



Top im
dimyonischen
Kanal bei
CMS

Dirk
Dammann

Experiment

Top-Physik

Ereignis-
Selektion

Untergrund-
Beschreibung

Kinematische
Ereignis-
rekonstruktion

Zusammen-
fassung

Top-Wiederentdeckung im dimyonischen $t\bar{t}$ -Zerfallskanal bei CMS

Dirk Dammann, A. Flossdorf, A. Geiser, J. Mnich, R. Wolf,
C. Rosemann

DESY

2009-03-09



Experiment

Der LHC-Beschleuniger

Top im
dimyonischen
Kanal bei
CMS

Dirk
Dammann

Experiment

Top-Physik

Ereignis-
Selektion

Untergrund-
Beschreibung

Kinematische
Ereignis-
rekonstruktion

Zusammen-
fassung





Experiment

Der LHC-Beschleuniger

Top im
dimyonschen
Kanal bei
CMS

Dirk
Dammann

Experiment

Top-Physik

Ereignis-
Selektion

Untergrund-
Beschreibung

Kinematische
Ereignis-
rekonstruktion

Zusammen-
fassung

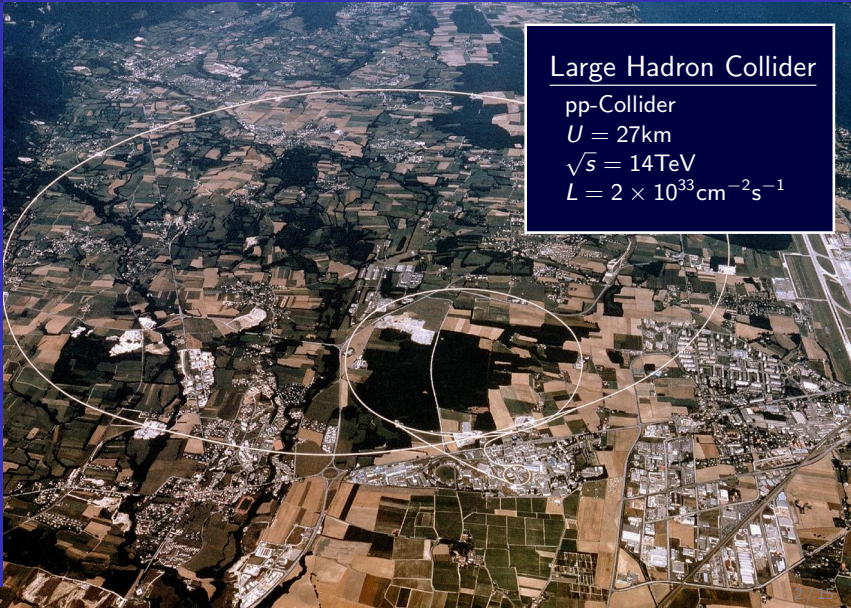
Large Hadron Collider

pp-Collider

$U = 27\text{km}$

$\sqrt{s} = 14\text{TeV}$

$L = 2 \times 10^{33}\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$





Experiment

Der LHC-Beschleuniger

Top im
dimyonschen
Kanal bei
CMS

Dirk
Dammann

Experiment

Top-Physik

Ereignis-
Selektion

Untergrund-
Beschreibung

Kinematische
Ereignis-
rekonstruktion

Zusammen-
fassung



ALICE

Untersuchung von
Schwerionen-Kollisionen





Experiment

Der LHC-Beschleuniger

Top im
dimyonischen
Kanal bei
CMS

Dirk
Dammann

Experiment

Top-Physik

Ereignis-
Selektion

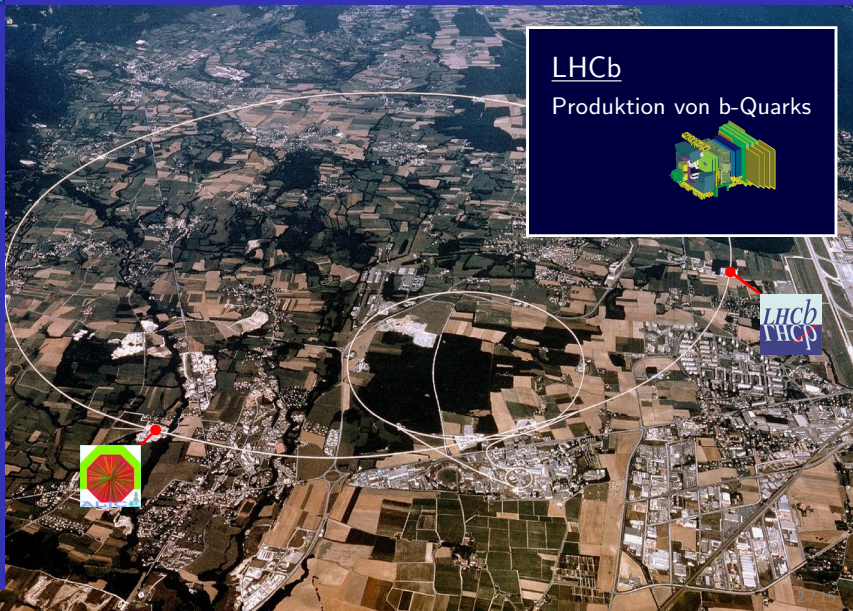
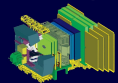
Untergrund-
Beschreibung

Kinematische
Ereignis-
rekonstruktion

Zusammen-
fassung

LHCb

Produktion von b-Quarks





Experiment

Der LHC-Beschleuniger

Top im
dimyonschen
Kanal bei
CMS

Dirk
Dammann

Experiment

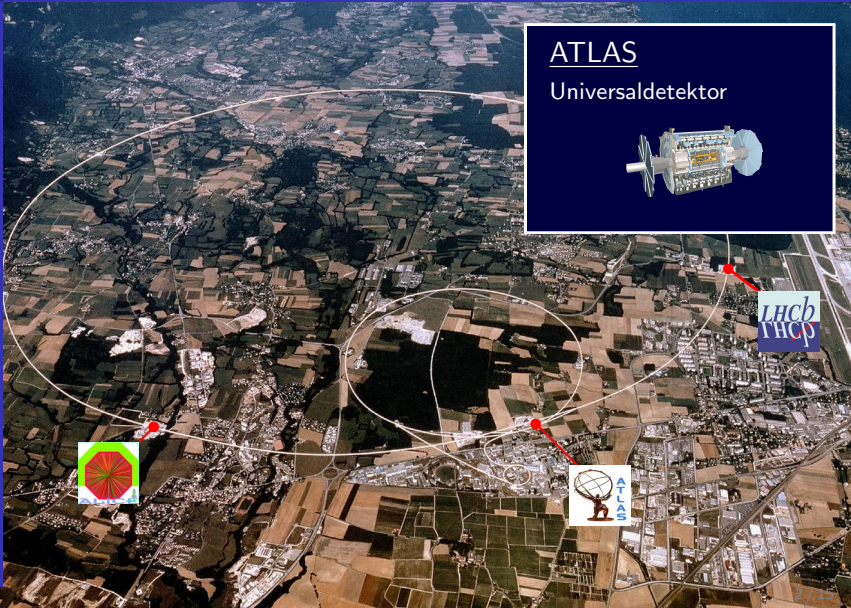
Top-Physik

Ereignis-
Selektion

Untergrund-
Beschreibung

Kinematische
Ereignis-
rekonstruktion

Zusammen-
fassung



ATLAS

Universaldetektor





Experiment

Der LHC-Beschleuniger

Top im
dimyonschen
Kanal bei
CMS

Dirk
Dammann

Experiment

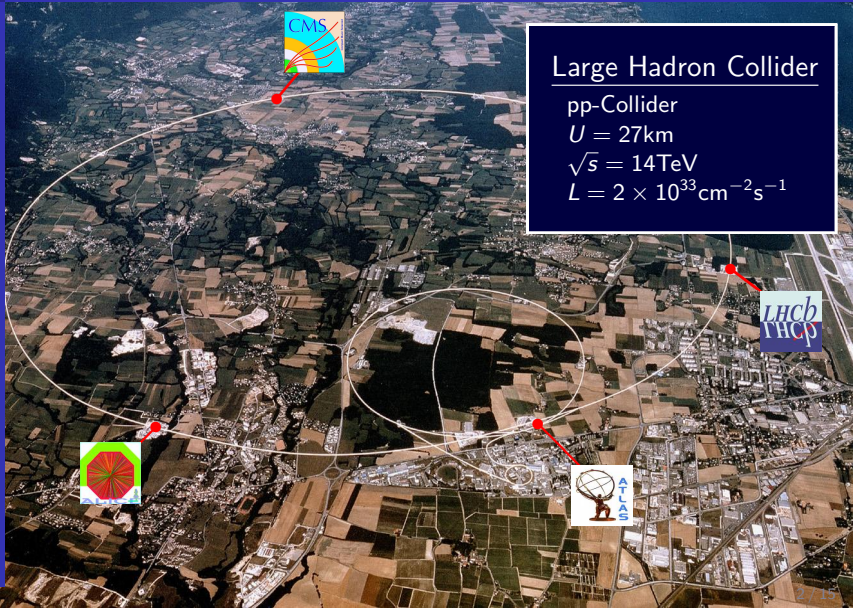
Top-Physik

Ereignis-
Selektion

Untergrund-
Beschreibung

Kinematische
Ereignis-
rekonstruktion

Zusammen-
fassung



Large Hadron Collider

pp-Collider

$U = 27\text{km}$

$\sqrt{s} = 14\text{TeV}$

$L = 2 \times 10^{33}\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$





Experiment

Der CMS-Detektor

Top im
dimyonischen
Kanal bei
CMS

Dirk
Dammann

Experiment

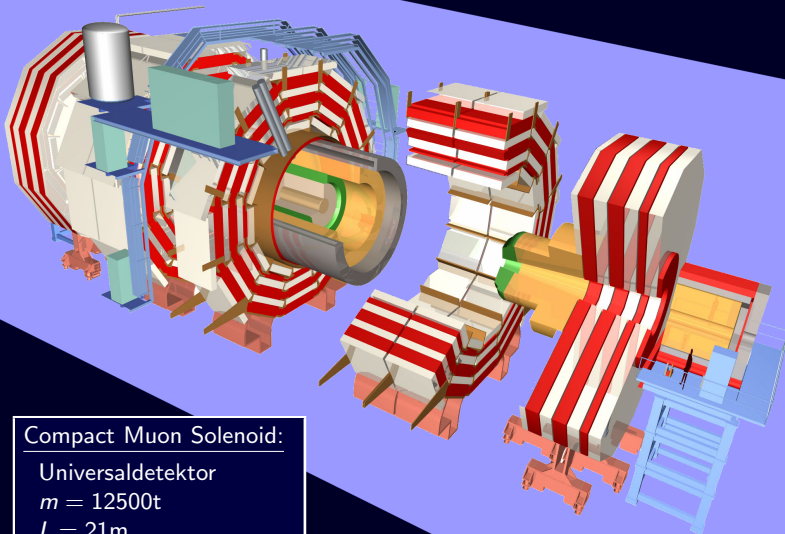
Top-Physik

Ereignis-
Selektion

Untergrund-
Beschreibung

Kinematische
Ereignis-
rekonstruktion

Zusammen-
fassung



Compact Muon Solenoid:

Universaldetektor

$m = 12500\text{t}$

$L = 21\text{m}$

$d = 16\text{m}$



Experiment

Der CMS-Detektor

Top im
dimyonschen
Kanal bei
CMS

Dirk
Dammann

Experiment

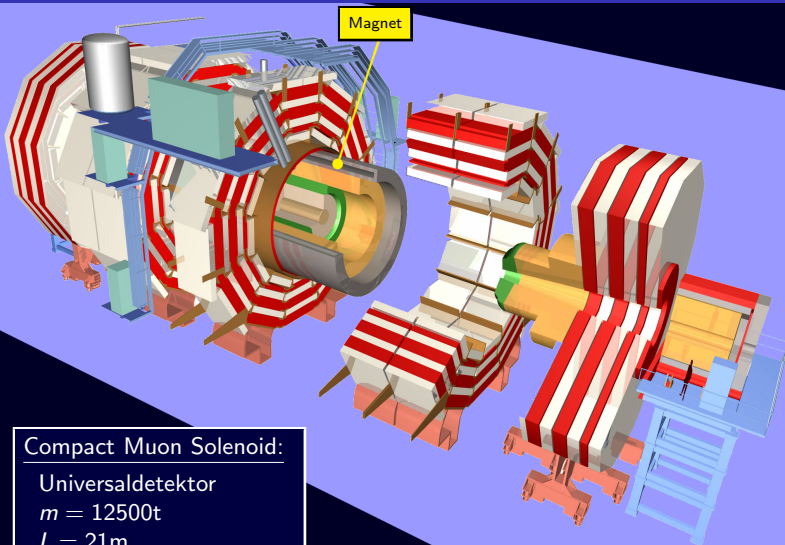
Top-Physik

Ereignis-
Selektion

Untergrund-
Beschreibung

Kinematische
Ereignis-
rekonstruktion

Zusammen-
fassung



Compact Muon Solenoid:

Universaldetektor

$m = 12500\text{t}$

$L = 21\text{m}$

$d = 16\text{m}$

Experiment

Der CMS-Detektor

Top im
dimyonschen
Kanal bei
CMS

Dirk
Dammann

Experiment

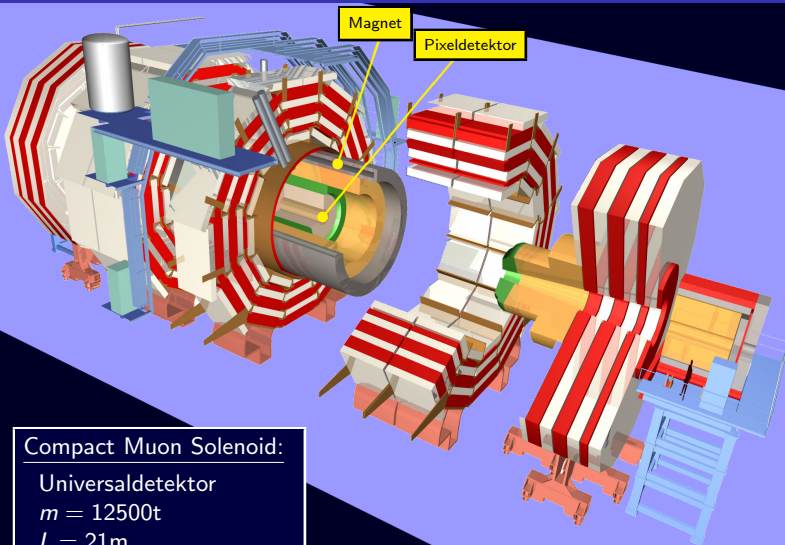
Top-Physik

Ereignis-
Selektion

Untergrund-
Beschreibung

Kinematische
Ereignis-
rekonstruktion

Zusammen-
fassung



Compact Muon Solenoid:

Universaldetektor

$m = 12500\text{t}$

$L = 21\text{m}$

$d = 16\text{m}$



Experiment

Der CMS-Detektor

Top im
dimyonschen
Kanal bei
CMS

Dirk
Dammann

Experiment

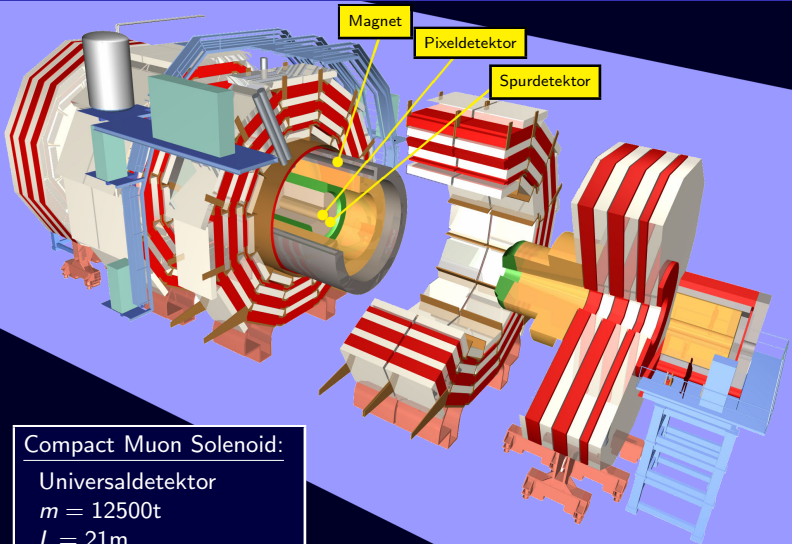
Top-Physik

Ereignis-
Selektion

Untergrund-
Beschreibung

Kinematische
Ereignis-
rekonstruktion

Zusammen-
fassung



Compact Muon Solenoid:

Universaldetektor

$m = 12500\text{t}$

$L = 21\text{m}$

$d = 16\text{m}$

Experiment

Der CMS-Detektor

Top im
dimyonschen
Kanal bei
CMS

Dirk
Dammann

Experiment

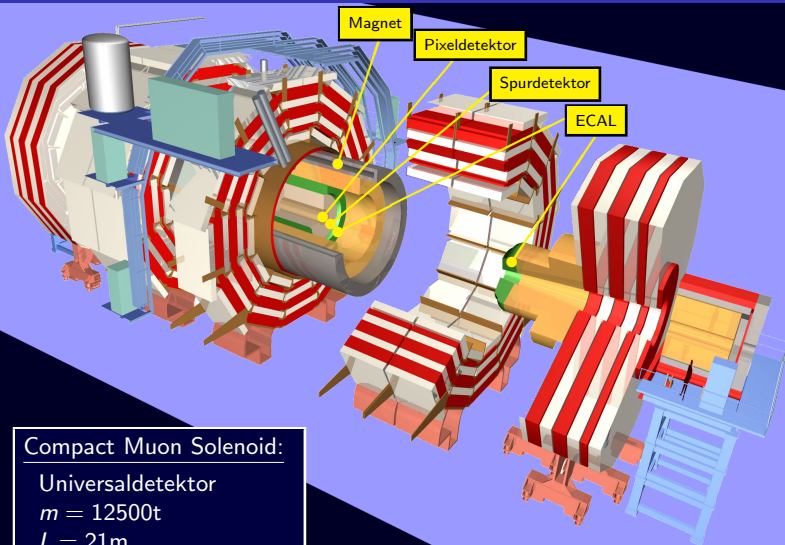
Top-Physik

Ereignis-
Selektion

Untergrund-
Beschreibung

Kinematische
Ereignis-
rekonstruktion

Zusammen-
fassung



Compact Muon Solenoid:

Universaldetektor

$m = 12500\text{t}$

$L = 21\text{m}$

$d = 16\text{m}$

Experiment

Der CMS-Detektor

Top im
dimyonschen
Kanal bei
CMS

Dirk
Dammann

Experiment

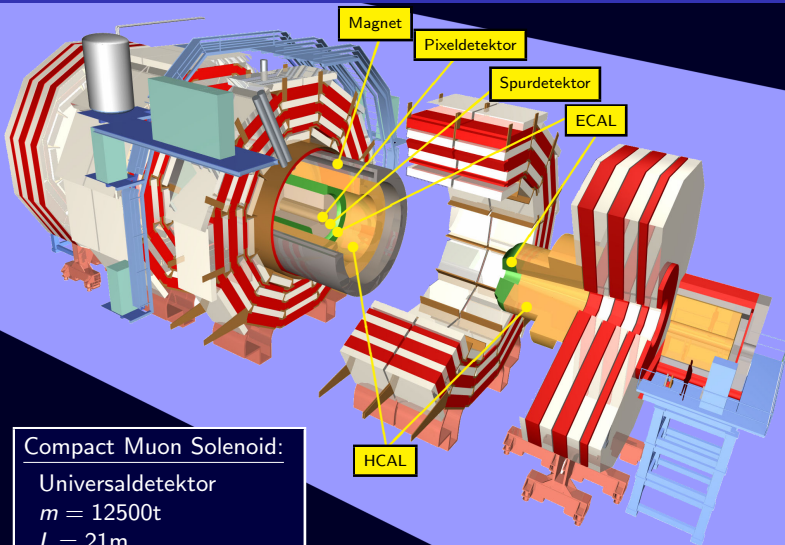
Top-Physik

Ereignis-
Selektion

Untergrund-
Beschreibung

Kinematische
Ereignis-
rekonstruktion

Zusammen-
fassung



Compact Muon Solenoid:

Universaldetektor

$m = 12500\text{t}$

$L = 21\text{m}$

$d = 16\text{m}$



Experiment

Der CMS-Detektor

Top im
dimyonschen
Kanal bei
CMS

Dirk
Dammann

Experiment

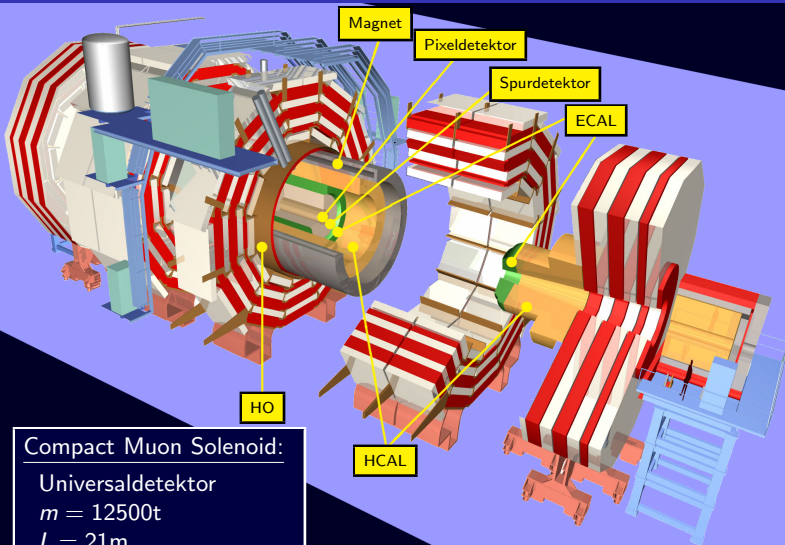
Top-Physik

Ereignis-
Selektion

Untergrund-
Beschreibung

Kinematische
Ereignis-
rekonstruktion

Zusammen-
fassung



Compact Muon Solenoid:

Universaldetektor

$m = 12500\text{t}$

$L = 21\text{m}$

$d = 16\text{m}$



Experiment

Der CMS-Detektor

Top im
dimyonschen Kanal bei
CMS

Dirk
Dammann

Experiment

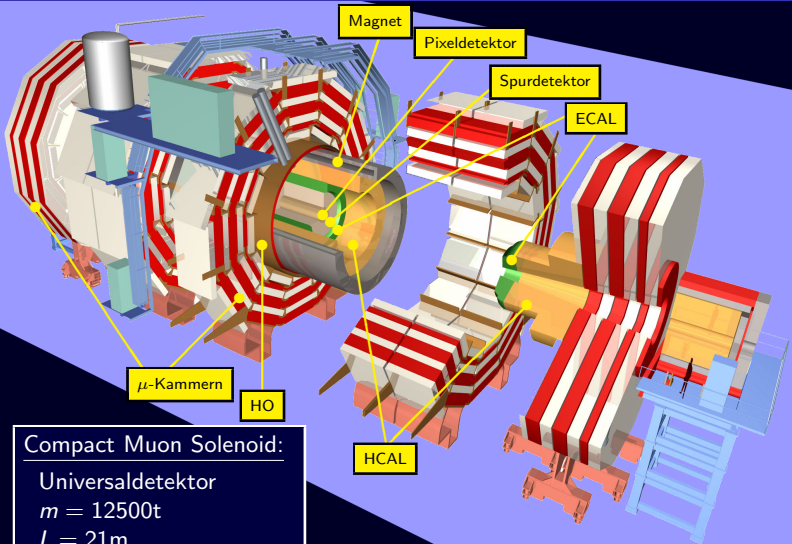
Top-Physik

Ereignis-
Selektion

Untergrund-
Beschreibung

Kinematische
Ereignis-
rekonstruktion

Zusammen-
fassung



Compact Muon Solenoid:

Universaldetektor

$m = 12500\text{t}$

$L = 21\text{m}$

$d = 16\text{m}$

Top im
dimyonschen
Kanal bei
CMS

Dirk
Dammann

Experiment

Top-Physik

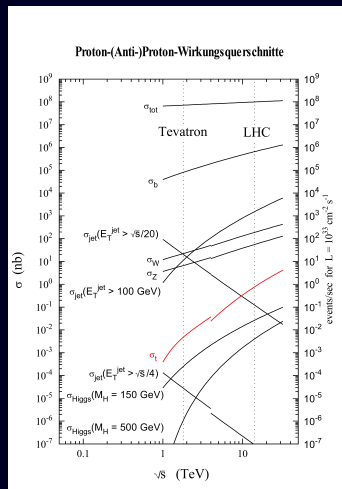
Ereignis-
Selektion

Untergrund-
Beschreibung

Kinematische
Ereignis-
rekonstruktion

Zusammen-
fassung

- Bisher nur am Tevatron nachgewiesen in $O(10^3)$ Ereignissen
- Am LHC ist sowohl Wirkungsquerschnitt für $t\bar{t}$ -Erzeugung als auch Luminosität deutlich größer $\rightarrow$ etwa 1 $t\bar{t}$ Ereignis/s
- Präzisionsmessungen der $t\bar{t}$ -Erzeugung interessant zum besseren Verständnis der QCD
- Top-Masse setzt Obergrenze für Higgs-Masse
- Top-Erzeugung ist Untergrund für viele erwartete BSM-Prozesse



Top im
dimyonschen
Kanal bei
CMS

Dirk
Dammann

Experiment

Top-Physik

Ereignis-
Selektion

Untergrund-
Beschreibung

Kinematische
Ereignis-
rekonstruktion

Zusammen-
fassung

- $t \rightarrow b+W$ zu 99,8%
- Klassifikation der $t\bar{t}$ -Zerfälle über W-Zerfälle:
 - voll-hadronisch
 - semi-leptonisch
 - di-leptonisch

Dimyon-Kanal:

- klare Ereignissignatur
- gut vom Untergrund zu trennen
- niedriges Verzweungsverhältnis (etwa 1,2%)

Top Pair Decay Channels

$c\bar{s}$	electron+jets	muon+jets	tau+jets	all-hadronic	
$u\bar{d}$					
τ^-	e^-	μ^-	τ^-	tau+jets	
μ^-	e^-	μ^-	τ^-	muon+jets	
e^-	e^-	μ^-	τ^-	electron+jets	
W decay	e^+	μ^+	τ^+	$u\bar{d}$	$c\bar{s}$

Top im
dimyonschen
Kanal bei
CMS

Dirk
Dammann

Experiment

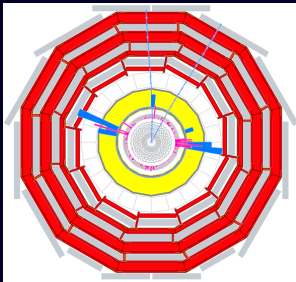
Top-Physik

Ereignis-
Selektion

Untergrund-
Beschreibung

Kinematische
Ereignis-
rekonstruktion

Zusammen-
fassung



- 2 Myonen mit entgegengesetzter Ladung
- 2 b-Jets
- 2 Neutrinos $\rightarrow \cancel{E}_t$

Untergrund-Prozesse

- $Z / DY \rightarrow 2\mu$
- dileptonische $t\bar{t}$ -Zerfälle mit $W \rightarrow \tau \rightarrow \mu$
- Ereignisse mit 2 schweren Eichbosonen: WW, WZ, ZZ
- QCD-Untergrund muss wegen hohem Wirkungsquerschnitt berücksichtigt werden



Ereignis-Selektion

Kinematische Selektion der Zerfallsprodukte

Top im
dimyonischen
Kanal bei
CMS

Dirk
Dammann

Experiment

Top-Physik

Ereignis-
Selektion

Untergrund-
Beschreibung

Kinematische
Ereignis-
rekonstruktion

Zusammen-
fassung

- Anmerkung: Plots für $\sqrt{s} = 14\text{TeV}$
- Erste Kollisionen werden bei etwa $\sqrt{s} = 10\text{TeV}$ erfolgen

Schnitte

- 2 Myonen mit $p_t > 20\text{GeV}$ und $|\eta| < 2.1$
- 2 Jets mit $p_t > 40\text{GeV}$ und $|\eta| < 2.4$
- zunächst keine $\cancel{E}_t$ -Selektion



Ereignis-Selektion

Myon-Isolation

Top im
dimyonschen
Kanal bei
CMS

Dirk
Dammann

Experiment

Top-Physik

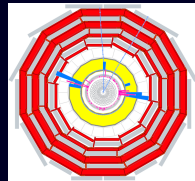
Ereignis-
Selektion

Untergrund-
Beschreibung

Kinematische
Ereignis-
rekonstruktion

Zusammen-
fassung

- Myonen aus schweren Teilchen sind isoliert
- → gutes Kriterium zur Trennung vom QCD-Untergrund
- messbar in Spurdetektor und Kalorimeter



Ereignis-Selektion

Myon-Isolation

Top im
dimyonischen
Kanal bei
CMS

Dirk
Dammann

Experiment

Top-Physik

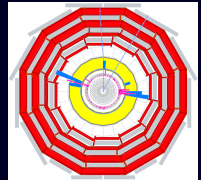
Ereignis-
Selektion

Untergrund-
Beschreibung

Kinematische
Ereignis-
rekonstruktion

Zusammen-
fassung

- Myonen aus schweren Teilchen sind isoliert
- → gutes Kriterium zur Trennung vom QCD-Untergrund
- messbar in Spurdetektor und Kalorimeter



- Spur-Isolation: p_t -Summe aller Spuren in Kegel $\Delta R = \sqrt{\Delta\phi^2 + \Delta\eta^2}$ um μ -Spur:

$$I_{spur} = \sum_{\Delta R} p_t$$
- Kalorimeter-Isolation: E_t -Summe um μ :

$$I_{calo} = \sum_{\Delta R} E_t$$
- $\Delta R = 0,3$ ist bester Wert

Ereignis-Selektion

Myon-Isolation

Top im
dimyonschen
Kanal bei
CMS

Dirk
Dammann

Experiment

Top-Physik

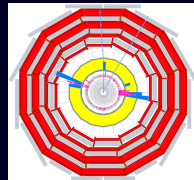
Ereignis-
Selektion

Untergrund-
Beschreibung

Kinematische
Ereignis-
rekonstruktion

Zusammen-
fassung

- Myonen aus schweren Teilchen sind isoliert
- $\rightarrow$ gutes Kriterium zur Trennung vom QCD-Untergrund
- messbar in Spurdetektor und Kalorimeter



- Spur-Isolation: p_t -Summe aller Spuren in Kegel $\Delta R = \sqrt{\Delta\phi^2 + \Delta\eta^2}$ um μ -Spur:

$$I_{spur} = \sum_{\Delta R} p_t$$
- Kalorimeter-Isolation: E_t -Summe um μ :

$$I_{calo} = \sum_{\Delta R} E_t$$
- $\Delta R = 0,3$ ist bester Wert
- verschiedene Schnittmethoden:
 - direkter Schnitt auf I_{spur} und I_{calo}
 - relativer Schnitt auf $I_{spur}/p_{t,\mu}$ und $I_{calo}/E_{t,\mu}$
 - Schnitt auf kombinierte Variable $I_{komb} = \frac{p_{t,\mu}}{p_{t,\mu} + I_{track} + I_{calo}}$

Ereignis-Selektion

Myon-Isolation

Top im
dimyonischen
Kanal bei
CMS

Dirk
Dammann

Experiment

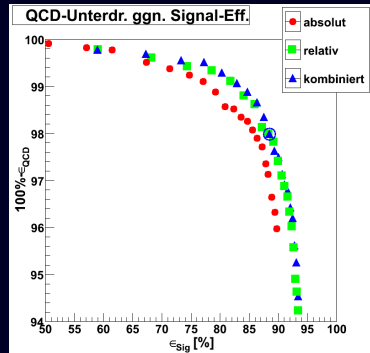
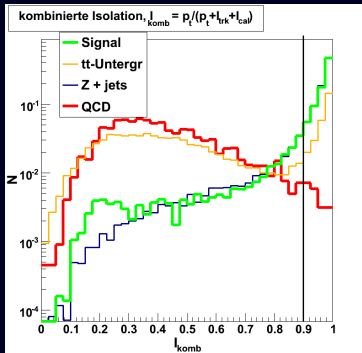
Top-Physik

Ereignis-
Selektion

Untergrund-
Beschreibung

Kinematische
Ereignis-
rekonstruktion

Zusammen-
fassung



- Leistungskurve zeigt, dass absolute Isolation am schlechtesten ist
- relative Einzelschnitte und kombinierter Schnitt etwa gleich gut
- Für meine Analyse: $I_{\text{komb}} > 0,9$

Ereignis-Selektion

Z-Unterdrückung

Top im
dimyonischen
Kanal bei
CMS

Dirk
Dammann

Experiment

Top-Physik

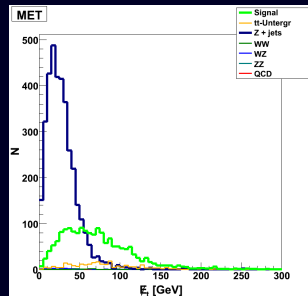
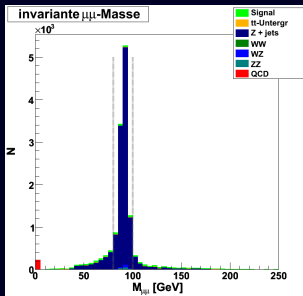
Ereignis-
Selektion

Untergrund-
Beschreibung

Kinematische
Ereignis-
rekonstruktion

Zusammen-
fassung

- Nach Isolations-Schnitt ist Z Haupt-Untergrund
- Kann durch Veto auf Z-Resonanz zwischen $80\text{GeV} < M_{\mu\mu} < 100\text{GeV}$ unterdrückt werden



- Schnitt auf $\cancel{E}_t$ könnte restlichen Untergrund eliminieren
- unsicher in ersten Daten
- andere Option: b-Tagging



Untergrund-Beschreibung

Wrong-Charge-Methode

Top im
dimyonischen
Kanal bei
CMS

Dirk
Dammann

Experiment

Top-Physik

Ereignis-
Selektion

Untergrund-
Beschreibung

Kinematische
Ereignis-
rekonstruktion

Zusammen-
fassung

- Nur zwei QCD-Ereignisse überleben Isolations-Schnitt.
- Diese haben sehr hohes Gewicht $\rightarrow$ zu wenig MC-Statistik
- QCD-Untergrund kann aus Daten beschrieben werden:
 - Signal, Z, WW, ... erzeugen $\mu^+\mu^-$ (entgegengesetzt geladen)
 - $\rightarrow$ Auch Untergrund mit gleich-geladenen Myonen wird selektiert
 - Subtraktion von gleichgeladener Verteilung von entgegengesetzt geladener Verteilung eliminiert Untergrund
 - Meist Normierung erforderlich

Untergrund-Beschreibung

Beispiel-Plots

Top im
dimyonschen
Kanal bei
CMS

Dirk
Dammann

Experiment

Top-Physik

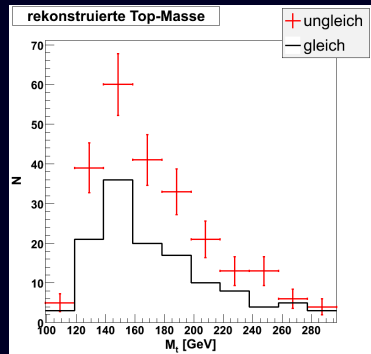
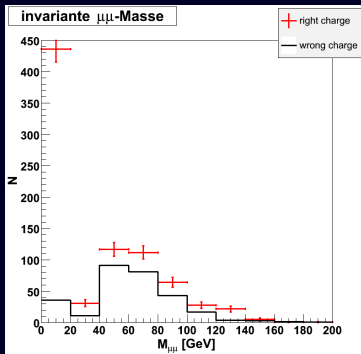
Ereignis-
Selektion

Untergrund-
Beschreibung

Kinematische
Ereignis-
rekonstruktion

Zusammen-
fassung

- Isolations-Schnitt wurde gelockert um genug Statistik zu haben.
- Für $M_{\mu\mu} > 10\text{GeV}$ sieht die $\mu\mu$ -Massenverteilung für richtige und falsche Ladung gleich aus.





Kinematische Ereignis-Rekonstruktion

Kinematische Gleichung

Top im
dimyonischen
Kanal bei
CMS

Dirk
Dammann

Experiment

Top-Physik

Ereignis-
Selektion

Untergrund-
Beschreibung

Kinematische
Ereignis-
rekonstruktion

Zusammen-
fassung

- Fehlende Information durch 2 Neutrinos
- stattdessen $\cancel{E}_t$ messbar
- Einsetzen der W-Masse eliminiert 2 weitere Variablen.
- Kinematik wird durch 8 Gleichungen beschrieben.
- System lässt sich näherungsweise in ein Polynom vierter Ordnung überführen.

$$p_{\nu,x}^4 + h_3 p_{\nu,x}^3 + h_2 p_{\nu,x}^2 + h_1 p_{\nu,x} + h_0 = 0$$

- Koeffizienten h_i sind Funktionen von m_t und $m_{\bar{t}}$.
- für konstante h_i analytisch lösbar, aber vierfach mehrdeutig

Kinematische Ereignis-Rekonstruktion

Anwendung

Top im
dimyonschen
Kanal bei
CMS

Dirk
Dammann

Experiment

Top-Physik

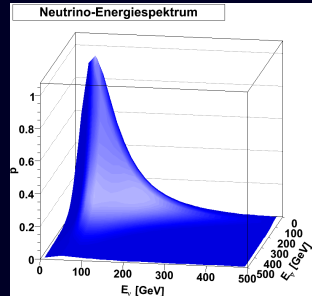
Ereignis-
Selektion

Untergrund-
Beschreibung

Kinematische
Ereignis-
rekonstruktion

Zusammen-
fassung

- Lösungen der Gleichung werden mit MC- E_ν -Modell verglichen
- Aus Spektrum wird Gewicht für die Lösung bestimmt



2 Möglichkeiten:

- beide Top-Massen als gleich annehmen und variieren
→ liefert Näherung für die Massenverteilung
- Top-Masse aus Tevatron-Daten einsetzen und sehen, ob Gleichung lösbar ist
→ reduziert Untergrund
→ noch nicht implementiert

Top im
dimyonischen
Kanal bei
CMS

Dirk
Dammann

Experiment

Top-Physik

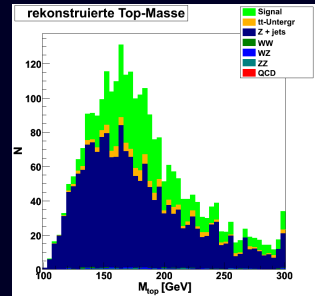
Ereignis-
Selektion

Untergrund-
Beschreibung

Kinematische
Ereignis-
rekonstruktion

Zusammen-
fassung

- gutes S/BG-Verhältnis mit einfachen Selektionsschnitten
- in echten Daten bleibt abzuwarten, wie man Restuntergrund weiter unterdrücken kann
 - b-Tagging
 - $\cancel{E}_t$ -Schnitt
- QCD-Untergrund lösbar
- Eigenschaften der kinematischen Lösung müssen untersucht werden





Anhang

Top im
dimyonischen
Kanal bei
CMS

Dirk
Dammann

Experiment

Top-Physik

Ereignis-
Selektion

Untergrund-
Beschreibung

Kinematische
Ereignis-
rekonstruktion

Zusammen-
fassung

Anhang

Absolute Myon-Isolation

Top im
dimyionischen
Kanal bei
CMS

Dirk
Dammann

Experiment

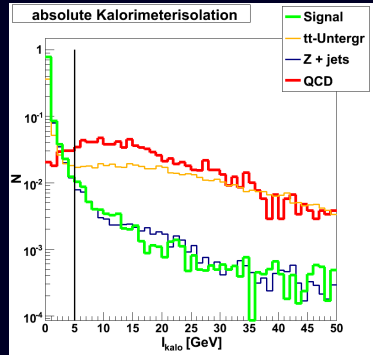
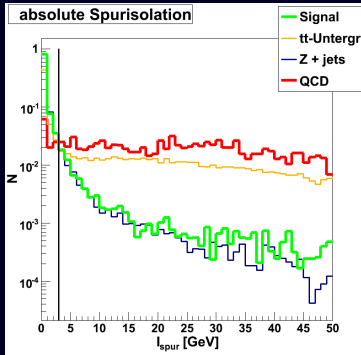
Top-Physik

Ereignis-
Selektion

Untergrund-
Beschreibung

Kinematische
Ereignis-
rekonstruktion

Zusammen-
fassung



Anhang

Relative Myon-Isolation

Top im
dimyionischen
Kanal bei
CMS

Dirk
Dammann

Experiment

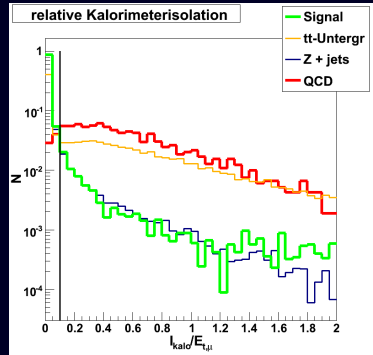
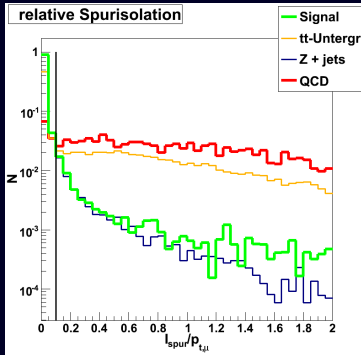
Top-Physik

Ereignis-
Selektion

Untergrund-
Beschreibung

Kinematische
Ereignis-
rekonstruktion

Zusammen-
fassung



Anhang

Wrong Charge

Top im
dimyonschen
Kanal bei
CMS

Dirk
Dammann

Experiment

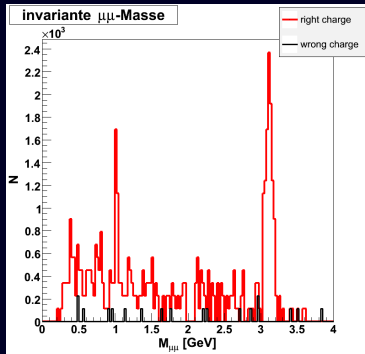
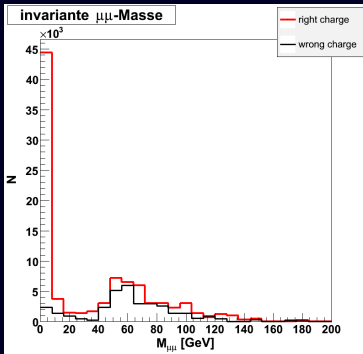
Top-Physik

Ereignis-
Selektion

Untergrund-
Beschreibung

Kinematische
Ereignis-
rekonstruktion

Zusammen-
fassung





Anhang

Kinematische Ereignisrekonstruktion

Top im
dimyionischen
Kanal bei
CMS

Dirk
Dammann

Experiment

Top-Physik

Ereignis-
Selektion

Untergrund-
Beschreibung

Kinematische
Ereignis-
rekonstruktion

Zusammen-
fassung

Gleichungen:

$$\cancel{E}_{t,x} = p_{\nu,x} + p_{\bar{\nu},x}$$

$$\cancel{E}_{t,y} = p_{\nu,y} + p_{\bar{\nu},y}$$

$$E_{\nu}^2 = p_{\nu,x}^2 + p_{\nu,y}^2 + p_{\nu,z}^2$$

$$E_{\bar{\nu}}^2 = p_{\bar{\nu},x}^2 + p_{\bar{\nu},y}^2 + p_{\bar{\nu},z}^2$$

$$m_{W^+} = (E_{l^+} + E_{\nu})^2 - (p_{l^+,x} + p_{\nu,x})^2 - (p_{l^+,y} + p_{\nu,y})^2 - (p_{l^+,z} + p_{\nu,z})^2$$

$$m_{W^-} = (E_{l^-} + E_{\bar{\nu}})^2 - (p_{l^-,x} + p_{\bar{\nu},x})^2 - (p_{l^-,y} + p_{\bar{\nu},y})^2 - (p_{l^-,z} + p_{\bar{\nu},z})^2$$

$$m_t =$$

$$(E_{l^+} + E_{\nu} + E_b)^2 - (p_{l^+,x} + p_{\nu,x} + p_{b,x})^2 - (p_{l^+,y} + p_{\nu,y} + p_{b,y})^2 - (p_{l^+,z} + p_{\nu,z} + p_{b,z})^2$$

$$m_{\bar{t}} =$$

$$(E_{l^-} + E_{\bar{\nu}} + E_{\bar{b}})^2 - (p_{l^-,x} + p_{\bar{\nu},x} + p_{\bar{b},x})^2 - (p_{l^-,y} + p_{\bar{\nu},y} + p_{\bar{b},y})^2 - (p_{l^-,z} + p_{\bar{\nu},z} + p_{\bar{b},z})^2$$