunktenergie** (Energie, die zur Erzeugung neuer Teilchen zur Verfügung steht) auf **7000 GeV (2011), 8000 GeV (2012), 14000 GeV (ab 2014)**
- Erlaubt die **Entdeckung neuer Teilchen** sowie den Zugang in bislang **unerforschte Bereiche** im Standardmodell der Teilchenphysik:
 - **Higgs (Standardmodell)**
 - **Supersymmetrische Teilchen (Erweiterung des Standardmodells)**
- Enorme Steigerung der **Luminosität** (ein Maß für die **Rate der Teilchenkollisionen**) um **einen Faktor 100**

Beschleuniger-Systeme am CERN



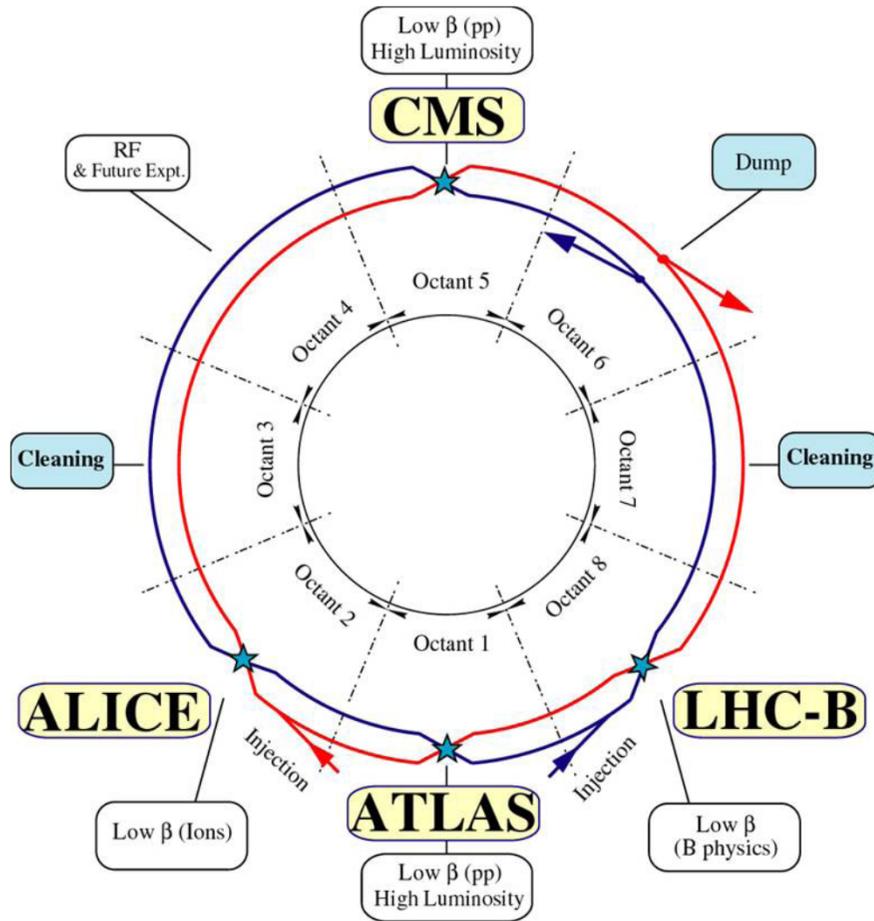
2×2800 Strahlpakete, jedes mit 10^{11} Protonen
 $\Delta t = 25$ ns zwischen den Strahlpaketen



Beschleunigungsabfolge:

1. Protonenquelle (Flasche),
2. LINAC2: 50 MeV,
3. PSB: 1.4 GeV,
4. PS: 28 GeV,
5. SPS: 400 GeV,
6. LHC: 3.5 TeV

LHC: Technischer Überblick



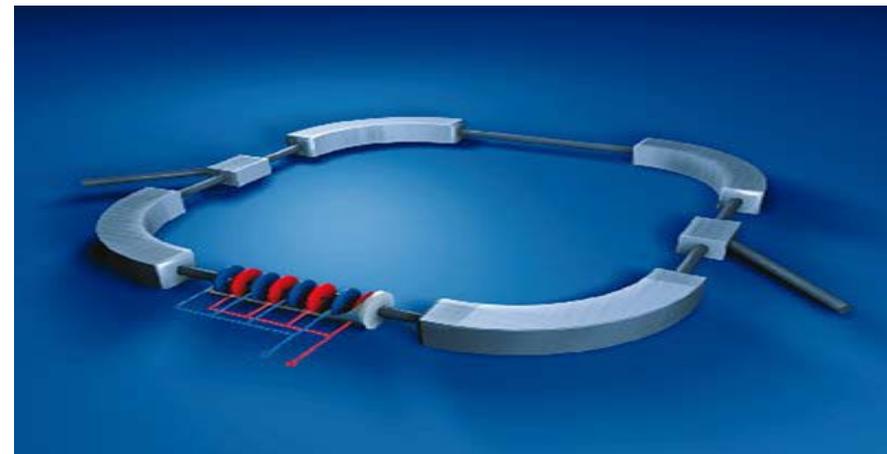
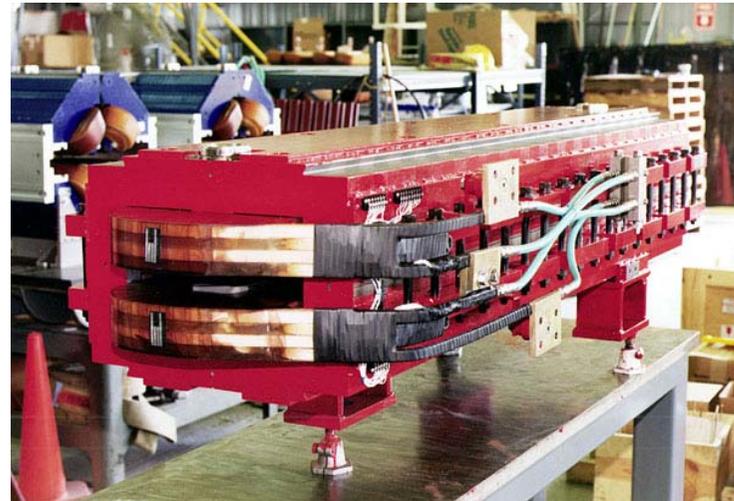
Leistungsfähigster Beschleuniger der Welt in allen Parametern

Typ	Proton-Proton/ Pb-Pb Collider
Umfang	26.7 km
Energie	7 TeV pro Strahl
Luminosität	$10^{34} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$
Strombedarf	120 MWatt
Planung	1984 – 1994
Bau	1994 – 2008
Laufzeit	Ca. 20 Jahre
Kosten	3 Milliarden EURO
Experimente	4 (6)

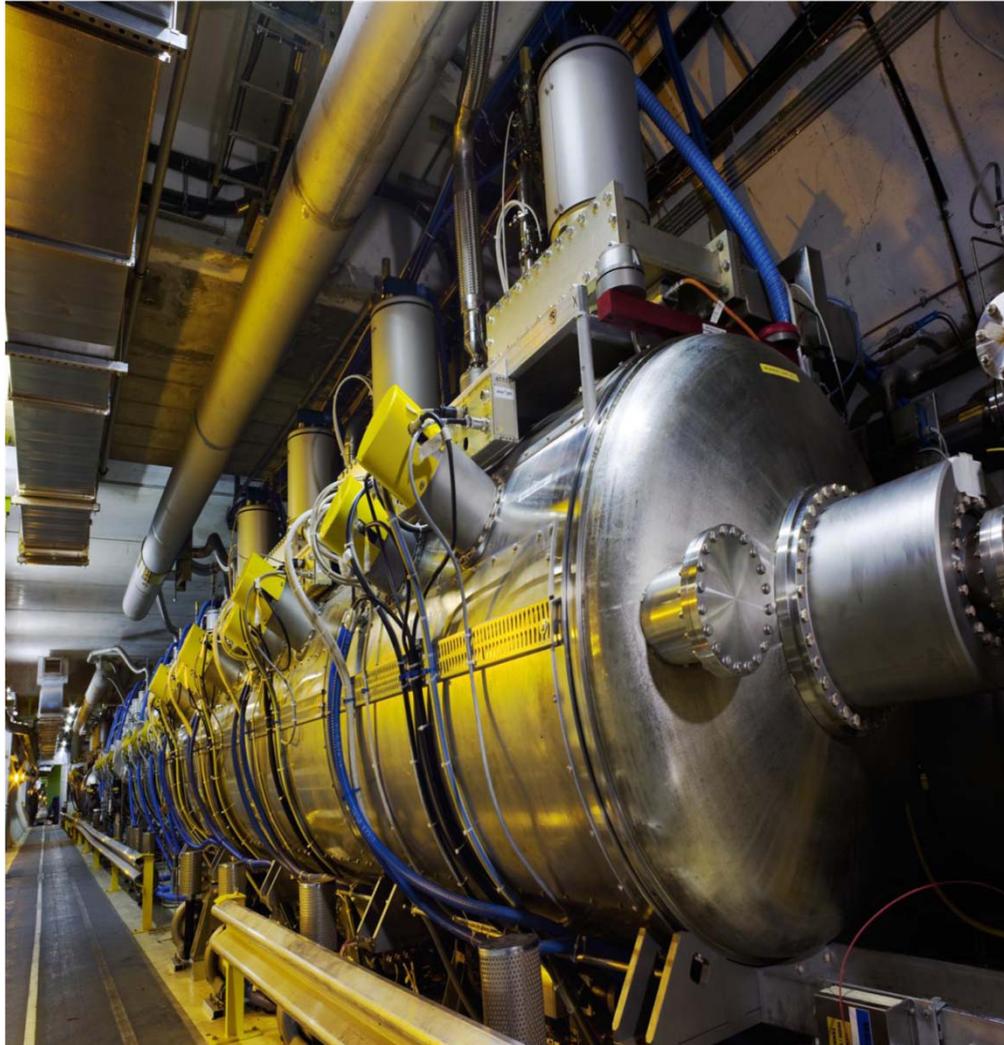
Das Synchrotron



- Höhere Energien durch wiederholten Durchlaufen derselben Beschleunigungsstrecke
 - **Ringbeschleuniger**
- Krümmung der Teilchenstrahlen durch geeignete Ablenkmagnete
 - **Dipolmagnete**
- Magnetfeldstärke muß **synchron** mit der Energie der Teilchenstrahlen ansteigen
 - **Synchrotron**



Der "eigentliche" LHC Beschleuniger



Hochfrequenz System
zur Beschleunigung der
Strahlen:

Mikrowellen in **supra-
leitenden Kavitäten**
(16 Mio Volt)

8 Kavitäten im LHC

Energiezufuhr: **5 MeV/m**

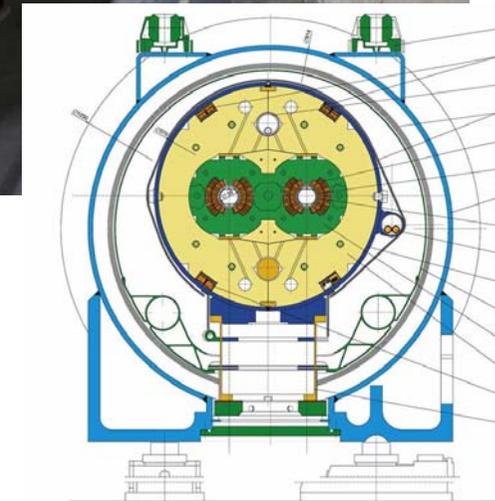
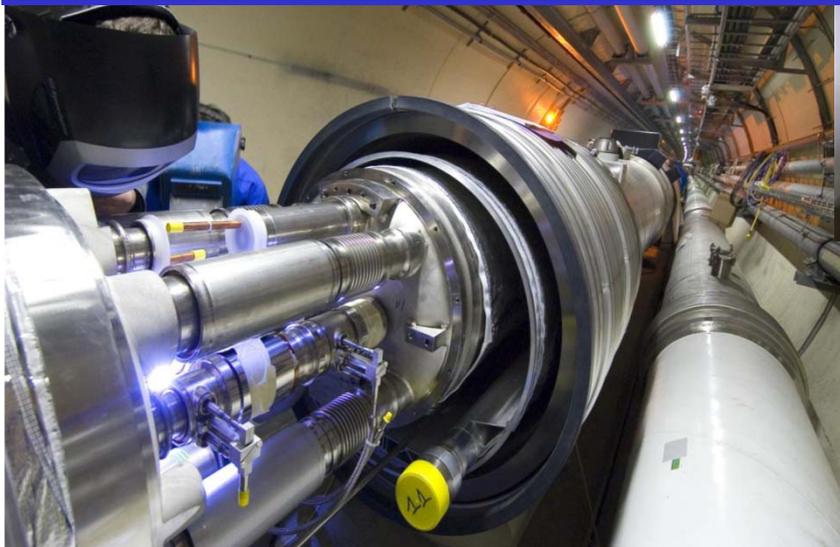
Magnete dienen nur
der Strahlführung

Die LHC Magnete



Supraleitende Magnete:

$L = 15 \text{ m}$, $M = 30 \text{ t}$, $B = 8.33 \text{ T}$
Totale magnetische Energie: 10 GJ
Temperatur: 1.9 K, Strom: 11700 A
Kühlung: super-fluides Helium
1232 Ablenkmagnete (Strahlführung)
7600 weitere Magnete (kleinere)
93 Tonnen Helium im Beschleuniger
40.000 Tonnen kalte Masse im Tunnel



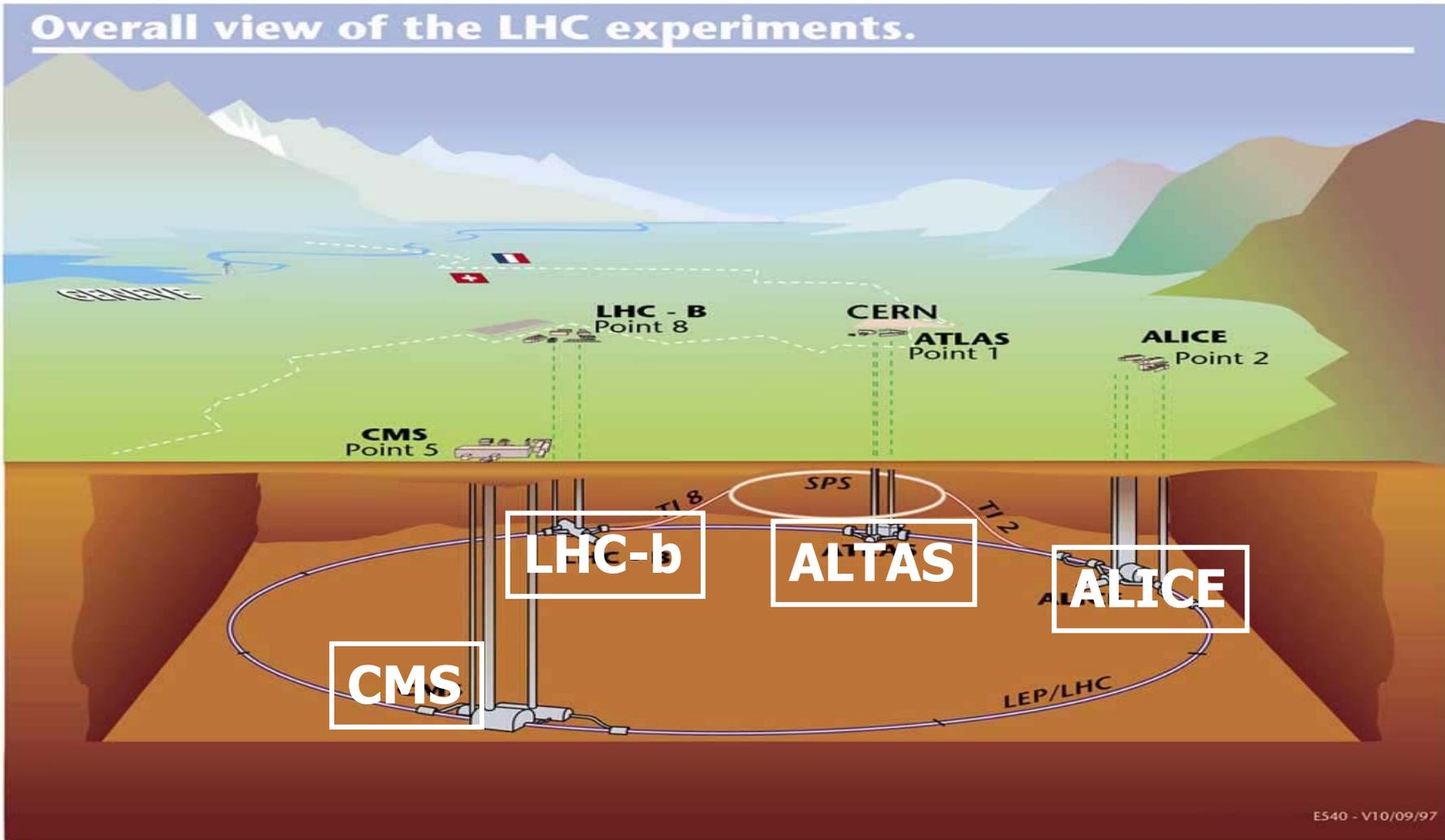
Das CERN Control Center



Kontrollraum aller Beschleunigeranlagen



Die 4 Experimente am LHC

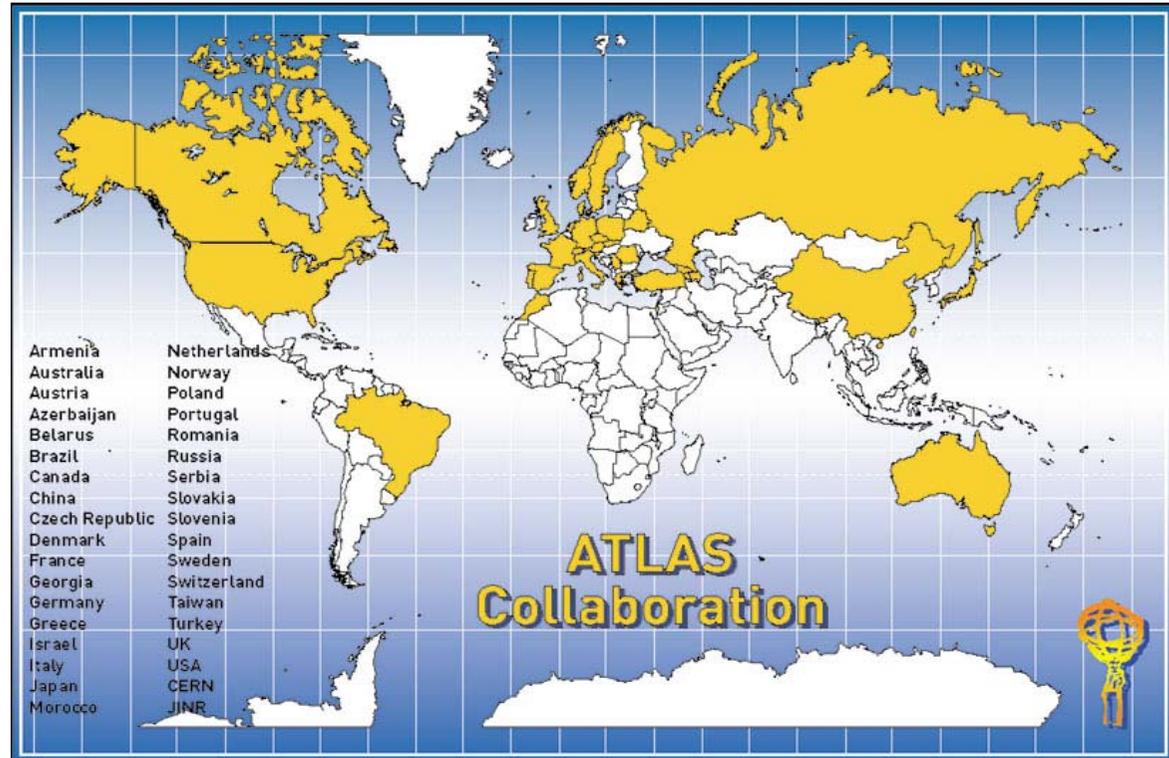


ATLAS: weltweite Kollaboration



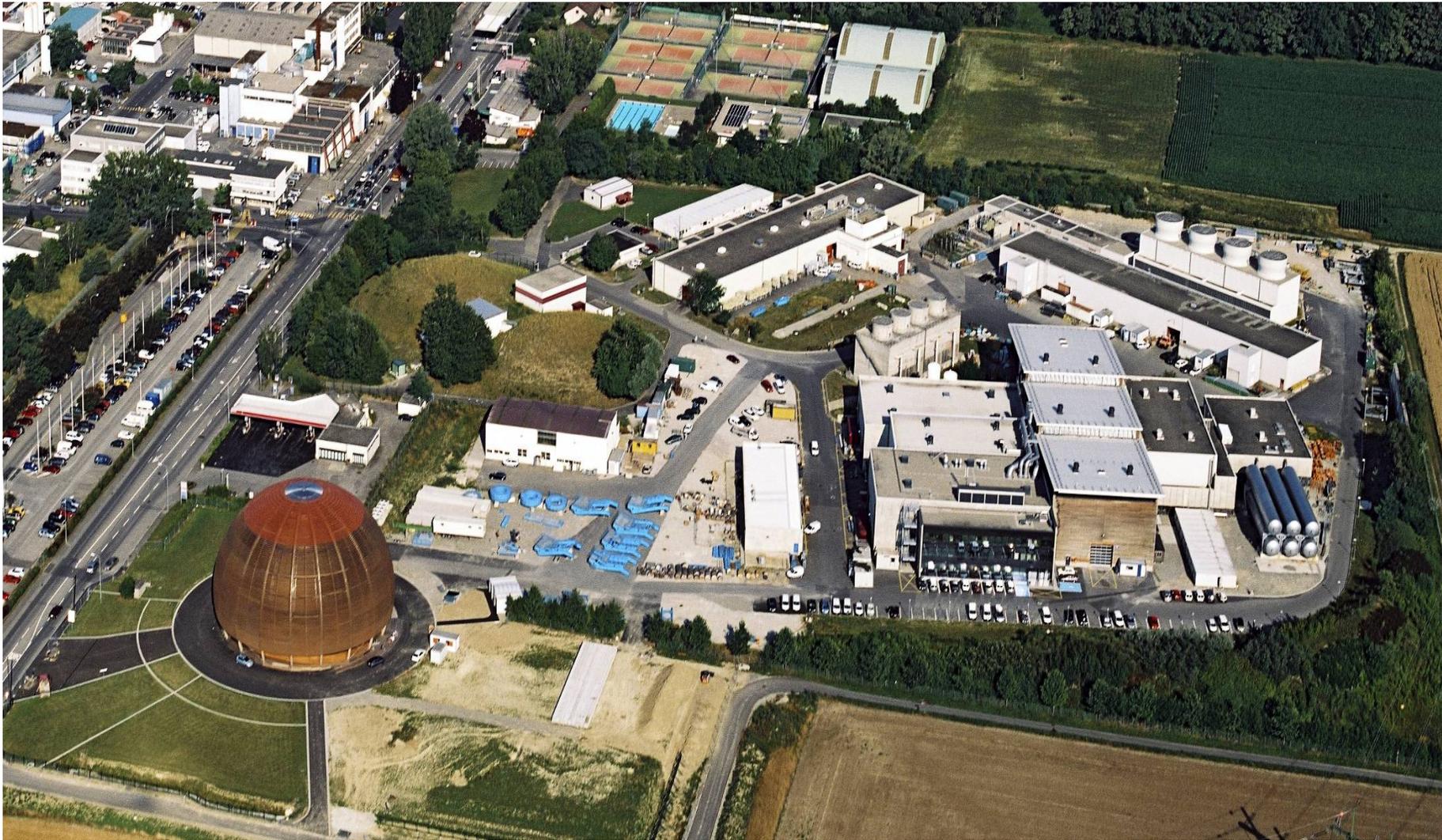
(Status 2010)

37 Länder
173 Institute
3000 Wissenschaftler

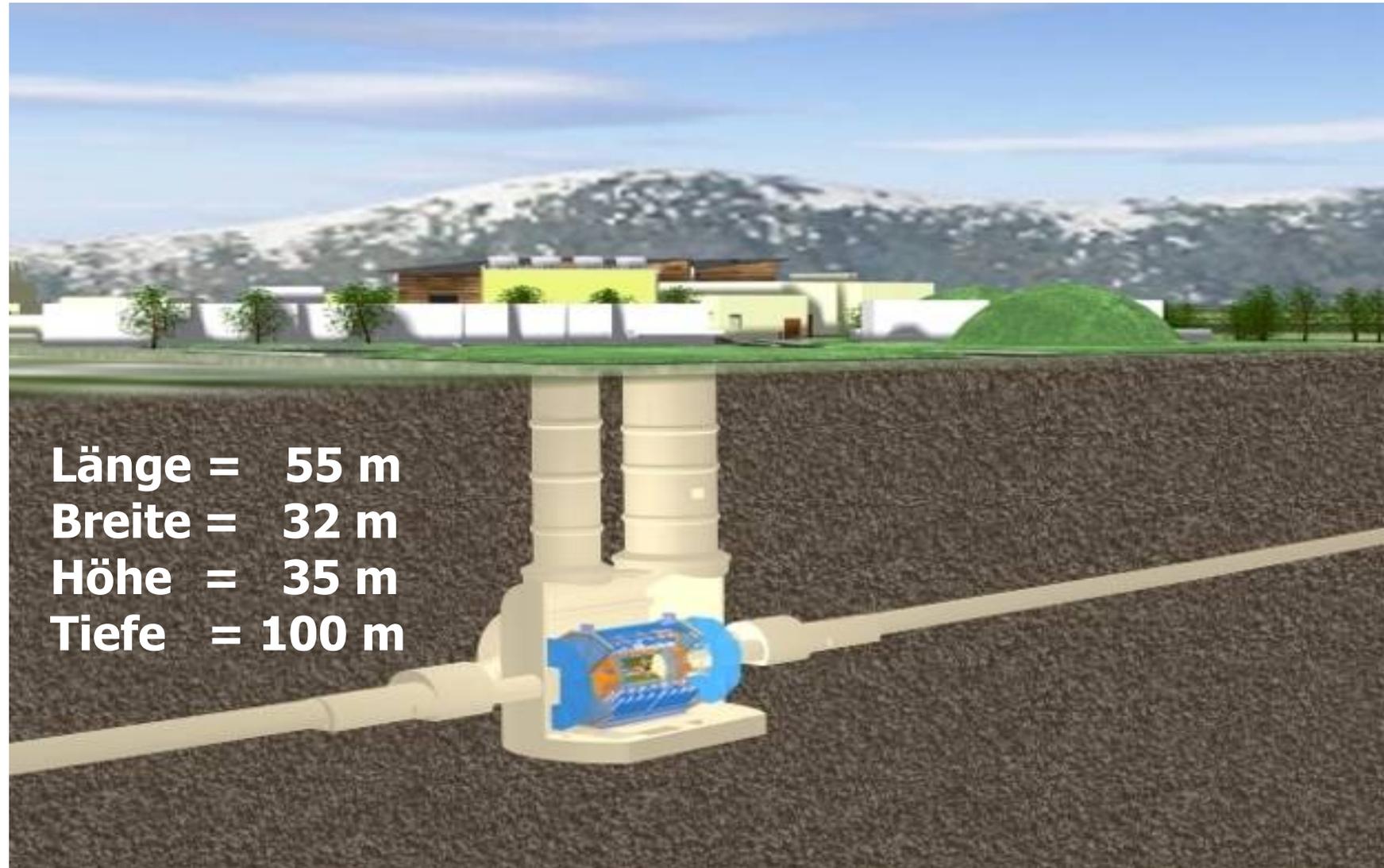


Albany, Alberta, NIKHEF Amsterdam, Ankara, LAPP Ancey, Argonne NL, Arizona, UT Arlington, Athens, NTU Athens, Baku, IFAE Barcelona, Belgrade, Bergen, Berkeley LBL and UC, Bern, Berlin (HU), Birmingham, Bologna, Bonn, Boston, Brandeis, Bratislava/SAS Kosice, Brookhaven NL, Bucharest, Cambridge, Carleton, 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, MPhI 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

Das ATLAS-Areal überirdisch



Die unterirdische Kaverne von ATLAS



Datennahme bei ATLAS



24-Stunden Schichtbetrieb

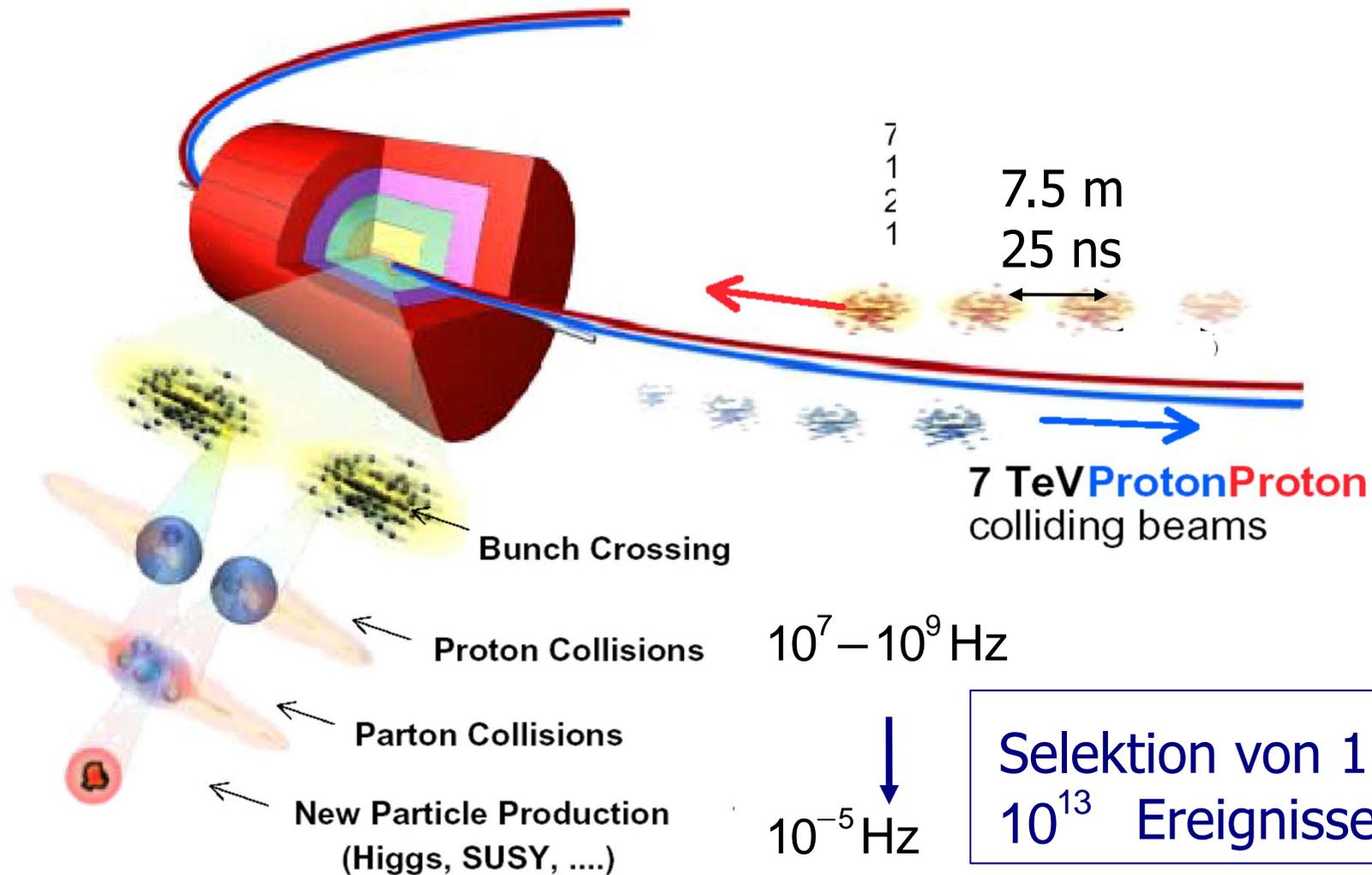
Immer 10 Leute im Kontrollraum, ca. 30 weitere Experten immer in Rufbereitschaft

Der ATLAS Kontrollraum:

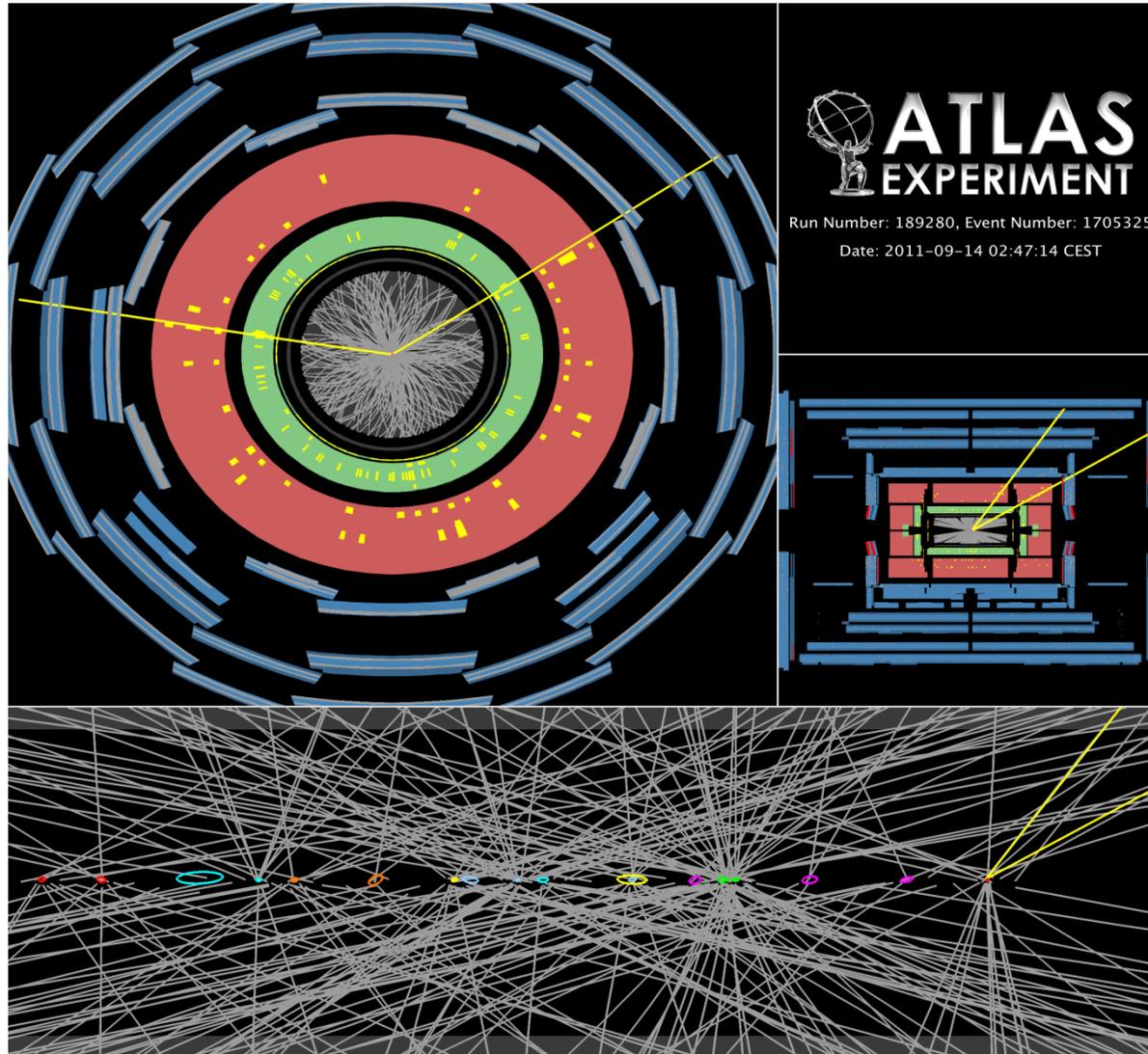
**Steuerung der Datennahme,
Bedienen der Detektoren,
Überwachung des Experimentes**



Teilchenkollisionen bei LHC

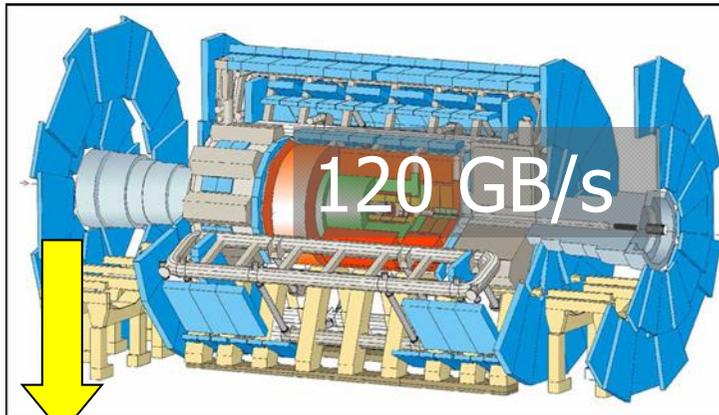


Proton-Proton Kollision im Detektor



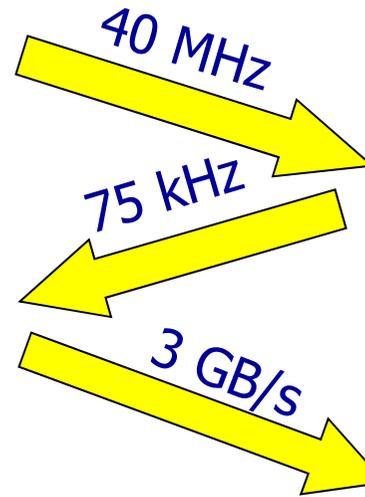
Hohe
Strahlintensität
führt zur
Überlagerung
von vielen
Ereignissen
in einer
Strahlkreuzung
(bis zu 35)

Datennahme und Speicherung



120 GB/s

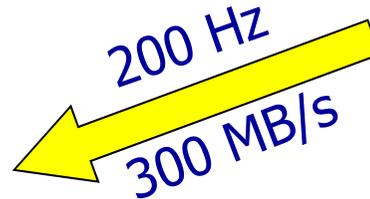
Auslesespeicher



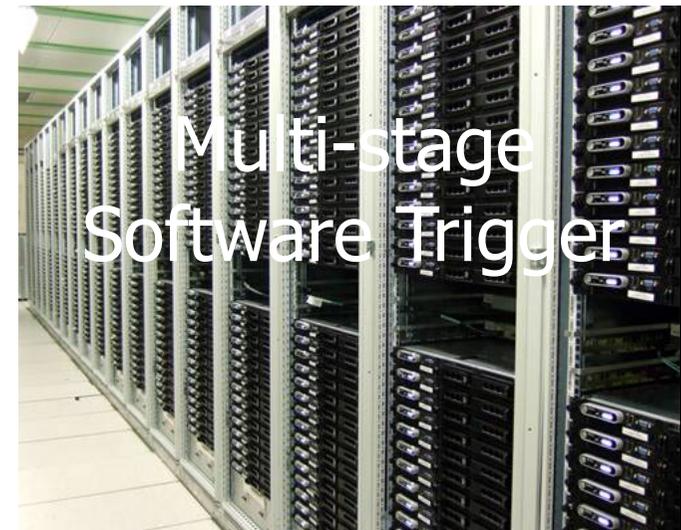
Hardware Trigger



Massenspeicher



**1 Petabyte
pro Jahr
(10⁶ Gigabyte)**

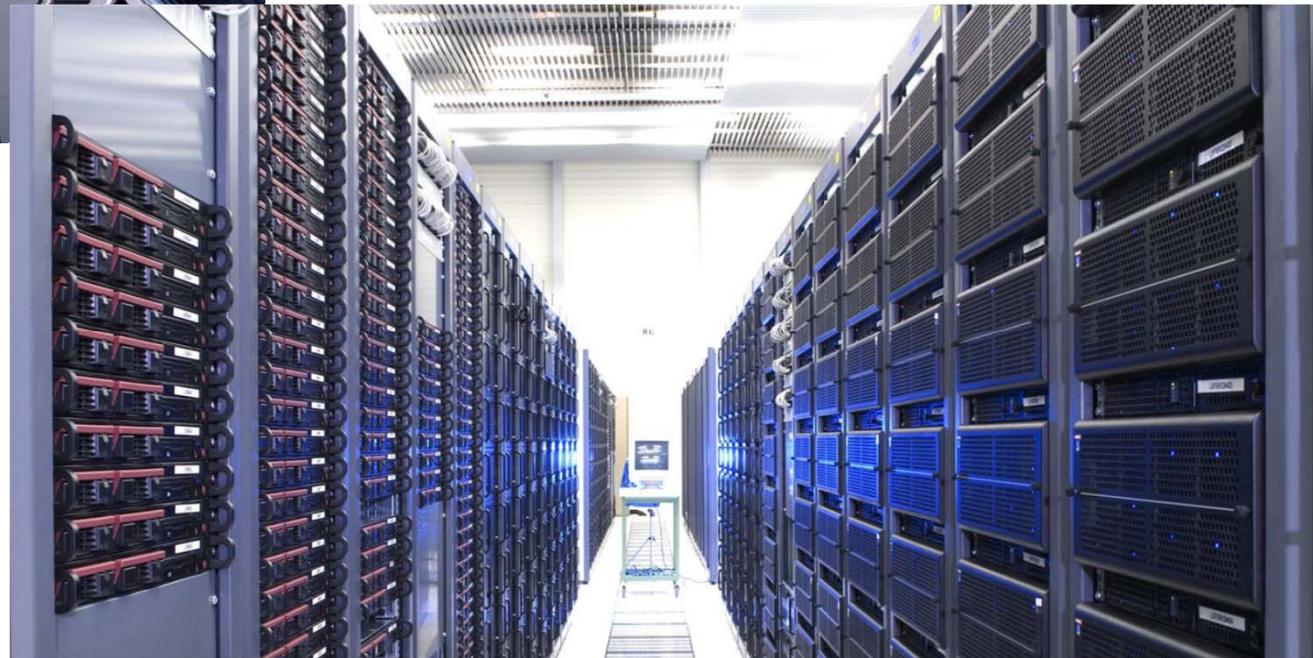


Multi-stage
Software Trigger

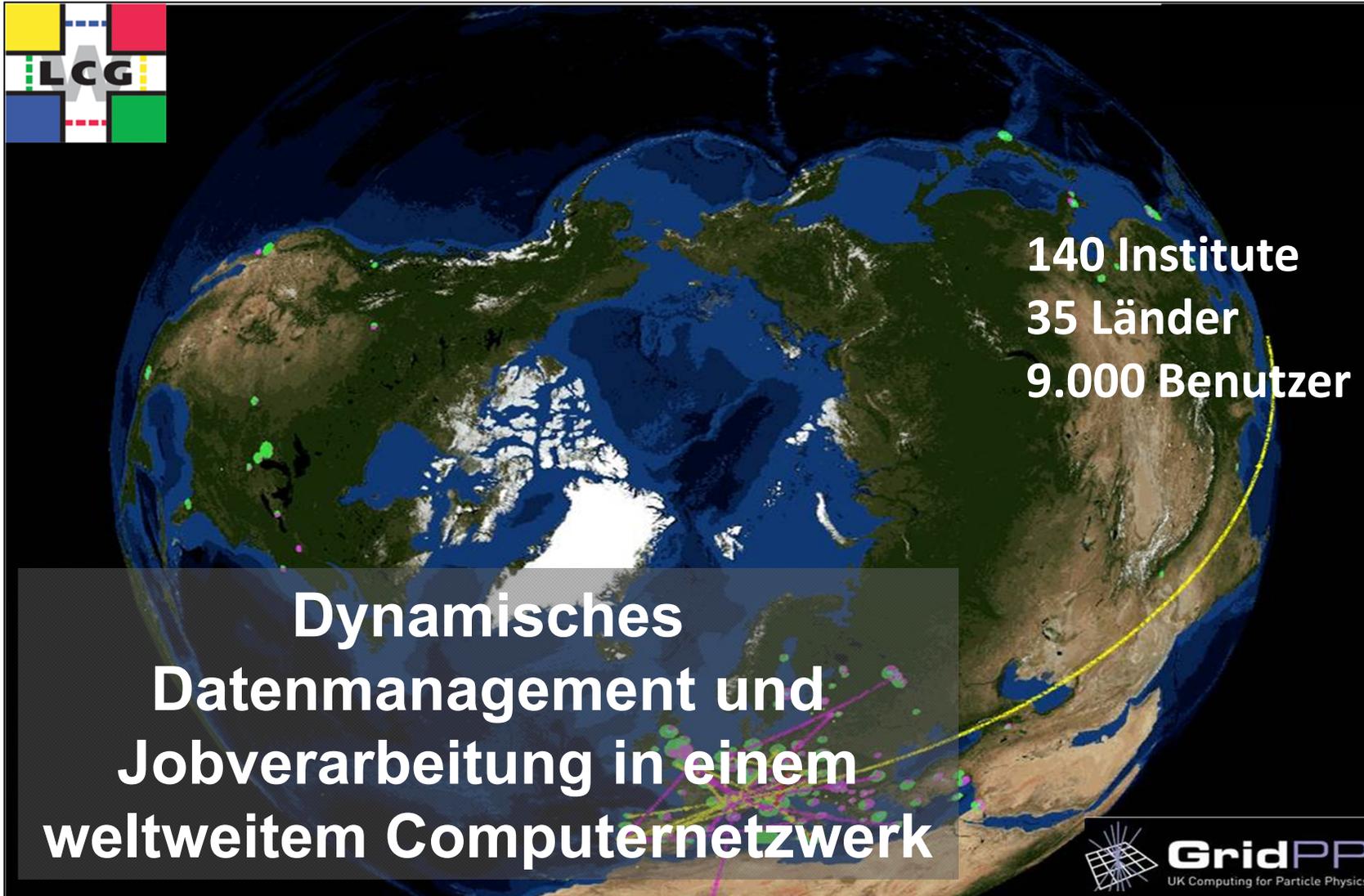
Das CERN Rechenzentrum



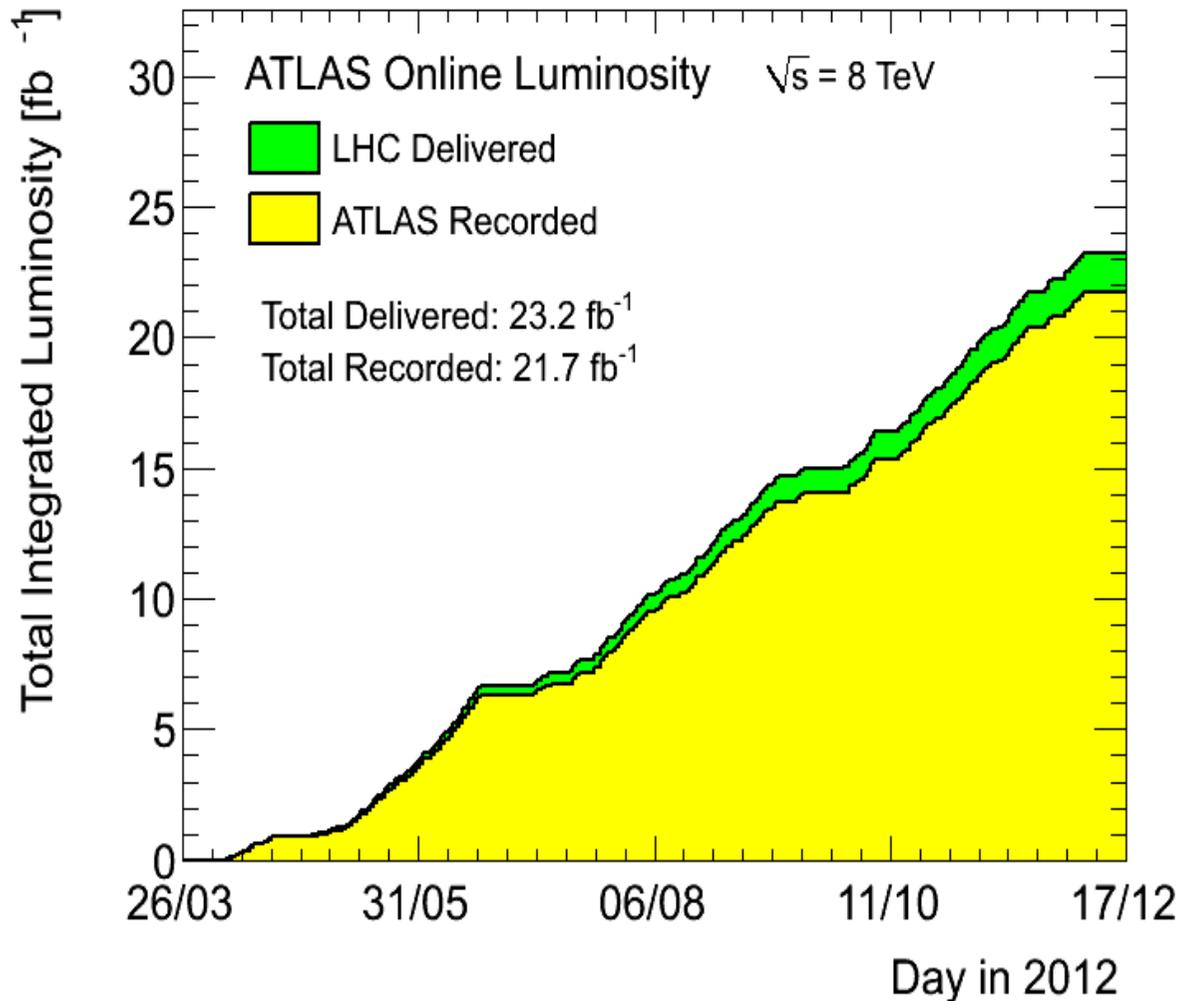
Weltweit eines der
größten Rechenzentren



Computing



Datennahme 2012



aufsummierter
Datensatz
als Funktion
der Zeit

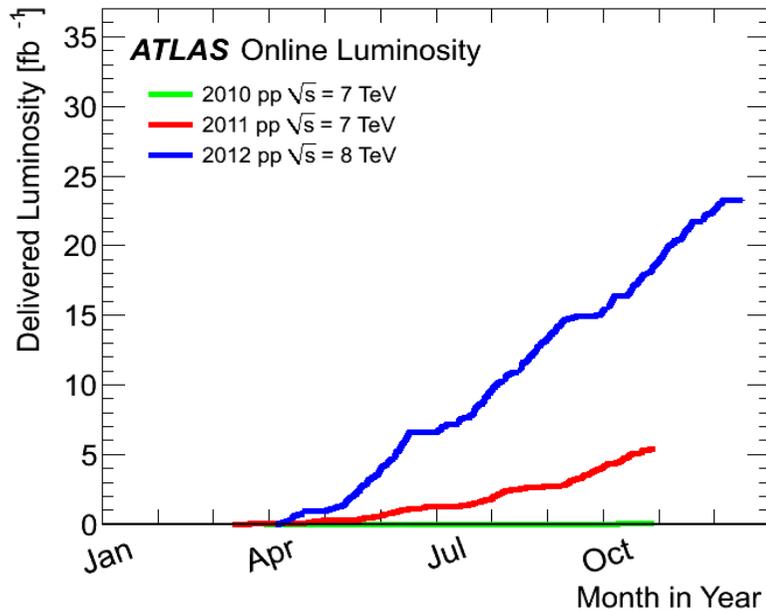
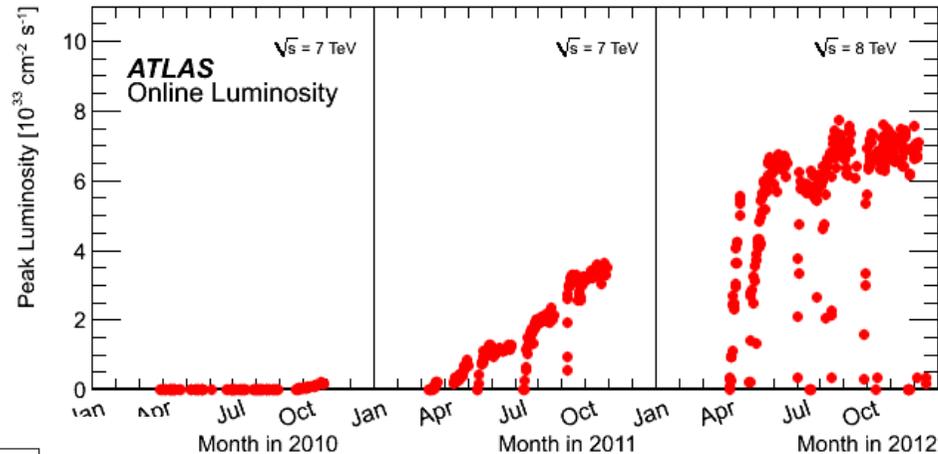
Funktionalität
konnte eindrucks-
voll getestet
werden

Daten von höchster
Qualität

Datennahme 2010 - 2012



- Sehr erfolgreiche Steigerung der Datennahme seit 2010
- Designwert (fast) erreicht
- Strahlintensitäten von höchster Qualität



- Stetige Vergrößerung der Datenmenge sowie der Datennahme
- Wesentliche Voraussetzung für das Entdeckungspotential
- Daten von höchster Qualität
- Luminosität:
 - "Leuchtstärke" des Beschleunigers
 - Mass für die Menge der Daten

Ausblick

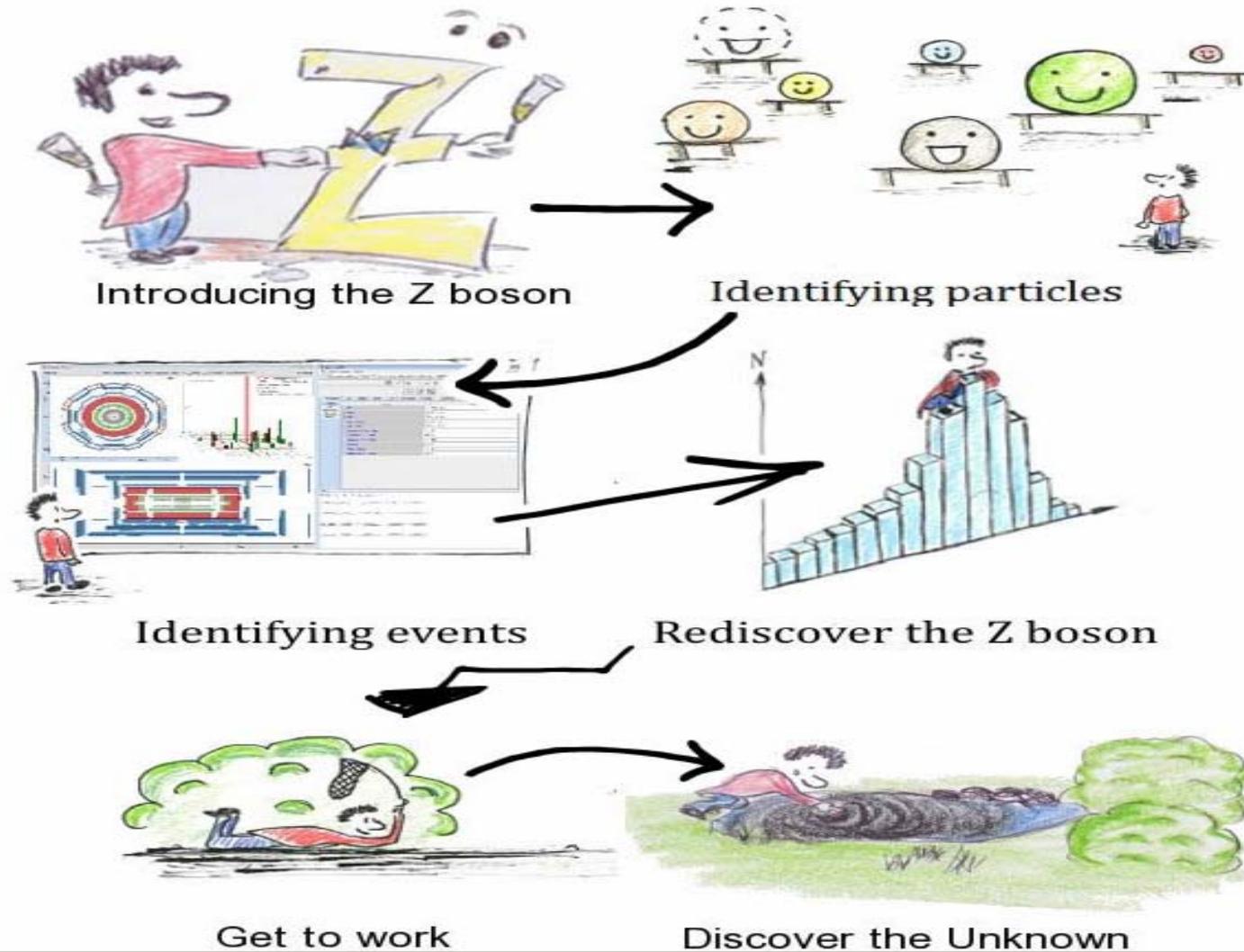


- Daten von LHC von höchster Qualität, alle Erwartungen übertroffen
- **Entdeckung des "Bosons" ist ein Meilenstein der Physik**
- **Datennahme 2012**
 - Erhöhung der Strahlenergie auf 8 TeV
 - Erhöhung der Luminosität, Datensatz erheblich vergrößert
- **Wesentliche Resultate der Analyse der Daten von 2011 / 2012**
 - Mögliche Massenbereiche des Higgs-Bosons stark eingeschränkt
 - Messung eines **"Higgs-artigen" neutralen Bosons bei ~ 126 GeV**
 - Standardmodell exzellent bestätigt in vielen Aspekten
 - Bis jetzt noch **keine Anzeichen für Physik jenseits des Standard Modelles**
- **Ziele für 2013**
 - Eingehende Untersuchungen der Eigenschaften des "neuen Bosons"
 - Messung von Ausschlussgrenzen für "neue Physik"
- **Weiter in die Zukunft:**
 - Upgrade von LHC und Experimente in 2013: Umbaupause
 - Nach 2014: Hochluminositätsphase (Faktor 5) bei Designenergie (14 TeV)

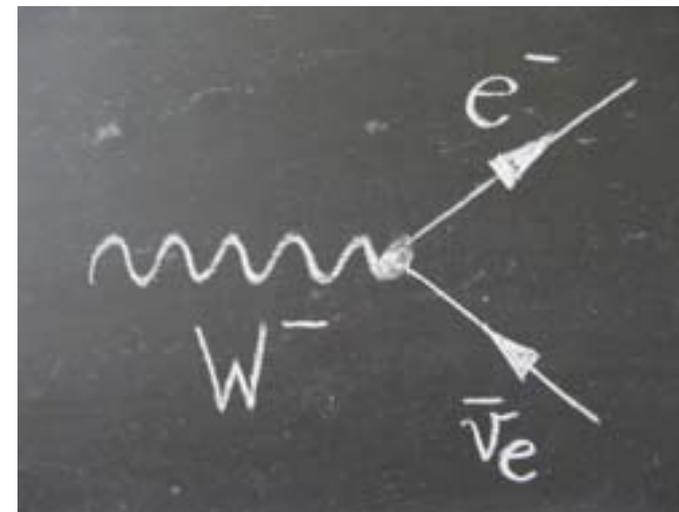
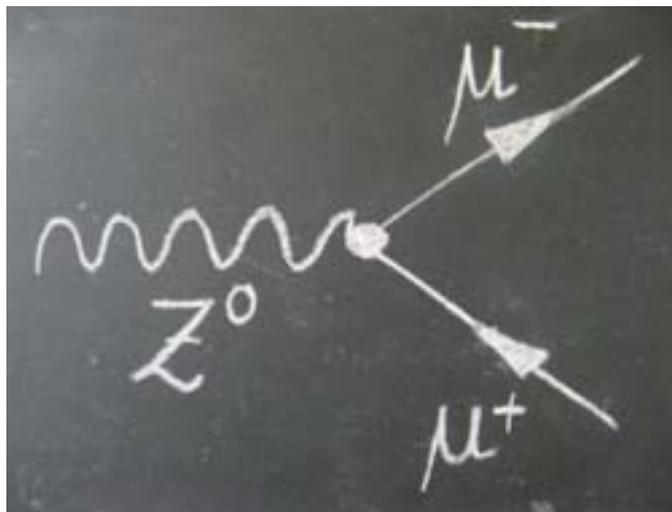
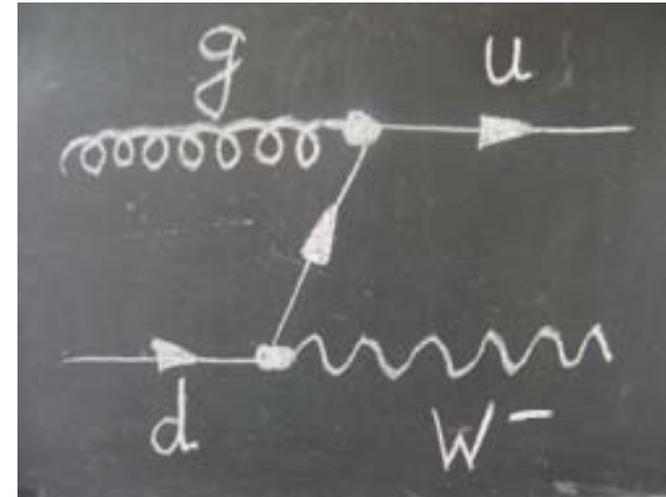
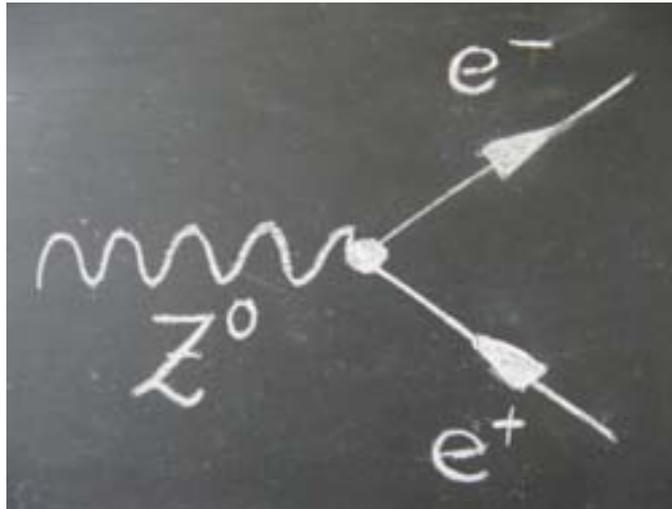


Unser Plan für heute

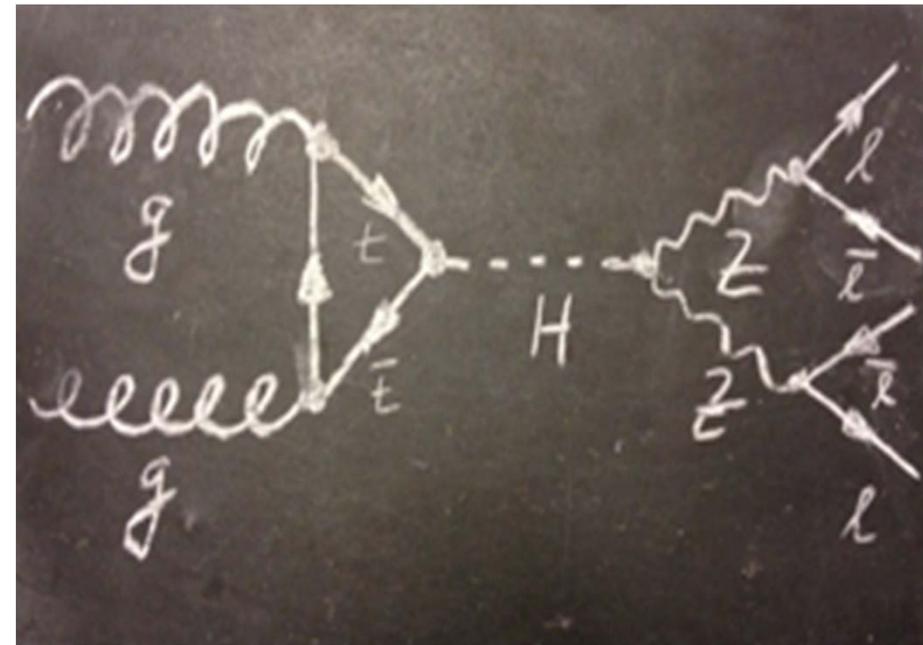
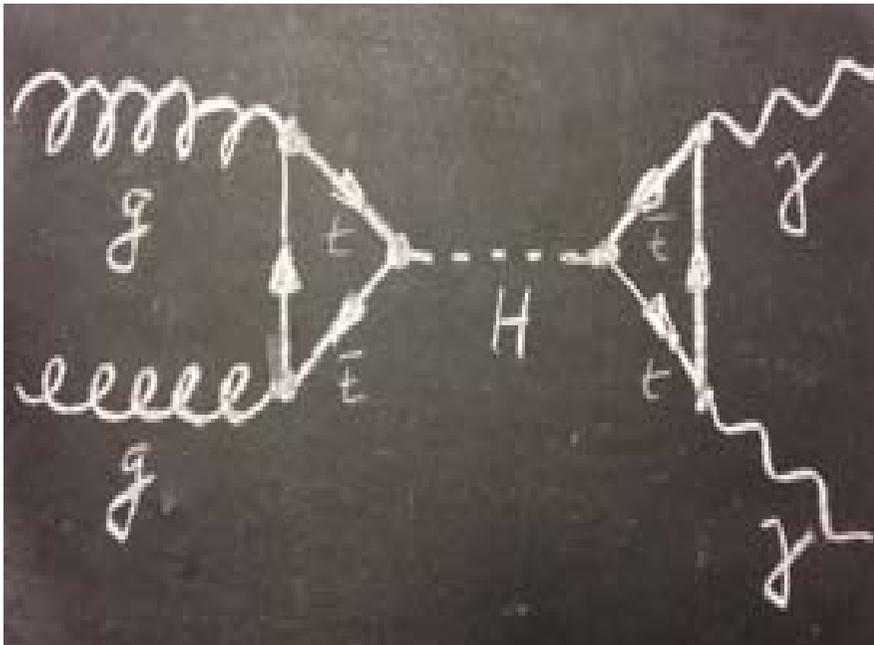
Suche nach Z- und Higgs-Bosonen



Z-Pfad: Ereignisse und Untergrund



Z-Pfad: Suche nach dem Higgs



Z-Pfad: Suche nach Neuem (Z')

