

Derzeitige Forschung am CERN

70 Jahre Forschungszentrum CERN



**TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DRESDEN**

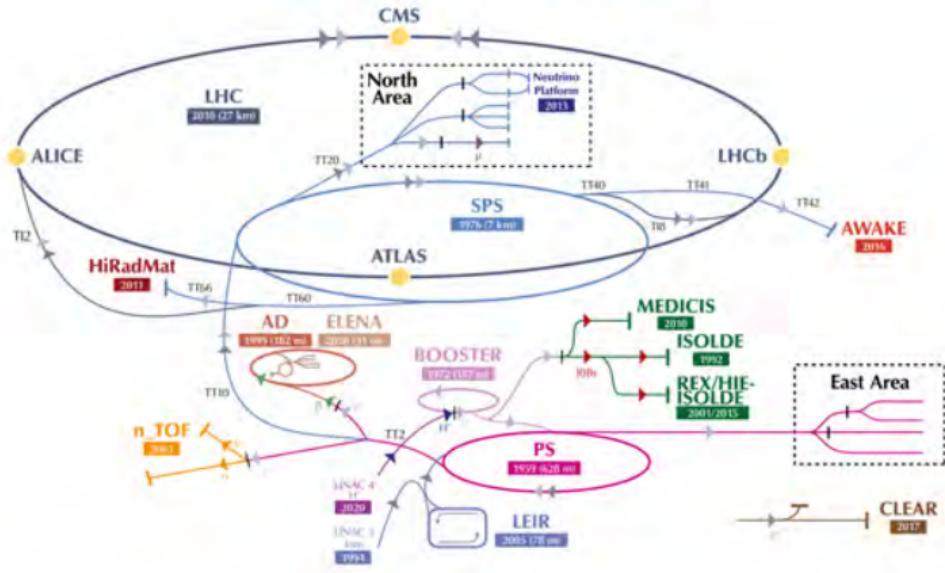
Philip Sommer

Technische Universität Dresden

16.09.2024

Die Beschleunigeranlagen des CERN

The CERN accelerator complex Complexe des accélérateurs du CERN

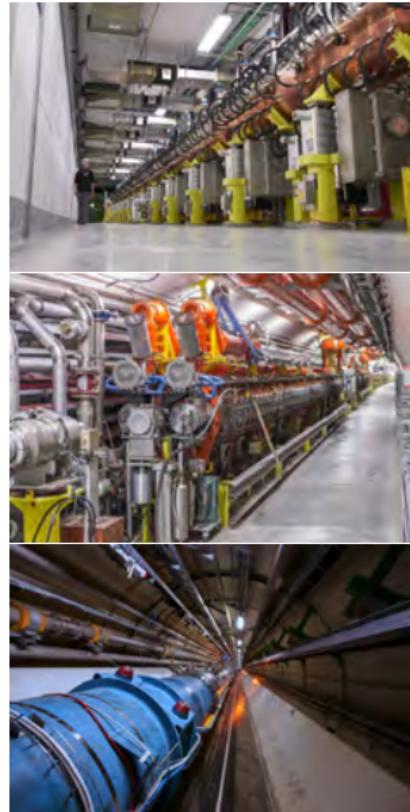


► H⁻ (hydrogen anions) ► μ (muons) ► ions ► RIBs (Radioactive Ion Beams) ► n (neutrons) ► ̄p (antiprotons) ► e⁻ (electrons) ► ̄μ (muons)

LHC - Large Hadron Collider // SPS - Super Proton Synchrotron // PS - Proton Synchrotron // AD - Antiproton Decelerator // CLEAR - CERN Linear Electron Accelerator for Research // AWAKE - Advanced WAKEfield Experiment // ISOLDE - Isotope Separator OnLine // REX/HIE-ISOLDE - Radioactive Experiment/High Intensity and Energy ISOLDE // MEDICIS // LEIR - Low Energy Ion Ring // LINAC - LINEar ACcelerator //

from CERN

n_TOF - Neutrons Time Of Flight // HiRadMat - High-Radiation to Materials // Neutrino Platform



CERN aus der Vogelperspektive



Der Large-Hadron Collider (LHC)

1983 Entdeckung der W und Z bosonen am CERN SPS

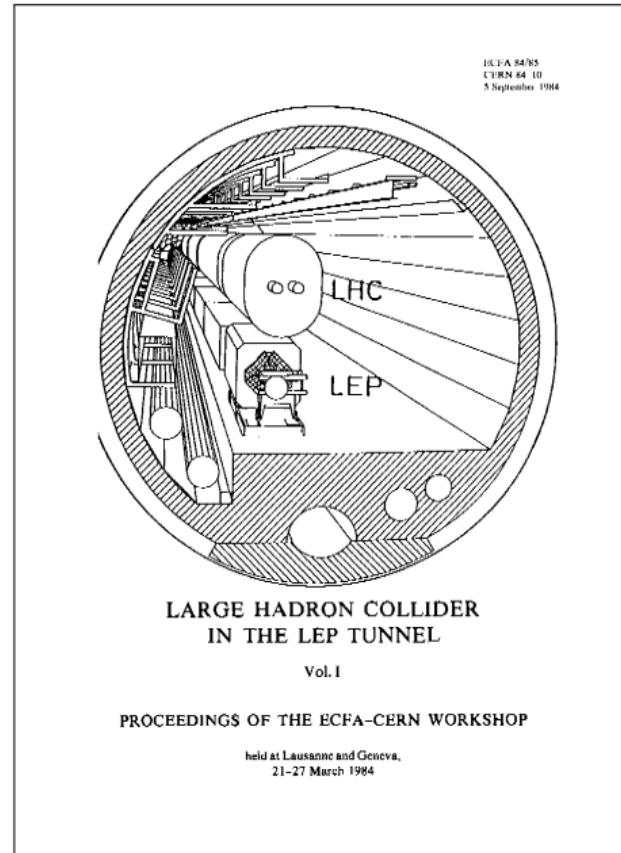
1984 CERN-ECFA Workshop: Machbarkeit eines Hadron-Kollisionsbeschleunigers im LEP Tunnel

1990 Large Hadron Collider Workshop in Aachen

1992 CERN-ECFA Workshop in Evian:

- ▶ Experimentelles Programm für den LHC
- ▶ 4 Universaldetektoren
- ▶ 2 Detektoren für Schwerionenkollisionen
- ▶ 3 Detektoren für CP-Verletzung/ B -Physik
- ▶ 2 Neutrinoexperimente

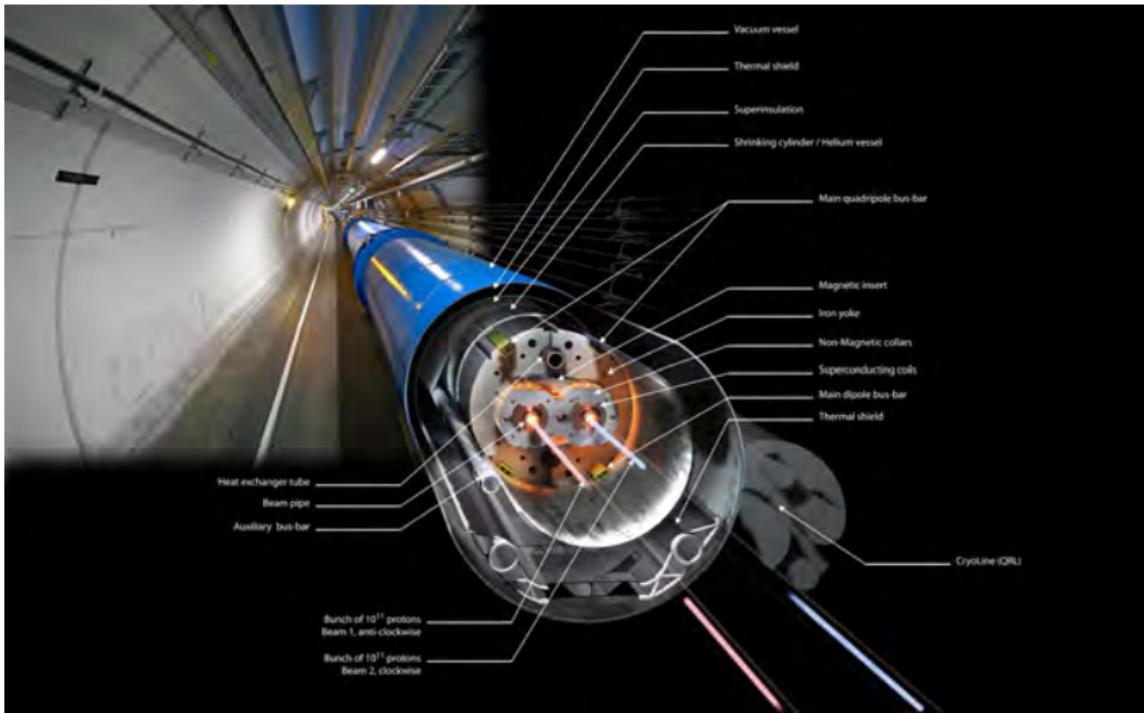
2010 pp Kollisionen bei nie erreichten Energien



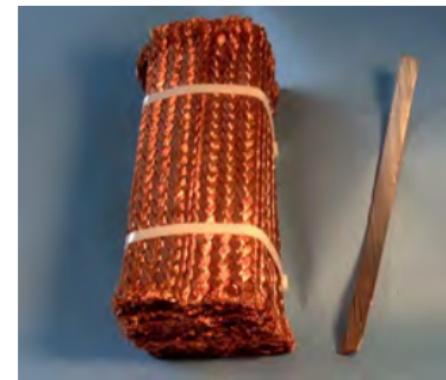
PROCEEDINGS OF THE ECFA-CERN WORKSHOP

held at Lausanne and Geneva,
21-27 March 1984

Der Large-Hadron Collider (LHC)



- ▶ Umfang: 27 km
- ▶ 1232 Dipolmagnete
- ▶ Beschleunigung mit 8 HF Resonatoren pro Strahl
- ▶ NbTi Spulen, 36000 t Material
- ▶ Betriebstemperatur: 1.9 K (-271.3 C)
- ▶ Kollisionsrate: 40 MHz



Offene Fragen der Physik

1. Masse

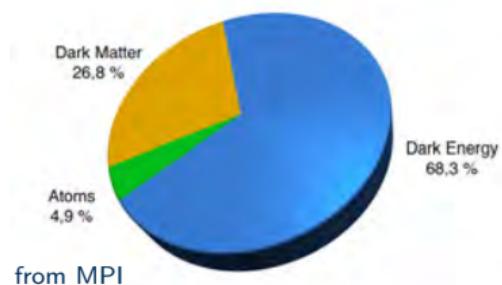
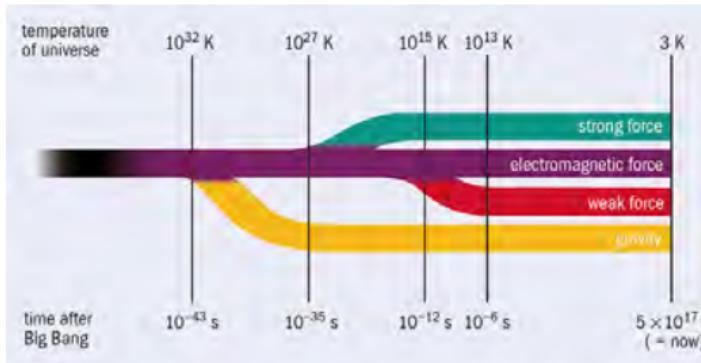
- ▶ Was ist der Ursprung der Masse?
- ▶ Das Higgs-Teilchen existiert.
Hat es die vorhergesagten Eigenschaften?

2. Vereinheitlichung

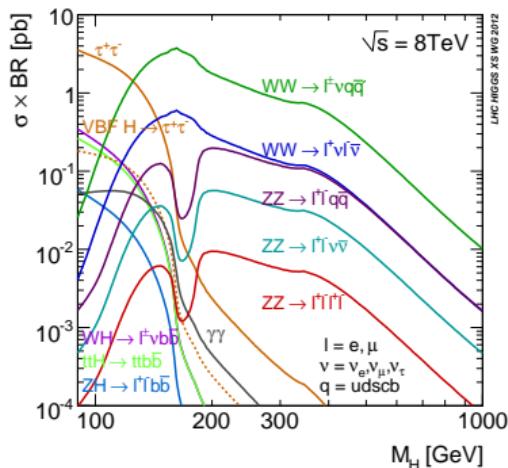
- ▶ Können die Wechselwirkungen vereinheitlicht werden?

1. Struktur und Zusammensetzung der Materie

- ▶ Gibt es neue Materiezustände?
- ▶ Stellen diese die Dunkle Materie im Universum dar?
- ▶ Warum gibt es drei Familien von Teilchen?
- ▶ Was ist die Ursache der Asymmetrie von Materie und Antimaterie?



Higgs Mechanismus

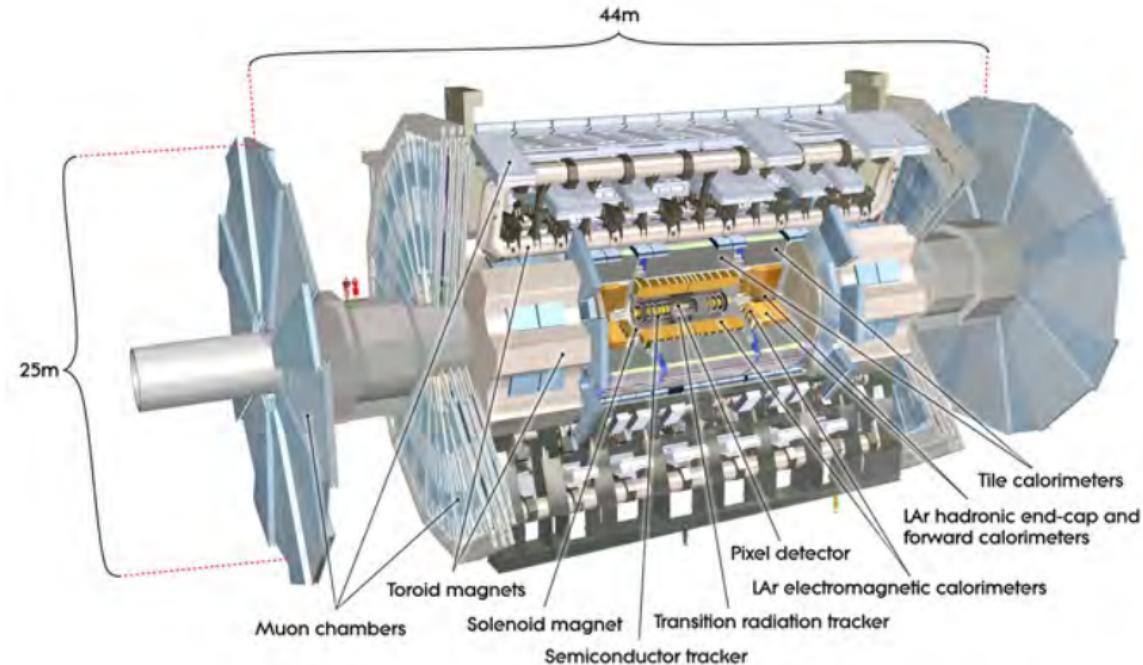


- ▶ Design der Experimente so, dass sie:
 - ▶ entweder das Higgs boson finden (falls es existiert)
 - ▶ oder Abweichungen vom Standard Model finden
 - ▶ Elektroschwache Theorie bis 1 TeV vermessen
- ▶ ATLAS Letter of Intent:
 - ▶ 1. Oktober 1992
- ⇒ Geburtsstunde der ATLAS Collaboration

A very simplified summary:

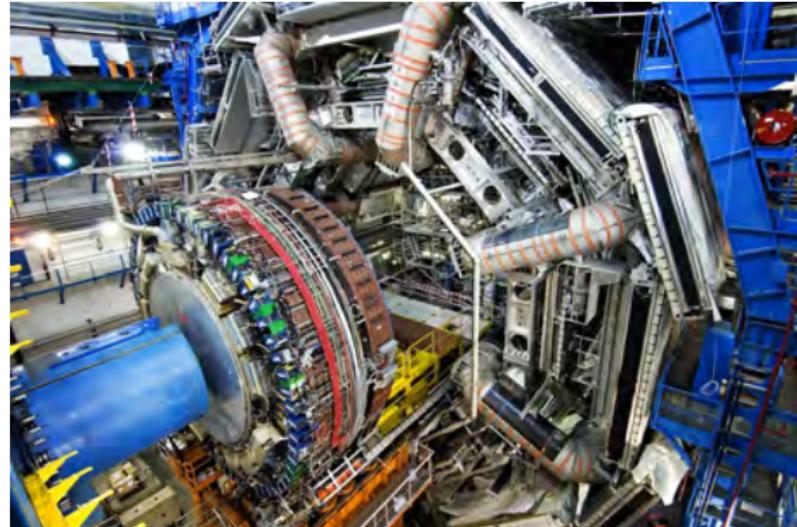
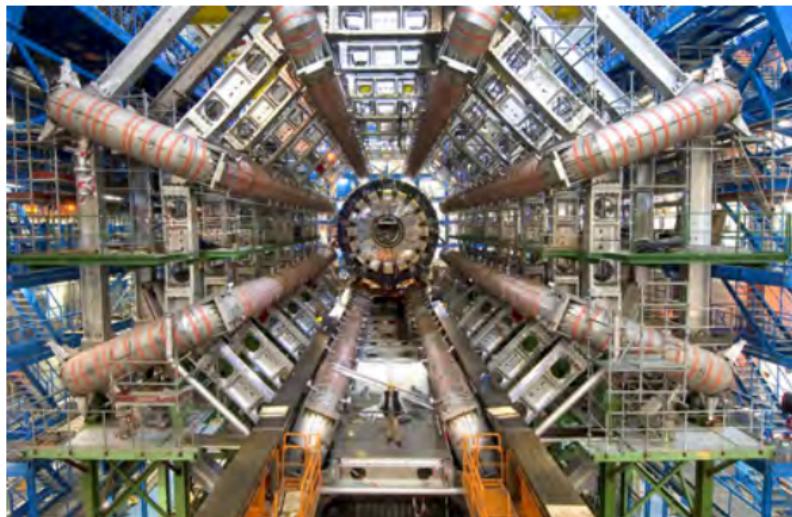
detector signature	accessible physics process
μ^\pm	$H \rightarrow ZZ \rightarrow 4\mu^\pm$ $Z' \rightarrow \mu^+\mu^- (\sigma_m ?)$
$\mu^\pm, \text{jets}, p_T$	add: $H \rightarrow ZZ \rightarrow \mu^+\mu^-\nu\nu$ $W \rightarrow \mu^\pm\nu$ compositeness \tilde{q}, \tilde{g} (direct decays) jet spectroscopy
$e, \mu^\pm, \text{jets}, p_T$	add: $4 \times \text{rate } H \rightarrow ZZ \rightarrow e^\pm$ (non-)magnetic central part <u>reduced tracking</u> $2 \times \text{rate } H \rightarrow ZZ \rightarrow \ell\ell\nu\nu$ $2 \times \text{rate } Z', W'$ \tilde{q}, \tilde{g} (also cascade decays) mass resolution $e\mu$ heavy Q,L $H \rightarrow \gamma\gamma$
$e, \mu^\pm, \tau^\pm, \text{jets}, p_T$	add: more redundancy and cross-checks on above, H^\pm , SUSY-H, heavy flavour tags

Der ATLAS Detektor



- ▶ 120M Auslesekanäle
- ▶ 40M pp Kollisionen pro Sekunde
- ▶ Selektion von 1000 Ereignisse pro Sekunde

Detektor Konstruktion



Weltweite Collaboration

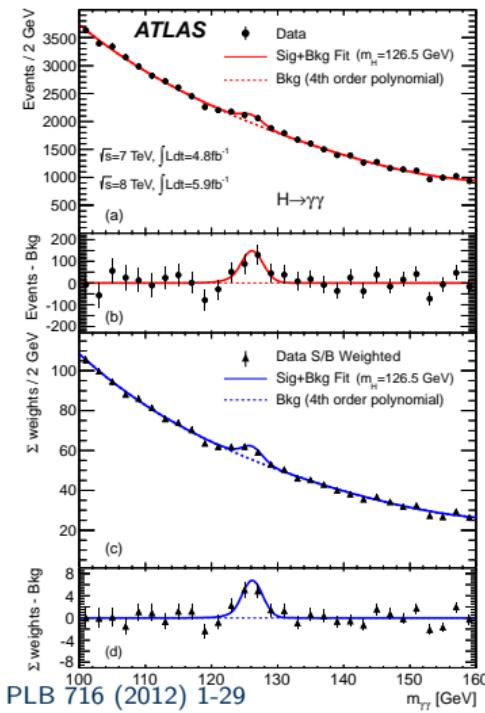
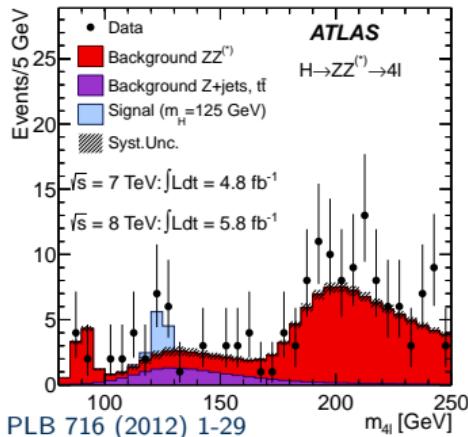


- ▶ ca. 3000 WissenschaftlerInnen
- ▶ davon 1500 StudentInnen (PhD, Master)
- ▶ 1000 Ingeneure/Techniker

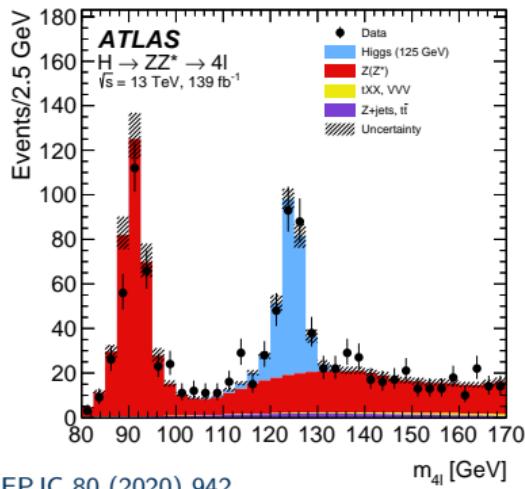
BMBF-Forschungsschwerpunkt ATLAS:

- ▶ HU Berlin, Bonn, Dortmund, **Dresden**, Freiburg, Gießen, Göttingen, Heidelberg, Mainz, München (LMU, TU, MPI), Siegen, Wuppertal, Würzburg, DESY (HH und Zeuthen)

Entdeckung des Higgs Bosons 2012

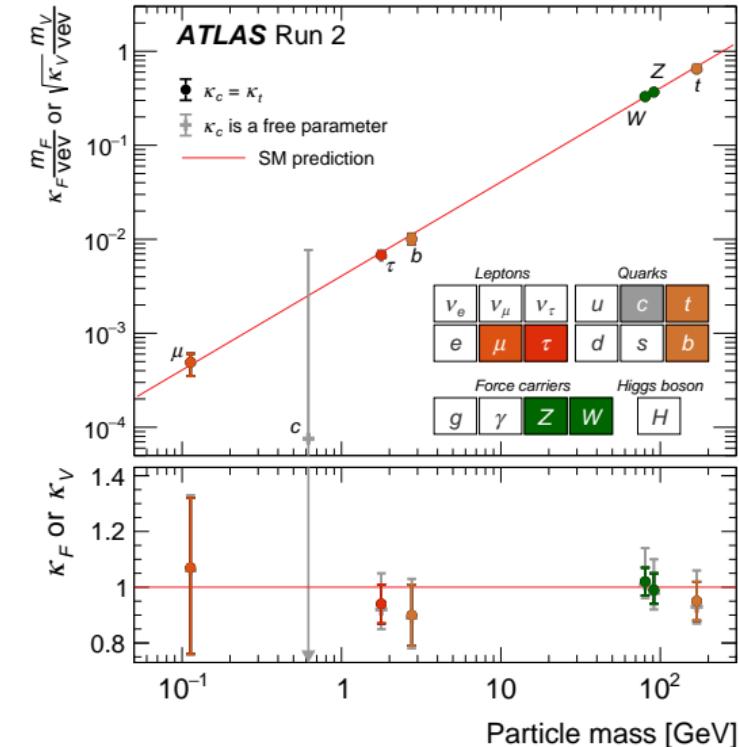


Profil des Higgs Bosons



EPJC 80 (2020) 942

- ▶ Wechselwirkungsstärke proportional zur Teilchenmasse
- ▶ Spin-0 nachgewiesen
- ⇒ Higgs Teilchen

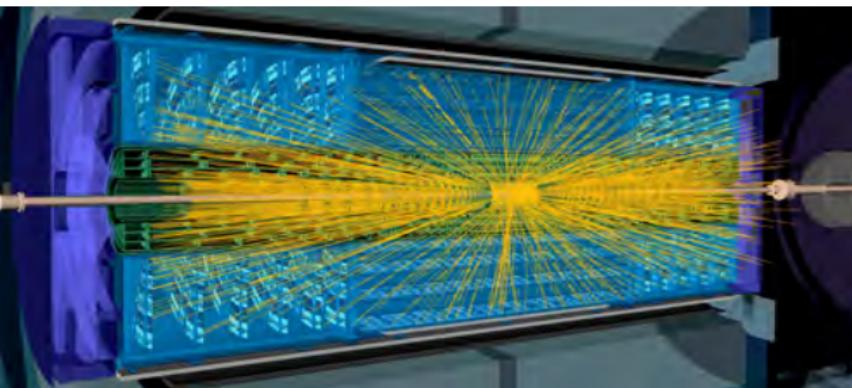


Nature 607 52 (2022)

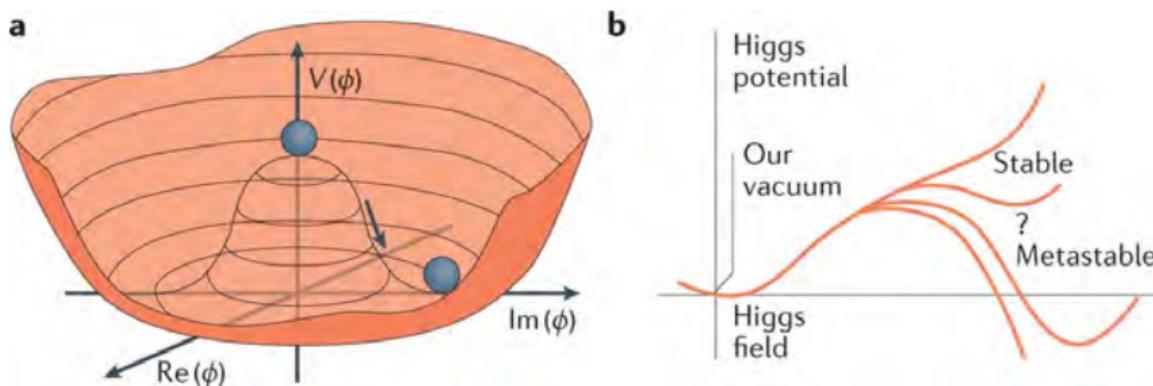
Die Zukunft des LHC



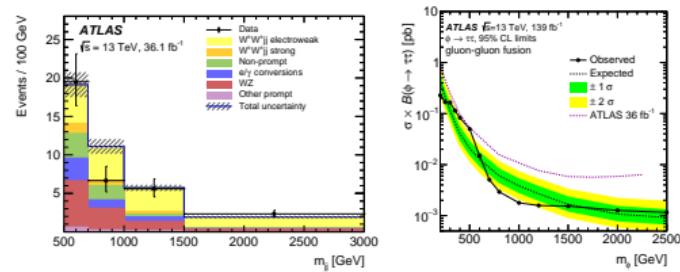
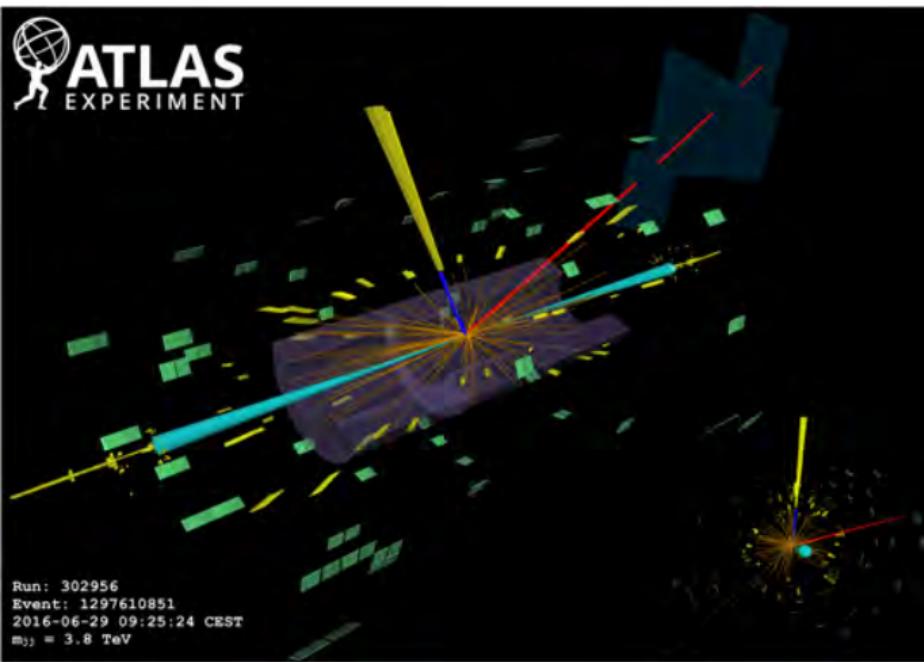
- ▶ Ab 2029 wird der LHC mit 7.5-facher Strahlintensität betrieben
- ▶ Bis zu 200 gleichzeitige pp Kollisionen (bisher 30-60)
- ▶ Verbesserungen am LHC und den Experimenten
- ▶ Ersatz der inneren Spurdetektoren
- ▶ Neue Elektronik zum schnellen Auslesen bei hohen Ereignisraten
- ▶ Experimentelles Programm bis Ende der 2030er



Fragen am High-luminosity LHC



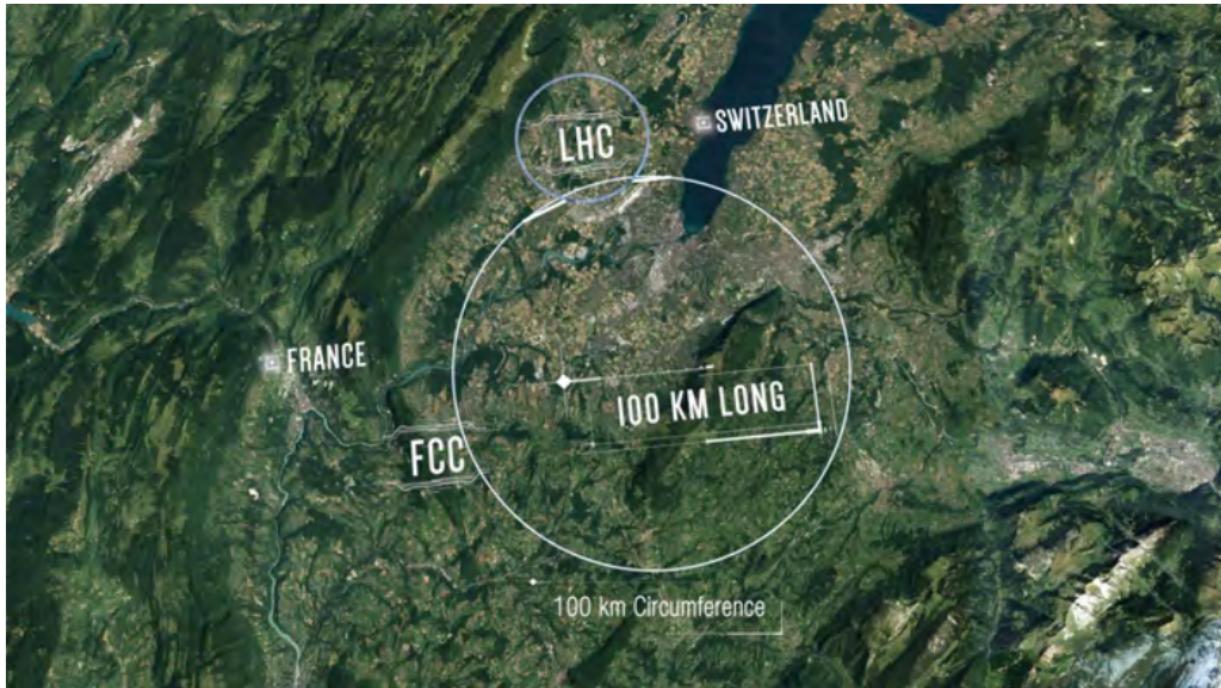
- ▶ Stärke des Higgs-Feldes bekannt
- ▶ Wichtige Frage: was ist die Form des Higgs-Potentials?
 - ▶ wie schnell ist das Universum expandiert?
 - ▶ wie entwickelt sich das Universum in der Zukunft?
 - ▶ bis zu welchen Energieskalen ist das Standardmodell gültig?



- ▶ Messung der Vektorbosonstreuung
- ▶ Seltener Prozess, den der LHC gemessen hat
- ⇒ Test des Higgs-Mechanismus bei höchsten Energien (Gültigkeit des Standardmodells)

- ▶ Suche nach weiteren Higgs Bosonen
- ⇒ Ist das Higgs-Feld in seiner einfachsten Form in der Natur verwirklicht?

Die Zukunft des CERN - Beschleunigerkonzept FCC



- ▶ Electron-Positron-Kollisionen ab Mitte der 2040er
- ▶ Proton-Proton-Kollisionen ab den 2070ern
- ▶ Experimentelles Programm bis in nächste Jahrhundert
- ▶ Antworten auf die fundamentalen Fragen der Physik

Backup