

Stefan Liebler
DESY Hamburg

6 aus 49.000.000.000
Lotto am Mittwoch

Öffentlicher Abendvortrag
WISSENSWERTE DESY

Hamburg - 22. Juni 2016



Universität Hamburg

DER FORSCHUNG | DER LEHRE | DER BILDUNG

Particles, Strings,
and the Early Universe

Collaborative Research Center SFB 676



HELMHOLTZ
| GEMEINSCHAFT

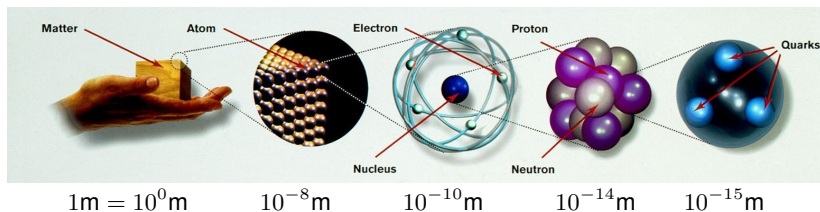
Übersicht

- 1 Teilchenphysik - Eine Einführung
- 2 Messungen und Beschleuniger
- 3 Higgssuche
- 4 Gibt es ein neues Teilchen?
- 5 Zusammenfassung

Übersicht

- 1 Teilchenphysik - Eine Einführung
- 2 Messungen und Beschleuniger
- 3 Higgssuche
- 4 Gibt es ein neues Teilchen?
- 5 Zusammenfassung

Wie klein sind die relevanten Teilchen?



Die Grundbausteine unserer Natur sind **Elektronen** und **up-** sowie **down-Quarks**, welche keine messbare Ausdehnung mehr aufweisen:

Elektron mit Ladung $-1e$

u-Quark mit Ladung $+\frac{2}{3}e$

d-Quark mit Ladung $-\frac{1}{3}e$

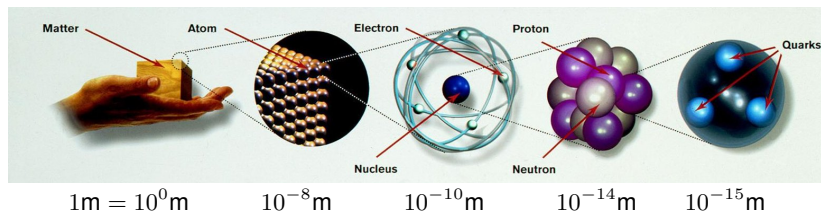


uud = Proton mit Ladung $+1e$

udd = Neutron mit Ladung $0e$

Zwar nicht Element unseres Lebens, jedoch genauso elementar sind die Antiteilchen **Positron**, **u-** und **d-Antiquarks** mit entgegengesetzter Ladung!

Wie klein sind die relevanten Teilchen?



Die Grundbausteine unserer Natur sind **Elektronen** und **up-** sowie **down-Quarks**, welche keine messbare Ausdehnung mehr aufweisen:

Elektron mit Ladung $-1e$

u-Quark mit Ladung $+\frac{2}{3}e$

d-Quark mit Ladung $-\frac{1}{3}e$



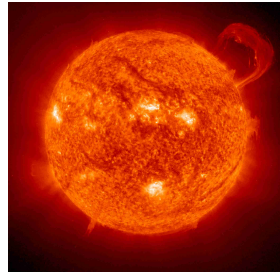
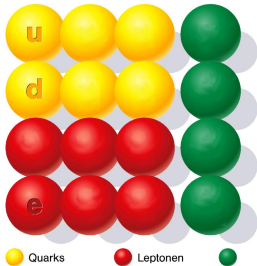
uud = Proton mit Ladung $+1e$

udd = Neutron mit Ladung $0e$

Zwar nicht Element unseres Lebens, jedoch genauso elementar sind die Antiteilchen **Positron**, **u-** und **d-Antiquarks** mit entgegengesetzter Ladung!

Welche Teilchen schickt die Sonne?

Standard-Teilchen



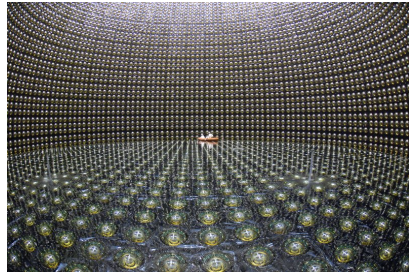
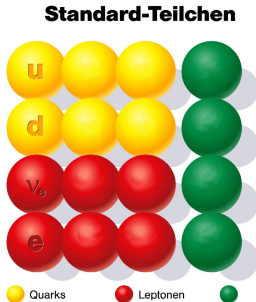
Im Fusionsprozess entsteht eine große Zahl an **Elektronenneutrinos** mit Ladung $0e$:



Fluß auf der Erde: 60 Milliarden/Sek./cm²

Nicht zu vergessen die abgestrahlte Energie in Form von Licht, in Teilchensprache **Photonen**.

Welche Teilchen schickt die Sonne?



Im Fusionsprozess entsteht eine große Zahl an **Elektronenneutrinos** mit Ladung $0e$:

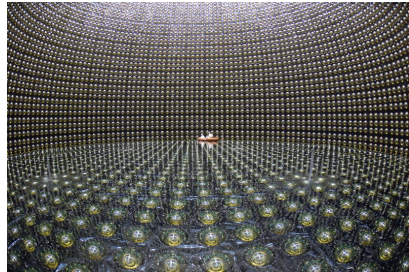
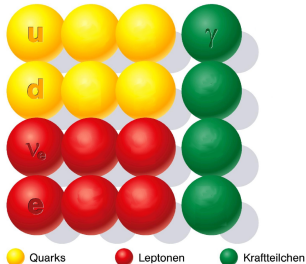


Fluß auf der Erde: 60 Milliarden/Sek./cm²

Nicht zu vergessen die abgestrahlte Energie in Form von Licht, in Teilchensprache **Photonen**.

Welche Teilchen schickt die Sonne?

Standard-Teilchen



Im Fusionsprozess entsteht eine große Zahl an **Elektronenneutrinos** mit Ladung $0e$:



Fluß auf der Erde: 60 Milliarden/Sek./cm²

Nicht zu vergessen die abgestrahlte Energie in Form von Licht, in Teilchensprache **Photonen**.

Was sind Photonen in teilchenphysikalischer Sprache?

Kraftteilchen des Elektromagnetismus

⇒ Photon γ

Welche Wechselwirkungen gibt es noch?

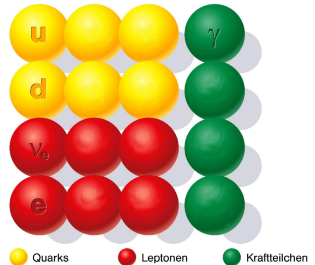
Kraftteilchen der starken Kraft

⇒ 8 Gluonen g

Kraftteilchen der schwachen Kraft

⇒ Massive Bosonen W^+ , W^- und Z

Standard-Teilchen



Aufmerksam: Die Wechselwirkungen sind assoziiert mit Eichsymmetrien.

Ausgeklammert: Gravitation

Was sind Photonen in teilchenphysikalischer Sprache?

Kraftteilchen des Elektromagnetismus

⇒ **Photon γ**

Welche Wechselwirkungen gibt es noch?

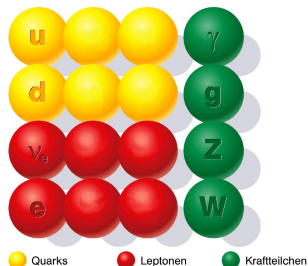
Kraftteilchen der starken Kraft

⇒ **8 Gluonen g**

Kraftteilchen der schwachen Kraft

⇒ **Massive Bosonen W^+ , W^- und Z**

Standard-Teilchen

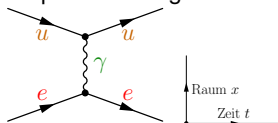


Aufmerksam: Die Wechselwirkungen sind assoziiert mit Eichsymmetrien.

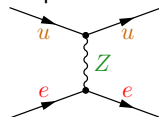
Ausgeklammert: **Gravitation**

Wie darf man sich diese Kraftteilchen vorstellen? Wo treten sie auf?
 Alle teilchenphysikalischen Wechselwirkungen (Energieaustausch) erfolgen durch die Kraftteilchen:

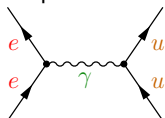
Beispiel Streuung



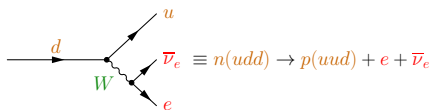
Beispiel Schwache Wechselwirkung



Beispiel Paarvernichtung



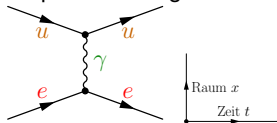
Beispiel β-Zerfall



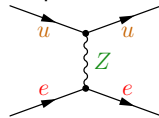
Beschreibung: Quantenfeldtheorie! ↔ Statistische Aussagen!

Wie darf man sich diese Kraftteilchen vorstellen? Wo treten sie auf?
 Alle teilchenphysikalischen Wechselwirkungen (Energieaustausch) erfolgen durch die Kraftteilchen:

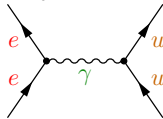
Beispiel Streuung



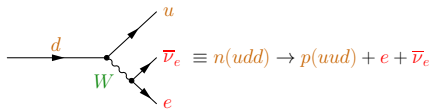
Beispiel Schwache Wechselwirkung



Beispiel Paarvernichtung



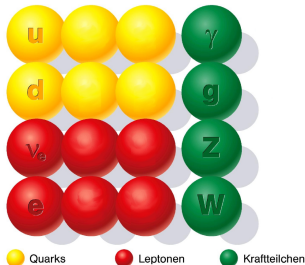
Beispiel β -Zerfall



Beschreibung: Quantenfeldtheorie! $\leftrightarrow$ Statistische Aussagen!

Wir sind aber noch immer nicht mit unserem Baukasten fertig!

Standard-Teilchen



Leptonen und Quarks bestehen aus drei Familien mit gleichem Verhalten unter den Symmetriegruppen:

up-Quark → charm-, top-Quark

down-Quark → strange-, bottom-Quark

Elektron- → Myon-, Tau-Neutrino

Elektron → Myon, Tau

Damit ist das Standardmodell der Teilchenphysik komplett!

Warum sehen wir diese Teilchen nicht im alltäglichen Leben?

Schwere Familien zerfallen in die leichten Familien! Beispiel:

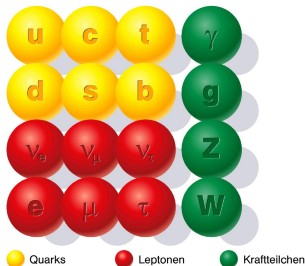
$m_t = 172 \text{ GeV}$ ($\sim$ Goldatom), $m_b = 4 \text{ GeV}$, $m_W = 80 \text{ GeV}$, daher $t \rightarrow bW$

Anmerkung: Die Energie 1 eV hat ein Elektron nach Durchlauf von 1 Volt.

Schwer, leicht??

Wir sind aber noch immer nicht mit unserem Baukasten fertig!

Standard-Teilchen



Leptonen und Quarks bestehen aus drei Familien mit gleichem Verhalten unter den Symmetriegruppen:

up-Quark $\rightarrow$ charm-, top-Quark

down-Quark $\rightarrow$ strange-, bottom-Quark

Elektron- $\rightarrow$ Myon-, Tau-Neutrino

Elektron $\rightarrow$ Myon, Tau

Damit ist das Standardmodell der Teilchenphysik komplett!

Warum sehen wir diese Teilchen nicht im alltäglichen Leben?

Schwere Familien zerfallen in die leichten Familien! Beispiel:

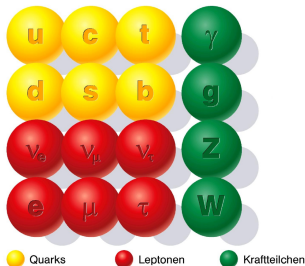
$m_t = 172 \text{ GeV}$ ($\sim$ Goldatom), $m_b = 4 \text{ GeV}$, $m_W = 80 \text{ GeV}$, daher $t \rightarrow bW$

Anmerkung: Die Energie 1 eV hat ein Elektron nach Durchlauf von 1 Volt.

Schwer, leicht??

Wir sind aber noch immer nicht mit unserem Baukasten fertig!

Standard-Teilchen



Leptonen und Quarks bestehen aus drei Familien mit gleichem Verhalten unter den Symmetriegruppen:

up-Quark → charm-, top-Quark

down-Quark → strange-, bottom-Quark

Elektron- → Myon-, Tau-Neutrino

Elektron → Myon, Tau

Damit ist das Standardmodell der Teilchenphysik komplett!

Warum sehen wir diese Teilchen nicht im alltäglichen Leben?

Schwere Familien zerfallen in die leichten Familien! Beispiel:

$m_t = 172 \text{ GeV}$ ($\sim$ Goldatom), $m_b = 4 \text{ GeV}$, $m_W = 80 \text{ GeV}$, daher $t \rightarrow bW$

Anmerkung: Die Energie 1 eV hat ein Elektron nach Durchlauf von 1 Volt.

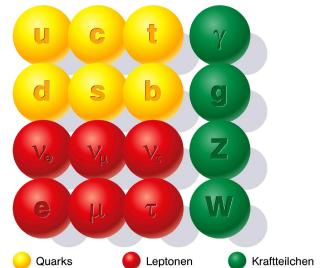
Schwer, leicht??

Woher kommt Masse überhaupt?

Problem: Die Symmetrien des Standardmodells sehen keine Massen für Teilchen vor!

Vorschlag von Peter Higgs (1964):
(Englert, Brout, Guralnik, Hagen, Kibble)
Füge ein **Higgsfeld** hinzu!

Standard-Teilchen



⇒ Dieses bricht die lokale Eichsymmetrie $(SU(2)_L \times U(1)_Y \rightarrow U(1)_{EM})$ und generiert so Massen für W^+ , W^- und Z und alle Quarks und Leptonen! Gluonen und das Photon bleiben masselos!

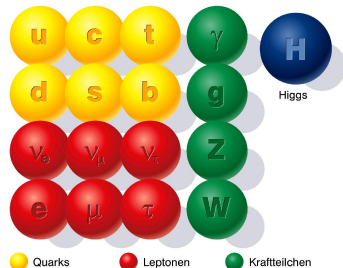
Suche nach dem Higgs-Boson wurde 2012 belohnt!
Wie? Und warum so lange?

Woher kommt Masse überhaupt?

Problem: Die Symmetrien des Standardmodells sehen keine Massen für Teilchen vor!

Vorschlag von Peter Higgs (1964):
(Englert, Brout, Guralnik, Hagen, Kibble)
Füge ein **Higgsfeld** hinzu!

Standard-Teilchen



⇒ Dieses bricht die lokale Eichsymmetrie $(SU(2)_L \times U(1)_Y \rightarrow U(1)_{EM})$ und generiert so Massen für W^+ , W^- und Z und alle Quarks und Leptonen! Gluonen und das Photon bleiben masselos!

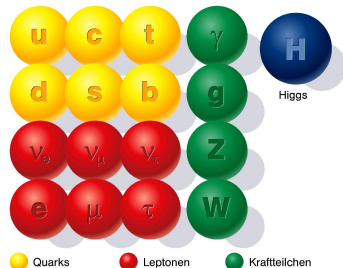
Suche nach dem Higgs-Boson wurde 2012 belohnt!
Wie? Und warum so lange?

Woher kommt Masse überhaupt?

Problem: Die Symmetrien des Standardmodells sehen keine Massen für Teilchen vor!

Vorschlag von Peter Higgs (1964):
(Englert, Brout, Guralnik, Hagen, Kibble)
Füge ein **Higgsfeld** hinzu!

Standard-Teilchen



⇒ Dieses bricht die lokale Eichsymmetrie $(SU(2)_L \times U(1)_Y \rightarrow U(1)_{EM})$ und generiert so Massen für W^+ , W^- und Z und alle **Quarks** und **Leptonen**! **Gluonen** und das **Photon** bleiben masselos!

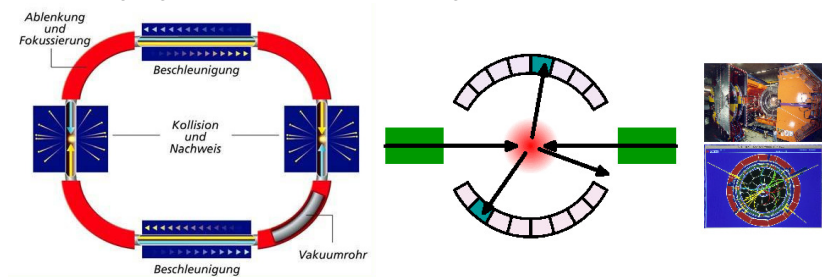
Suche nach dem Higgs-Boson wurde 2012 belohnt!
Wie? Und warum so lange?

Übersicht

- 1 Teilchenphysik - Eine Einführung
- 2 Messungen und Beschleuniger**
- 3 Higgssuche
- 4 Gibt es ein neues Teilchen?
- 5 Zusammenfassung

Wie und wo kann man die Teilchen des Standardmodells nachweisen?

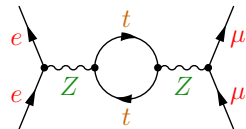
⇒ Erzeugung mit Hilfe eines Beschleunigers und Detektoren



Voraussetzung: Kinetische Energie muss mindestens der Masse des zu untersuchenden Teilchens entsprechen!

Alternativ: Virtuelle Erzeugung

⇒ Exakte Vermessung anderer Teilchen gibt Aufschluss über neue Teilchen



Wo befinden sich große Beschleunigeranlagen?



Wichtige Hochenergie-Beschleuniger mit direkter Teilchenerzeugung seit 1980:

Beschleuniger	Ort und Zeit	Ausgangst.	Umfang	Ergebnis und Ziel
PETRA Positron-Elektron -Tandem-Ring-Anlage	DESY 1978 – heute	e^+, e^- je 19GeV	2304m	Entdeckung des Gluons (79)
SPS Super Proton Synchrotron	CERN 1976 – heute	$p, \bar{p}$ je 450GeV	6912m	Entdeckung von W, Z (84)
HERA Hadron-Elektron-Ring-Anlage	DESY 1991 – 2007	e^+, e^- mit 27.5GeV p mit 920GeV	6336m	Vermessung des Protons
LEP Large Electron-Positron Collider	CERN 1989 – 2000	e^+, e^- je 45 – 104.5GeV	27km	genaue Vermessung W, Z
SSC Superconducting Super Collider	Texas †1993	p, p je 20000GeV	87km	Geisterstadt (23km Tunnel)
TVT Tevatron	FNAL 1983 – 2011	$p, \bar{p}$ je 980GeV	6300m	Entdeckung des top-Quarks (95)
LHC Large Hadron Collider	CERN 2008 – heute	p, p je 3500GeV – 7000GeV	27km	Higgs (12), Neue Physik: 750?, . . .

Impressionen von Beschleunigern:

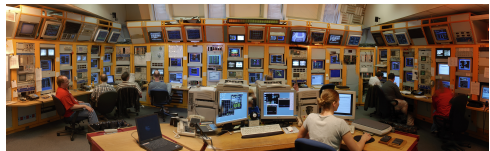
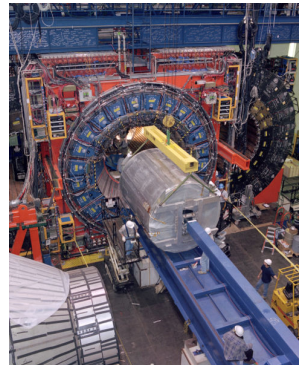


HERA Tunnel

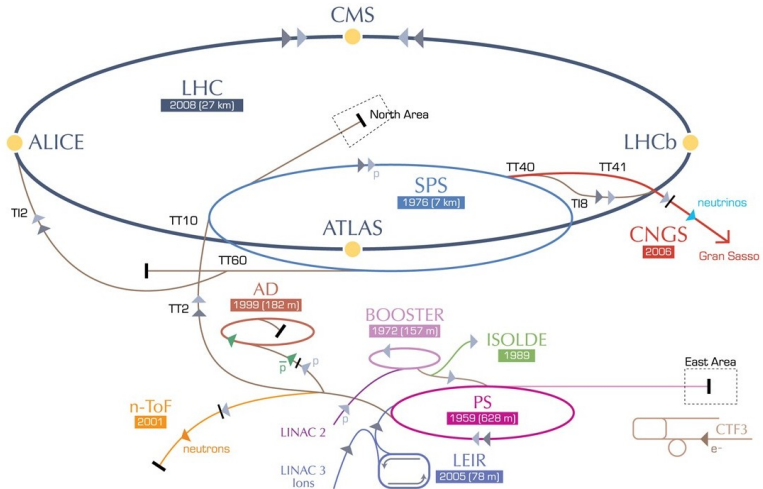
LEP Tunnel

TVT Leitstand

TVT CDF Exp.



Heutige Teilchenbeschleuniger am CERN:



Large Hadron Collider und dessen Aufbau:

Basisdaten:

Proton-Proton-Beschleuniger

Tiefe: ~ 100 Meter

Umfang: 27 km (LEP Tunnel)

Energie pro Strahl:

2010-2011: 3.5 TeV

2012-2013: 4 TeV

seit 2015: 6.5 TeV

Strahldurchmesser:

10 – 100 μm

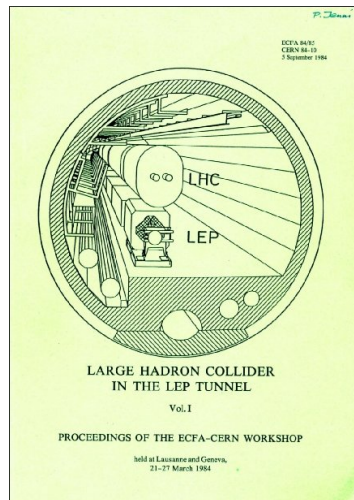
Teilchen pro Paket: 10^{11}

Zum Vergleich: Laptop 10^{26}

Zahl der Pakete: ~ 2000

Reaktionen: 20 – 50 pro Paket

$\Rightarrow$ 20 – 50 Reaktionen alle 25ns



Large Hadron Collider und dessen Aufbau:

Basisdaten:

Proton-Proton-Beschleuniger

Tiefe: ~ 100 Meter

Umfang: 27 km (LEP Tunnel)

Energie pro Strahl:

2010-2011: 3.5 TeV

2012-2013: 4 TeV

seit 2015: 6.5 TeV

Strahldurchmesser:

$10 - 100 \mu\text{m}$

Teilchen pro Paket: 10^{11}

Zum Vergleich: Laptop 10^{26}

Zahl der Pakete: ~ 2000

Reaktionen: 20 – 50 pro Paket

$\Rightarrow$ 20 – 50 Reaktionen alle 25ns



Large Hadron Collider und dessen Aufbau:

Basisdaten:

Proton-Proton-Beschleuniger

Tiefe: ~ 100 Meter

Umfang: 27 km (LEP Tunnel)

Energie pro Strahl:

2010-2011: 3.5 TeV

2012-2013: 4 TeV

seit 2015: 6.5 TeV

Strahldurchmesser:

$10 - 100 \mu\text{m}$

Teilchen pro Paket: 10^{11}

Zum Vergleich: Laptop 10^{26}

Zahl der Pakete: ~ 2000

Reaktionen: 20 – 50 pro Paket

$\Rightarrow$ 20 – 50 Reaktionen alle 25ns



Large Hadron Collider und dessen Aufbau:

Basisdaten:

Proton-Proton-Beschleuniger

Tiefe: ~ 100 Meter

Umfang: 27 km (LEP Tunnel)

Energie pro Strahl:

2010-2011: 3.5 TeV

2012-2013: 4 TeV

seit 2015: 6.5 TeV

Strahldurchmesser:

10 – 100 μm

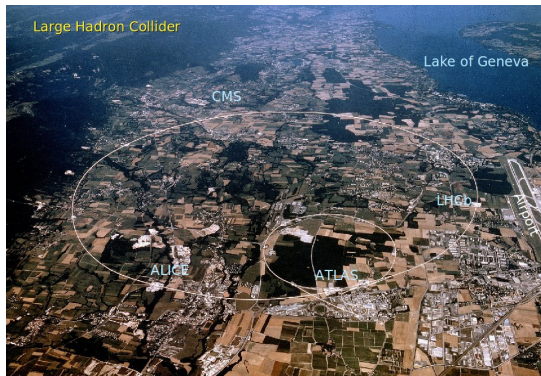
Teilchen pro Paket: 10^{11}

Zum Vergleich: Laptop 10^{26}

Zahl der Pakete: ~ 2000

Reaktionen: 20 – 50 pro Paket

$\Rightarrow$ 20 – 50 Reaktionen alle 25ns



Large Hadron Collider und dessen Aufbau:

Basisdaten:

Proton-Proton-Beschleuniger

Tiefe: ~ 100 Meter

Umfang: 27 km (LEP Tunnel)

Energie pro Strahl:

2010-2011: 3.5 TeV

2012-2013: 4 TeV

seit 2015: 6.5 TeV

Strahldurchmesser:

10 – 100 μm

Teilchen pro Paket: 10^{11}

Zum Vergleich: Laptop 10^{26}

Zahl der Pakete: ~ 2000

Reaktionen: 20 – 50 pro Paket

$\Rightarrow$ 20 – 50 Reaktionen alle 25ns



Einige Daten zum Magnetsystem:

Basisdaten:

1232 supraleitende Magnete
je 15m Länge

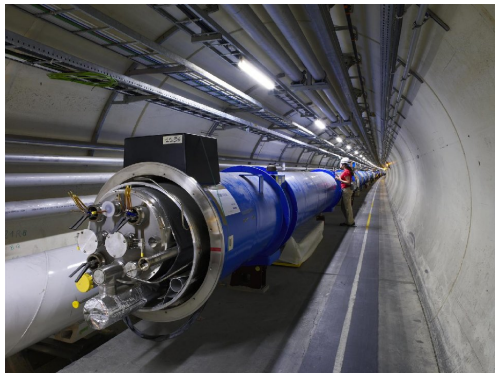
Magnetfeld:
8Tesla

Temperatur:
 $T = 1.9\text{K } (-271.3^\circ\text{C})$

Energieverbrauch:
120 MW

Energie im System: 11 GJ

Strahlenergie $\sim 360\text{ MJ}$
 $\approx$ Zug mit 400t bei 150 km/h



Einige Daten zum Magnetsystem:

Basisdaten:

1232 supraleitende Magnete
je 15m Länge

Magnetfeld:
8Tesla

Temperatur:
 $T = 1.9\text{K } (-271.3^\circ\text{C})$

Energieverbrauch:
120 MW

Energie im System: 11 GJ

Strahlenergie $\sim 360\text{ MJ}$
 $\approx$ Zug mit 400t bei 150 km/h



Einige Daten zum Magnetsystem:

Basisdaten:

1232 supraleitende Magnete
je 15m Länge

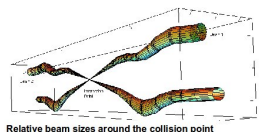
Magnetfeld:
8Tesla

Temperatur:
 $T = 1.9\text{K } (-271.3^\circ\text{C})$

Energieverbrauch:
120 MW

Energie im System: 11 GJ

Strahlenergie $\sim 360\text{ MJ}$
 $\approx$ Zug mit 400t bei 150 km/h

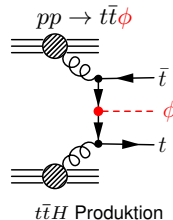
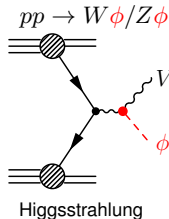
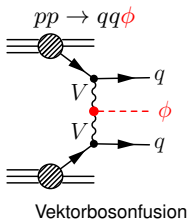
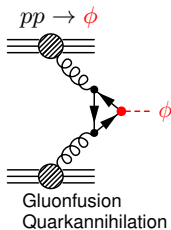


Übersicht

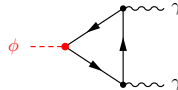
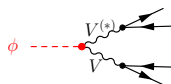
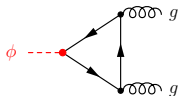
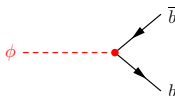
- 1 Teilchenphysik - Eine Einführung
- 2 Messungen und Beschleuniger
- 3 Higgssuche**
- 4 Gibt es ein neues Teilchen?
- 5 Zusammenfassung

In welchen Kanälen sucht man nach dem Higgs?

Produktion des Higgs $H = \phi$ aus der Kollision von zwei Protonen:



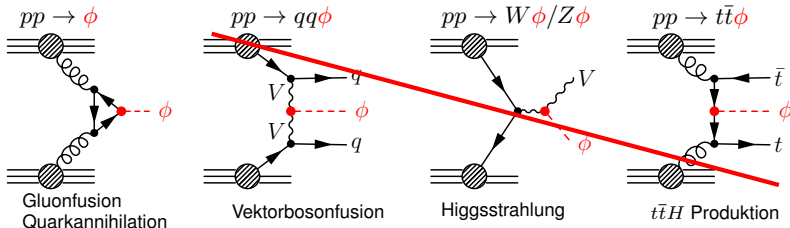
Zerfälle des Higgs $H = \phi$:



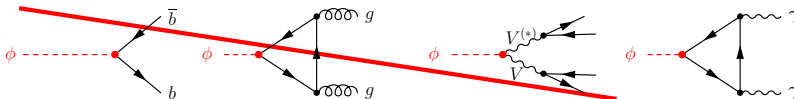
Für alle Kombinationen können wir in der Quantenfeldtheorie Wahrscheinlichkeiten ausrechnen.

In welchen Kanälen sucht man nach dem Higgs?

Produktion des Higgs $H = \phi$ aus der Kollision von zwei Protonen:

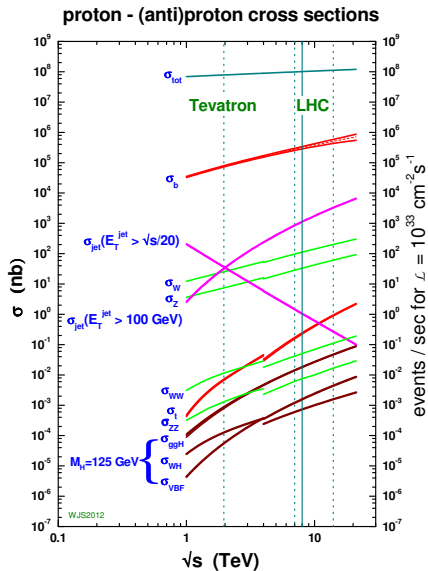


Zerfälle des Higgs $H = \phi$:



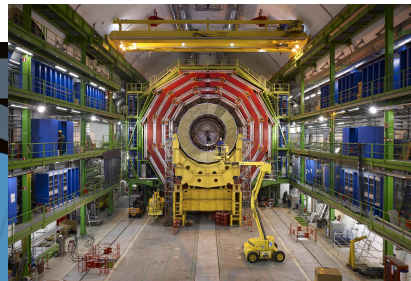
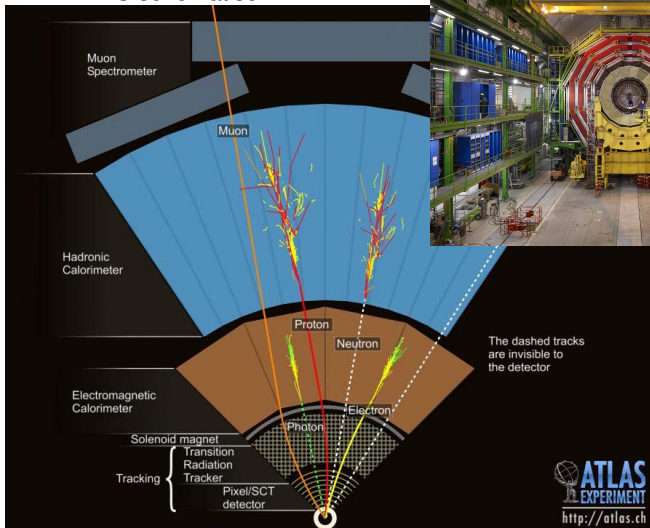
Für alle Kombinationen können wir in der Quantenfeldtheorie Wahrscheinlichkeiten ausrechnen.

Totale Produktionsrate 6 aus 49.000.000.000



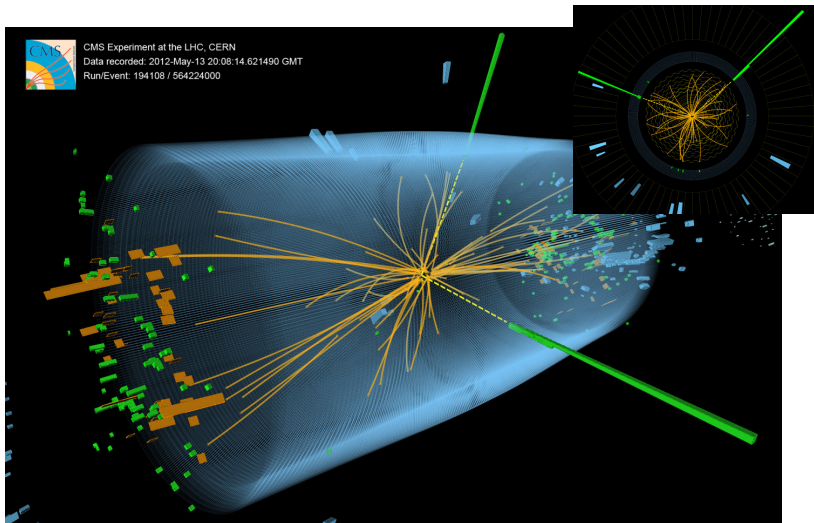
Wo wird welches Teilchen nachgewiesen?

ATLAS schematisch



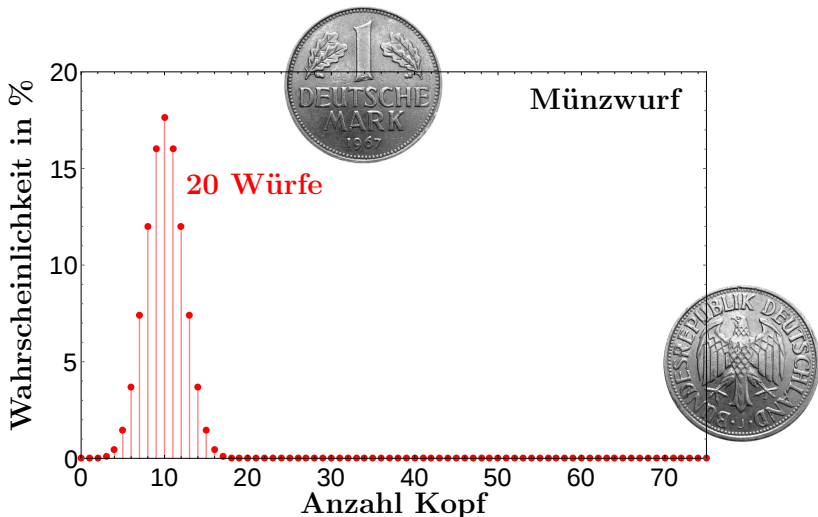
CMS Aufbau

Beispiel für ein Ereignis $H \rightarrow \gamma\gamma$:



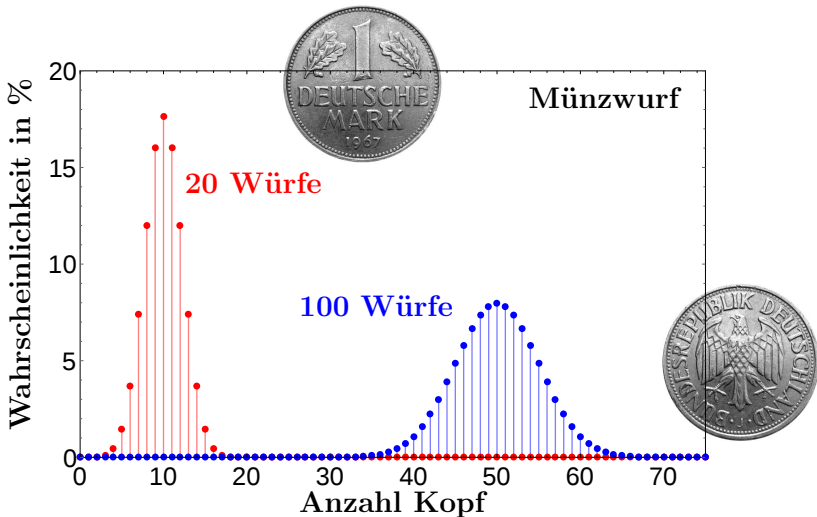
Ausflug: Quantenfeldtheorie macht statistische Aussagen!

Beispiel: Wurf einer Mark mit Wahrscheinlichkeiten 50% Kopf und 50% Zahl.



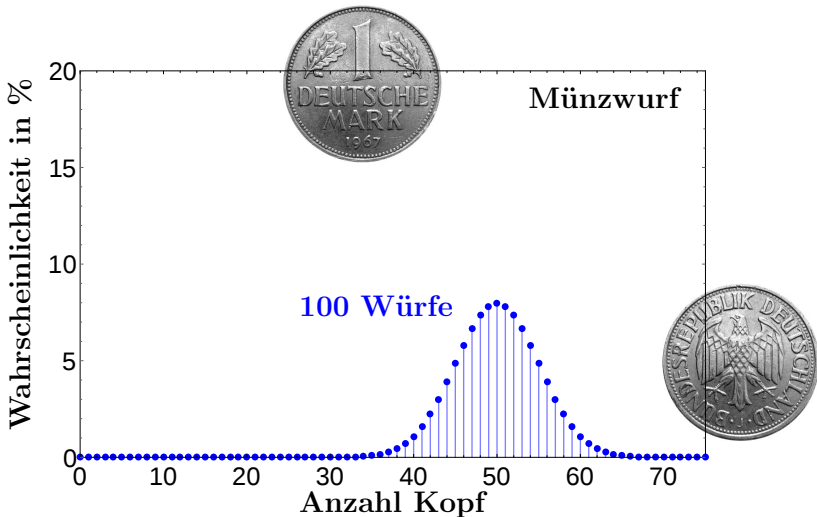
Ausflug: Quantenfeldtheorie macht statistische Aussagen!

Beispiel: Wurf einer Mark mit Wahrscheinlichkeiten 50% Kopf und 50% Zahl.



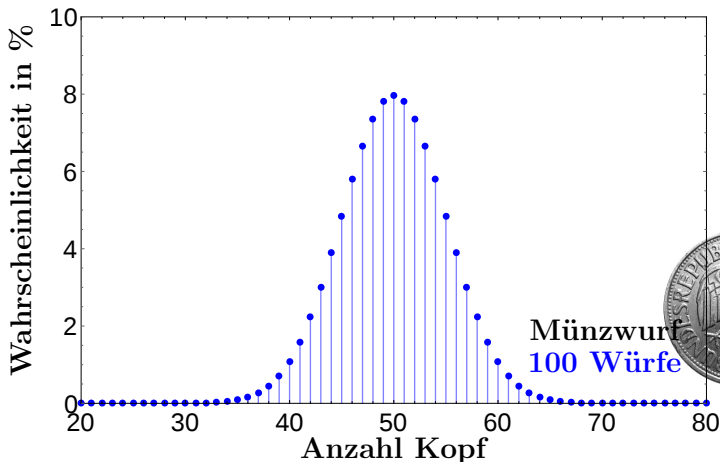
Ausflug: Quantenfeldtheorie macht statistische Aussagen!

Beispiel: Wurf einer Mark mit Wahrscheinlichkeiten 50% Kopf und 50% Zahl.



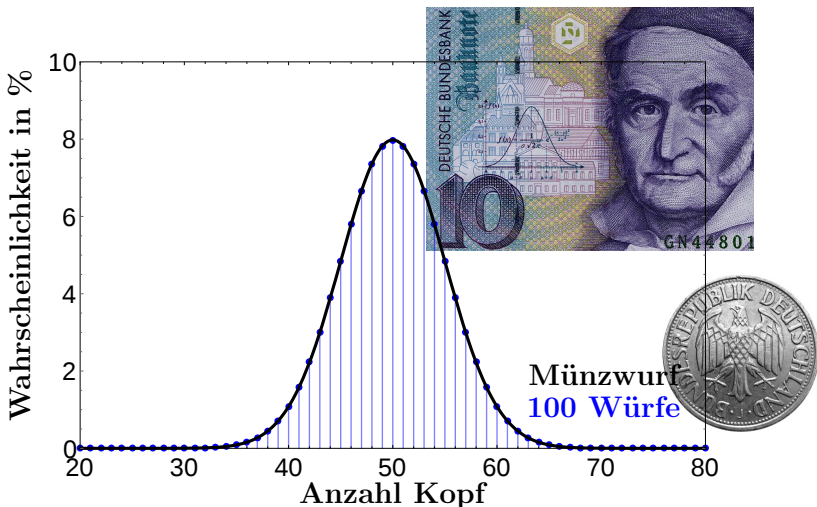
Ausflug: Quantenfeldtheorie macht statistische Aussagen!

Beispiel: Wurf einer Mark mit Wahrscheinlichkeiten 50% Kopf und 50% Zahl.



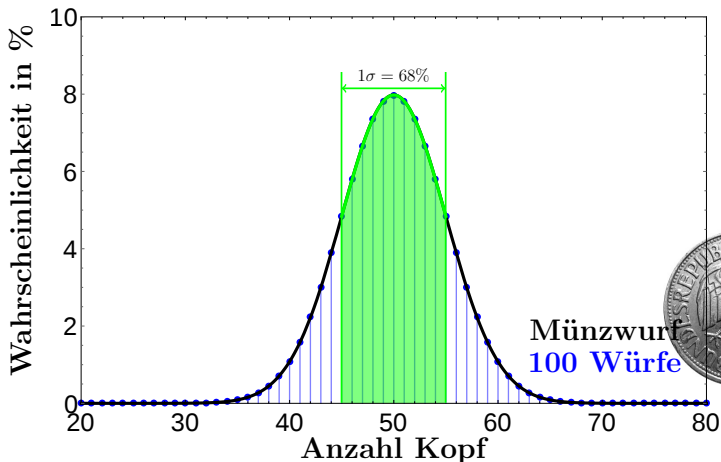
Ausflug: Quantenfeldtheorie macht statistische Aussagen!

Beispiel: Wurf einer Mark mit Wahrscheinlichkeiten 50% Kopf und 50% Zahl.



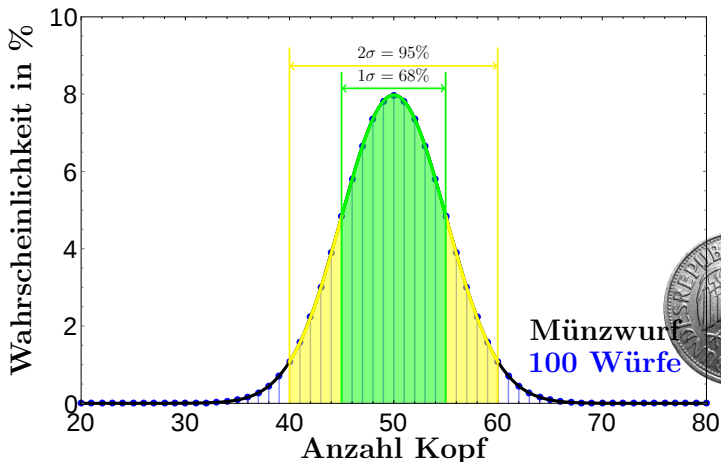
Ausflug: Quantenfeldtheorie macht statistische Aussagen!

Beispiel: Wurf einer Mark mit Wahrscheinlichkeiten 50% Kopf und 50% Zahl.



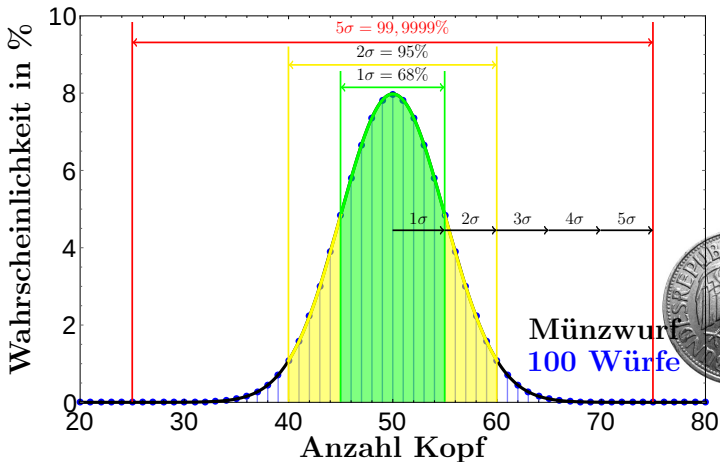
Ausflug: Quantenfeldtheorie macht statistische Aussagen!

Beispiel: Wurf einer Mark mit Wahrscheinlichkeiten 50% Kopf und 50% Zahl.



Ausflug: Quantenfeldtheorie macht statistische Aussagen!

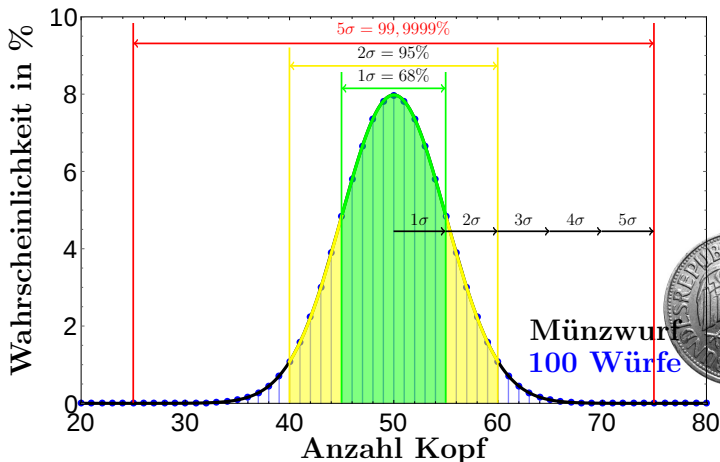
Beispiel: Wurf einer Mark mit Wahrscheinlichkeiten 50% Kopf und 50% Zahl.



Ausflug: Quantenfeldtheorie macht statistische Aussagen!

Beispiel: Wurf einer Mark mit Wahrscheinlichkeiten 50% Kopf und 50% Zahl.

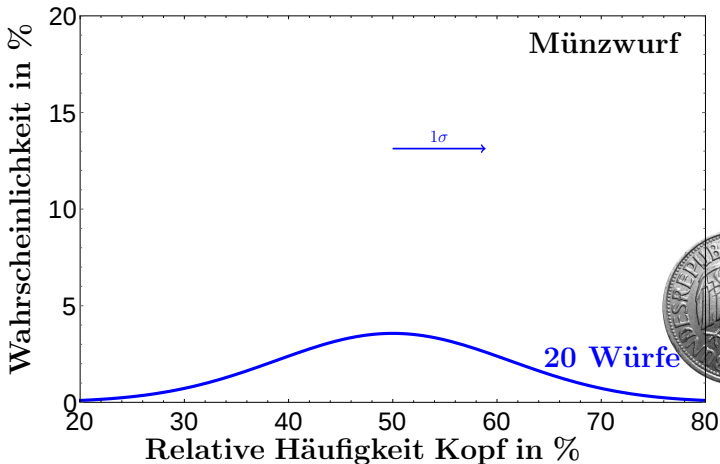
Was hilft nun eine große Zahl von Würfeln?



Was hilft nun eine große Zahl von Würfeln?

Genauigkeit steigt, relative Fehler wird kleiner! (Gesetz der großen Zahlen)

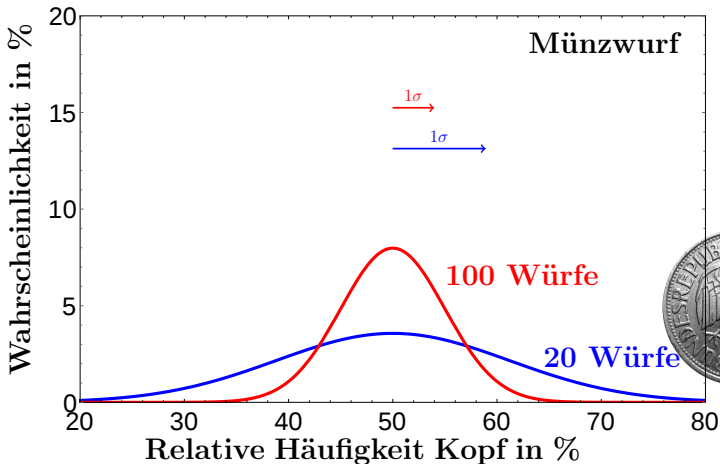
Die Wahrscheinlichkeit weit von den 50% entfernt zu liegen wird kleiner.



Was hilft nun eine große Zahl von Würfeln?

Genauigkeit steigt, relative Fehler wird kleiner! (Gesetz der großen Zahlen)

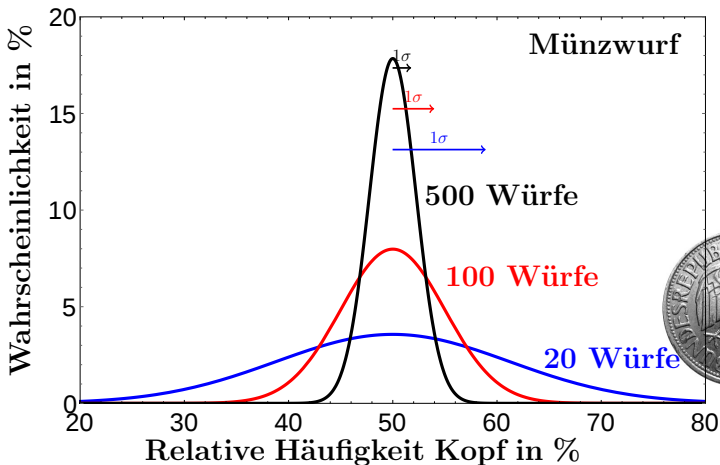
Die Wahrscheinlichkeit weit von den 50% entfernt zu liegen wird kleiner.



Was hilft nun eine große Zahl von Würfeln?

Genauigkeit steigt, relative Fehler wird kleiner! (Gesetz der großen Zahlen)

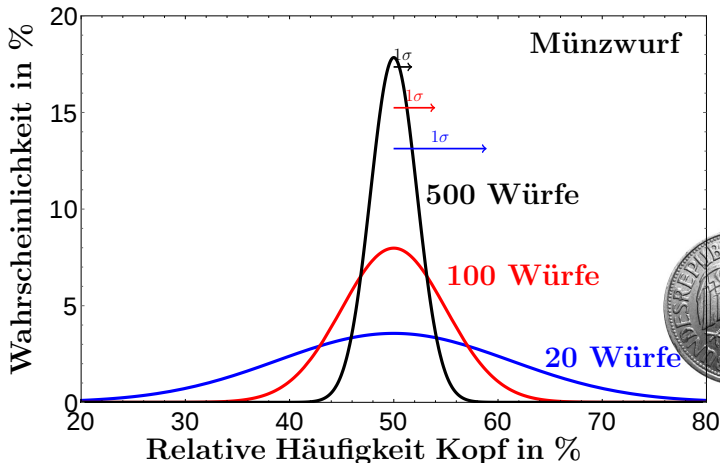
Die Wahrscheinlichkeit weit von den 50% entfernt zu liegen wird kleiner.



Was hilft nun eine große Zahl von Würfeln?

Genauigkeit steigt, relative Fehler wird kleiner! (Gesetz der großen Zahlen)

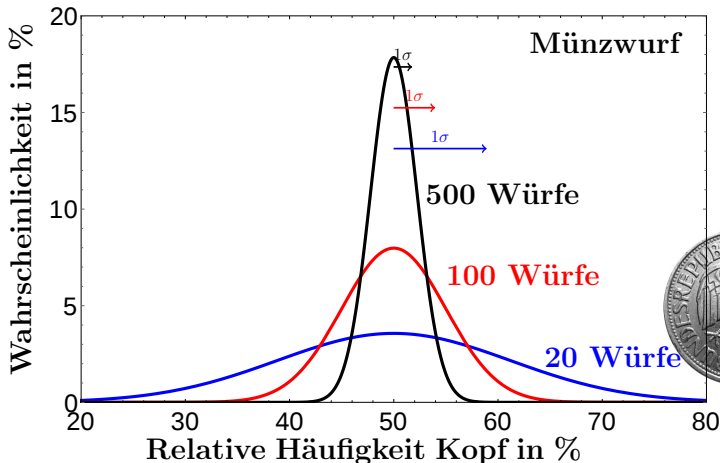
Aufgabe: Wie oft muss man werfen, um eine gefälschte Münze mit 60% Kopf mit 5σ auszuschließen?



Was hilft nun eine große Zahl von Würfeln?

Genauigkeit steigt, relative Fehler wird kleiner! (Gesetz der großen Zahlen)

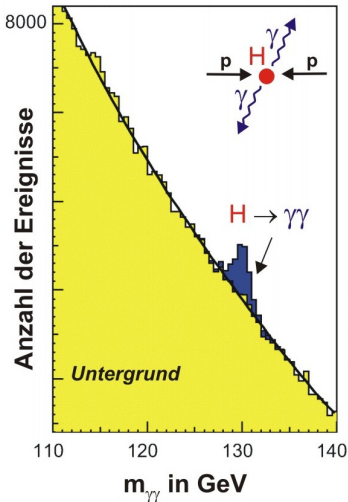
Aufgabe: Wie oft muss man werfen, um eine gefälschte Münze mit 60% Kopf mit 5σ auszuschließen? Mindestens 400 mal!



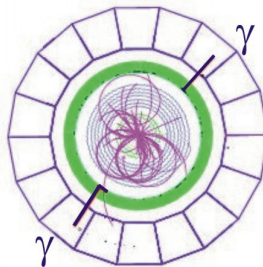
Suche nach dem Higgs in $H \rightarrow \gamma\gamma$:

Suche im Kanal $H \rightarrow \gamma\gamma$: Problem ist die eindeutige Identifikation!

Untergrund aus $q\bar{q} \rightarrow \gamma\gamma$ oder $gg \rightarrow \gamma\gamma$:



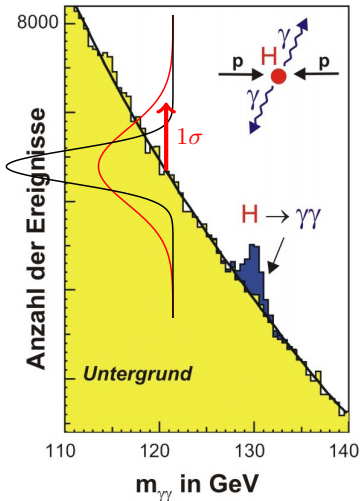
$$pp \rightarrow H \rightarrow \gamma\gamma$$



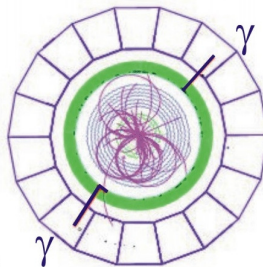
Suche nach dem Higgs in $H \rightarrow \gamma\gamma$:

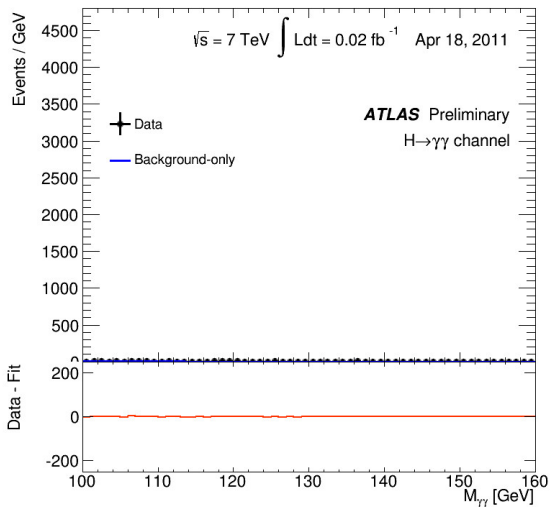
Suche im Kanal $H \rightarrow \gamma\gamma$: Problem ist die eindeutige Identifikation!

Untergrund aus $q\bar{q} \rightarrow \gamma\gamma$ oder $gg \rightarrow \gamma\gamma$:

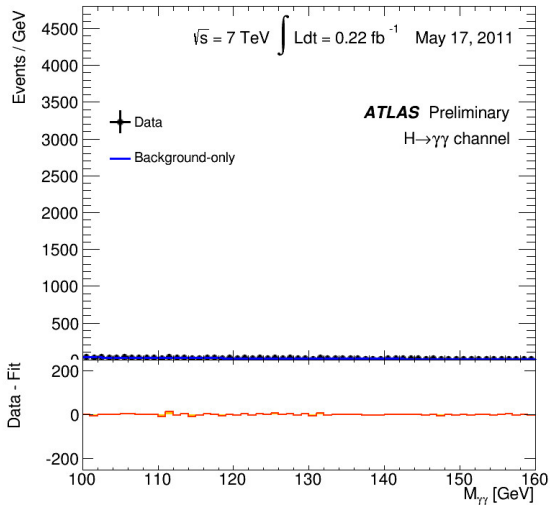


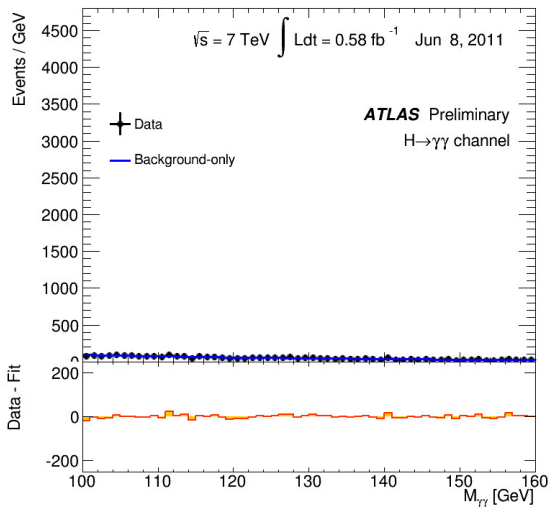
$$pp \rightarrow H \rightarrow \gamma\gamma$$

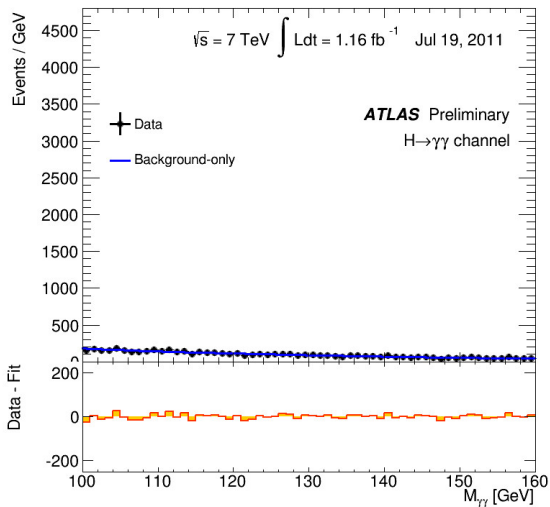


Suche nach dem Higgs in $H \rightarrow \gamma\gamma$:


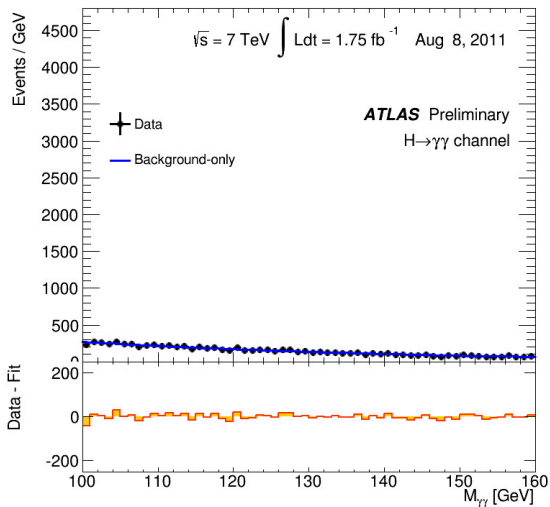
Suche nach dem Higgs in $H \rightarrow \gamma\gamma$:



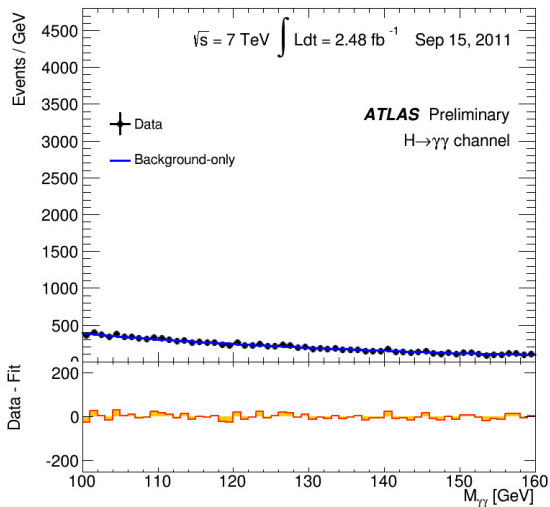
Suche nach dem Higgs in $H \rightarrow \gamma\gamma$:


Suche nach dem Higgs in $H \rightarrow \gamma\gamma$:


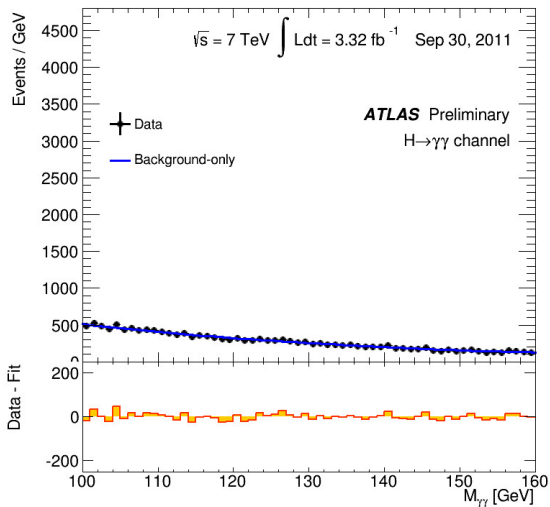
Suche nach dem Higgs in $H \rightarrow \gamma\gamma$:



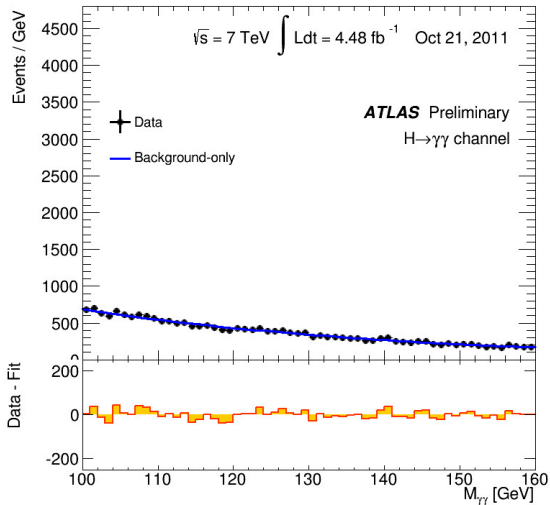
Suche nach dem Higgs in $H \rightarrow \gamma\gamma$:



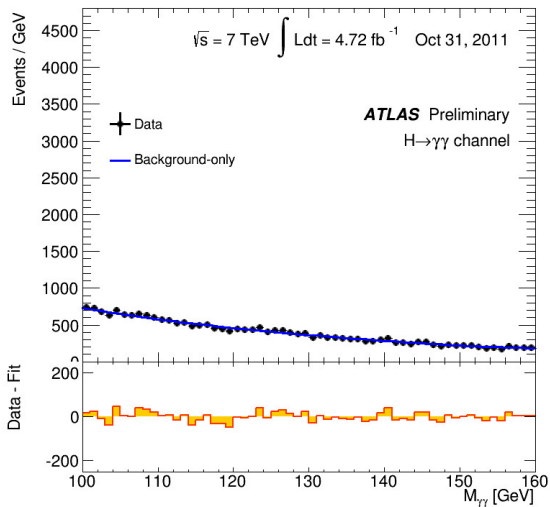
Suche nach dem Higgs in $H \rightarrow \gamma\gamma$:



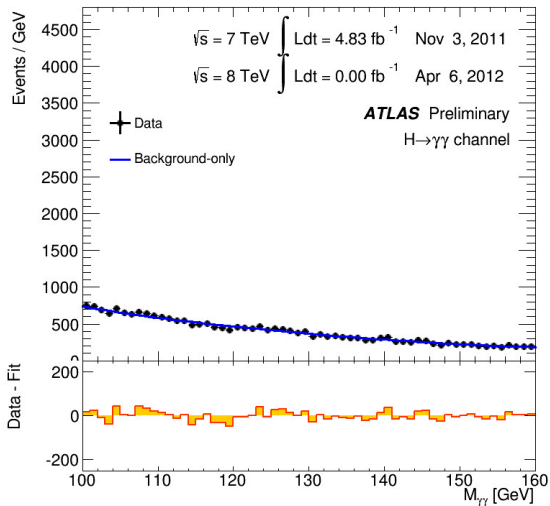
Suche nach dem Higgs in $H \rightarrow \gamma\gamma$:



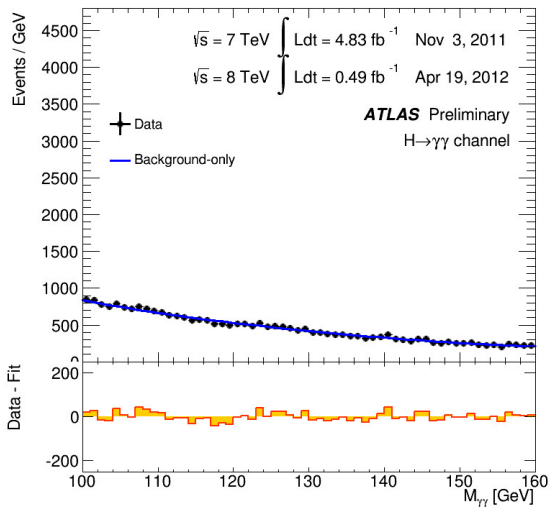
Suche nach dem Higgs in $H \rightarrow \gamma\gamma$:



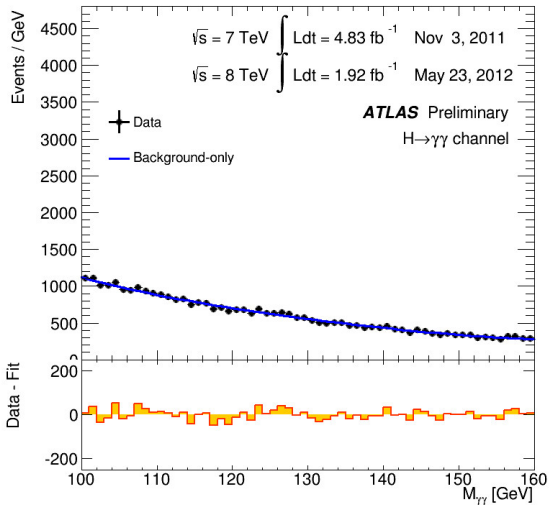
Suche nach dem Higgs in $H \rightarrow \gamma\gamma$:



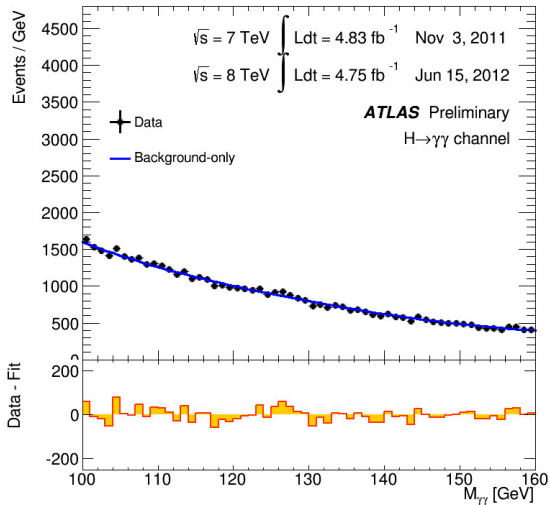
Suche nach dem Higgs in $H \rightarrow \gamma\gamma$:



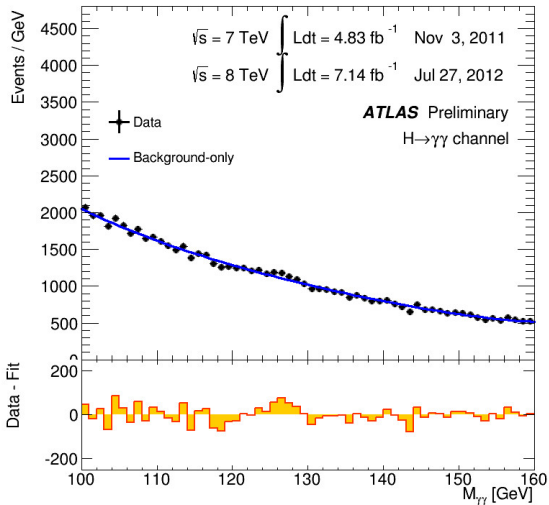
Suche nach dem Higgs in $H \rightarrow \gamma\gamma$:



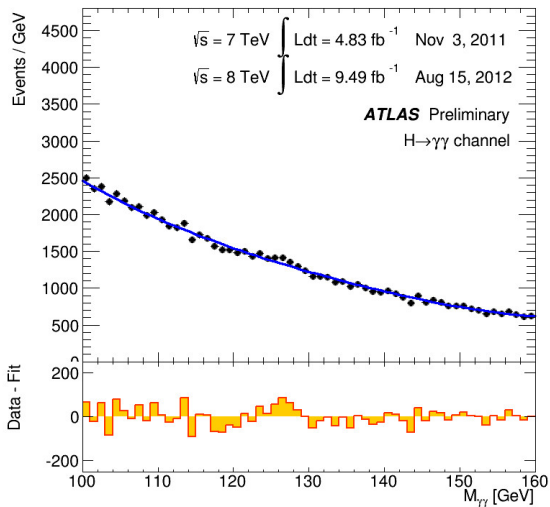
Suche nach dem Higgs in $H \rightarrow \gamma\gamma$:



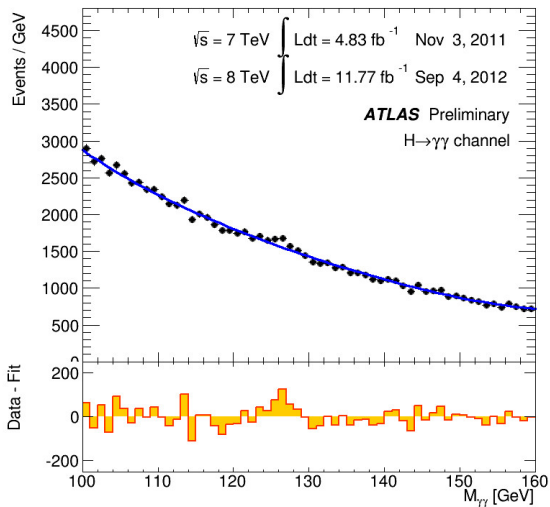
Suche nach dem Higgs in $H \rightarrow \gamma\gamma$:



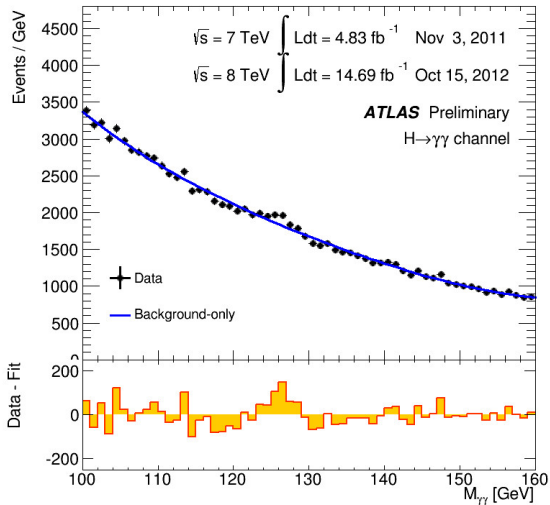
Suche nach dem Higgs in $H \rightarrow \gamma\gamma$:



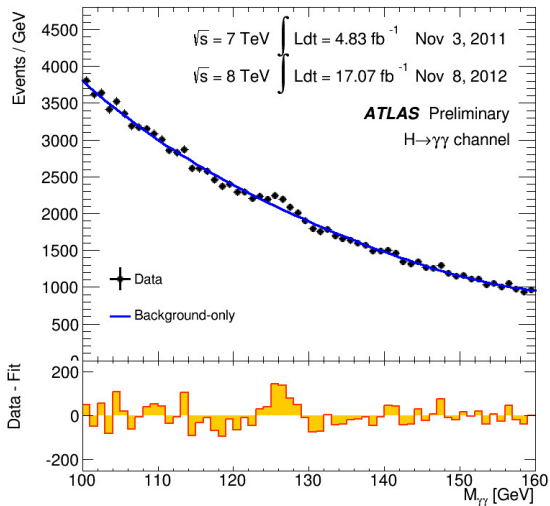
Suche nach dem Higgs in $H \rightarrow \gamma\gamma$:



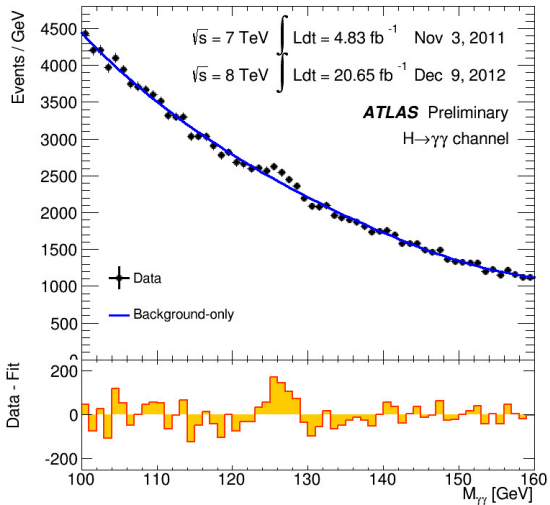
Suche nach dem Higgs in $H \rightarrow \gamma\gamma$:



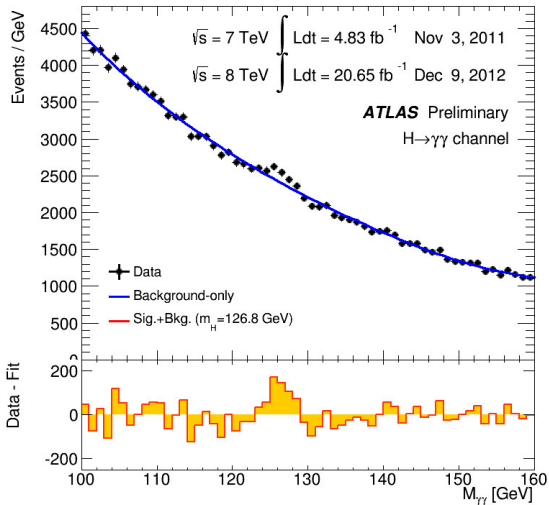
Suche nach dem Higgs in $H \rightarrow \gamma\gamma$:



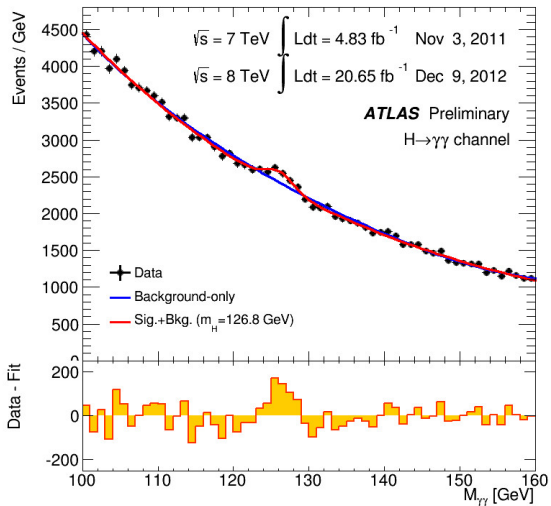
Suche nach dem Higgs in $H \rightarrow \gamma\gamma$:



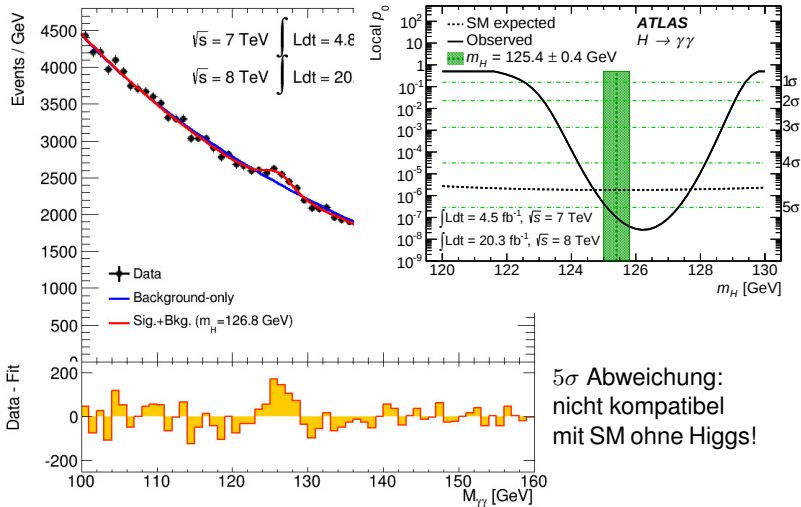
Suche nach dem Higgs in $H \rightarrow \gamma\gamma$:



Suche nach dem Higgs in $H \rightarrow \gamma\gamma$:



Suche nach dem Higgs in $H \rightarrow \gamma\gamma$:

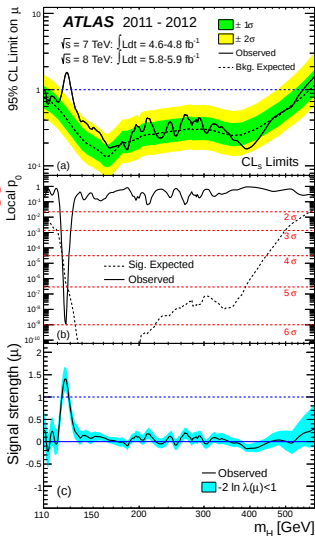


Combination aller Zerfälle und Testen der Higgs-Hypothese:

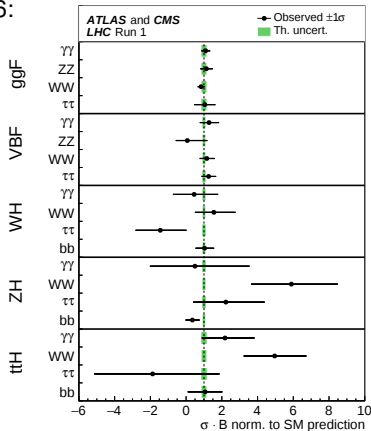
2012:

Ausschluß $> 5\sigma$
SM ohne Higgs!

SM Higgs!



2016:



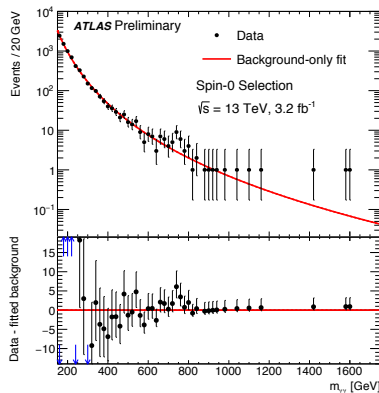
Ergebnisse konsistent mit SM Higgs!

Übersicht

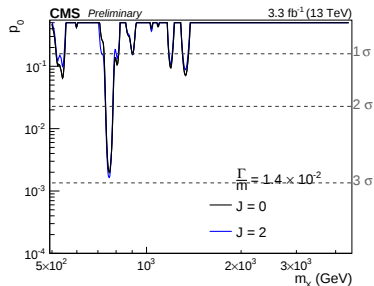
- 1 Teilchenphysik - Eine Einführung
- 2 Messungen und Beschleuniger
- 3 Higgssuche
- 4 Gibt es ein neues Teilchen?**
- 5 Zusammenfassung

Was ist im Dezember 2015 passiert?

Seit 2015 läuft der LHC mit 13 TeV! Präsentation am 15.12.2015:



ATLAS: Nichtvereinbarkeit mit SM:
 Lokale Signifikanz: $\sim 3 - 4\sigma$
 Globale Signifikanz: $\sim 1.5 - 2\sigma$

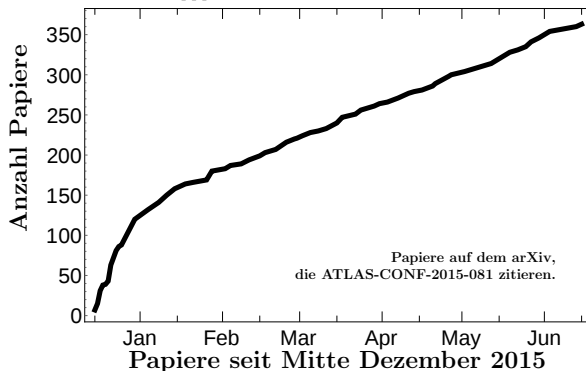
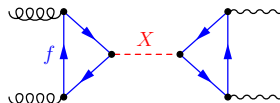


CMS: Nichtvereinbarkeit mit SM:
 Lokale Signifikanz: $\sim 3 - 4\sigma$
 Globale Signifikanz: $\sim 1.5\sigma$

Gibt es theoretische Erklärungen?

Ja! Fast 400! Diese kommen aus fast allen Bereichen der Teilchenphysik.

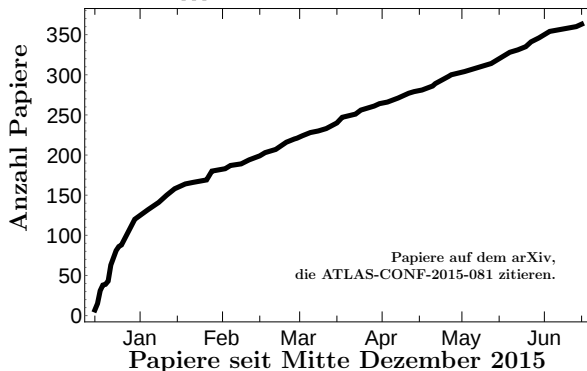
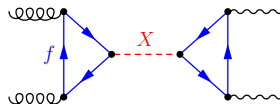
→ “Volksmodell” mit extra Fermionen und Skalar



Gibt es theoretische Erklärungen?

Ja! Fast 400! Diese kommen aus fast allen Bereichen der Teilchenphysik.

→ “Volksmodell” mit extra Fermionen und Skalar



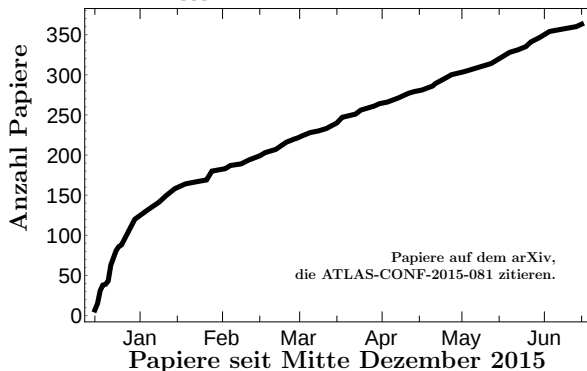
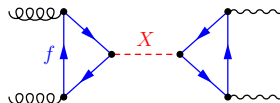
Fluktuation

Mehr erfahren wir
Anfang August mit
Daten aus 2016 →
ICHEP in Chicago
(3.-8.8)!

Gibt es theoretische Erklärungen?

Ja! Fast 400! Diese kommen aus fast allen Bereichen der Teilchenphysik.

→ “Volksmodell” mit extra Fermionen und Skalar

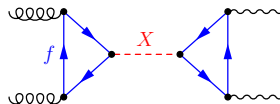


Mehr erfahren wir Anfang August mit Daten aus 2016 → ICHEP in Chicago (3.-8.8.8)!

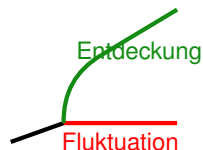
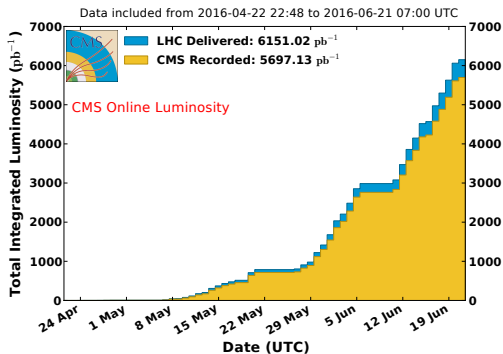
Gibt es theoretische Erklärungen?

Ja! Fast 400! Diese kommen aus fast allen Bereichen der Teilchenphysik.

→ “Volksmodell” mit extra Fermionen und Skalar



CMS Integrated Luminosity, pp, 2016, $\sqrt{s} = 13$ TeV



Mehr erfahren wir Anfang August mit Daten aus 2016 → ICHEP in Chicago (3.-8.8)!

Übersicht

- 1 Teilchenphysik - Eine Einführung
- 2 Messungen und Beschleuniger
- 3 Higgssuche
- 4 Gibt es ein neues Teilchen?
- 5 Zusammenfassung**

Kurze Zusammenfassung:

Teilchenphysik hat viel mit Statistik am Hut! $\leftrightarrow$ Quantenmechanik!
Die Suche nach neuen Teilchen benötigt daher mitunter viel Zeit.

Wir haben anhand des Higgsteilchens gesehen wie sich das Higgssignal erst mit ausreichend Ereignissen aus dem Untergrund statistisch signifikant heraushebt.

Ein mögliches Signal im Zerfall nach zwei Photonen bei einer Masse von 750 GeV ist statistisch noch nicht signifikant.
Sollte es sich bestätigen, dann wäre es eine Revolution in der Teilchenphysik, etwas völlig Neues!

Dankeschön!

Nutzung des WWW:

Entwicklung des WorldWideWeb durch
Tim Berners-Lee 1989-1992:



Nutzung des WWW:

Entwicklung des WorldWideWeb durch
Tim Berners-Lee 1989-1992:



Nutzung des WWW:

Entwicklung des WorldWideWeb durch
Tim Berners-Lee 1989-1992:

