

# Masse des Top-Quarks

Julius Förstel

Fakultät für Physik und Astronomie,  
Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg



Seminar Präzisionsexperimente der Teilchenphysik  
16. Mai 2014

# Überblick

- 1 Einleitung
  - Das Top-Quark im Standardmodell
  - Eigenschaften des Top-Quark
  - Top-Masse in der Zeit des Higgs-Bosons

# Überblick

- 1 Einleitung
  - Das Top-Quark im Standardmodell
  - Eigenschaften des Top-Quark
  - Top-Masse in der Zeit des Higgs-Bosons
- 2 Messung der Top-Masse
  - Erzeugung von Top-Quarks
  - Nachweis eines Events
  - Bestimmung von  $m_{top}$

# Überblick

- 1 Einleitung
  - Das Top-Quark im Standardmodell
  - Eigenschaften des Top-Quark
  - Top-Masse in der Zeit des Higgs-Bosons
- 2 Messung der Top-Masse
  - Erzeugung von Top-Quarks
  - Nachweis eines Events
  - Bestimmung von  $m_{top}$
- 3 Abschluss
  - Aktueller Stand
  - Ausblick

# Überblick

- 1 Einleitung
  - Das Top-Quark im Standardmodell
  - Eigenschaften des Top-Quark
  - Top-Masse in der Zeit des Higgs-Bosons
- 2 Messung der Top-Masse
  - Erzeugung von Top-Quarks
  - Nachweis eines Events
  - Bestimmung von  $m_{top}$
- 3 Abschluss
  - Aktueller Stand
  - Ausblick

# Das Standardmodell

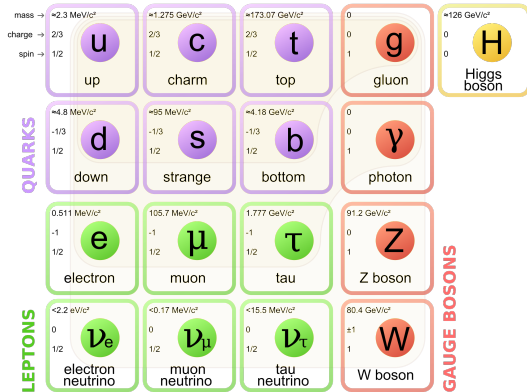
Wenn es nicht wahr ist, so  
ist es doch gut erfunden.

Giordano Bruno (16. Jhdt)

Vereinheitlichte Theorie:

- elektroschwache WW
- starke WW

19 freie Parameter



Quellen:

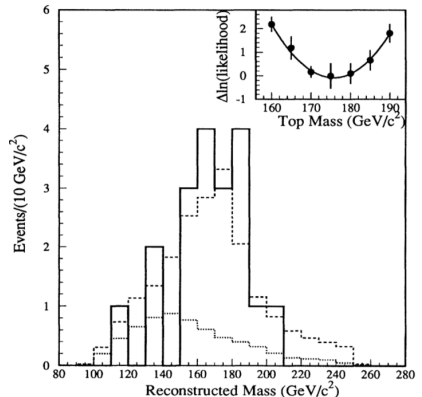
S. Willenbrock, 2002, The Standard Model and the Top Quark

B. Povh, Teilchen und Kerne, 9. Auflage, 2014

[http://en.wikipedia.org/wiki/File:Standard\\_Model\\_of\\_Elementary\\_Particles.svg](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Standard_Model_of_Elementary_Particles.svg)

# Eigenschaften des Top-Quarks

- Postuliert: 1973
- Entdeckt: 1995
- Spin:  $\frac{1}{2}$
- Ladung:  $+\frac{2}{3}e$
- Masse:  $\sim 173 \text{ GeV}$
- Durchschnittliche Lebensdauer:  $5 \cdot 10^{-25} \text{ s}$

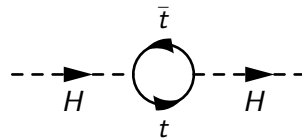
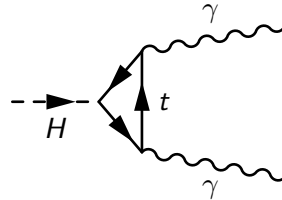
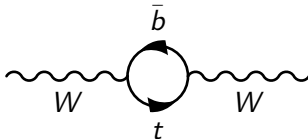


Quellen:

F. Abe et al., 1995, Observation of Top Quark Production in  $\bar{p}p$  Collisions with CDF  
Bogdan Povh, Teilchen und Kerne, 9. Auflage, 2014

# Warum ist $m_{top}$ wichtig?

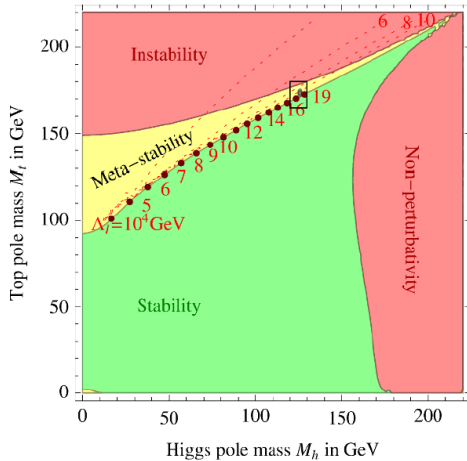
- Freier Parameter des Standardmodells
- Bestimmung der Higgs-Masse
- Präzise Messung der Schwachen Wechselwirkung





# Warum ist $m_{top}$ wichtig?

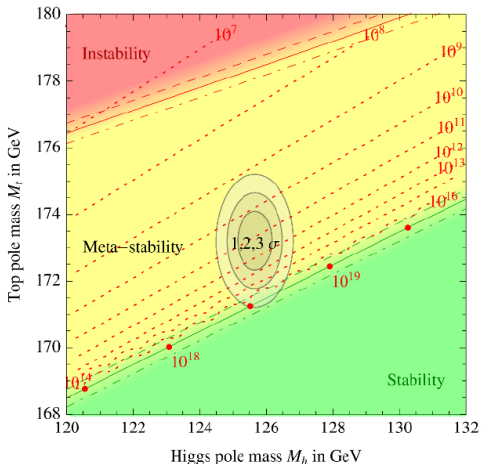
Die Zukunft des Universums



Quellen:  
D. Buttazzo et al, 2013, Investigating the near-criticality of the Higgs boson

# Warum ist $m_{top}$ wichtig?

## Die Zukunft des Universums



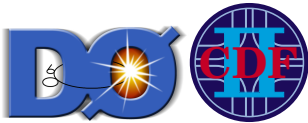
Quellen:  
D. Buttazzo et al, 2013, Investigating the near-criticality of the Higgs boson

# Überblick

- 1 Einleitung
  - Das Top-Quark im Standardmodell
  - Eigenschaften des Top-Quark
  - Top-Masse in der Zeit des Higgs-Bosons
- 2 Messung der Top-Masse
  - Erzeugung von Top-Quarks
  - Nachweis eines Events
  - Bestimmung von  $m_{top}$
- 3 Abschluss
  - Aktueller Stand
  - Ausblick

# Tevatron und LHC

## Tevatron am Fermilab

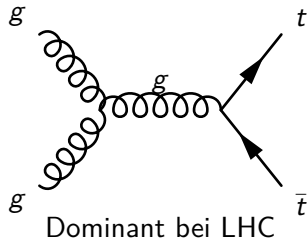
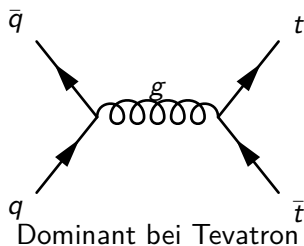


## LHC am CERN



Quellen:  
<http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Fermilab.jpg>  
<http://physics.nyu.edu/experimentalparticle/images/atlas/>

# Erzeugung von $t\bar{t}$ -Paaren an Tevatron und LHC

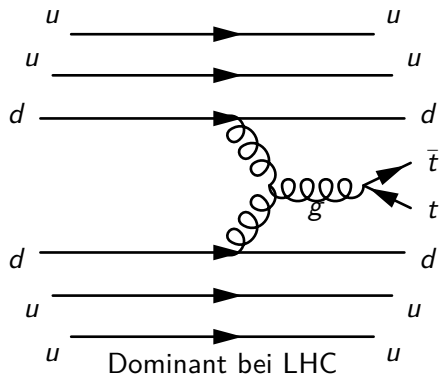
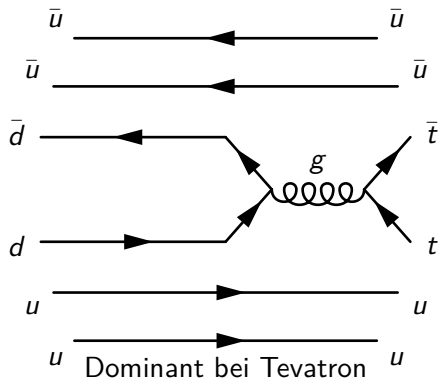


Run	Tevatron		LHC	
Betriebszeit	1992 – 96	2001 – 11	2010 – 11	2012 – 13
Kollision	$p\bar{p}$	$p\bar{p}$	$pp$	$pp$
$\sqrt{s}$ [TeV]	1.8	1.96	7	8
$\sigma_{t\bar{t}}$ [pb]	$6.8^{+3.6}_{-2.4}$	$8.2 \pm 1.0$	$164^{+13}_{-10}$	$238^{+22}_{-24}$
$\mathcal{L}_{int}$ [ $\text{fb}^{-1}$ ]	0.180	10	5	20
$N_{t\bar{t}}$	1.200	80.000	820.000	4.760.000

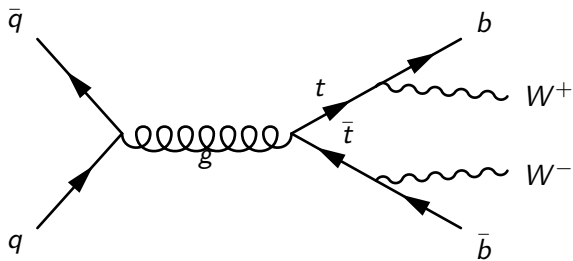
Quellen: <http://www.fnal.gov/pub/tevatron/>, <http://moriond.in2p3.fr/QCD/2013/WednesdayMorning/Aoki.pdf>

# Erzeugung von $t\bar{t}$ -Paaren

Mögliche  $p\bar{p}$ - und  $pp$ -Kollisionen



## Zerfallskanäle des $t\bar{t}$ -Paares

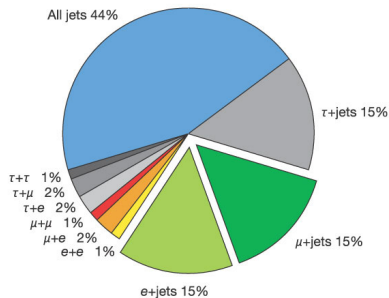
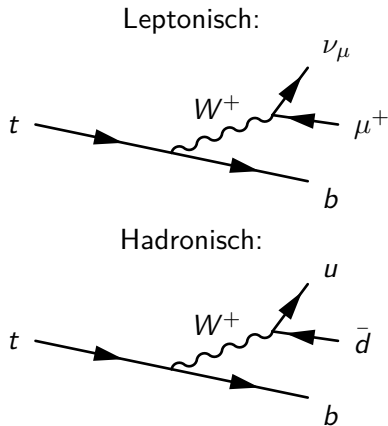


$V_{CKM}$ -Matrix:

$$(|V_{ij}|) = \begin{pmatrix} V_{ud} & V_{us} & V_{ub} \\ V_{cd} & V_{cs} & V_{cb} \\ V_{td} & V_{ts} & V_{tb} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.974 & 0.225 & 0.004 \\ 0.225 & 0.973 & 0.041 \\ 0.009 & 0.040 & 0.999 \end{pmatrix}$$

Übergangswahrscheinlichkeit  $|V_{tb}|^2 \approx 99.83\%$

# Zerfallskanäle des $t\bar{t}$ -Paares



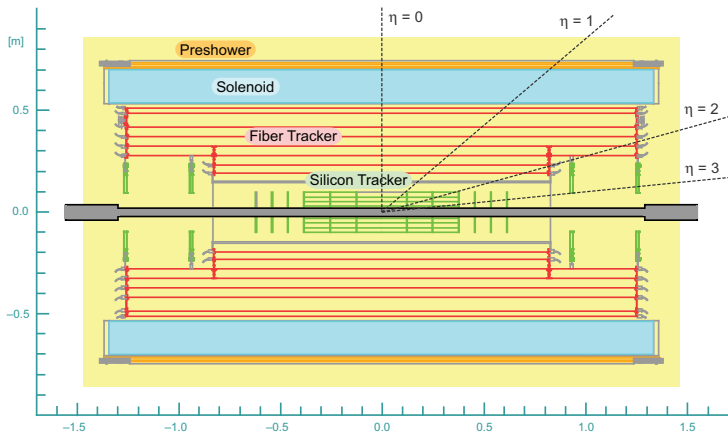
Quellen:  
 DØ Collaboration, 2004, A precision measurement of the mass of the top quark, Nature Vol. 429



# Detektoraufbau und b-tagging

An der Tafel

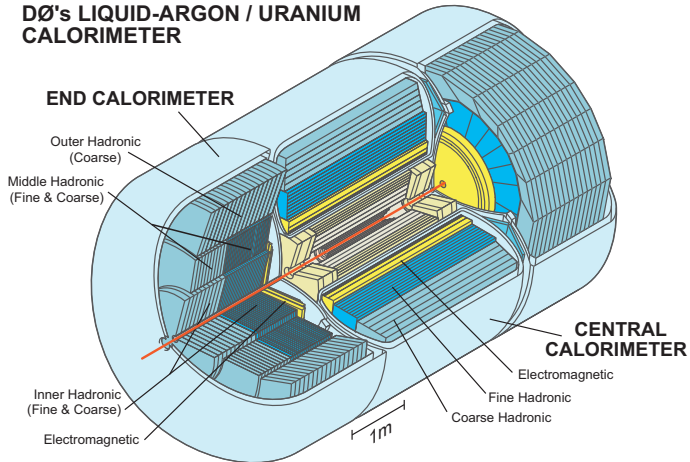
# Der DØ-Detektor "Central Tracking Device"



Quellen:

[http://www-d0.fnal.gov/Run2Physics/top/top\\_public\\_web\\_pages/top\\_dzero\\_detector.html](http://www-d0.fnal.gov/Run2Physics/top/top_public_web_pages/top_dzero_detector.html)

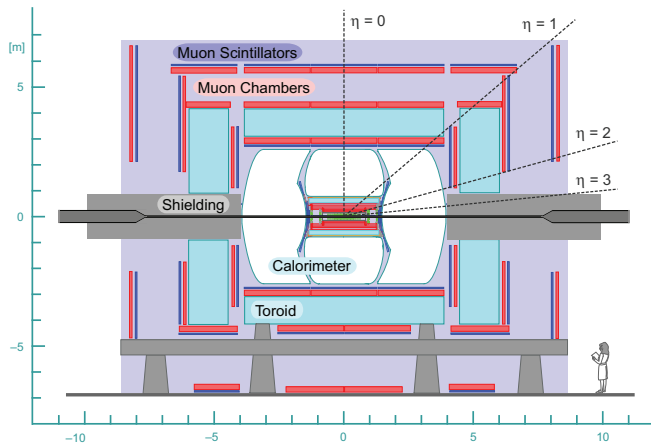
# Der DØ-Detektor Kalorimeter



Quellen:  
[http://www-d0.fnal.gov/Run2Physics/top/top\\_public\\_web\\_pages/top\\_dzero\\_detector.html](http://www-d0.fnal.gov/Run2Physics/top/top_public_web_pages/top_dzero_detector.html)

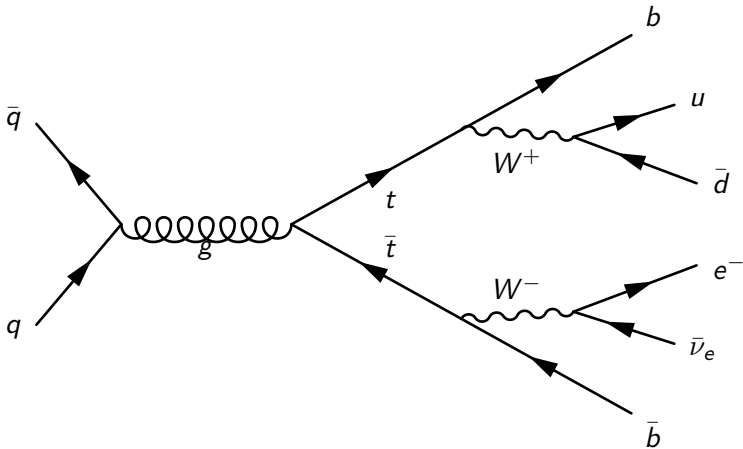
# Der DØ-Detektor

## Überblick

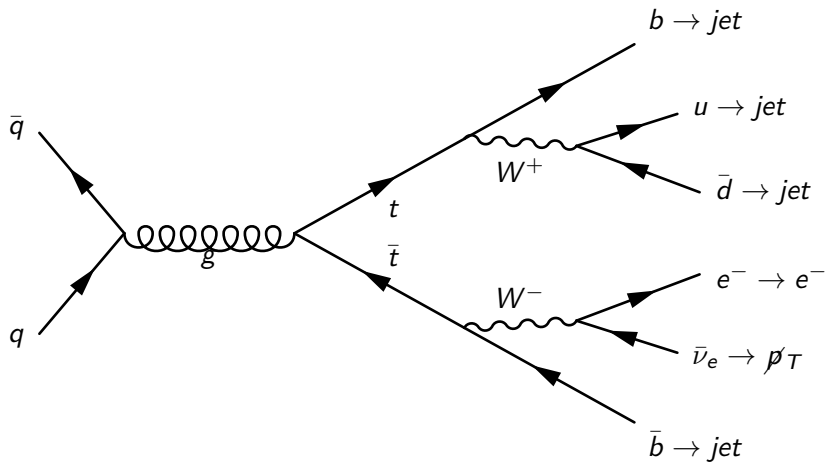


Quellen:  
[http://www-d0.fnal.gov/Run2Physics/top/top\\_public\\_web\\_pages/top\\_dzero\\_detector.html](http://www-d0.fnal.gov/Run2Physics/top/top_public_web_pages/top_dzero_detector.html)

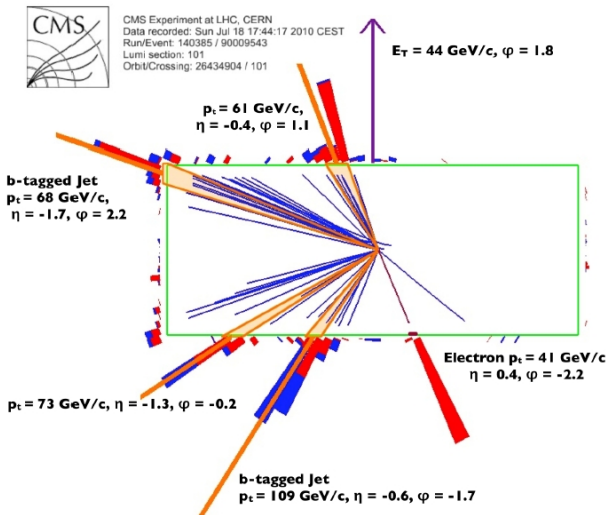
# Zerfallsevent



# Zerfallsevent

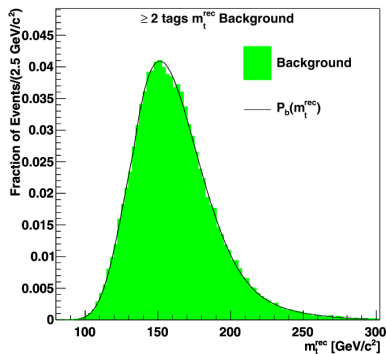
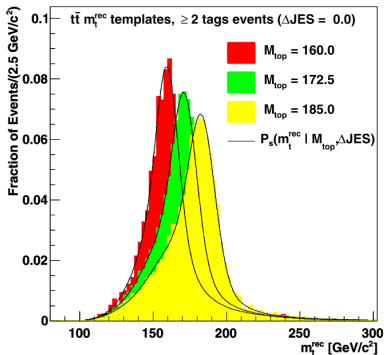


# Signal im Detektor



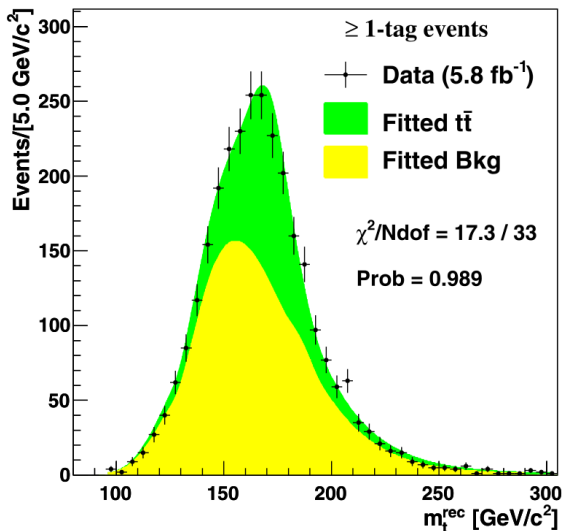
Quellen:  
[http://www.pd.infn.it/~dorigo/cms\\_topcand.jpg](http://www.pd.infn.it/~dorigo/cms_topcand.jpg)

# Template Methode



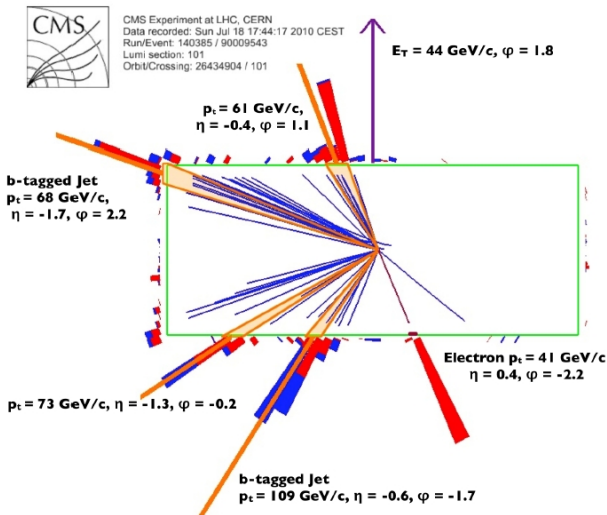


# Template Methode



Quellen:  
CDF Collaboration, 2012, Measurement of the top quark mass in the all-hadronic mode at CDF

# Matrix Element Methode



Quellen:  
[http://www.pd.infn.it/~dorigo/cms\\_topcand.jpg](http://www.pd.infn.it/~dorigo/cms_topcand.jpg)

## Vergleich der beiden Methoden

### Template Methode

Vorteile:

- nur wenige Annahmen nötig
- recht direkter Weg

Nachteile:

- nicht die maximale statistische Empfindlichkeit

### Matrix Element Methode

Vorteile:

- Nutzung aller 4-er Vektoren
- maximale kinetische und topologische Information
- maximale statistische Empfindlichkeit

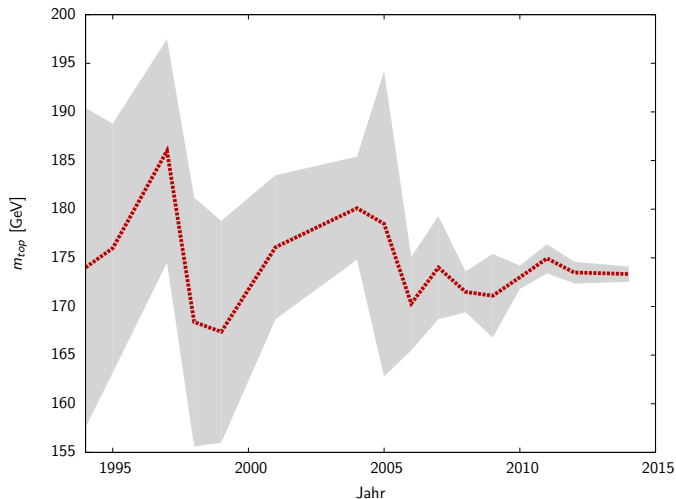
Nachteile:

- hohe Rechenleistung
- Theorie muss stimmen

# Überblick

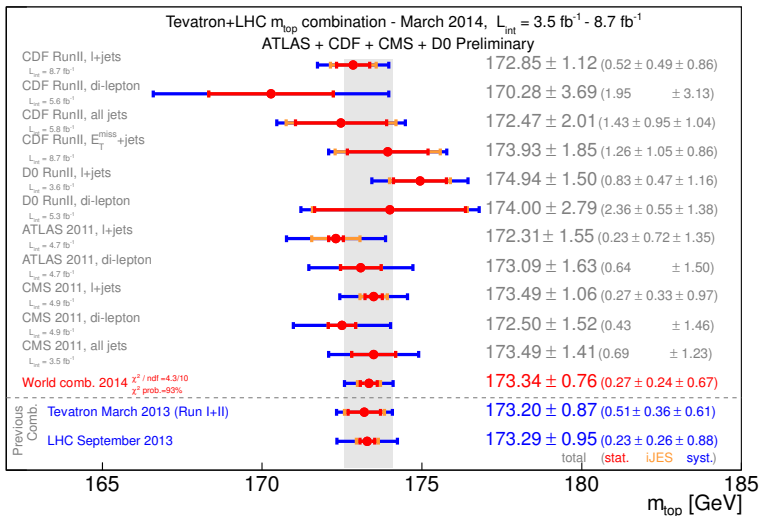
- 1 Einleitung
  - Das Top-Quark im Standardmodell
  - Eigenschaften des Top-Quark
  - Top-Masse in der Zeit des Higgs-Bosons
- 2 Messung der Top-Masse
  - Erzeugung von Top-Quarks
  - Nachweis eines Events
  - Bestimmung von  $m_{top}$
- 3 Abschluss
  - Aktueller Stand
  - Ausblick

# Überblick über $m_{top}$ -Messungen



Quellen:  
<http://pdg8.lbl.gov/rpp2013v2/pgdLive/DataBlock.action?node=Q007TP>

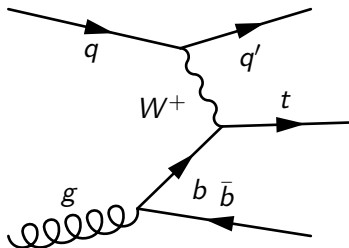
# Veröffentlichung März 2014



Quellen:  
The ATLAS, CDF, CMS and D0 Collaborations, 2014, First combination of Tevatron and LHC measurements of the top-quark mass

# Erzeugung von einzelnen Top-Quarks

Kanäle und Wirkungsquerschnitte am LHC bei 8TeV

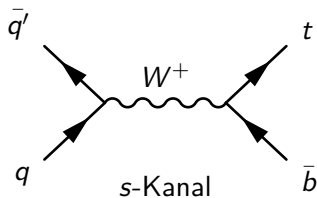


$t$ -Kanal

$$\sigma = 87.8^{+3.4}_{-1.9} \text{ pb}$$

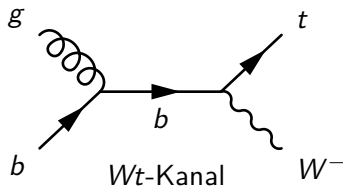
Zum Vergleich:

$$\sigma_{t\bar{t}} = 238^{+22}_{-24} \text{ pb}$$



$s$ -Kanal

$$\sigma = 5.6 \pm 0.2 \text{ pb}$$



$Wt$ -Kanal

$$\sigma = 22.4 \pm 1.5 \text{ pb}$$

# Ausblick

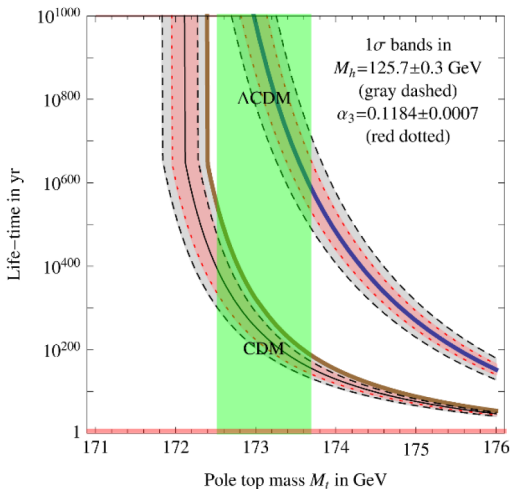
## Was bleibt noch zu tun?

- Weitere Auswertung der Daten
- Ab 2015 neuer Run des LHC:
  - $\sqrt{s} = 13 \text{ TeV}$  (angepeilt sind 14TeV)
  - berechneter Wirkungsquerschnitt für 14TeV:  
 $\sigma_{t\bar{t}} = 803\text{pb} \pm 15\%$
- Besseres Verständnis der Detektoren
  - Genauere Messung der Jet-Ereignisse



# Ausblick

Wie lange haben wir dafür noch Zeit?



Quellen:  
D. Buttazzo et al, 2013, Investigating the near-criticality of the Higgs boson

Vielen Dank für Eure  
Aufmerksamkeit!