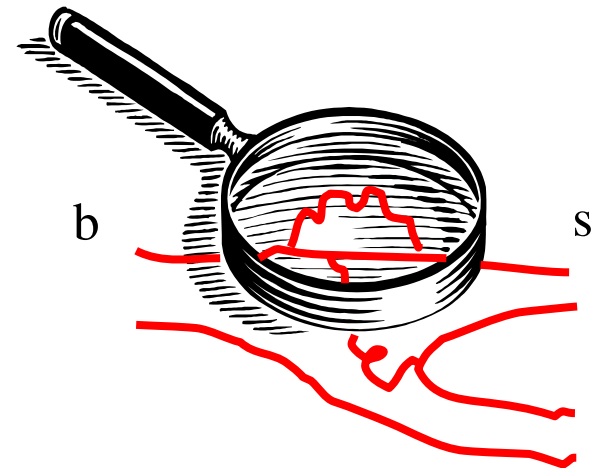




Beautiful Physics beyond the Standard Model @ the LHC

Stephanie Hansmann-Menzemer
Physikalisches Institut



Das Standardmodell

Teilchen

Leptonen

Elektron	Myon	Tau	Elektrische Ladung
e	μ	τ	
ν_e	ν_μ	ν_τ	0
Elektron Neutrino	Myon Neutrino	Tau Neutrino	

aufsteigende Masse

Quarks

Up	Charm	Top	Elektrische Ladung
u	c	t	
d	s	b	$-1/3$
Down	Strange	Bottom	

aufsteigende Masse

+ Antiteilchen

Kräfte & Austauschbosonen

EM Kraft

Photon γ

Starke Kraft

8 Gluonen

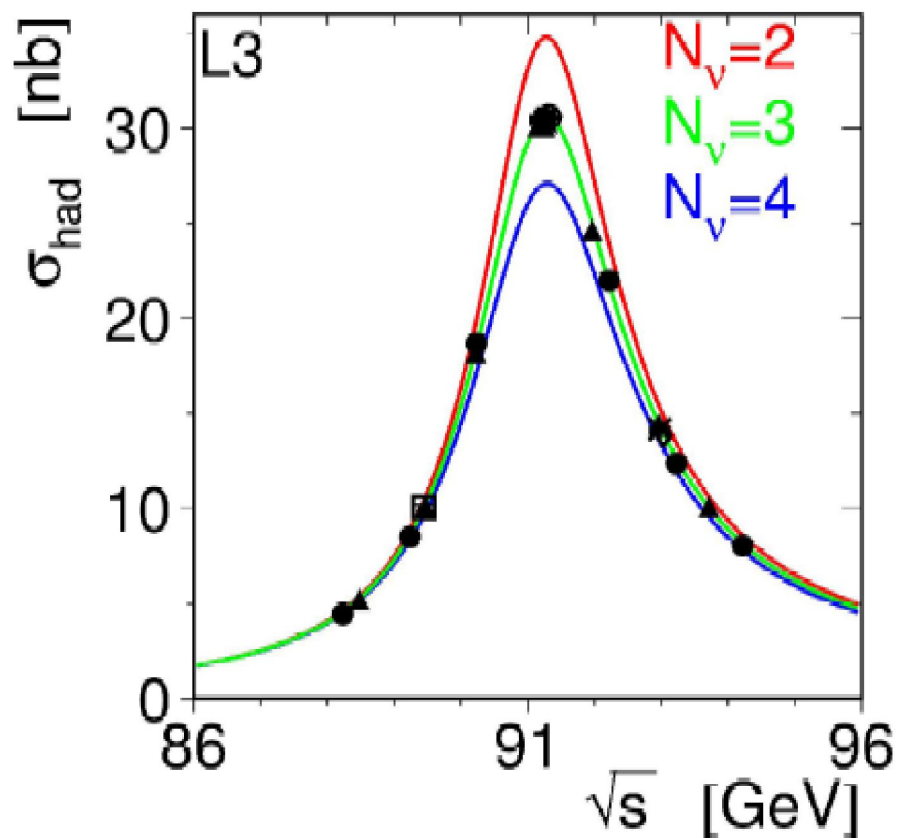
Schwache Kraft

W, Z Boson

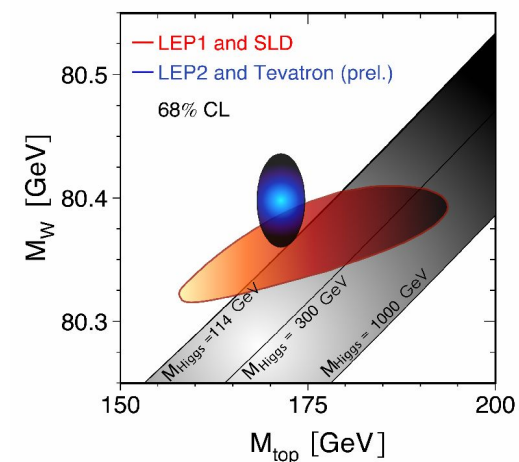
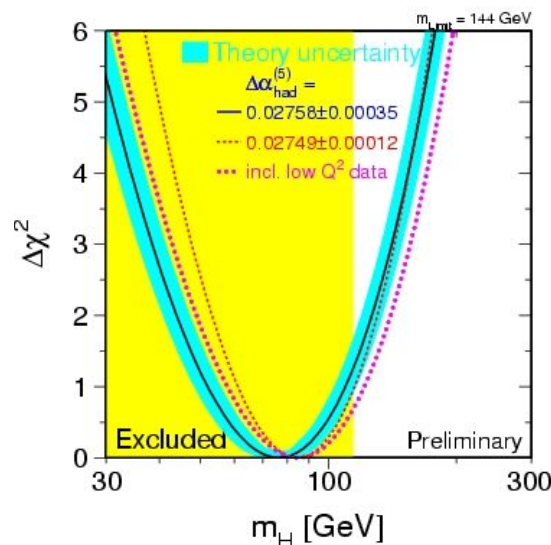
+ Higgs ?

Test des Standardmodells

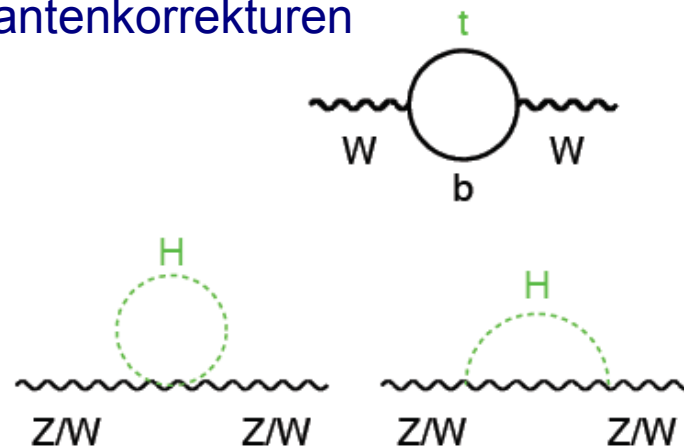
Extrem erfolgreich, durch Vielzahl präziser Messungen bestätigt:



Kein Laborexperiment weicht signifikant von Vorhersagen des Standardmodells ab.



Massenvorhersage aus Quantenkorrekturen

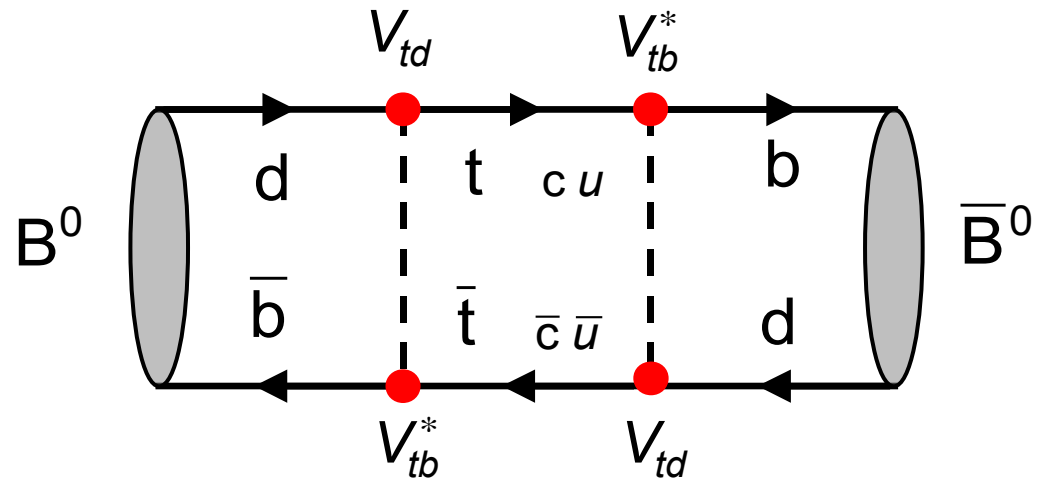


Nobel Preis 2008 für Quark-Sektor



M. Kobayashi

T. Maskawa



Mischung und CP Verletzung

CKM-Sektor durch Vielzahl von Experimenten bestätigt

Experimenteller Test:
B-Experimente



ARGUS

Aber



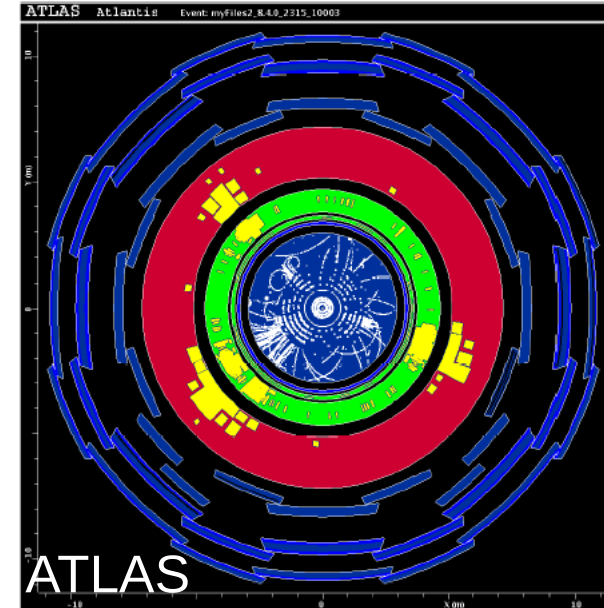
- Warum hat ein u Quark 2 MeV und ein top Quark 175 GeV Masse
- Woher kommt Materieübergewicht im Universum - Materie/Antimaterieasymmetrie
- Neutrino Sektor (Masse der Neutrinos)
- kein Kandidat für dunkle Materie
- eine Reihe konzeptioneller Probleme

Gibt es eine fundamentalere Theorie? **Neue Physik?**

Suche nach “Neuer Physik”

- 1) Erzeugung und Nachweis neuer Teilchen an Hochenergie-Beschleunigern:

z.B. Erzeugung supersymmetrischer Teilchen



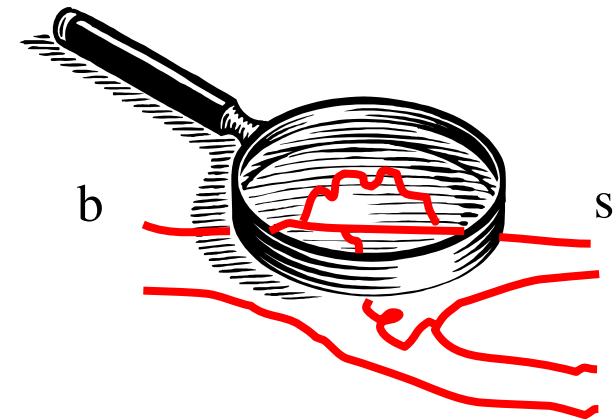
direkte Suchen

- 2) Präzisionsmessungen bei niedrigen Energien: Teste Quantenkorrekturen

Myon ($g-2$) Messungen

Elektrische Dipolmomente

Zerfälle K- und B-Mesonen

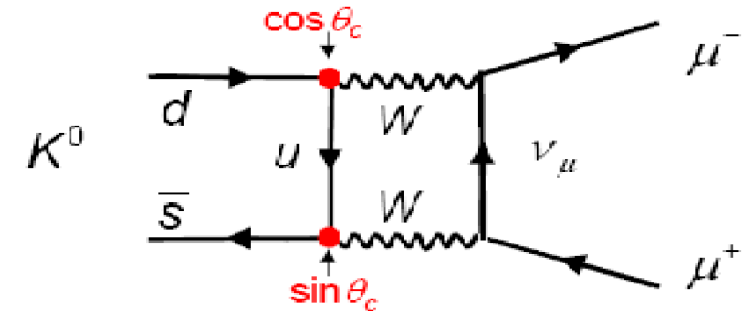


indirekte Suchen

Erfolge indirekter Messungen

Vorhersage des Charm Quark

$$\frac{BR(K_L \rightarrow \mu^+ \mu^-)}{BR(K_L \rightarrow all)} = 7.2 \pm 0.5 \times 10^{-9}$$

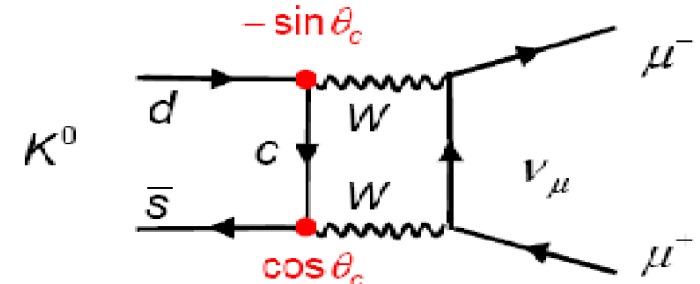
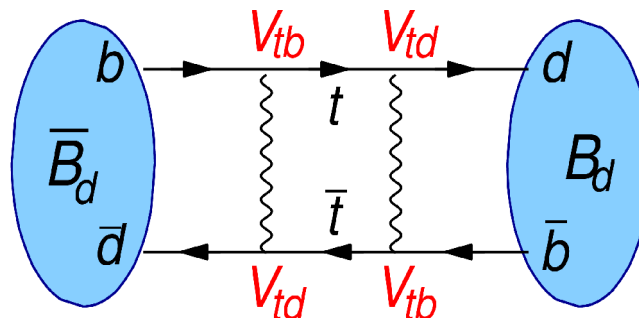


$$M \sim \sin \theta_c \cos \theta_c$$

Vorhersage der Masse des Top Quark:

B-Mischung bei Argus (1987)

$m(\text{top}) > 50 \text{ GeV}$



$$M \sim -\sin \theta_c \cos \theta_c$$

Z^0 Zerfallsbreite bei LEP (1994): $m(t) = 179 +10/-9 \text{ GeV}$

Direkte Messung 1995 am Tevatron: $m(t) = 176 \pm 10 \text{ GeV}$

Indirekte Messungen bei gleicher $\sqrt{s}$ sensitiv zu bis zu einer Größenordnung schwereren Teilchen.

B Mesonen

$q\bar{b}$

Mesonen

$$B^+ = |u\bar{b}\rangle$$

$$B^0 = |d\bar{b}\rangle$$

$$B_s^0 = |s\bar{b}\rangle$$

$$B^- = |\bar{u}b\rangle$$

$$\bar{B}^0 = |\bar{d}b\rangle$$

$$\bar{B}_s^0 = |\bar{s}b\rangle$$

Anti-Mesonen

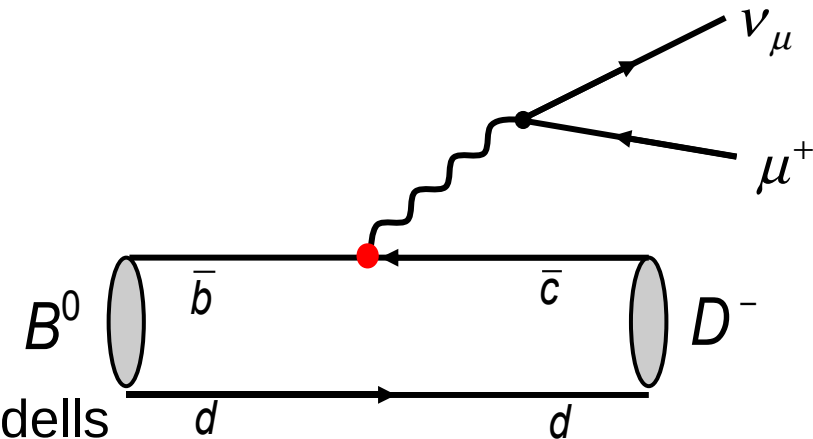
$$m_B \approx 5.3 \text{ GeV}/c^2$$

$$\tau_{B^0} \approx 1.5 \text{ ps}$$

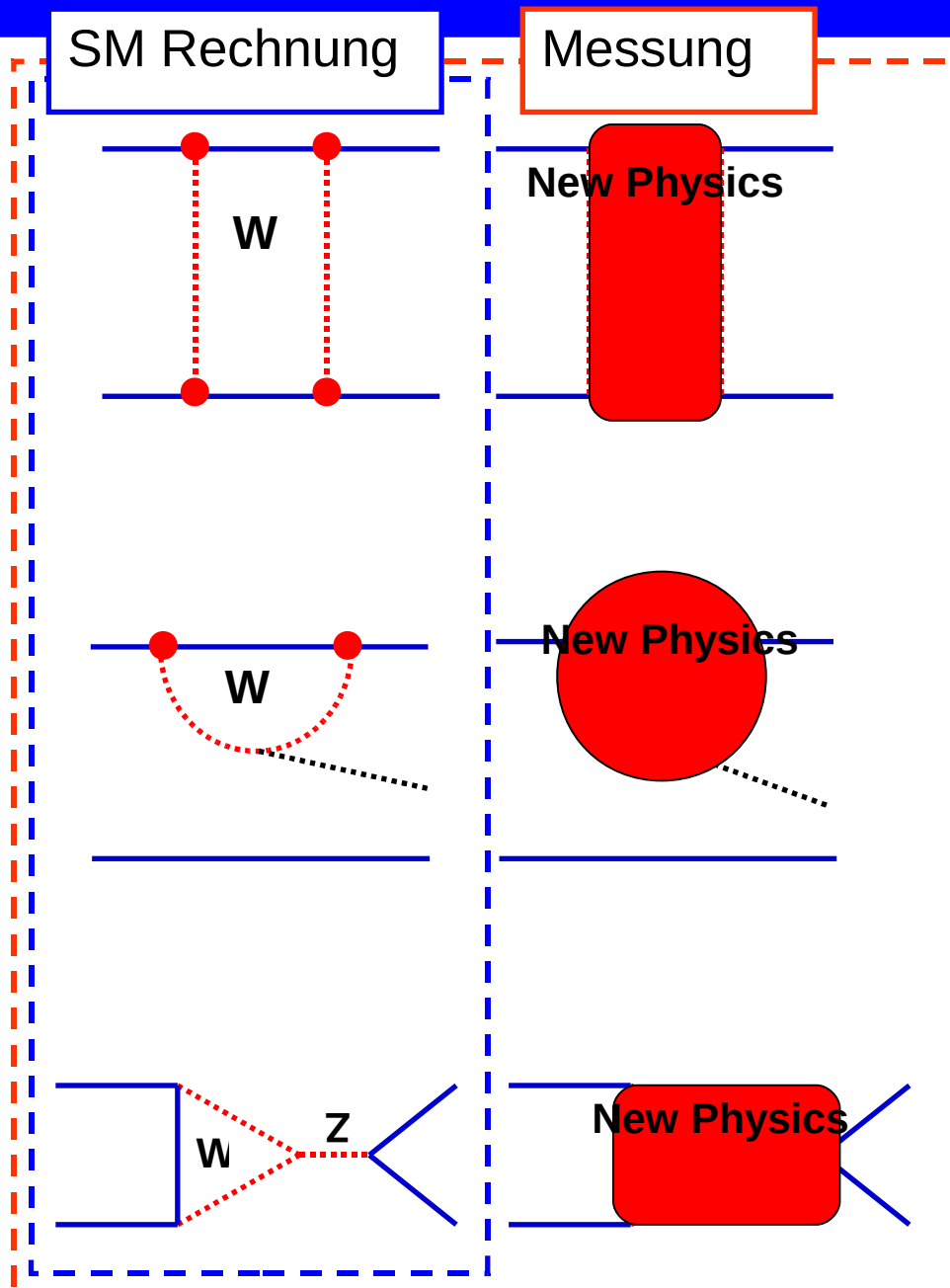
Ideales Labor zum Studium des Standardmodells

- Schwer, lange Lebenszeit, viele Kanäle
- Viele interessante Schleifenprozesse
- Eine Reihe gut vorhersagbarer Messgrößen

Schwacher Zerfall



“Neue Physik” in B Zerfällen



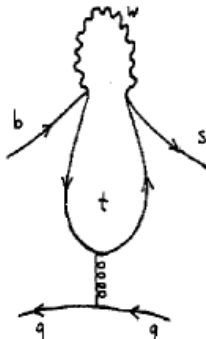
$B_s \bar{B}_s$ Mischung:

Phase aus CP Verletzung

Pinguin-Zerfälle:

$$B^0 \rightarrow K^* \ell^+ \ell^- \quad B^0 \rightarrow \phi \phi$$

Kinematik und CPV



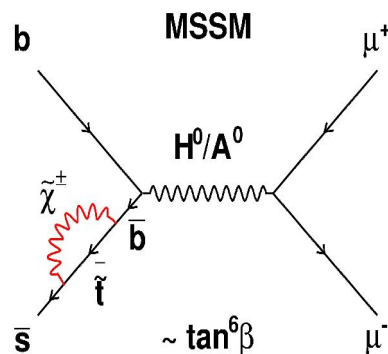
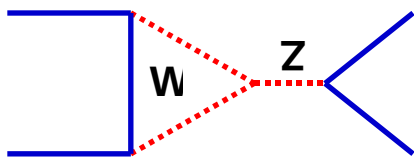
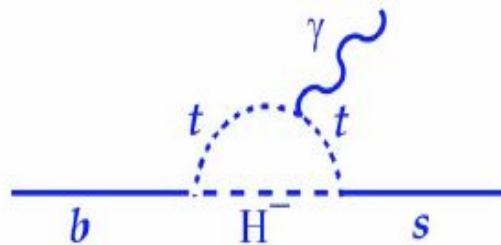
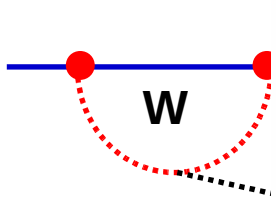
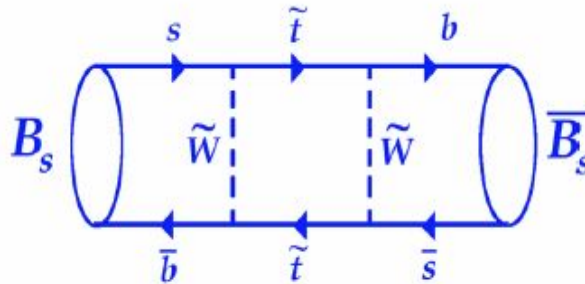
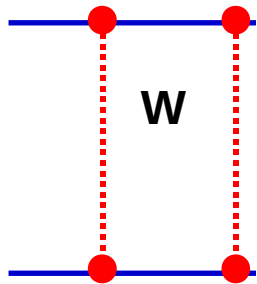
$$\text{FCNC} \quad B^0 \rightarrow \mu^+ \mu^-$$

Raten (SM: 10^{-9})

“Neue Physik” in B Zerfällen

SM Rechnung

Messung



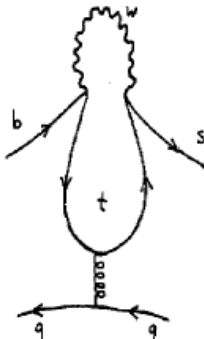
$B_s \bar{B}_s$ Mischung:

Phase aus CP Verletzung

Penguin-Zerfälle:

$B' \rightarrow K^* \ell^+ \ell^-$ $B' \rightarrow \phi \phi$

Kinematik und CPV



FCNC $B' \rightarrow \mu^+ \mu^-$

Raten (SM: 10^{-9})

Large Hadron Collider

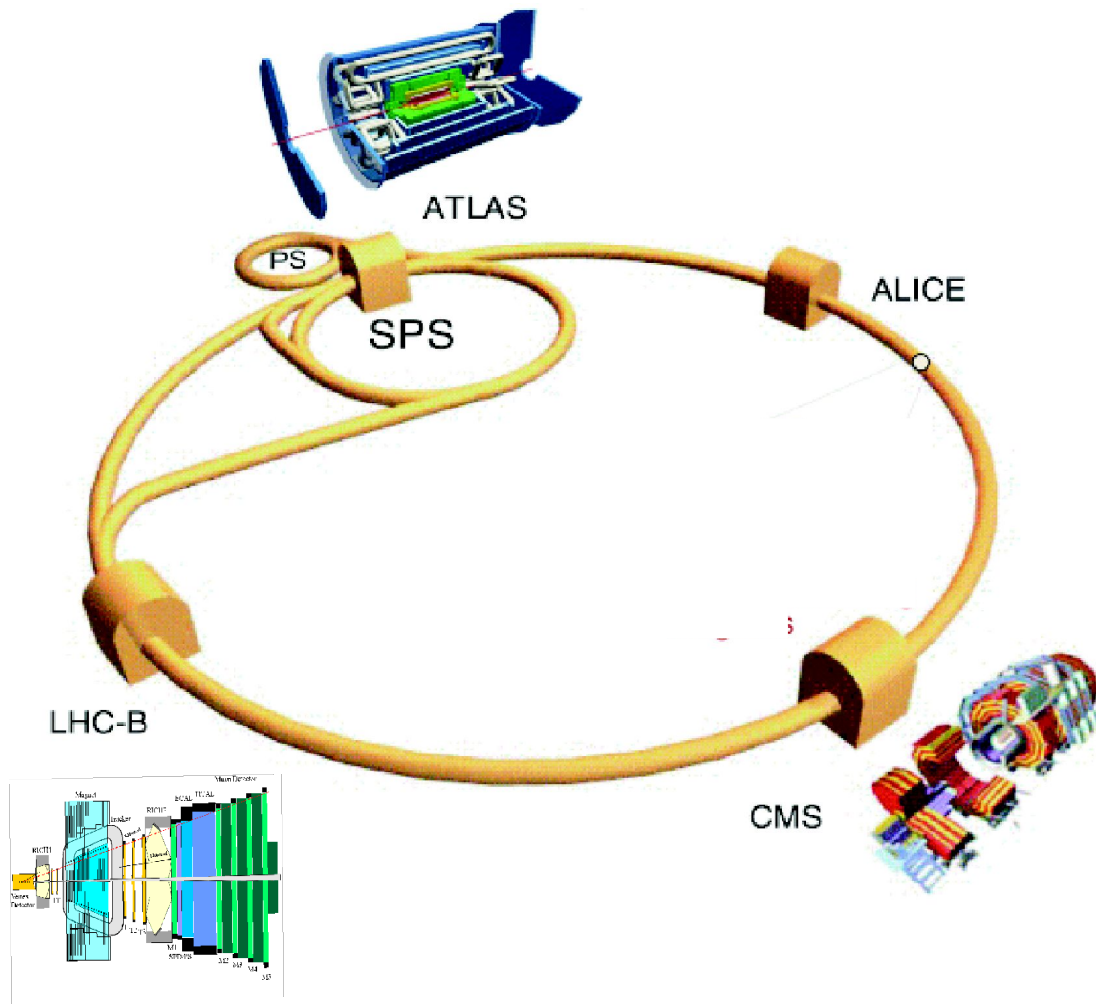
Umfang 27 km

geplant: 14 TeV Schwerpunktsenergie
(höchste bisher im Labor erreichte Energie)

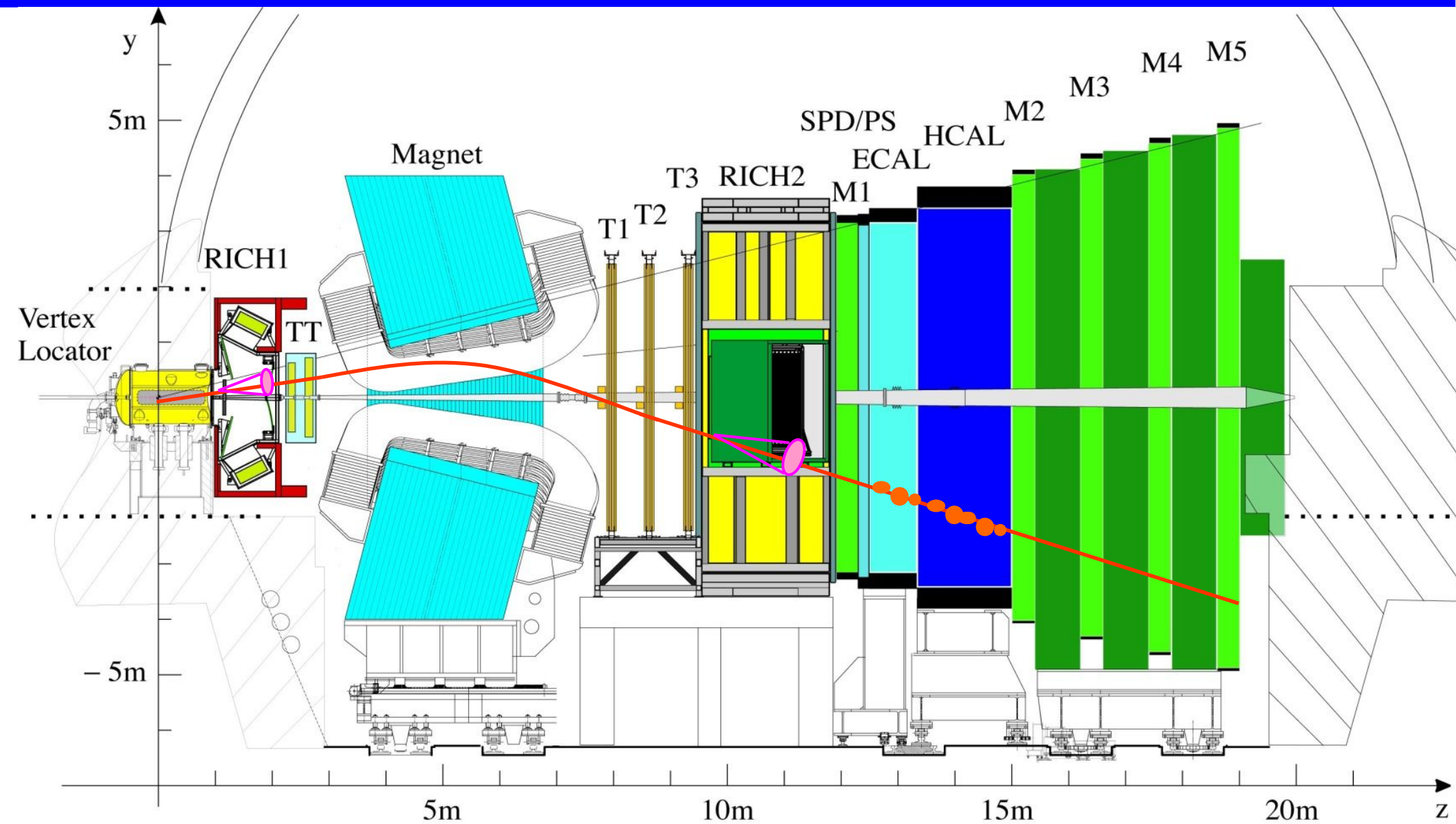
3 Hochenergiephysik-Experimente

ATLAS & CMS:
direkte Suchen nach neuer Physik
~ 17 Wechselwirkung per bunch Crossing

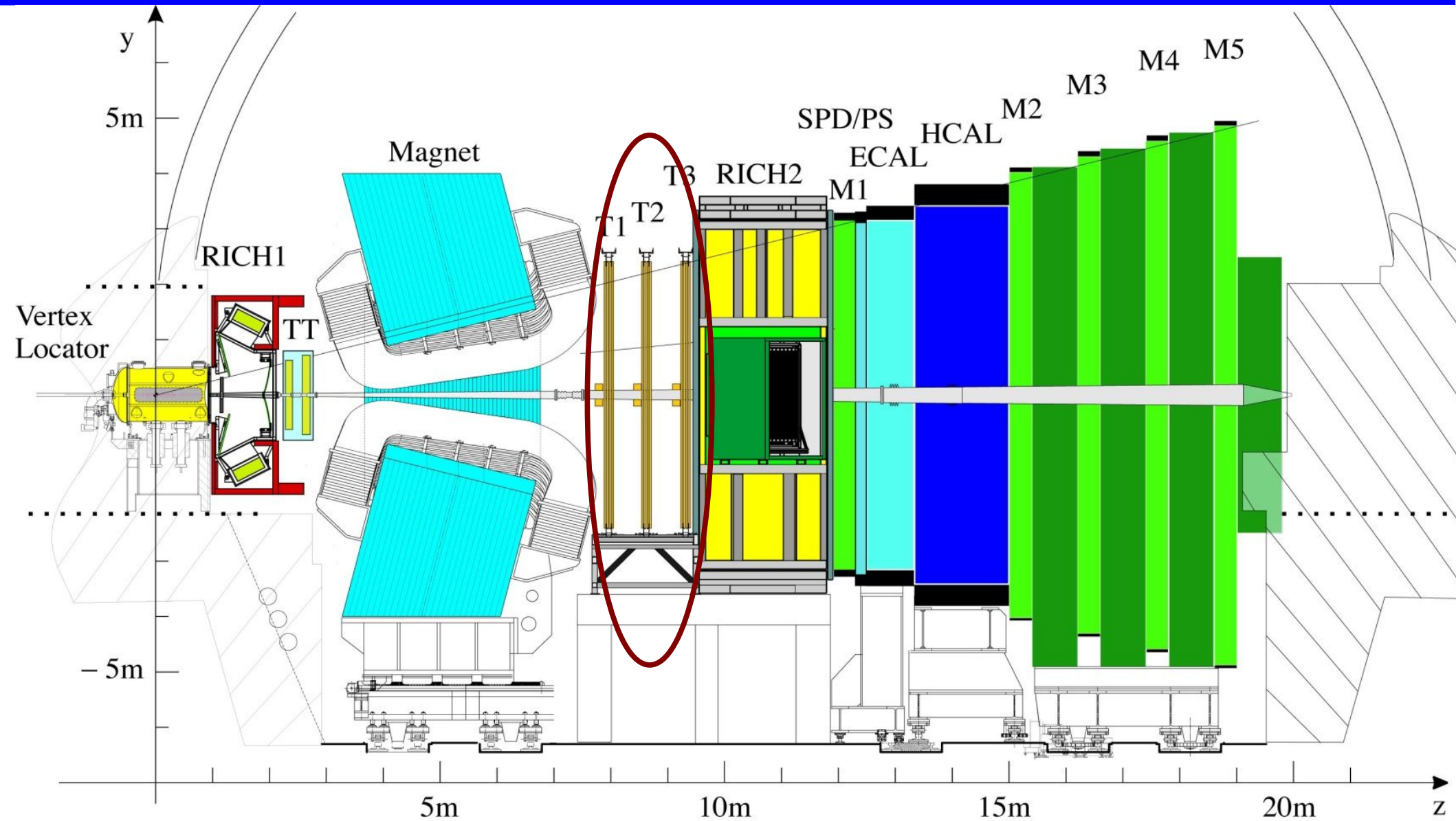
LHCb:
Indirekte Suchen in Quantenkorrekturen
Präzisionsphysik im B System
~ 1 Wechselwirkung per bunch Crossing



LHCb Detektor

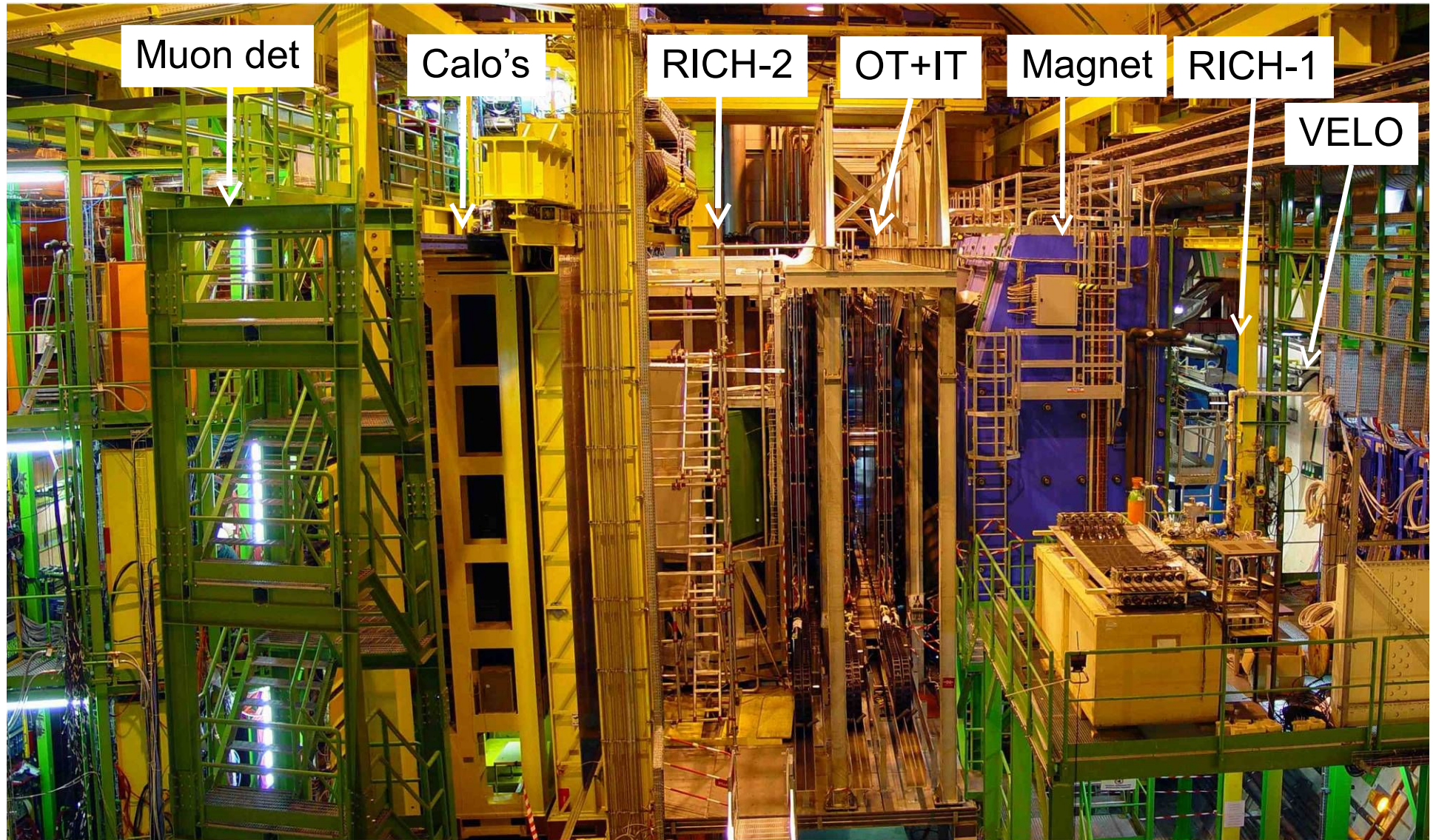


LHCb Detektor



äußeres Spurkammersystem – maßgeblich von Heidelberg gebaut

LHCb Detektor



2009: Erfolgreicher Start des LHC

Freitag 20.11.: Erster Strahl in der Maschine

Samstag 21.11.: Stabiler Strahl: die Experimente zeichnen erste Beam Gas Daten auf

Montag 23.11.: Proton-Proton Kollisionen in allen 4 Experimenten

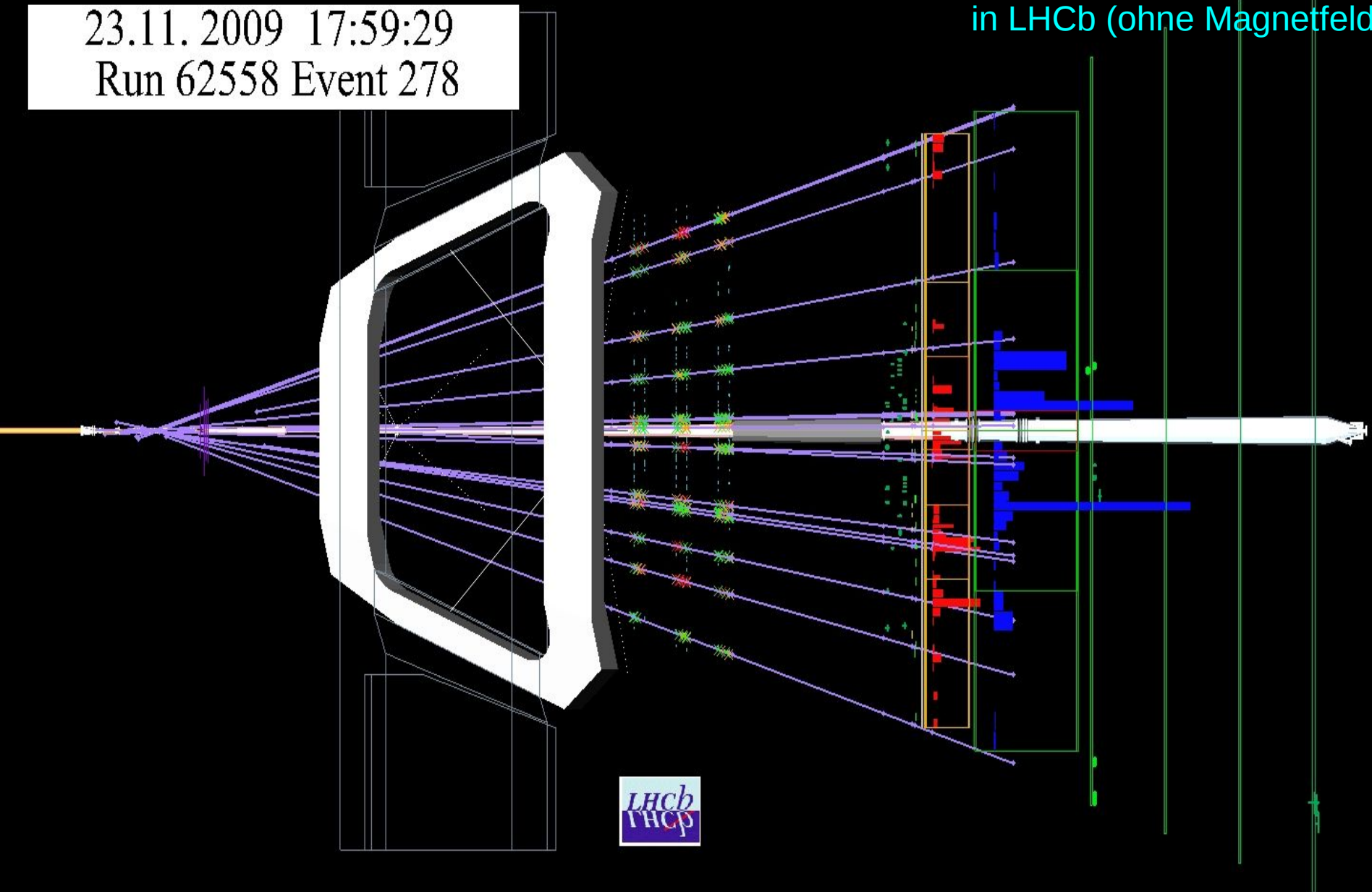
Sonntag 13.12.: Erste Proton-Proton Kollisionen bei 2.4 TeV
(Energieweltrekord!)



LHCb Event Display

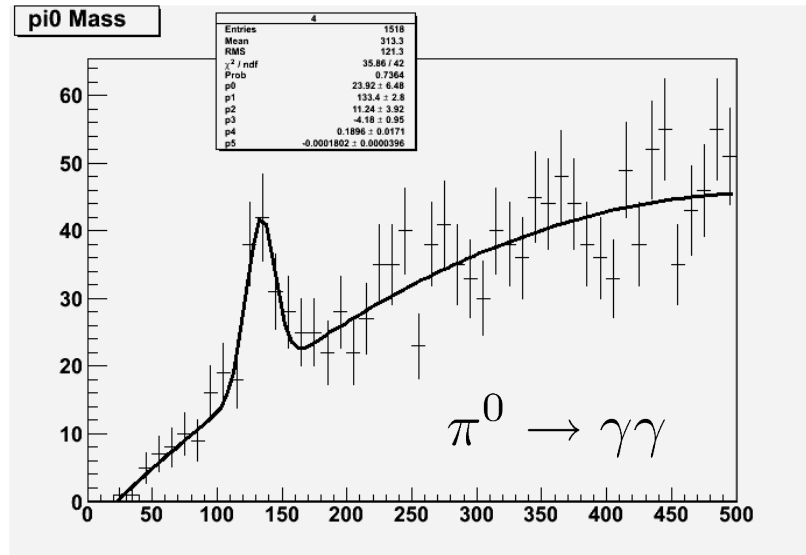
23.11.2009 17:59:29
Run 62558 Event 278

Erste Proton-Proton Kollision
in LHCb (ohne Magnetfeld)

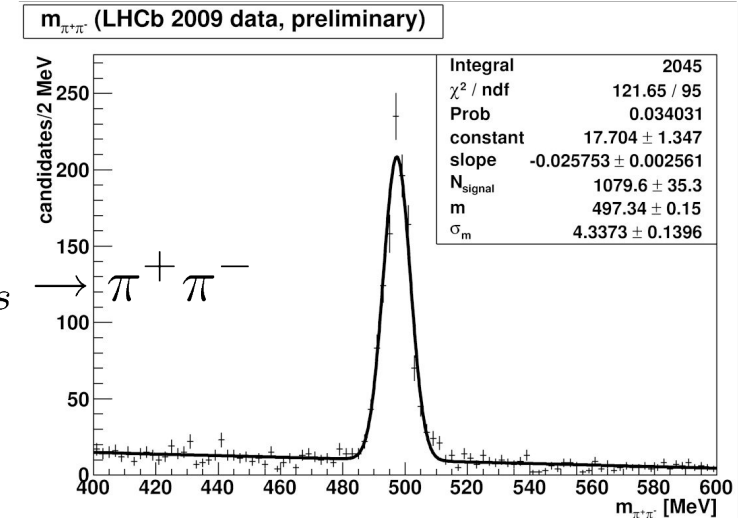


Erste Signale im Detektor

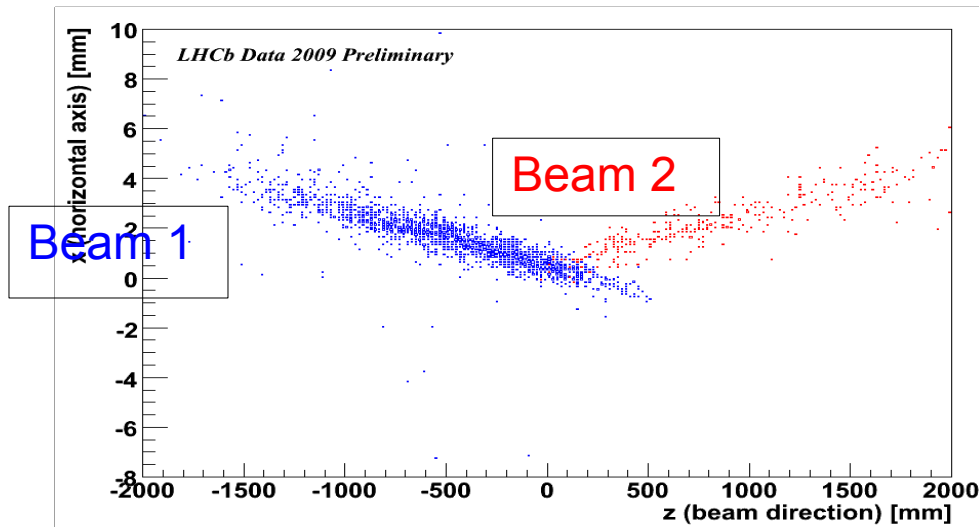
LHCb voll funktionsfähig, ca. 400.000 Ereignisse aufgezeichnet



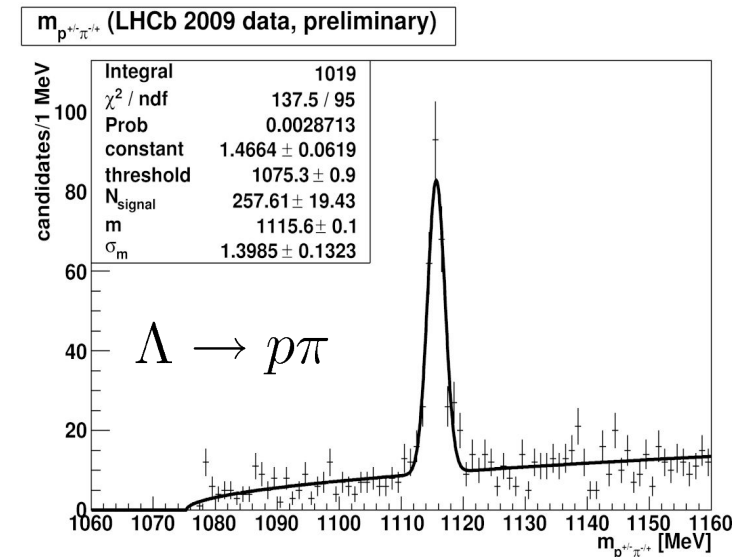
Signale im hadronischen Kalorimeter



Resonanzen im Spursystem



Beam Gas Wechselwirkungsverte (ohne Magnetfeld)



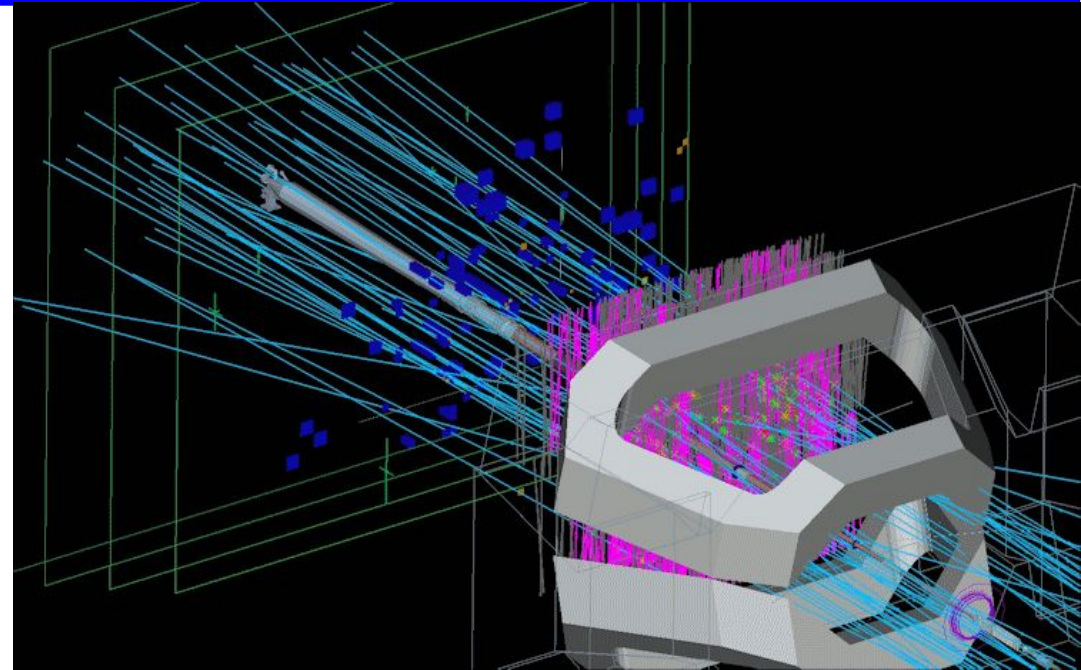
LHCb-Gruppe Heidelberg



Heidelberger Arbeitsschwerpunkte

Breite Expertise für Spurrekonstruktion

- maßgebliche Beteiligung am Bau und Betrieb des äußeren Spurkammersystems
- Ausrichtung & Monitoring der Spurkammern
- Hauptverantwortlich für Spurrekonstruktions-Algorithmen

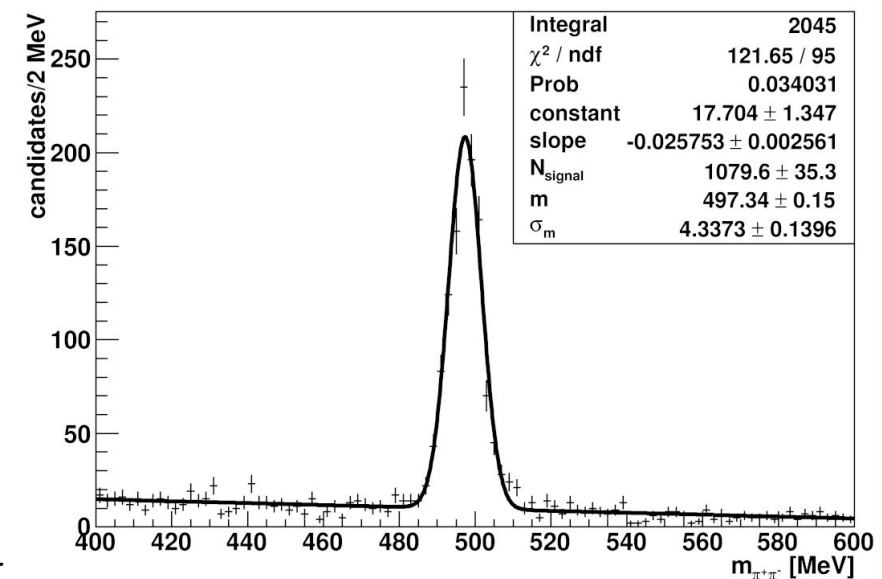


Exzellente Ausgangsposition für erste Analysen

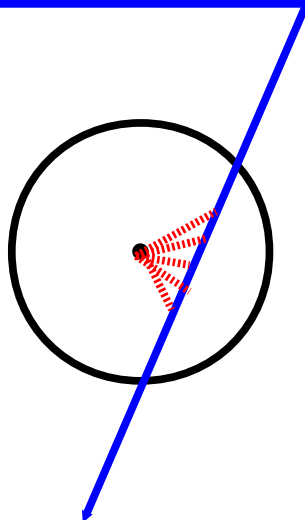
- Messung von Produktionsraten von $K_s, \Lambda, J/\psi$
- K_s Analyse bereits mit 2009 Daten möglich
Analyse für erste LHCb Veröffentlichung wird in Heidelberg durchgeführt

Spurrekonstruktion Diplomarbeit Sascha Stahl
 K_s Rekonstruktion Doktorarbeit Manuel Schiller

$m_{\pi^+\pi^-}$ (LHCb 2009 data, preliminary)



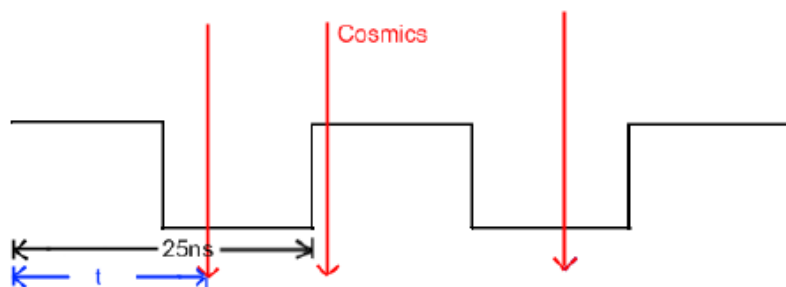
Detektorkalibration mit Cosmics



$$t_{Mess} = T_0 + t_{Drift}$$

$$r_{Drift} = R(t_{Drift})$$

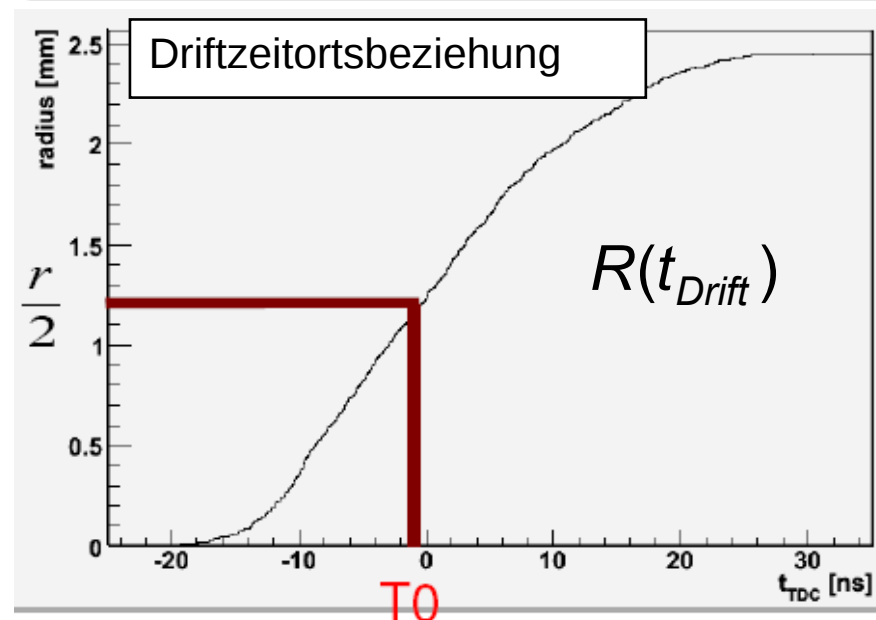
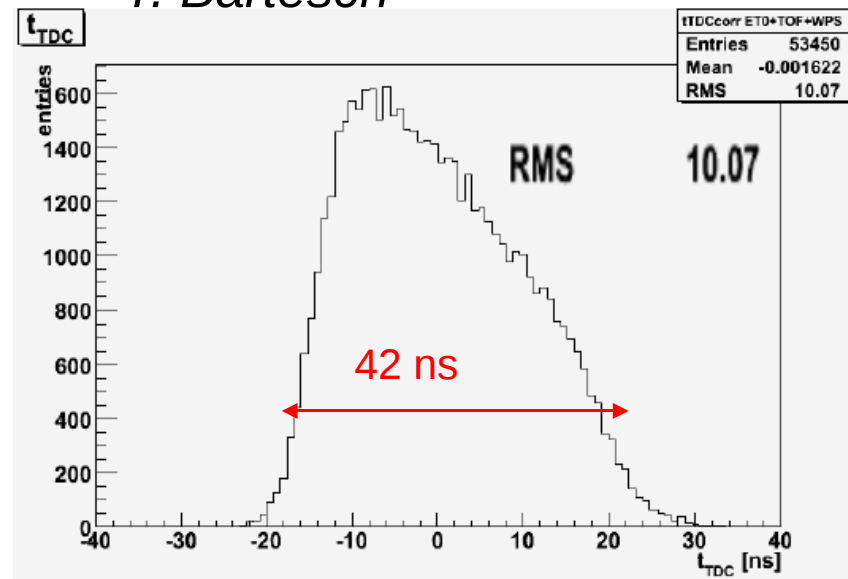
Cosmics asynchron zum Referenzsignal:



$$t_{meas} = t_{event} + T_0 + t_{drift}$$

 event T0 from
 $\left\{ \begin{array}{l} \text{Calorimeter} \\ \text{All OT hits} \end{array} \right.$

T. Bartsch



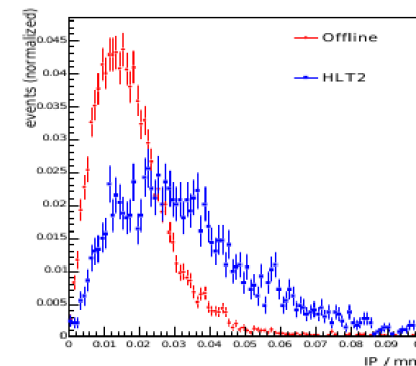
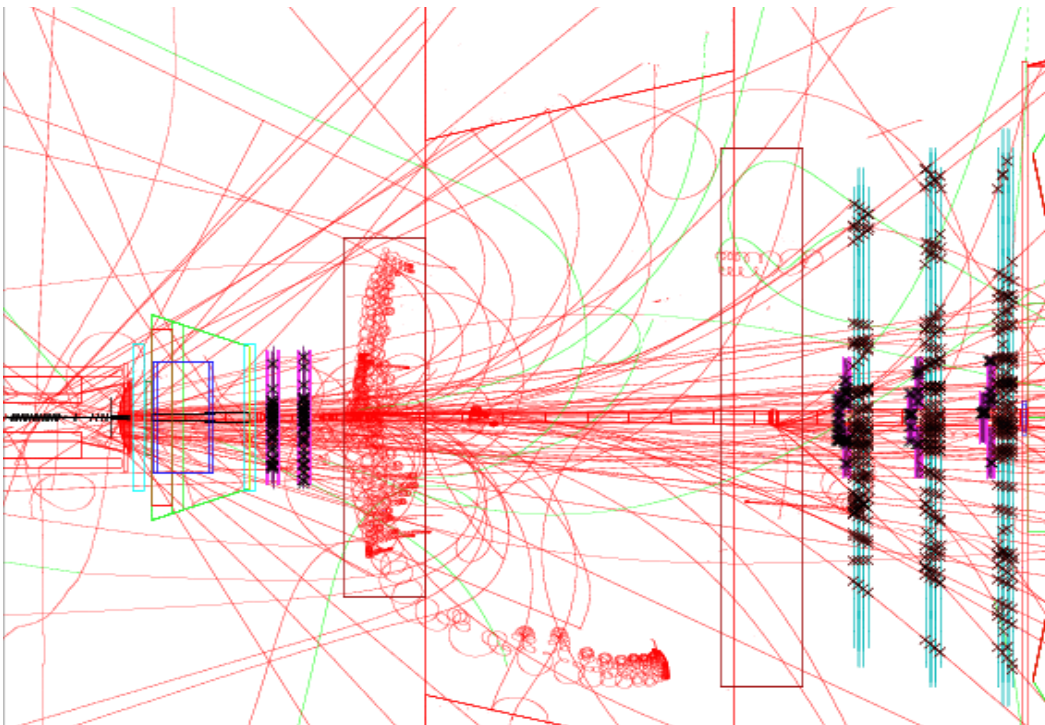
Spurrekonstruktion Offline & Online

Offline: **Best mögliche Spurrekonstruktion**, beste Auflösung/Effizienz/Reinheit

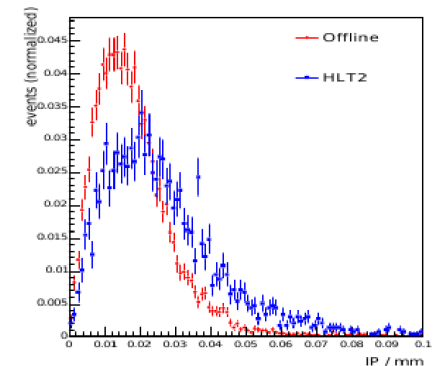
Online (auf Trigger Level): **Schnelle Spurrekonstruktion** (ca. 1ms pro Ereignis)

Nur Ereignisse/Spuren die auf Trigger UND Offline rekonstruiert werden zählen für die Analyse

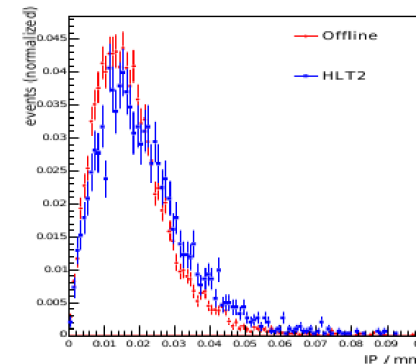
Diplomarbeit Georg Krock:
Wie weit können Unterschiede
unter gegebenen Rahmenbedingungen
reduziert werden?



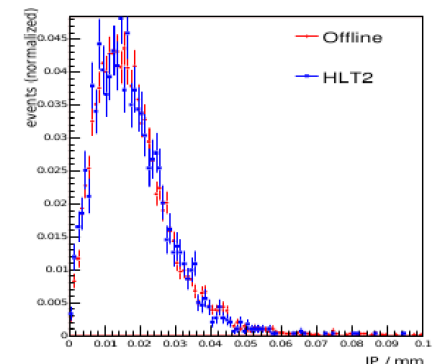
(a) HLT2 with 2D PV



(b) HLT2 with 3D PV



(c) HLT2 with the fast track fit and 3D PV



(d) HLT2 with the fast track fit and offline PV.

Impaktparameterauflösung

Heidelberger Analyseschwerpunkt

Messung von Parametern der B_s Teilchen-Antiteilchen Mischung

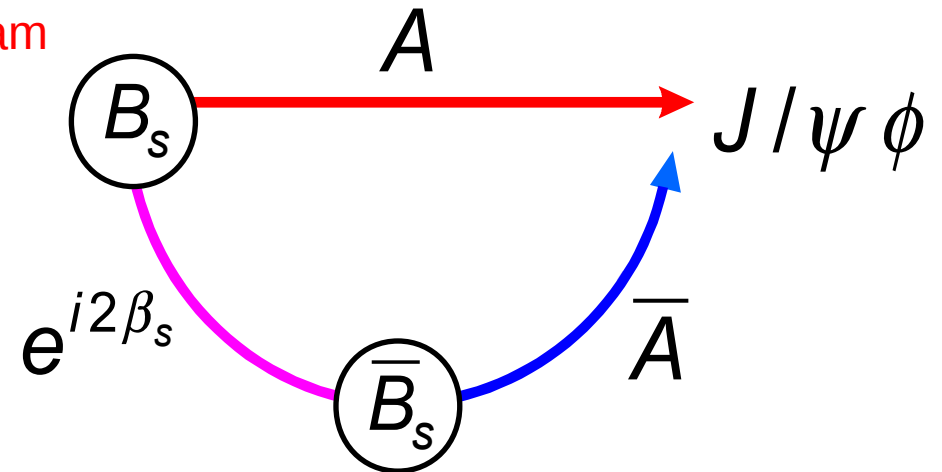
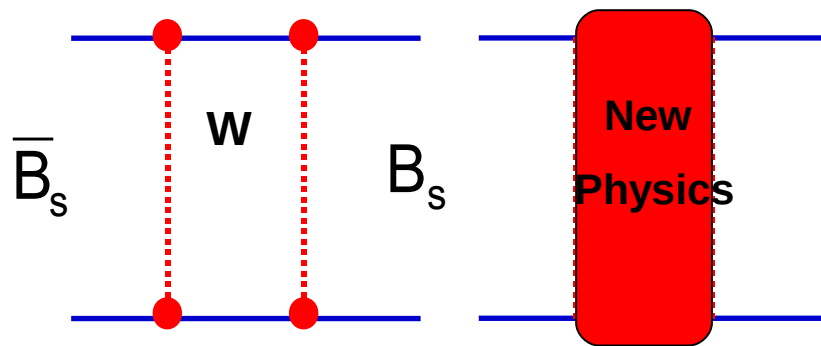


$B_s, \bar{B}_s \neq$ Masseneigenzuständen: B_H, B_L

➔ $\Delta m_s, \Delta \Gamma_s, \phi_s$ (Phase)

Physik-Analyse: ~~CP~~ in $J/\psi\phi$

β_s ist Phase der Kopplungen im Mischungsdiagramm



$$A_{CP}(t) = \frac{\Gamma(\bar{B}_s \rightarrow f_{CP})(t) - \Gamma(B_s \rightarrow f_{CP})(t)}{\Gamma(\bar{B}_s \rightarrow f_{CP})(t) + \Gamma(B_s \rightarrow f_{CP})(t)} \sim \sin 2\beta_s$$

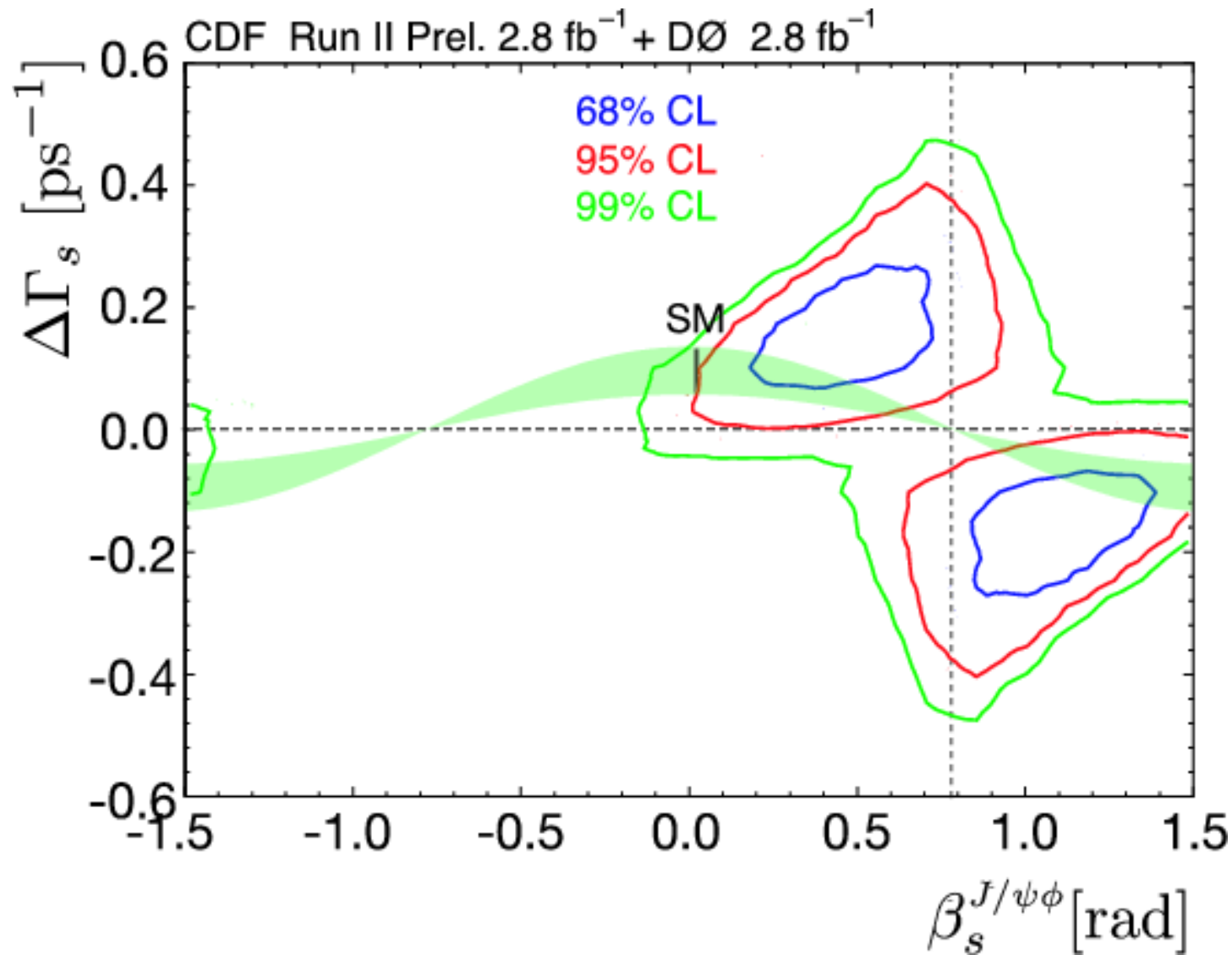
Standardmodell: $2\beta_s \approx 0.04$

→ kleine CP Asymmetrie

Neue Physik: $2\beta_s = 2\beta_s^{\text{SM}} + \varphi_s^{\text{NP}}$

→ große CP Asymmetrie

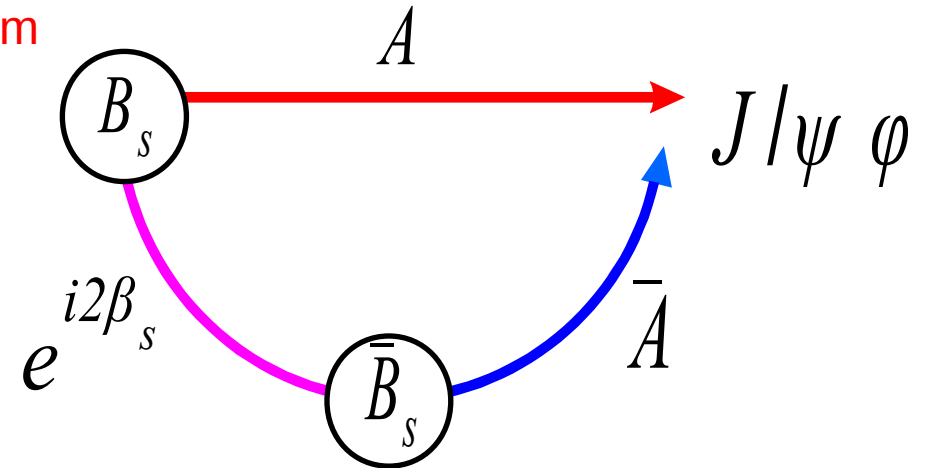
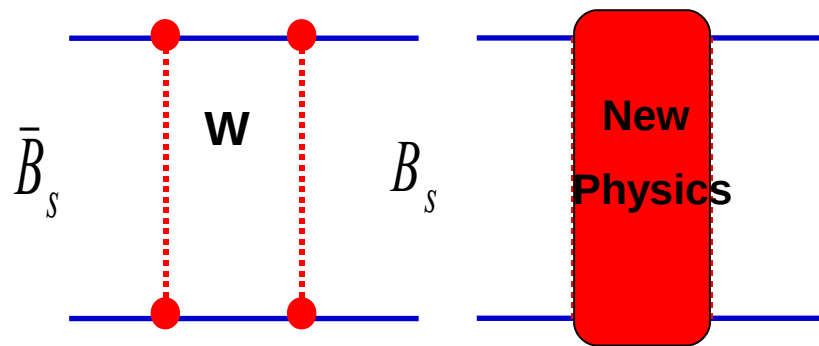
Experimenteller Status



“Smoking Gun für Neue Physik”, kann bei LHCb mit Daten von 2010 verifiziert werden.

Physik-Analyse: ~~CP~~ in $J/\psi\phi$

β_s ist Phase der Kopplungen im Mischungsdiagramm



$$A_{CP}(t) = \frac{\Gamma(\bar{B}_s \rightarrow f_{CP})(t) - \Gamma(B_s \rightarrow f_{CP})(t)}{\Gamma(\bar{B}_s \rightarrow f_{CP})(t) + \Gamma(B_s \rightarrow f_{CP})(t)} \sim \sin 2\beta_s$$

Zusätzliche Komplexität der Analyse:

$J/\psi\phi$ ist kein CP Eigenzustand, sondern eine Überlagerung von CP even und CP odd

$$P(J/\psi\phi) = P(J/\psi)P(\phi) * (-1)^l \quad \text{relativer Drehimpuls nicht eindeutig}$$

statistische seperierbar durch gleichzeitige Analyse der Winkel zwischen den Zerfallsprodukten

Winkelanalyse ...

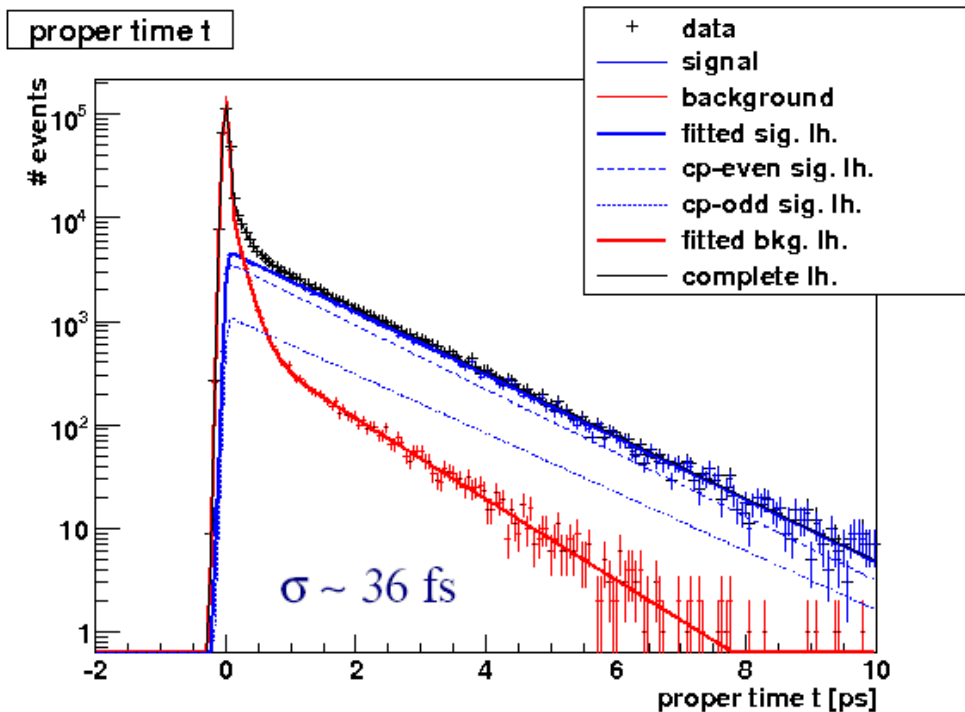
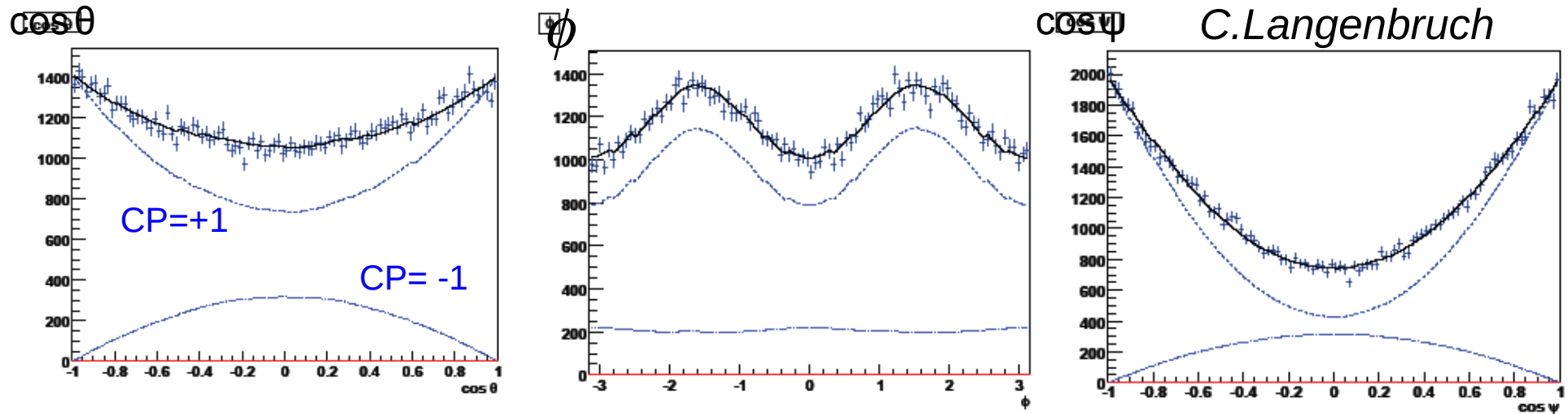
$$\frac{d^4\Gamma(\text{B}_s^0 \rightarrow \text{J}/\psi\phi)}{dt d\cos\theta d\varphi d\cos\psi} \equiv \frac{d^4\Gamma}{dt d\Omega} \propto \sum_{k=1}^6 h_k(t) f_k(\Omega)$$

$$\frac{d^4\Gamma(\bar{\text{B}}_s^0 \rightarrow \text{J}/\psi\phi)}{dt d\cos\theta d\varphi d\cos\psi} \equiv \frac{d^4\bar{\Gamma}}{dt d\Omega} \propto \sum_{k=1}^6 \bar{h}_k(t) f_k(\Omega)$$

k	$h_k(t)$	$\bar{h}_k(t)$	$f_k(\theta, \psi, \varphi)$
1	$ A_0(t) ^2$	$ \bar{A}_0(t) ^2$	$2\cos^2\psi(1 - \sin^2\theta\cos^2\varphi)$
2	$ A_{\parallel}(t) ^2$	$ \bar{A}_{\parallel}(t) ^2$	$\sin^2\psi(1 - \sin^2\theta\sin^2\varphi)$
3	$ A_{\perp}(t) ^2$	$ \bar{A}_{\perp}(t) ^2$	$\sin^2\psi\sin^2\theta$
4	$\Im\{A_{\parallel}^*(t)A_{\perp}(t)\}$	$\Im\{\bar{A}_{\parallel}^*(t)\bar{A}_{\perp}(t)\}$	$-\sin^2\psi\sin 2\theta\sin\varphi$
5	$\Re\{A_0^*(t)A_{\parallel}(t)\}$	$\Re\{\bar{A}_0^*(t)\bar{A}_{\parallel}(t)\}$	$\frac{1}{\sqrt{2}}\sin 2\psi\sin^2\theta\sin 2\varphi$
6	$\Im\{A_0^*(t)A_{\perp}(t)\}$	$\Im\{\bar{A}_0^*(t)\bar{A}_{\perp}(t)\}$	$\frac{1}{\sqrt{2}}\sin 2\psi\sin 2\theta\cos\varphi$

$$\begin{aligned}
 |\bar{A}_0(t)|^2 &= |\bar{A}_0(0)|^2 e^{-\Gamma_s t} \left[\cosh\left(\frac{\Delta\Gamma_s t}{2}\right) - \cos\Phi \sinh\left(\frac{\Delta\Gamma_s t}{2}\right) - \sin\Phi \sin(\Delta m_s t) \right] \\
 |\bar{A}_{\parallel}(t)|^2 &= |\bar{A}_{\parallel}(0)|^2 e^{-\Gamma_s t} \left[\cosh\left(\frac{\Delta\Gamma_s t}{2}\right) - \cos\Phi \sinh\left(\frac{\Delta\Gamma_s t}{2}\right) - \sin\Phi \sin(\Delta m_s t) \right] \\
 |\bar{A}_{\perp}(t)|^2 &= |\bar{A}_{\perp}(0)|^2 e^{-\Gamma_s t} \left[\cosh\left(\frac{\Delta\Gamma_s t}{2}\right) + \cos\Phi \sinh\left(\frac{\Delta\Gamma_s t}{2}\right) + \sin\Phi \sin(\Delta m_s t) \right] \\
 \Im\{\bar{A}_{\parallel}^*(t)\bar{A}_{\perp}(t)\} &= |\bar{A}_{\parallel}(0)||\bar{A}_{\perp}(0)| e^{-\Gamma_s t} \left[-\cos(\delta_{\perp} - \delta_{\parallel}) \sin\Phi \sinh\left(\frac{\Delta\Gamma_s t}{2}\right) \right. \\
 &\quad \left. - \sin(\delta_{\perp} - \delta_{\parallel}) \cos(\Delta m_s t) + \cos(\delta_{\perp} - \delta_{\parallel}) \cos\Phi \sin(\Delta m_s t) \right] \\
 \Re\{\bar{A}_0^*(t)\bar{A}_{\parallel}(t)\} &= |\bar{A}_0(0)||\bar{A}_{\parallel}(0)| e^{-\Gamma_s t} \cos\delta_{\parallel} \left[\cosh\left(\frac{\Delta\Gamma_s t}{2}\right) - \cos\Phi \sinh\left(\frac{\Delta\Gamma_s t}{2}\right) \right. \\
 &\quad \left. - \sin\Phi \sin(\Delta m_s t) \right] \\
 \Im\{\bar{A}_0^*(t)\bar{A}_{\perp}(t)\} &= |\bar{A}_0(0)||\bar{A}_{\perp}(0)| e^{-\Gamma_s t} \left[-\cos\delta_{\perp} \sin\Phi \sinh\left(\frac{\Delta\Gamma_s t}{2}\right) \right. \\
 &\quad \left. - \sin\delta_{\perp} \cos(\Delta m_s t) + \cos\delta_{\perp} \cos\Phi \sin(\Delta m_s t) \right]
 \end{aligned}$$

Vorhersage für LHCb



Erwartung:

$130k B_s \rightarrow J/\psi \phi$ events / 2 fb^{-1}

$\sigma(2\beta_s) \approx 0.03$

$\sigma(2\beta_s) \approx 0.1$ für 0.3 fb^{-1}

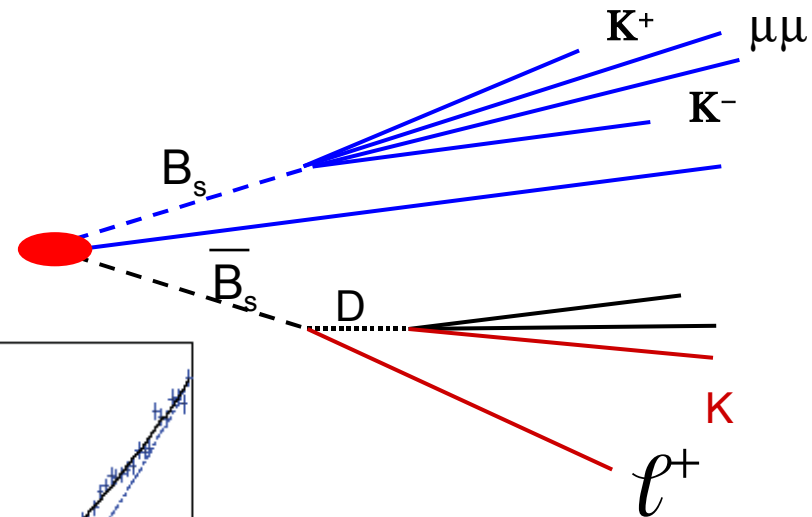
Erste LHCb Schlüsselmessung
mit Daten von 2010 durchführbar

Viele Referenzanalysen/Systematik

Bestimmung des B Produktionsflavours

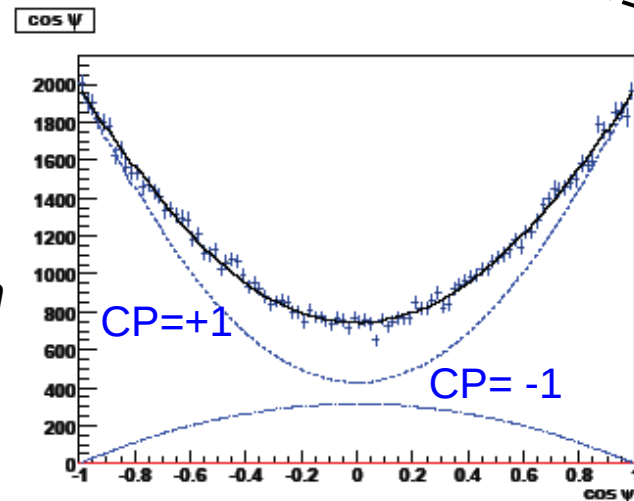
- Effizienz
- Reihnheit

Diplomarbeit Sebastian Wandernoth



Bestimmung der Winkelakzeptanz

Diplomarbeit Christian Linn

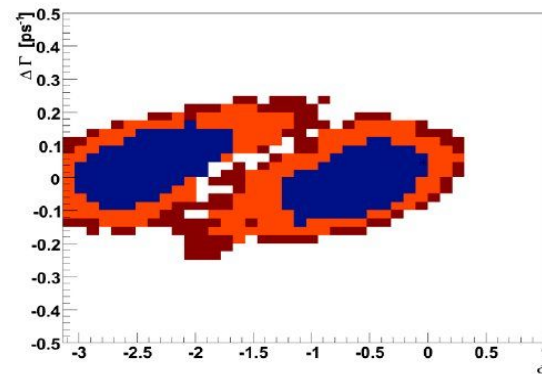


Bestimmung der Eigenzeitauflösung

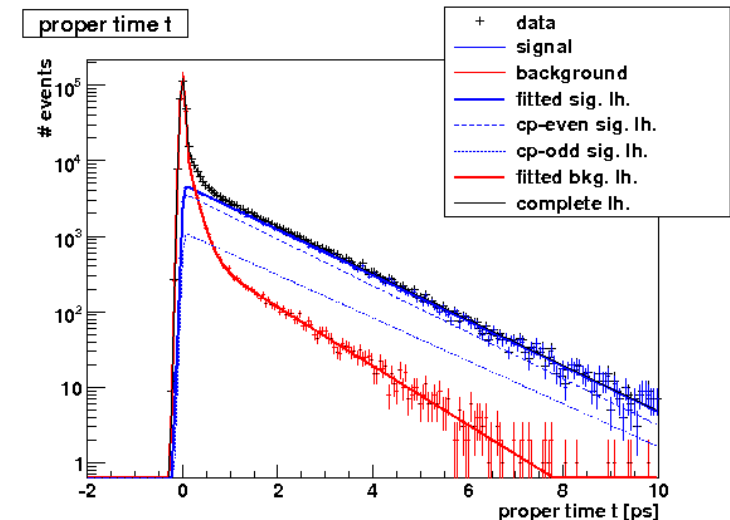
Diplomarbeit Anna Weber

Statistische Werkzeuge um Messergebnis in Konvidenz-Intervalle für β_s umzuwandeln

Diplomarbeit Alexander Bien



68% Confidence Level
90% Confidence Level
95% Confidence Level



Diplomarbeit = Wissenschaftliche Arbeit

Sichtbare
Beiträge auch in
Kollaboration mit
500 Physikern!

Monday 28 September 2009

[top](#)

- 14:00 New Velo R Algorithm (20') (Slides) Olivier Callot (LAL-Orsay)
- 14:20 HLT and the New Velo R Algorithm (20') (Slides) Georg Alexander Krocke (Physikalisches Institut-Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg-U) ,
Stephanie Hansmann-Menzemer
- 14:40 Tests with the new velo r algorithm (20') (text) David Hutchcroft (University of Liverpool)
- 15:00 PatDownStream improvements (20') (Slides) Sascha Stahl (Heidelberg)
- 15:20 Speed up of reconstruction sequence (20') (Slides) Kostya Holubyev

Thursday 17 September 2009

[top](#)

- 10:30 Introduction (10') (Slides) Olivier Leroy (CPPM-Marseille)
- 10:40 Status of Bs->PhiPhi analysis (20') (Slides) Nicholas Styles
- 11:00 Details of Bs->PhiPhi stripping and MC09 studies (20') (Slides) Sebastian Schleich (TU Dortmund)
- 11:20 Sensitivity studies for Bs -> J/psi(ee) phi (20') (Slides) Adlene Hicheur (EPLF)
- 11:40 Status of untagged Bs->JpsiPhi analysis (20') (Slides) Geraldine Conti
- 12:15 Lunch break (1h45')
- 14:00 Bs->JpsiPhi: Application of the Feldman Cousins method for low statistics (20') (Slides) Alexander Bien (Physikalisches Institut-Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg-U)
- 14:20 Status of biased+unbiased Bs->JpsiPhi selections (20') (Slides) Basem Khanji (CPPM-Marseille)
- 14:40 LHCb roadmap towards the betas measurement in the first run (25') (Slides) Gaia Lanfranchi (Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN))
- 15:05 A fancy fitter for Bs->JpsiPhi and test with MC09 data (20') (Slides) Yuehong Xie
- 15:25 Increasing the background sample in Bs->J/PsiPhi using an event-mixing method (20') (Slides) Jan Knopf (Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg)

Road map for mixing induced CP
violation in $B_s^0 \rightarrow J/\psi \phi$ at LHCb

Ergebnisse der Diplomarbeit werden
regelmäßig in auf kollaborationsinternen
Konferenzen vorgestellt!

J. Albrecht¹, S. Amato², M. Calvi³, A. Carboni⁴, B. Clarke⁵, L. de Paula², T. du Pree⁶, B. Khanji⁷,
C. Langenbruch⁸, G. Lanfranchi⁸, C. Linn¹, S. Hansmann-Menzemer¹, A. Hicheur⁹, O. Leroy⁷,
F. Muehle¹⁰, M. Musy¹⁰, S. Poss⁷, G. Raven⁹, A. Satta¹¹, B. Souza de Paula¹², U. Uwer¹, S. Vecchi⁴,
Y. Xie⁵

¹Physikalisches Institut, Universität Heidelberg, Germany

²LAFE/IF - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brazil

³University of Milano-Bicocca and INFN, Milano, Italy

⁴INFN - Bologna, Italy

⁵University of Edinburgh, UK

⁶Nikhef, Amsterdam, The Netherlands

⁷CPPM, Aix-Marseille Université, CNRS/IN2P3, Marseille, France

⁸INFN - Laboratori Nazionali di Frascati, Italy

⁹EPLF, Lausanne, Suisse

¹⁰Universitat de Barcelona, Spain

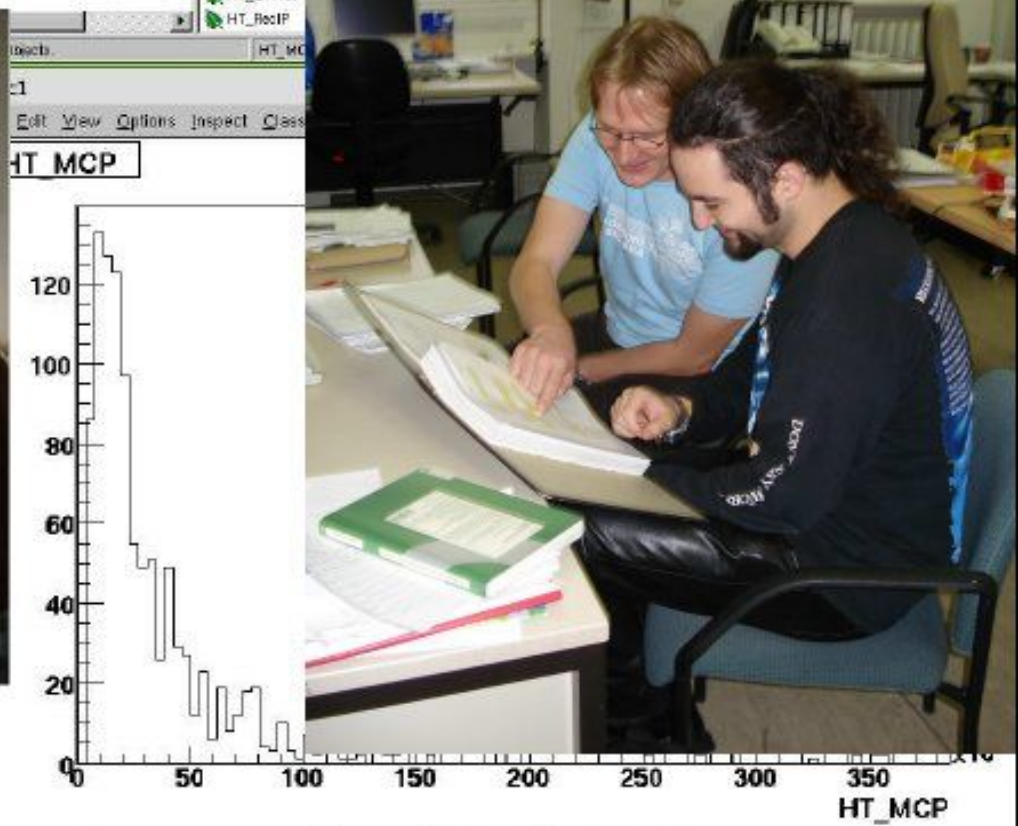
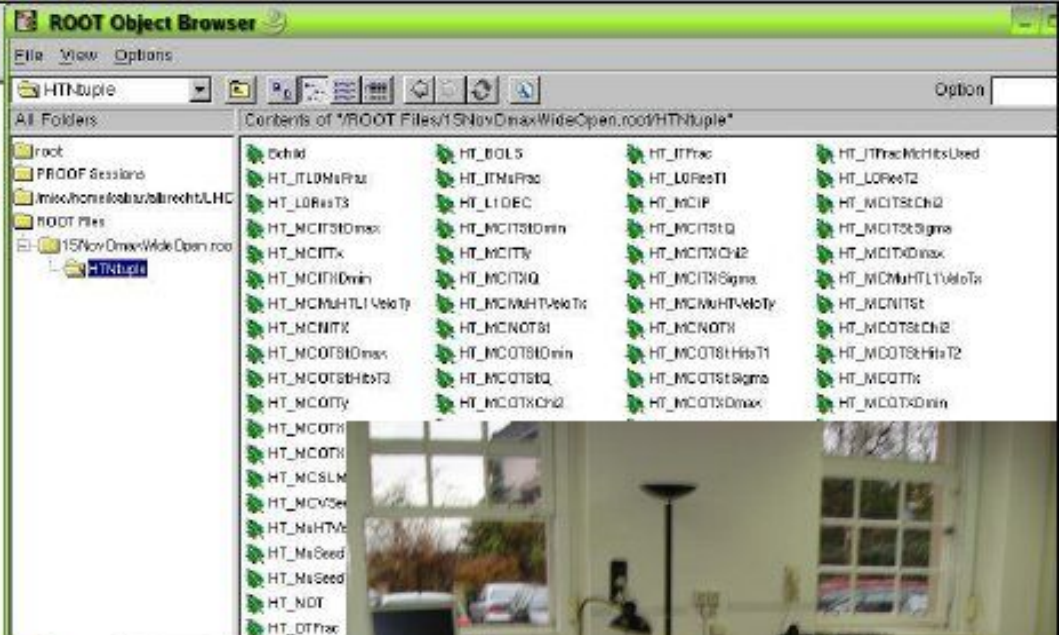
¹¹INFN Roma Tor Vergata, Italy

¹²Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas, Brazil


```
albrecht@mu:/...ool/macrosMuonSeed - Shell - Konsole
Session Edit View Bookmarks Settings Help

ru-r-r- 1 albrecht babar 26 2006-11-27 12:17 chain
ru-r-r- 1 albrecht babar 42 2006-11-23 11:33 chain
ru-r-r- 1 albrecht babar 59 2006-09-06 09:26 chain_nuit
ru-r-r- 1 albrecht babar 43 2006-08-23 18:08 chain_nuit
ru-r-r- 1 albrecht babar 123 2006-11-06 09:55 execution_nuit
ru-r-r- 1 albrecht babar 4006 2006-11-04 17:46 execution_nuit.ps
ru-r-r- 1 albrecht babar 9438 2006-11-04 20:09 L0SeedPtres.gif
ru-r-r- 2 albrecht babar 168 2006-08-23 17:06 lib
ru-r-r- 1 albrecht babar 2687 2006-08-23 17:06 Makefile
ru-r-r- 1 albrecht babar 2681 2006-08-23 17:06 Makefile
ru-r-r- 1 albrecht babar 2794 2006-08-23 17:20 missingVariables.txt
ru-r-r- 1 albrecht babar 453638 2006-08-30 10:22 MuonSeedSingleTrack_1k.ps
ru-r-r- 1 albrecht babar 428218 2006-08-30 10:24 MuonSeedSingleTrack_1xHitT3_1
...
ru-r-r- 1 albrecht babar 10789 2006-08-24 13:43 ntrkMuonSeed.ps
ru-r-r- 1 albrecht babar 81564 2006-12-06 09:08 out.root
ru-r-r- 1 albrecht babar 15216 2006-11-04 19:48 performance.gif
ru-r-r- 1 albrecht babar 8643 2006-11-04 19:47 performance.png
ru-r-r- 2 albrecht babar 1992 2006-11-07 11:27 perfTest
ru-r-r- 1 albrecht babar 63038 2006-10-27 16:22 print.ps
ru-r-r- 1 albrecht babar 7911 2006-11-04 20:08 p4REs.gif
ru-r-r- 1 albrecht babar 6832 2006-11-04 19:43 purity.png
ru-r-r- 2 albrecht babar 1328 2006-11-07 11:50 Rootfiles_cutsV1
ru-r-r- 1 albrecht babar 399 2006-11-28 14:14 run.C
ru-r-r- 1 albrecht babar 395 2006-11-15 10:46 run.C
ru-r-r- 1 albrecht babar 622 2006-12-06 09:02 ...
```

Die tägliche Arbeit ...



Diplomarbeit bei LHCb ...

Breites Themenspektrum

- Detektorkalibration + Alignment
- Systematik der Spurrekonstruktion
- Datenanalyse
 - K , Λ , J/ψ , D Produktion
 - CPV in $B_s \rightarrow J\text{-}\psi\phi$ sowie
 - Leptonflavor Verletzung & Rare Decays

Mitarbeit in internationaler Kollaboration (500 Physiker)

- Internationalität
- Regelmäßige Genf-Reisen: Ergebnis-Präsentation und Diskussionen
- Hohe Sichtbarkeit Ihrer Arbeit
- Sprungbrett für Doktorarbeit

Heidelberger Gruppe

- Relativ große LHCb Gruppe
- Viele unterschiedliche Beiträge
- Kernkompetenz: Spurrekonstruktion

... unsere Aufgabe

