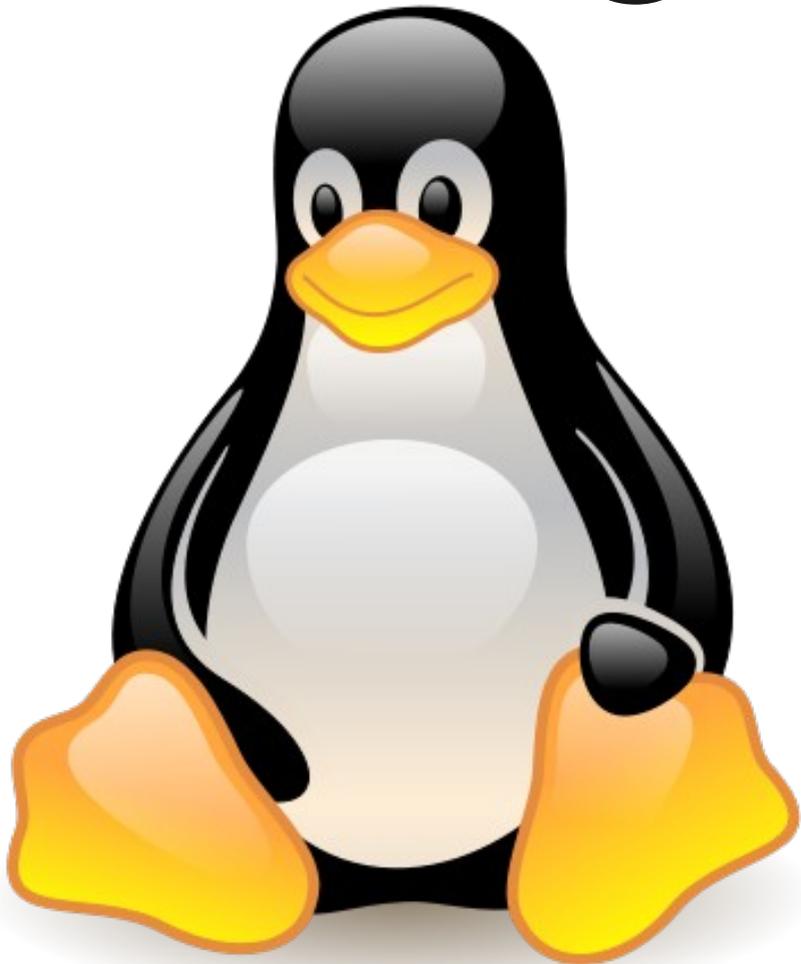


Pinguin Zerfälle



INHALTSVERZEICHNIS

Das Standardmodell

Teilchen & Kräfte

CP-Verletzung & CKM-Matrix

Vor- & Nachteile

Neue Physik

KEK B-Fabrik

Das Belle Experiment

Der Belle Detektor

Neue Physik mit dem Pinguin Zerfall

Erster Pinguin bei CLEO

Pinguine bei Belle

Ergebnisse

Zusammenfassung, Quellen



DAS STANDARDMODELL

Teilchen:

Bosonen

Ganzzahliger Spin

Fermionen

Halbzahliger Spin

12 Elementarteilchen

Alle Spin $\frac{1}{2}$

6 Quarks

Farbladung

Elektrische Ladung

Schwache Ladung

6 Leptonen

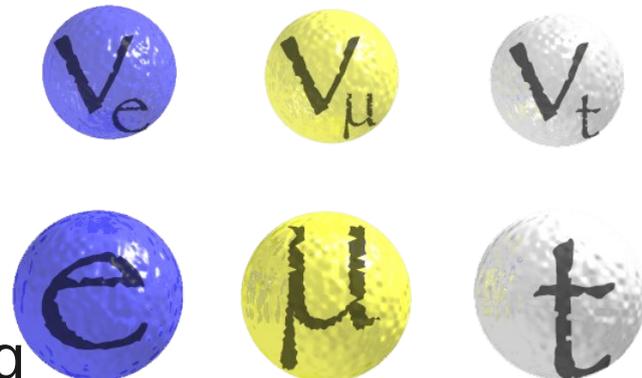
Schwache Ladung

e, μ , τ : Elektrische Ladung

Quarks:



Leptonen:



AUSTAUSCHTEILCHEN



Photon
(Elektromagnetische WW)



W- & Z-Bosonen
Schwache WW

Wechselwirkungen:

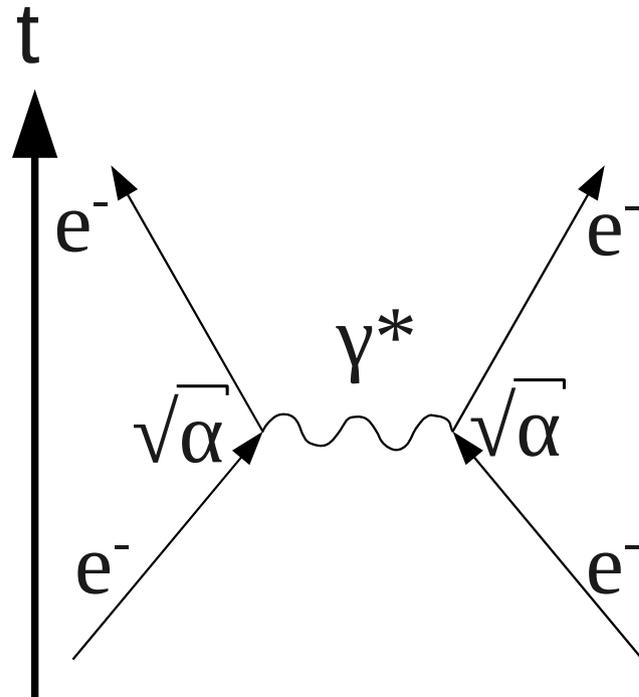
- Werden vermittelt durch Austauschteilchen
- Quantentheorie: $\Delta E \cdot \Delta t \leq \hbar \Leftrightarrow \Delta M \cdot \Delta t \leq \hbar / c^2$
=> Für kurze Zeit können Teilchen mit beliebiger Masse entstehen (Energieunschärfe)
- Dies sind virtuelle Teilchen



AUSTAUSCHTEILCHEN

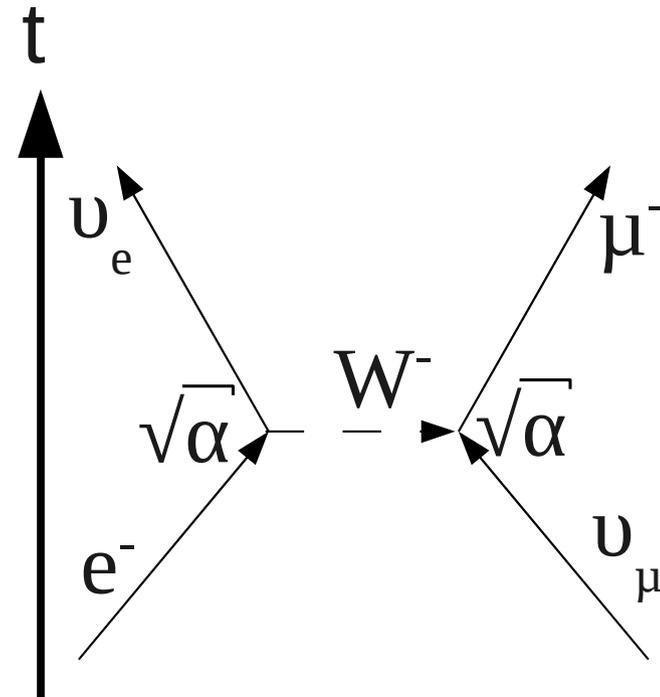
Beispiel 1:

Die Coulomb Wechselwirkung:



Beispiel 2:

Die schwache Wechselwirkung:



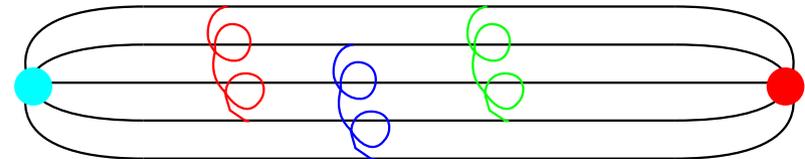
AUSTAUSCHTEILCHEN

8 Gluonen:

$$\begin{array}{ccc}
 \frac{1}{\sqrt{2}}|r\bar{r}-g\bar{g}\rangle & |g\bar{r}\rangle & |b\bar{r}\rangle \\
 |r\bar{g}\rangle & & |b\bar{g}\rangle \\
 |r\bar{b}\rangle & |g\bar{b}\rangle & \frac{1}{\sqrt{6}}|r\bar{r}+g\bar{g}-2b\bar{b}\rangle
 \end{array}$$

Starke Wechselwirkung:

- Gluonen
- Haben Farbladung
- Wechselwirken mit sich selbst
=> Sind an Confinement gebunden



MAKOTO KOBAYASHI

Makoto Kobayashi (小林 誠)

- Geboren 07.04.1944 in Nagota
 - Postulierte aufgrund der CP Verletzung der schwachen WW 1973 in seinem Artikel "CP Violation in the Renormalizable Theory of Weak Interaction" eine 3. Quark Familie.
 - Wurde 1977 am Fermilab entdeckt.
 - Erhielt 2008 zusammen mit **Toshihide Masukawa (益川 敏英)** und **Yōichirō Nambu (南部 陽一郎)** den Physik Nobelpreis
- Arbeitet am KEK



CP-VERLETZUNG

Ist die Welt symmetrisch unter Spiegelung (P) und Ladungskonjugation (C)?

- 1956 Wu-Experiment von Chien-Shiung Wu
 - => Zerfall von ^{60}Co nicht spiegelsymmetrisch
 - => Paritätsverletzung der schwachen Wechselwirkung
- CP-Verletzung nachgewiesen am Kaonenzerfall
- Es gibt 2 Kaonenzustände:
 - $K_{0,+} \rightarrow \pi \pi$ nach $0,9 \cdot 10^{-10}\text{s}$ (Größerer Phasenraum)
 - $K_{0,-} \rightarrow \pi \pi \pi$ nach $518 \cdot 10^{-10}\text{s}$ (Kleinerer Phasenraum)
- Nach 10^{-8}s sind alle $K_{0,+}$ zerfallen.
- Alle übrigen Ks zerfallen in 3 Pionen
- Auch nach dieser Zeit 2-Pionen-Zerfälle beobachtet
 - => CP-Verletzung



CKM-MATRIX

Annahme: N Familien

- N^2 reelle und N^2 komplexe Parameter
 $\Rightarrow 2N^2$ Parameter
 - CKM-Matrix unitär
 $\Rightarrow N^2$ Parameter festgelegt
- $$\begin{bmatrix} V_{ud} & V_{us} & V_{ub} \\ V_{cd} & V_{cs} & V_{cb} \\ V_{td} & V_{ts} & V_{tb} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,974 & 0,255 & 0,003 \\ 0,225 & 0,973 & 0,041 \\ 0,008 & 0,040 & 0,999 \end{bmatrix}$$
- N^2 Parameter frei
 - Phase des Quark-Feldes bis auf eine globale Phase
 $\Rightarrow 2N - 1$ Parameter irrelevant
 - $(N - 1)^2$ Parameter übrig
 $\Rightarrow N(N - 1) / 2$ Rotationswinkel in N Dimensionen,
 $(N - 1)(N - 2) / 2$ komplexe Phasen

Komplexe Phasen verursachen CP Verletzung.

N	2	3
Rotationswinkel	1	3
komplexe Phasen	0	1



CKM-MATRIX

Wolfenstein Parametrisierung:

- Wahl der Parameter:

$$\lambda = 0,2253; \quad A = 0,808; \quad \rho = 0,132; \quad \eta = 0,341$$

$$V = \begin{bmatrix} 1 - \frac{\lambda^2}{2} & \lambda & A\lambda^3(\rho - i\eta) \\ -\lambda & 1 - \frac{\lambda^2}{2} & A\lambda^2 \\ A\lambda^3(1 - \rho - i\eta) & -A\lambda^2 & 1 \end{bmatrix} + O(\lambda^4)$$
$$= \begin{bmatrix} 0,975 & 0,255 & 0,001 - 0,003i \\ -0,225 & 0,975 & 0,051 \\ 0,008 - 0,003i & -0,051 & 1 \end{bmatrix} + O(\lambda^4)$$



Für Fehlerangaben Siehe PDG Booklet 11.26.

DAS STANDARDMODELL



- QED, schwache WW und QCD
- Fast alle Beobachtungen erklärbar
- Stimmt sehr genau mit den gemessenen Werten überein

- Benötigt 18 Parameter
- Massen der Teilchen und angeregter Zustände können nicht oder nur ungenau berechnet werden
- Erklärt nicht die Existenz der 3 Familien
- Bindet die Gravitation nicht ein

=> GUT-Modelle (Große Vereinheitlichende Theorien)



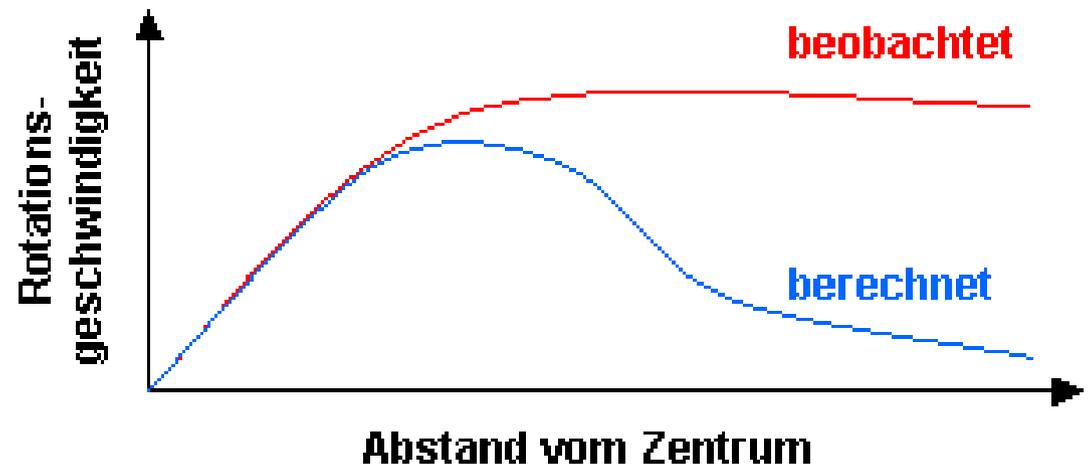
NEUE PHYSIK

Wir wissen heute, es gibt Physik jenseits des Standardmodells
"Neue Physik":

Beispiel 1:

Dunkle Materie

- Galaxien rotieren außen schneller als man durch die Gravitation der Sterne erwartet.
- Dunkle Materie
- In Standardmodell nicht vorhanden.



NEUE PHYSIK

Beispiel 2:

Es gibt Neutrino Oszillation.

- Neutrinos haben eine Masse.
- Neutrinos haben eine Geschwindigkeit $< c$.
- Es gibt ein Bezugssystem, das schneller ist, als das Neutrino.
- In diesem Bezugssystem kehrt sich die Richtung des Impulses um.
- Damit kehrt sich die Helizität um.
- d.h. es gibt möglicherweise rechtshändige Kopplungen an Neutrinos.
- Mögliche Verletzung des Standardmodells.



NEUE PHYSIK

Frage: Was könnte die neue Physik sein?

- 4. Familie
- Extra Dimensionen
- Supersymmetrie (SUSY)
- Rechtshändige W-Bosonen

Frage: Wie kann man neue Physik erforschen?



KEK B-FABRIK

高エネルギー加速器研究機構 :

Gesprochen:
kō-enerugī kasokuki kenkyū-kikō

- Nationales Kernforschungszentrum in Japan
- Zur Erforschung der Kern- und Teilchenphysik sowie der Material- und Biowissenschaften
- Gegründet 1954
- Seit 1998: Beinhaltet die KEK B-Fabrik
- Juni 1999 bis Juni 2010: Belle Experiment
- Ab 2014: Belle-II Experiment



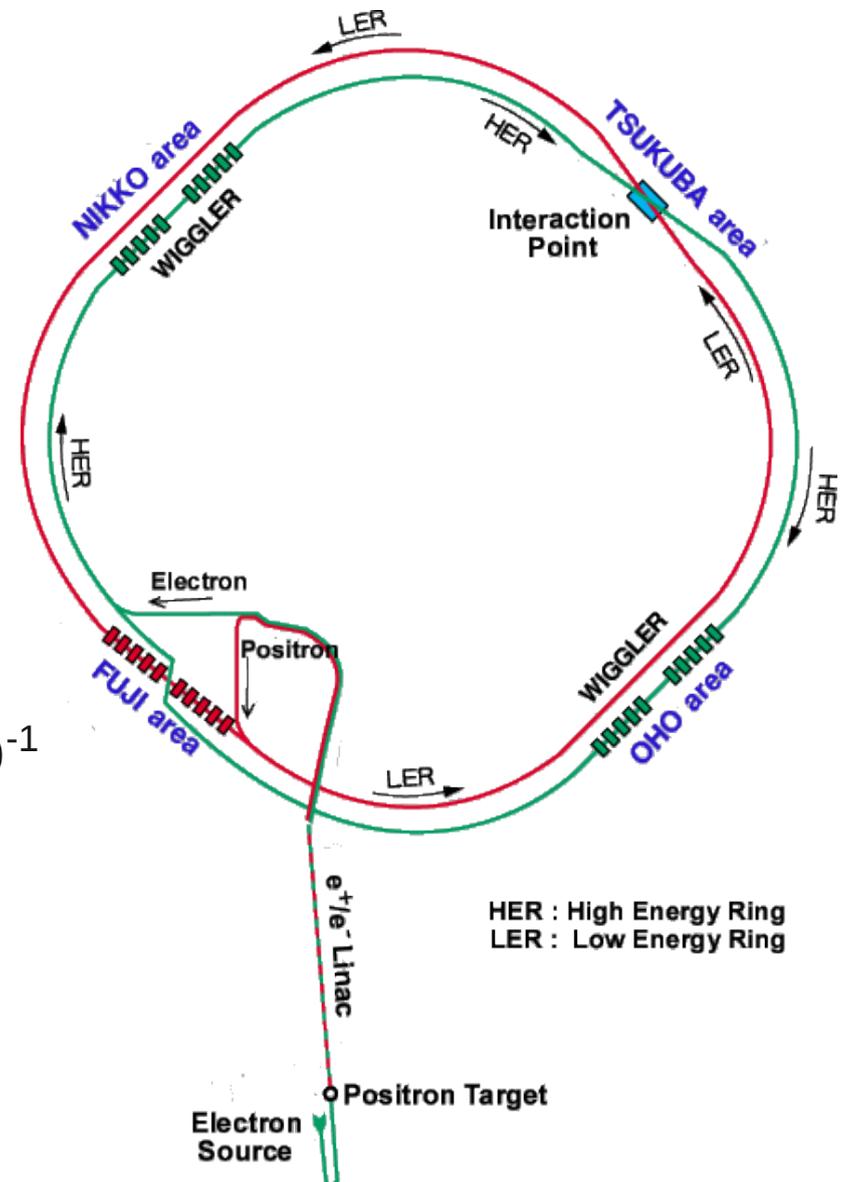
Mount Tsukuba 筑波山 (877m)



KEK B-FABRIK

KEKB-Beschleuniger:

- 3 km Linearbeschleuniger
- Ring Umfang: 3 km
- 8 GeV e^- mit 3,5 GeV e^+
- Schwerpunktenergie:
- 10.58 GeV
- Luminosität: $2,1 \cdot 10^{34} \frac{1}{\text{cm}^2 \text{sec}}$
- Welt Rekord
- Integrierte Luminosität: $> 1041 \text{ fb}^{-1}$
- Energieverlust pro Umdrehung:
3,5 MeV (e^-) 1,5 MeV (e^+)
- Leistung (gesamt): 8,5 MW



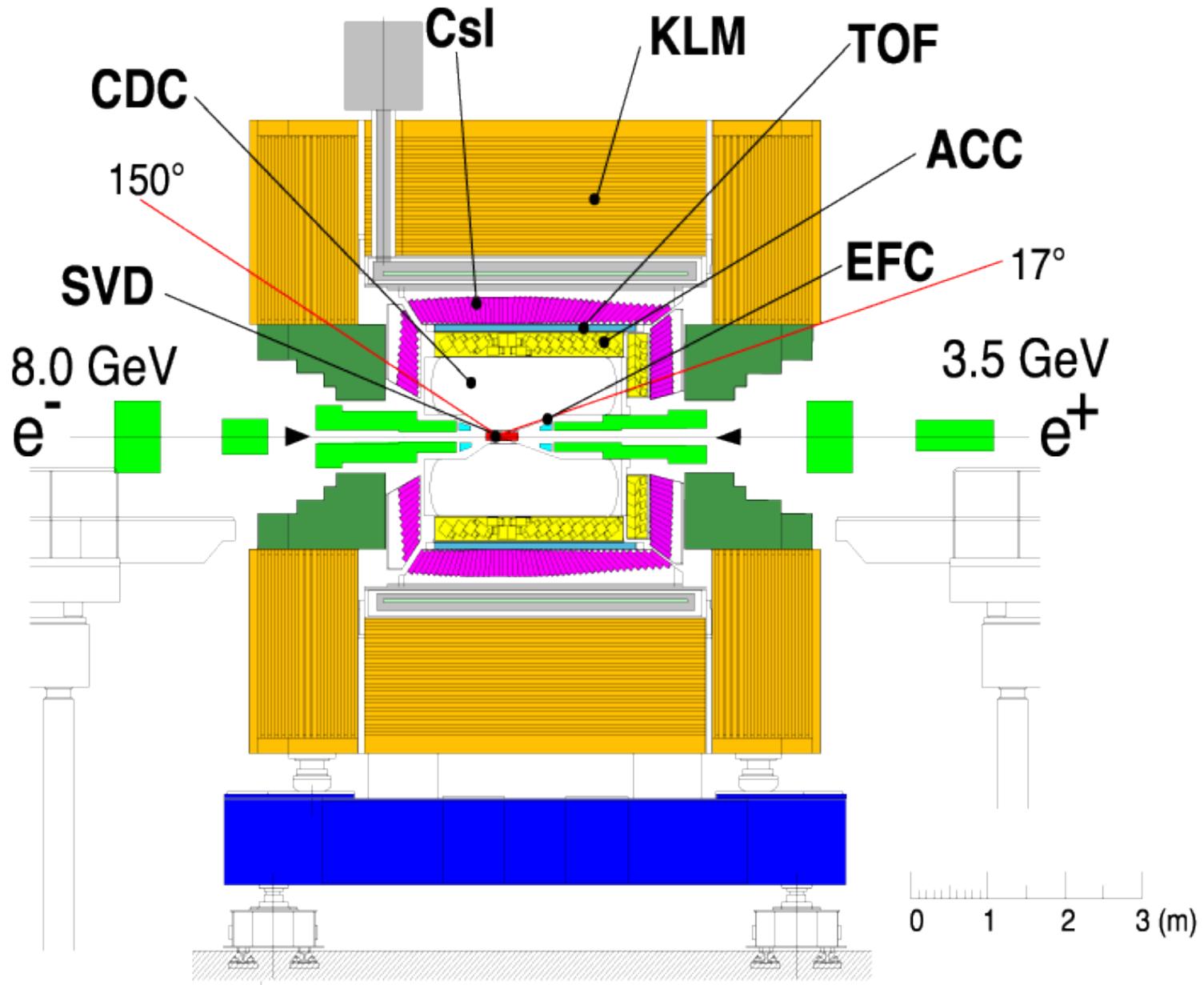
DAS BELLE EXPERIMENT

Ziele des Experiments:

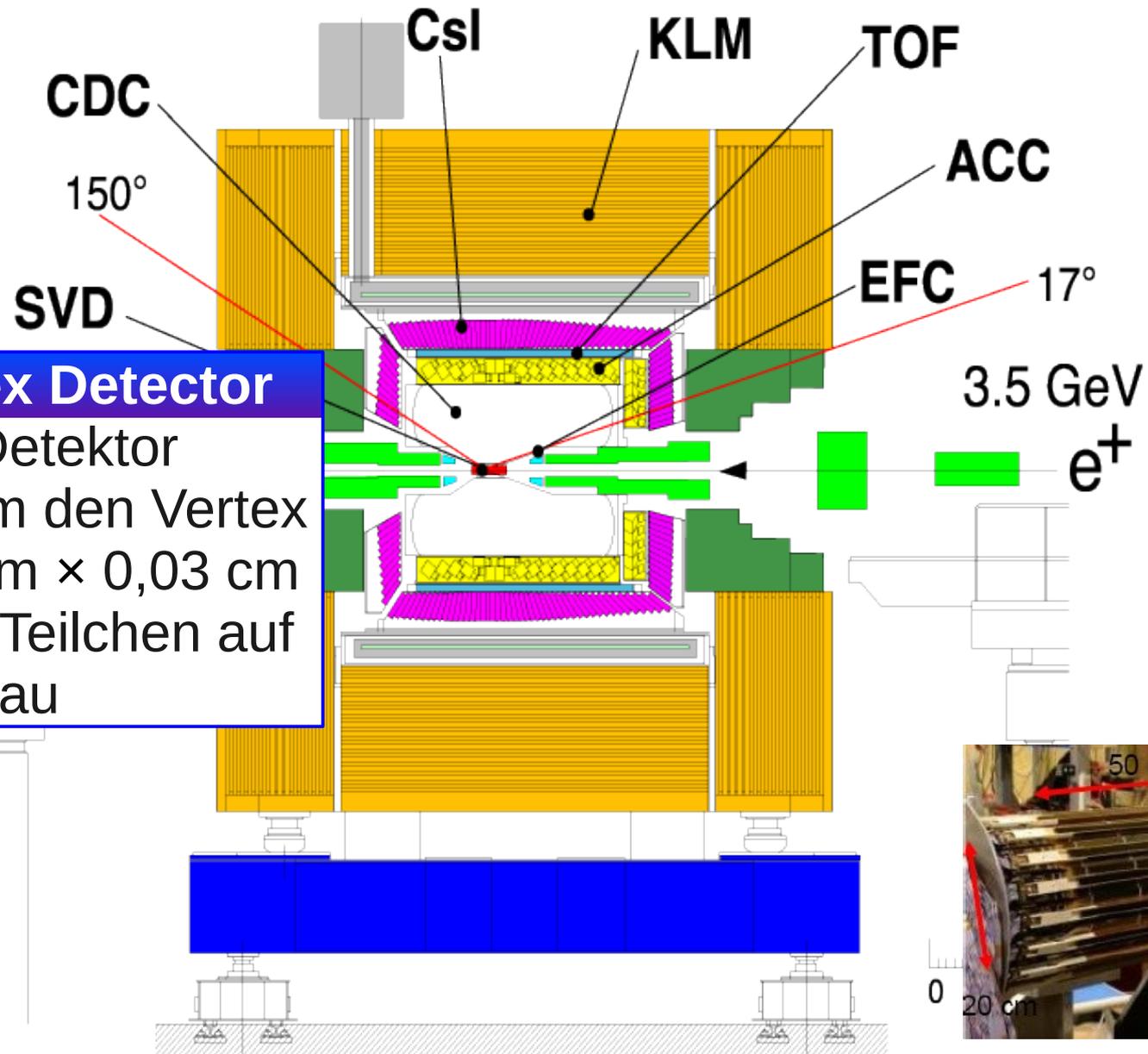
- Untersuchung der CP-Verletzung in B-Mesonen Zerfällen
- Besseres Verständnis der CP-Verletzung
- Tritt bei der Schwachen Wechselwirkung auf.
- Nachgewiesen 1964 durch den Zerfall von Kaonen



DER BELLE DETEKTOR

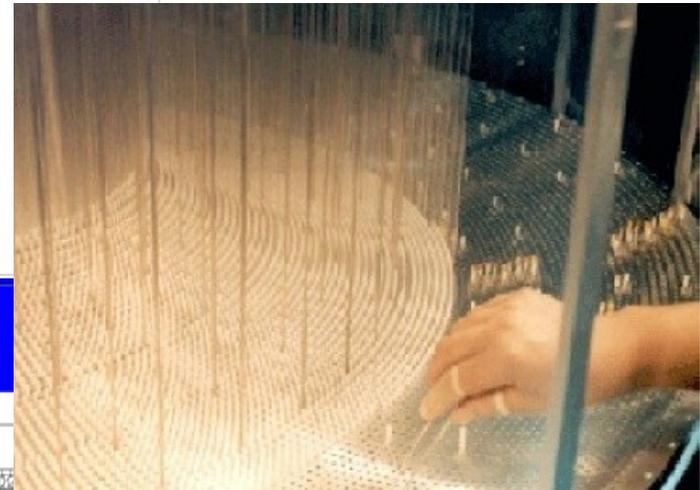
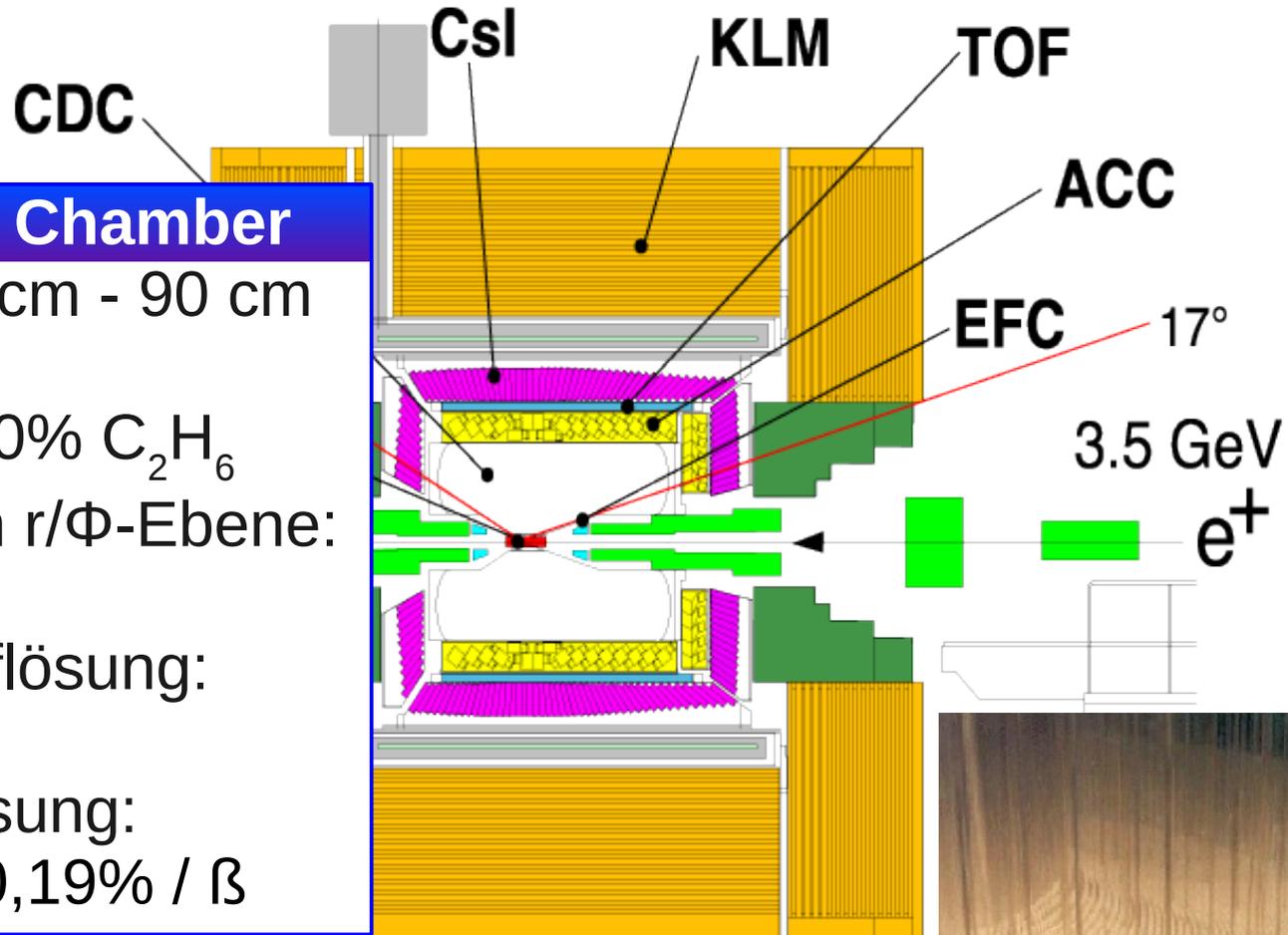


DER BELLE DETEKTOR



DER BELLE DETEKTOR

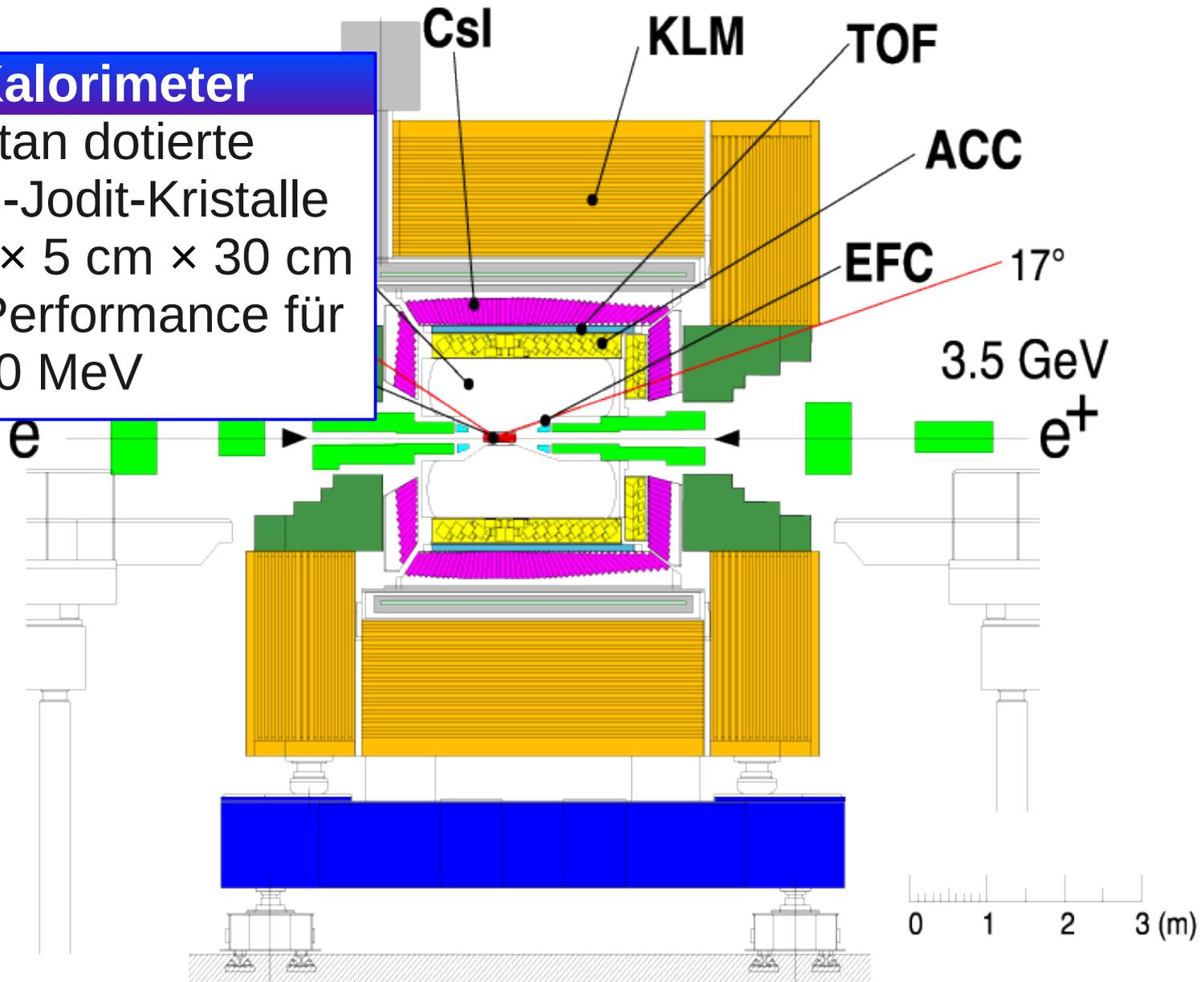
- ## Central Drift Chamber
- Radius: 8,5 cm - 90 cm
 - Gasmix:
50% He + 50% C₂H₆
 - Auflösung in r/φ-Ebene:
130 μm
 - dE / dx - Auflösung:
5,3%
 - Impulsauflösung:
0,17%·p_t + 0,19% / β



DER BELLE DETEKTOR

EM-Kalorimeter

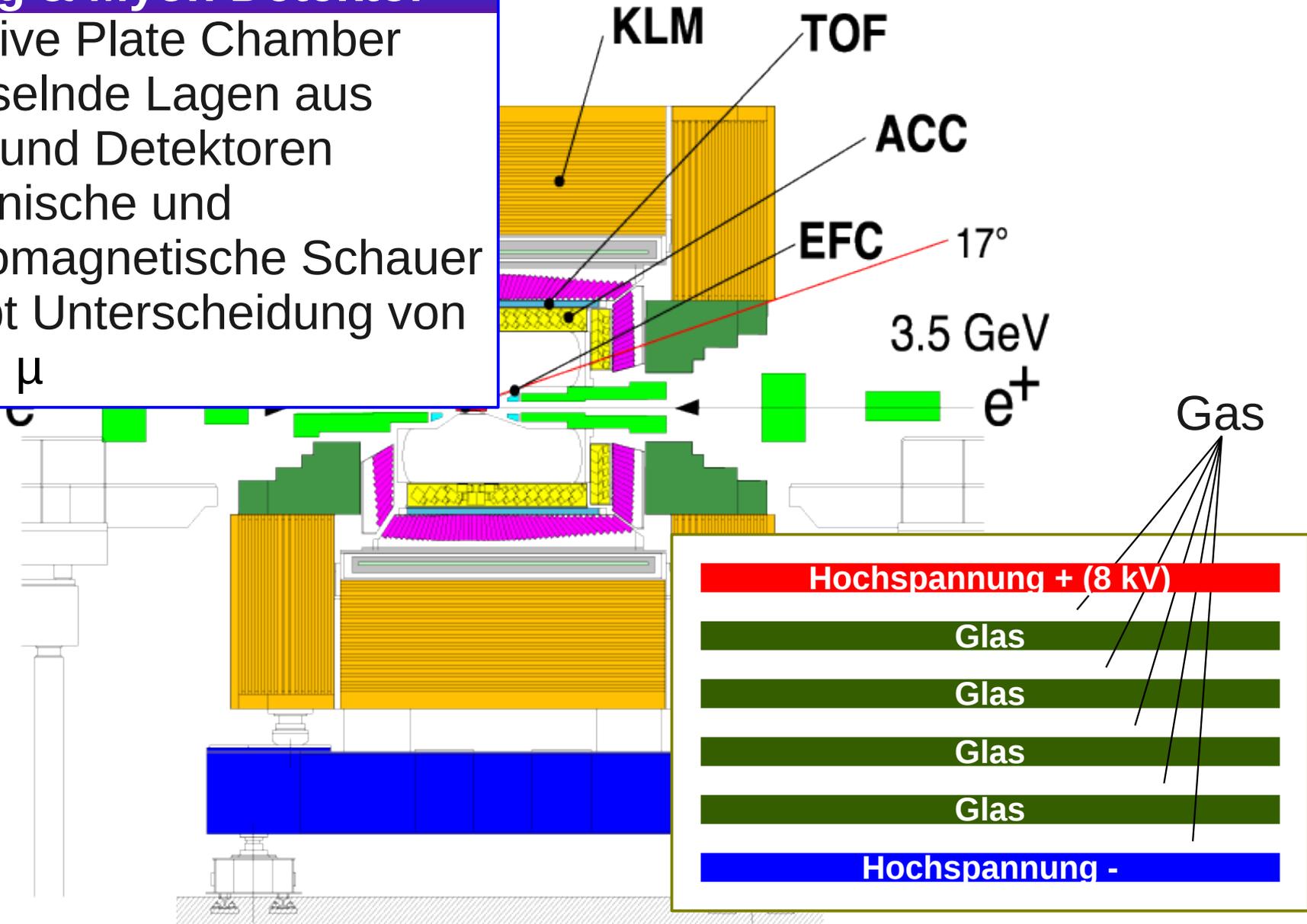
- 8763 Titan dotierte Cäsium-Jodit-Kristalle
- á 5 cm × 5 cm × 30 cm
- Beste Performance für $E_\gamma < 500$ MeV



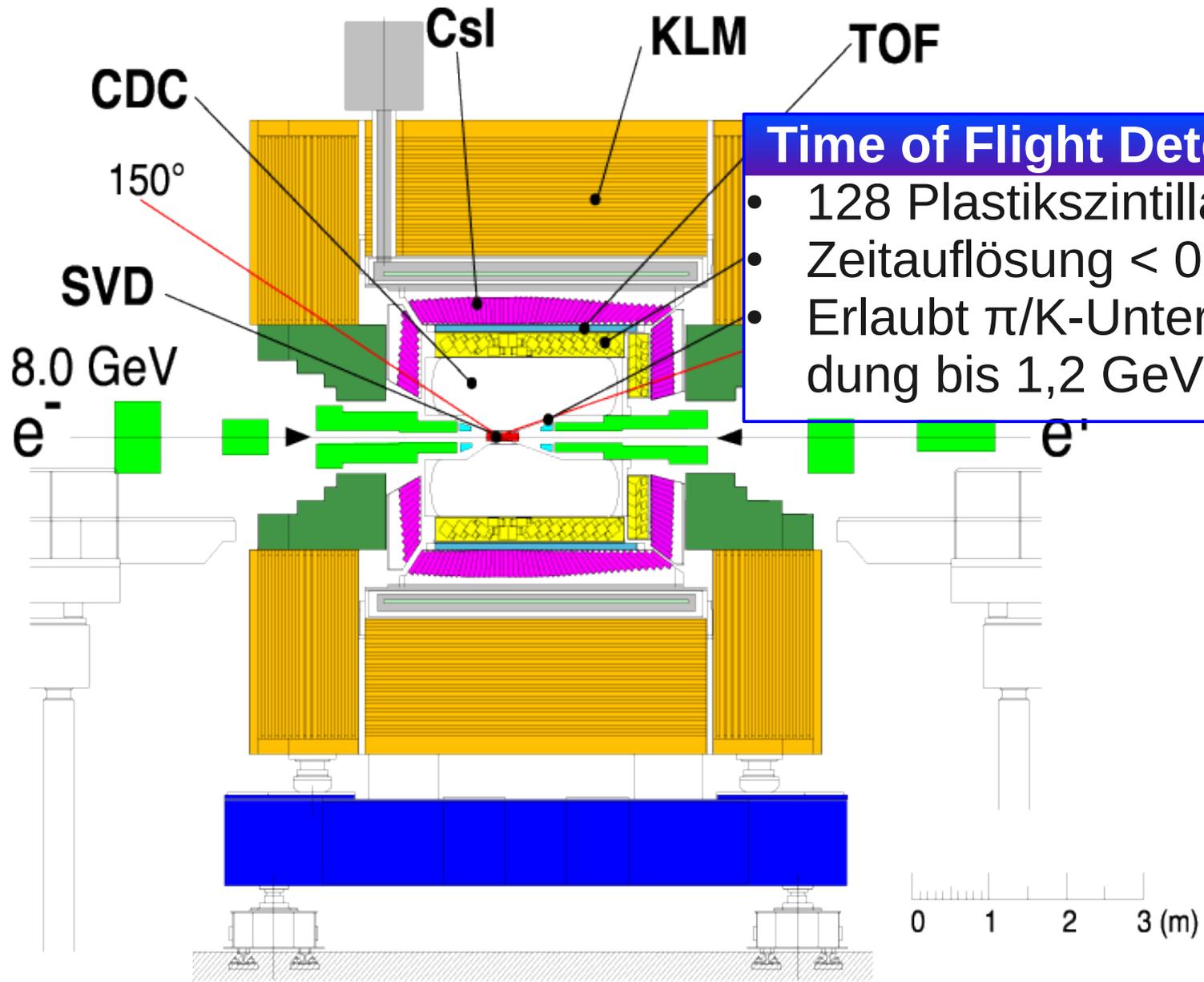
DER BELLE DETEKTOR

K_long & Myon Detektor

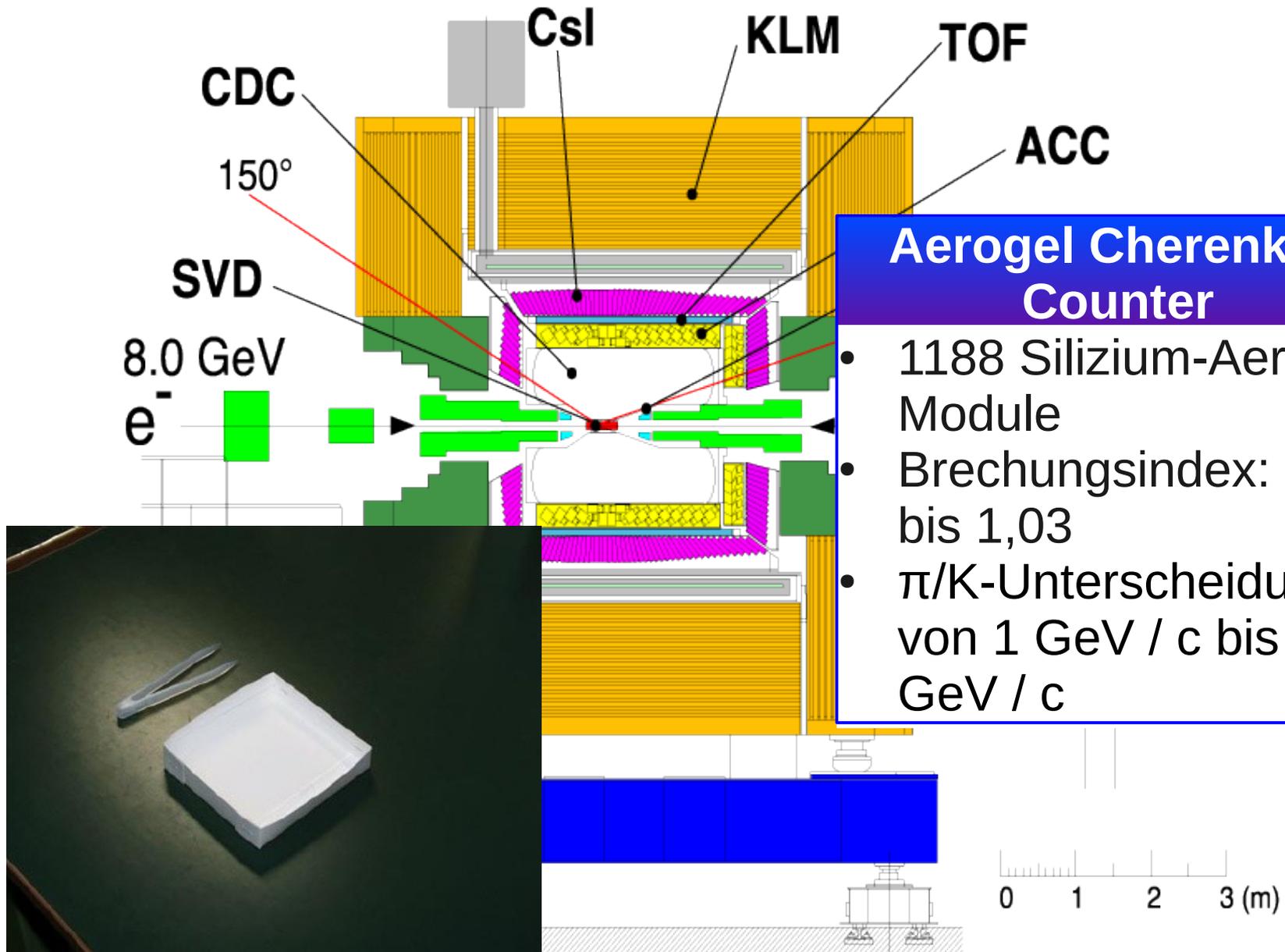
- Resistive Plate Chamber
- Wechselnde Lagen aus Eisen und Detektoren
- Hadronische und elektromagnetische Schauer
- Erlaubt Unterscheidung von K_L , π^\pm , μ



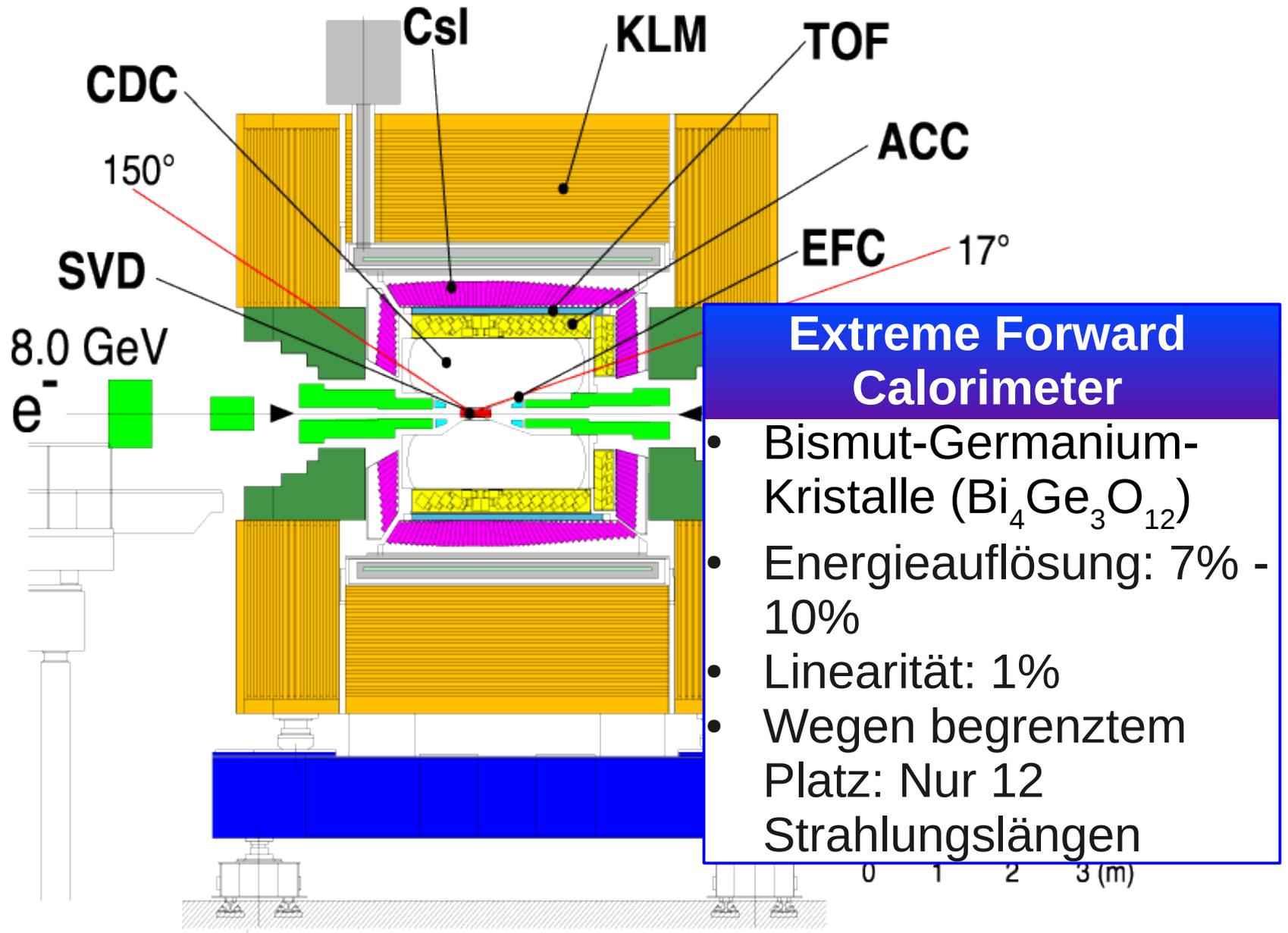
DER BELLE DETEKTOR



DER BELLE DETEKTOR



DER BELLE DETEKTOR



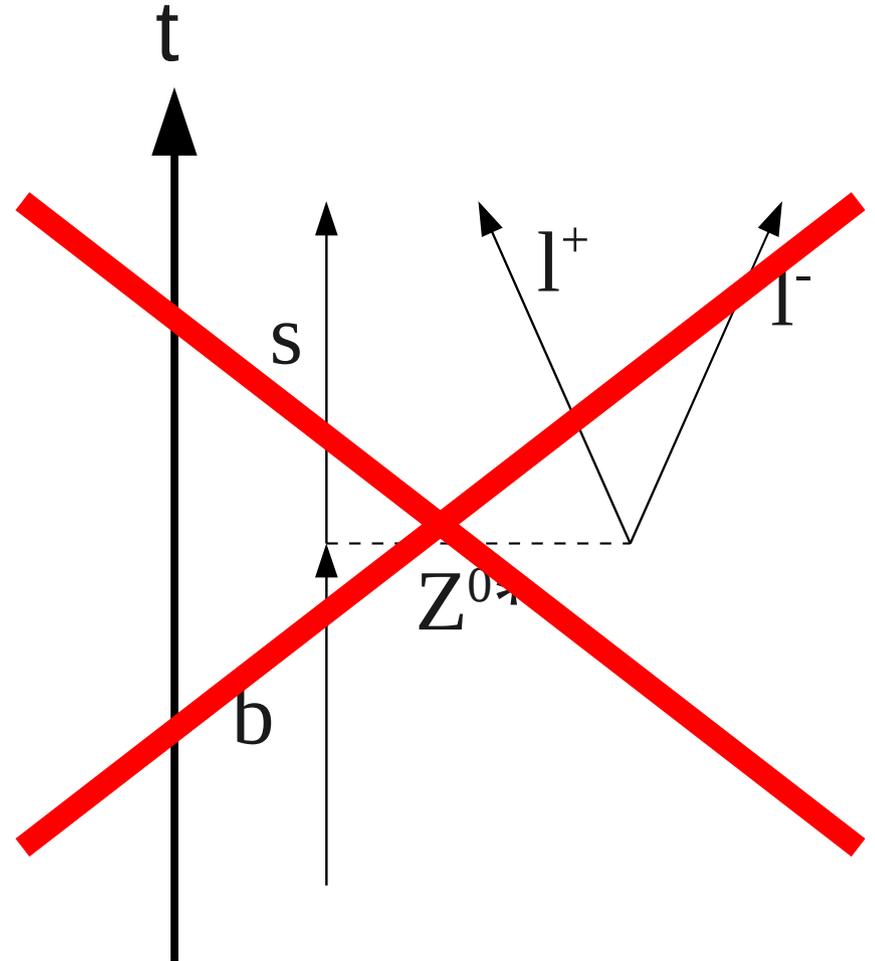
DER PINGUIN-ZERFALL

Was benötigen wir noch um neue Physik zu finden?

- Seltenes Ereignis
- Wenig Untergrund
- Gut triggerbar

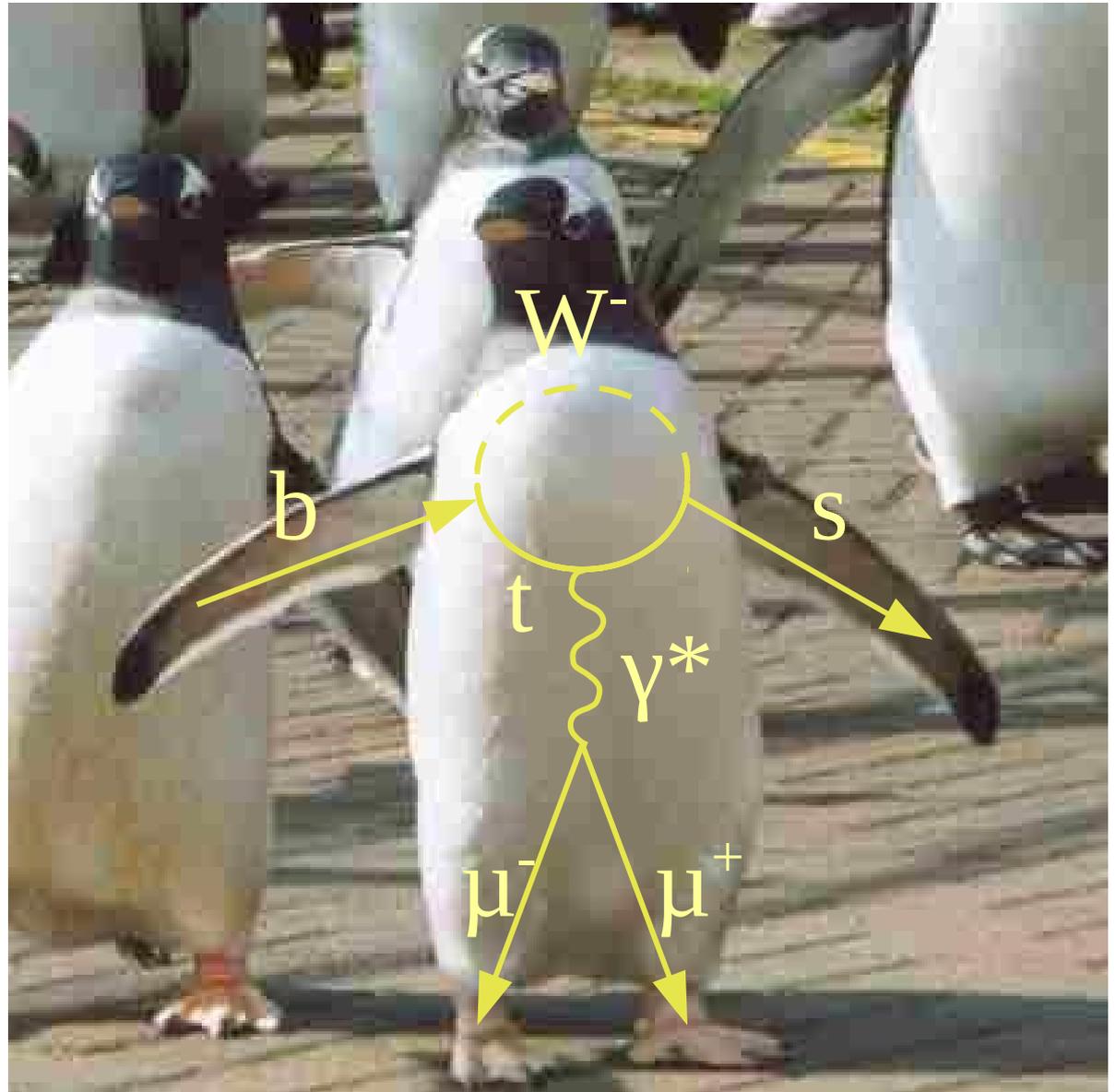
- Sensitiv auf neue Physik
- Suche nach schweren bisher unbeobachteten Teilchen
- Möglichst wenig Unterdrückung von diesen

- Möglichst geringe theoretische Unsicherheiten



DER PINGUIN-ZERFALL

- Zerfall eines b-Quarks in ein s-Quark über ein Pinguin-Diagramm
- Bezeichnung stammt vom britischen Physiker John Ellis
- Dieser wettete, er würde in seiner nächsten Veröffentlichung das Wort "Pinguin" verwenden, wenn er beim Dart verliert.



ERSTER PINGUIN

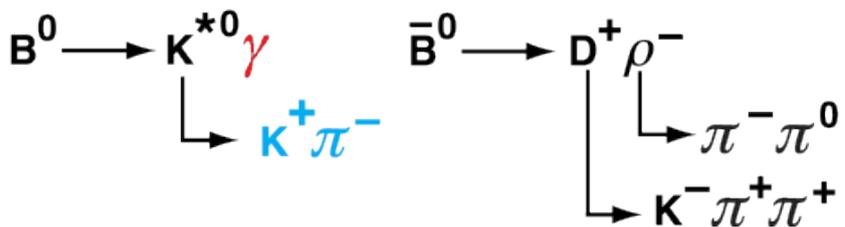
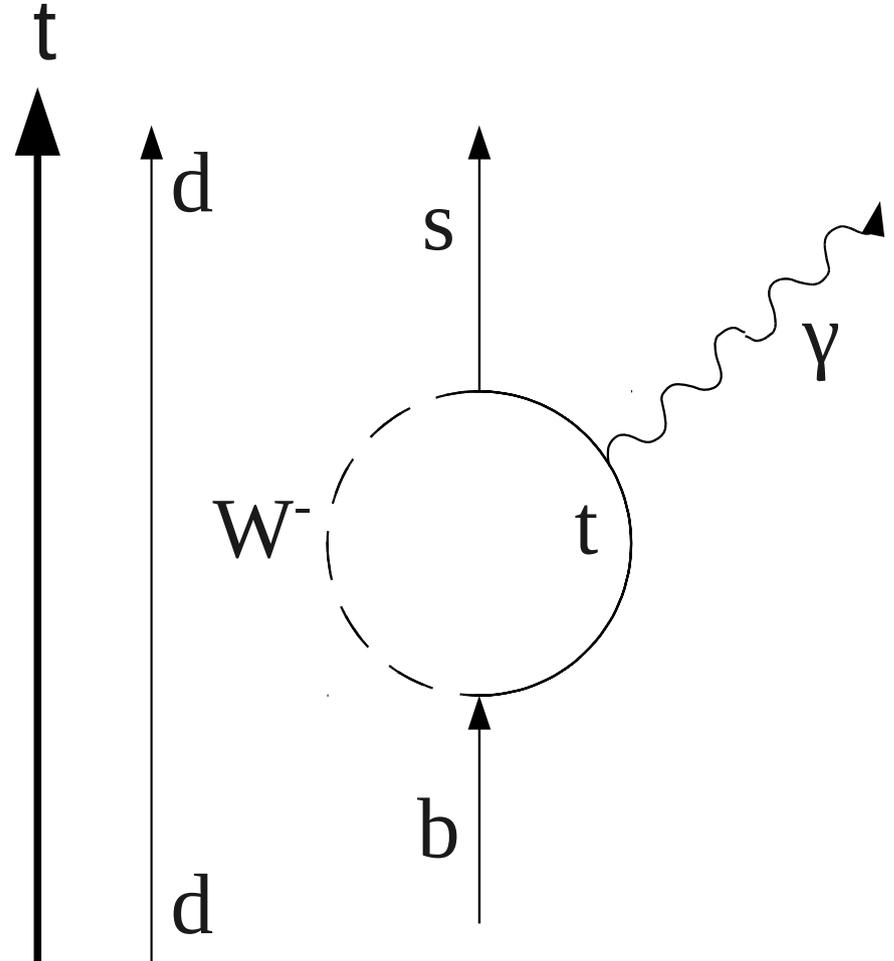
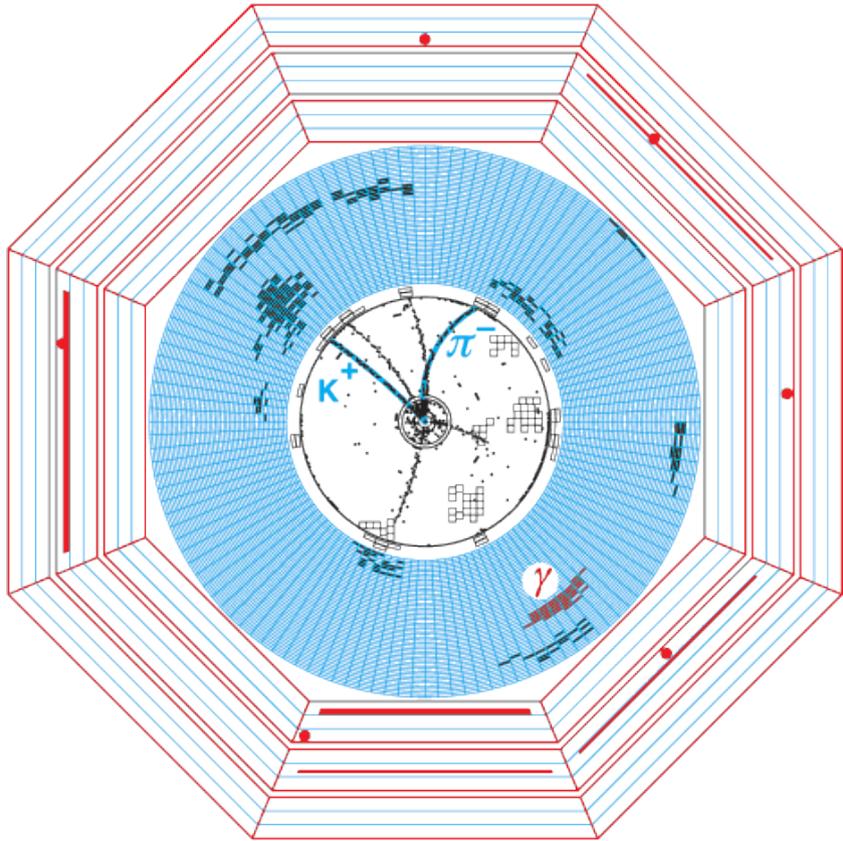
Radiative Penguin Event

Run: 47779

CLEO XD

2230595-004

Event: 16528



DER PINGUIN-ZERFALL

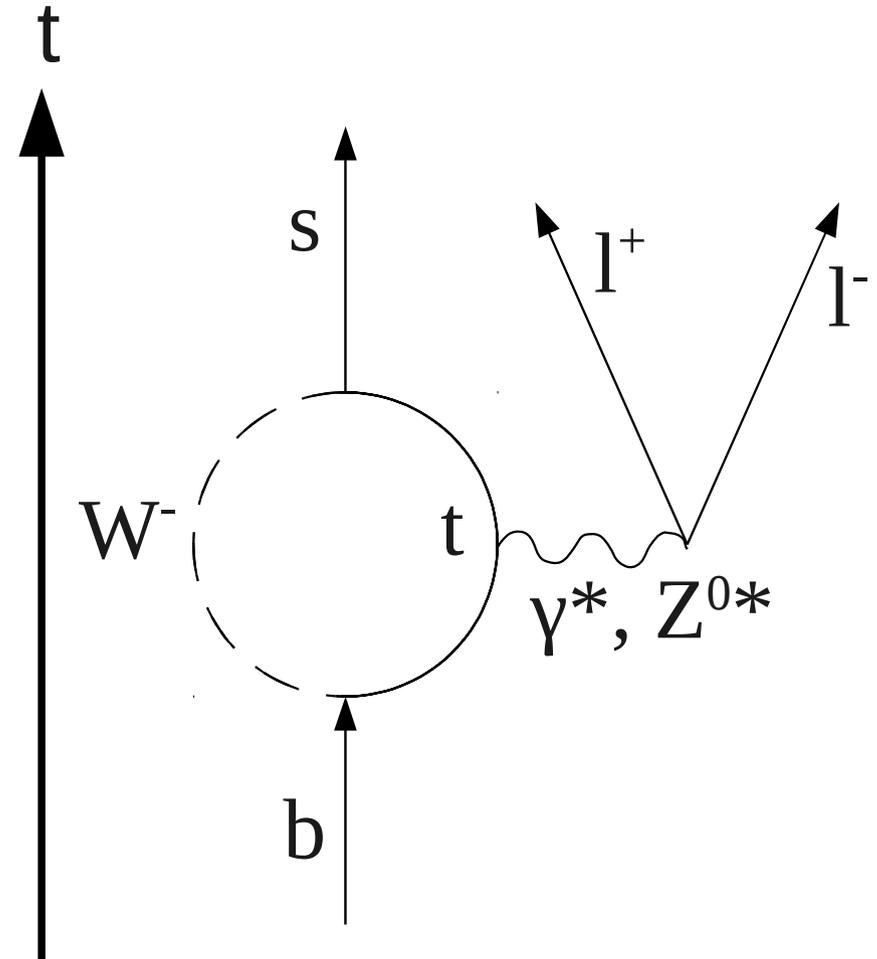
Warum ist der Pinguin-Zerfall so gut geeignet?

- Direkter Zerfall nicht möglich, da Z^0 keine Familien ändert, W^\pm dagegen schon

- Propagator $\in O\left(\left(\frac{m_t}{M_W}\right)^2\right)$

=> Schwere Teilchen werden bevorzugt

- Falls es schwerere Quarks als t gibt (z.B. 4. Familie), ändern sich die Eigenschaften des Zerfalls.



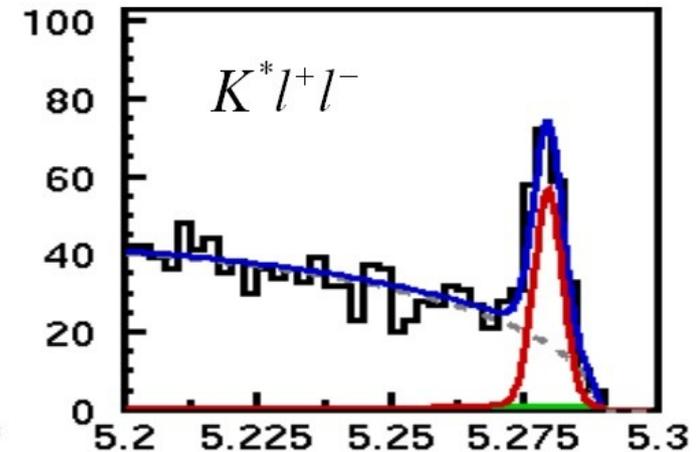
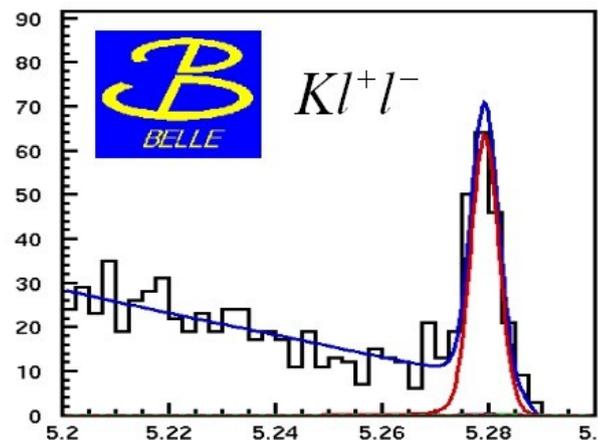
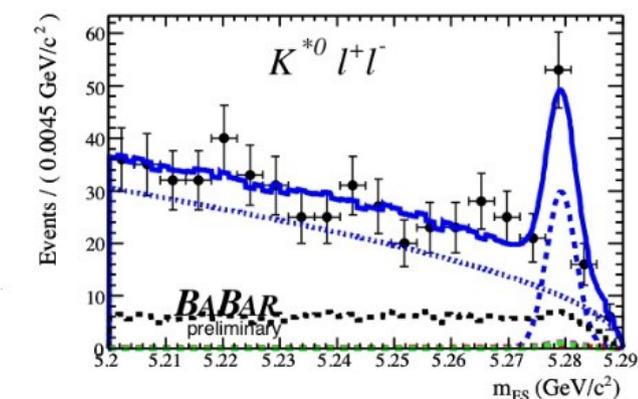
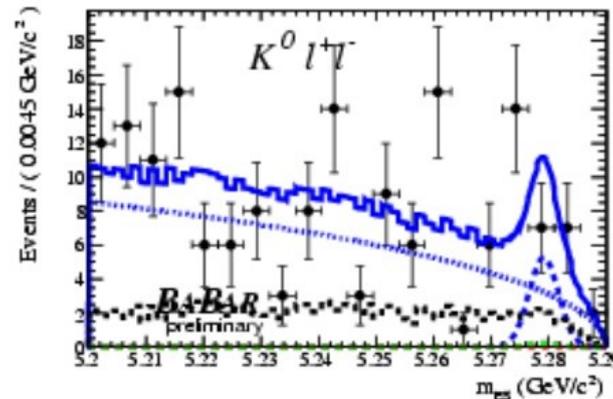
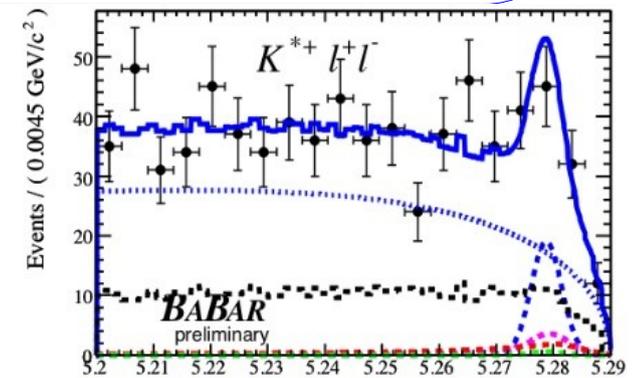
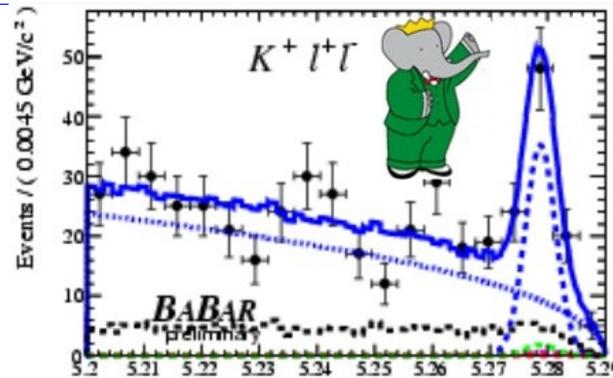
PINGU. @ BELLE + BARBAR

- Fit von

$$m_{es} = \sqrt{E_{strahl}^2 - p_B^2}$$

- BarBar: (Obere 2 Plots)
384 Millionen $B\bar{B}$

- Belle: (Unterer Plot)
657 Millionen $B\bar{B}$



PINGUINE @ BELLE

- Analyse von 657 Millionen $B\bar{B}$ -Paare = 605 fb^{-1}
- Lebensdauer von B-Mesonen: 10^{-12}s
- Fliegen bei Belle $187\mu\text{m}$ weit
- Reicht aus um Teilchen aus dem Zerfall von Teilchen aus den Vertex zu unterscheiden.
- Fast alle geladenen Teilchen außer $\pi^+\pi^-$ (aus K_0^- , Λ -Zerfall) müssen vom Vertex kommen.
- μ^\pm müssen Impuls $> 0,7 \text{ GeV}$ haben, um fälschlicherweise als Myonen erkannte Pionen heraus zu filtern.
- B-Mesonen Kandidaten müssen Masse $> 5,20 \text{ GeV} / c^2$ haben.

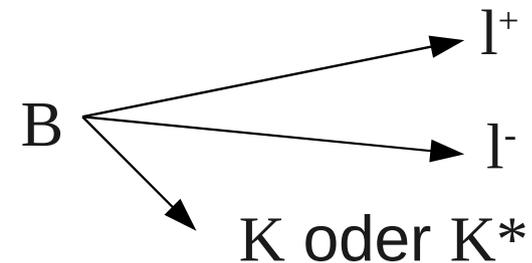


ÜBERLAGERUNGEN

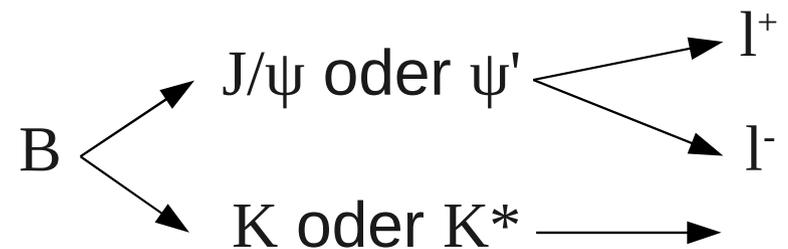
Wichtig:

- Sicherstellen, dass keine Verunreinigungen von anderen Prozessen auftreten
- B-Zerfall bei Massen von J/ψ oder ψ' über reale oder virtuelle J/ψ - bzw. ψ' -Zustände dominant
- Veto bei entsprechenden Leptonimpulsen:
- $\Rightarrow 8,68 - 10,09 \text{ GeV}^2/c^2$ & $12,86 - 14,18 \text{ GeV}^2/c^2$ wird nicht ausgewertet

Pinguin-Beitrag:

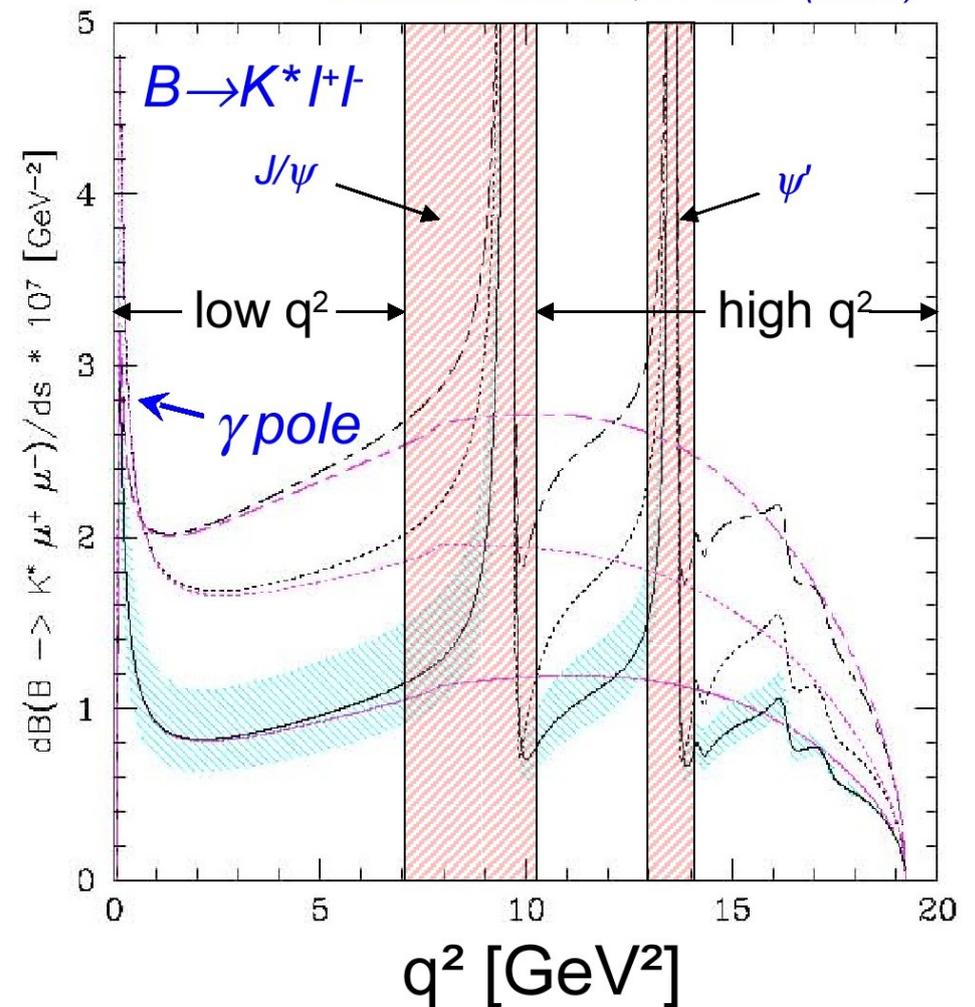
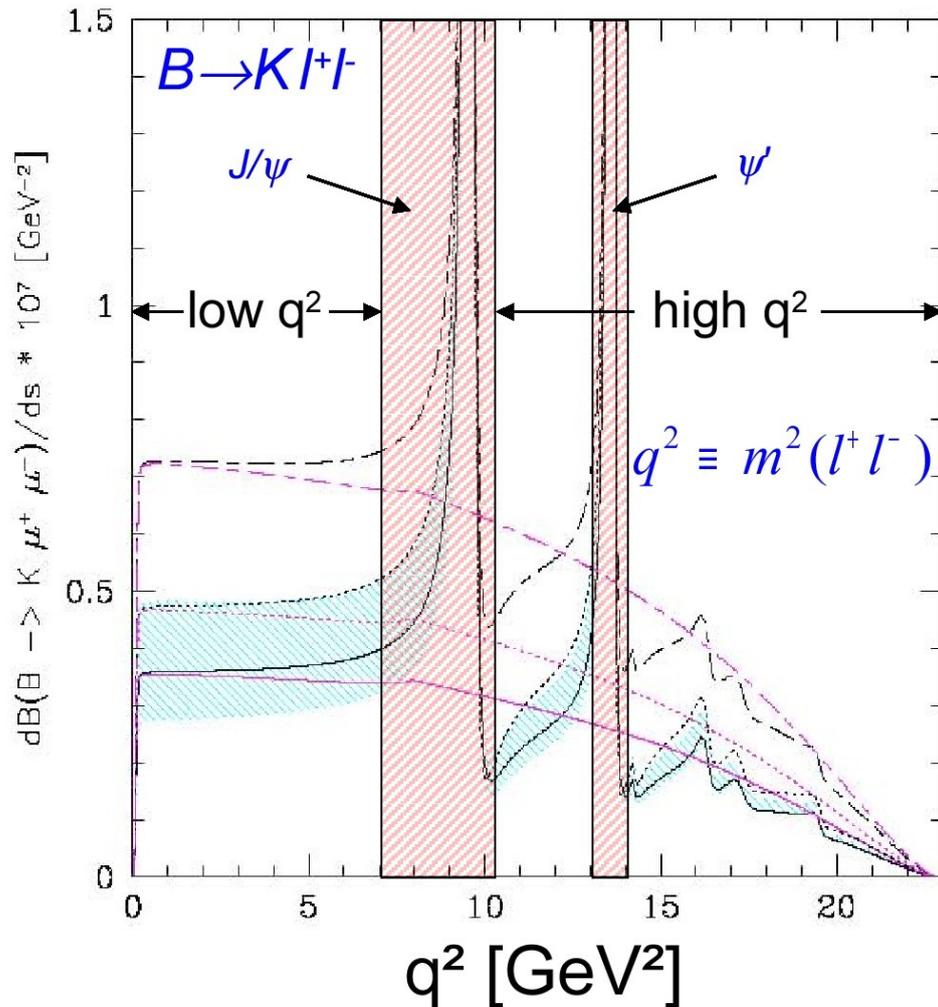


„Long-Distance“-Beitrag:



ÜBERLAGERUNGEN

Ali et al. PRD 61, 074024 (2000)



PINGUINE @ BELLE

- Longitudinale Polarisation des K^*

$$F_L \equiv \frac{N(K_{\blacktriangleright}^*) - N(K_{\blacktriangleleft}^*)}{N(K_{\blacktriangleright}^*) + N(K_{\blacktriangleleft}^*)}$$

Folgende Werte werden mit den Berechnungen aus dem Standardmodell verglichen:
(in Abhängigkeit von q^2)

- Vorwärts-Rückwärts-Asymmetrie

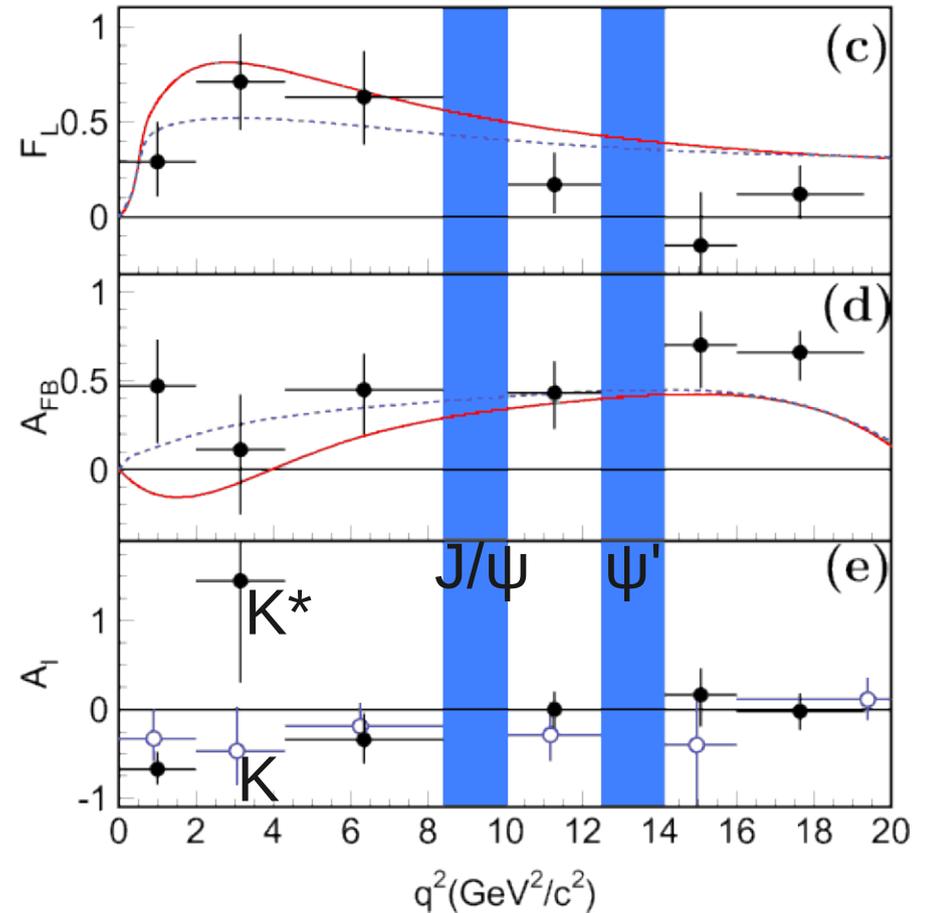
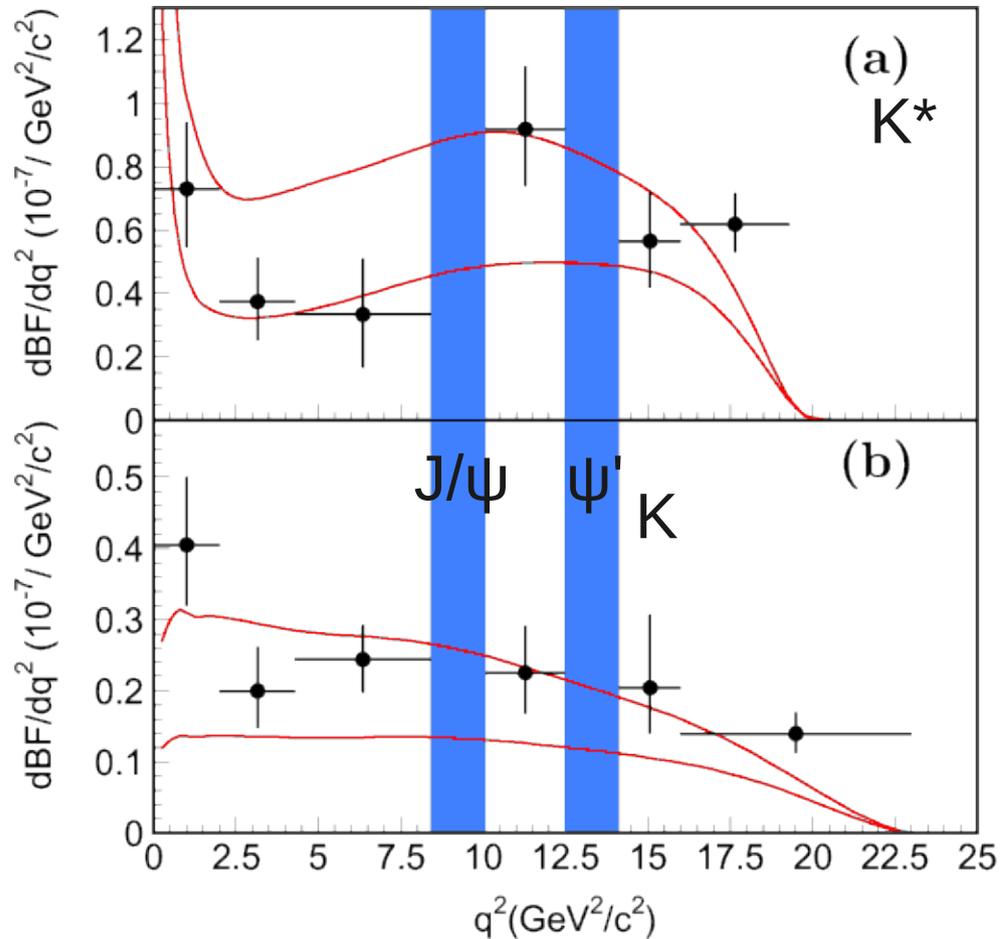
$$A_{FB} \equiv \frac{N(\theta_{B^{l+}} > \theta_{B^{l-}}) - N(\theta_{B^{l+}} < \theta_{B^{l-}})}{N(\theta_{B^{l+}} > \theta_{B^{l-}}) + N(\theta_{B^{l+}} < \theta_{B^{l-}})}$$

- Isospin-Asymmetrie

$$A_I \equiv \frac{\frac{\tau_{B^+}}{\tau_{B^0}} \cdot B(K^{(*)0} l^+ l^-) - B(K^{(*)\pm} l^+ l^-)}{\frac{\tau_{B^+}}{\tau_{B^0}} \cdot B(K^{(*)0} l^+ l^-) + B(K^{(*)\pm} l^+ l^-)}$$



ERGEBNISSE BEI BELLE



- Sind (noch) im Einklang mit dem Standardmodell
- Anzeichen für Abweichungen



ZUSAMMENFASSUNG

- Das Standardmodell erklärt viele Dinge.
- Aber wir wissen: Es gibt Physik jenseits des SM.
- Bei Pinguinzerfällen von B-Mesonen gibt es bei Belle und BarBar Anzeichen auf Abweichungen vom SM.
=> Pinguinzerfälle sind sensitiv auf neue Physik.

- Wir benötigen eine sehr viel höhere Statistik.
- Wird in naher Zukunft an Belle II und LHC-B gesammelt werden.



QUELLEN

<http://www.belle.jp>

<http://www.kek.jp/intra-e/press/2009/BellePress14e.html>

<http://cerncourier.com/cws/article/cern/40414>

<http://www.kek.jp/intra-e/feature/2009/BelleFBA.html>

<http://www.uni-giessen.de/cms/fbz/fb07/fachgebiete/physik/einrichtungen/2pi/forschung/belle/Kurzbeschreibung>

<http://theory.gsi.de/~vanhees/faq/cp/cp.html>

Google Maps

arXiv:0904.0770v2 [hep-ex] 13 Sep 2009

Matthias Neubert - Summer School on Flavor Physics (Benasque, Spain, 14-24 July 2008)

M.Z. Wang, H.C. Huang, M.C. Lee, R.S. Lu, K. Ueno,

C.H. Wang, W.S. Hou - Beam test of the BELLE extreme forward calorimeter at KEK

Marcel Werner and Matthias Ullrich - Belle

David G. Cassel - CLEO B Physics

Sheldon Stone - B decays

Soeren Prell - Measurements in $B \rightarrow K^{(*)} \ell \ell$ Decays



BILDQUELLEN

Tux: http://www.tuxtap.net/bildelemente/new_tux.png

Diagramm-Pinguin: <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Edi1.jpg&filetimestamp=20070709014131>

KEKB-Ring: <http://belle.kek.jp/belle/transparency/Bellering4.gif>

Belle-Detektor: http://belle.kek.jp/belle/transparency/photo_d/det9.jpg

Karten: Google Maps

Dunkle Materie: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Dunkle_Materie.png&filetimestamp=20070427145401

CLEO-Event: David G. Cassel, CLEO B Physics

Kobayashi: http://ja.wikipedia.org/wiki/%E3%83%95%E3%82%A1%E3%82%A4%E3%83%AB:Kobayashi-press_conference_Dec_07th,_2008-1.jpg

Luftbild KEK:

<http://www.physicsmasterclasses.org/exercises/kworkquark/de/lexikon/lexikon.kek/1/index.html>

Luftbild KEK:

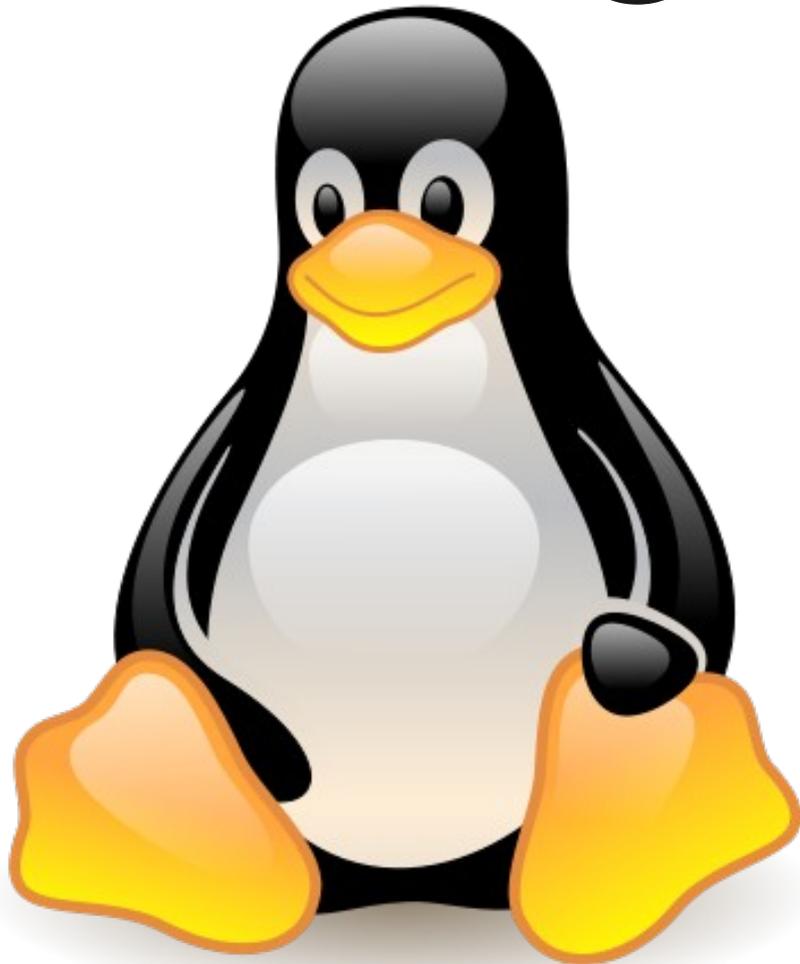
<http://www.physicsmasterclasses.org/exercises/kworkquark/de/lexikon/lexikon.kek/1/index.html>

Pixelgraphik-Detektorbilder: Belle - Marcel Werner and Matthias Ullrich

Plots: Soeren Prell - Measurements in $B \rightarrow K^{(*)} \ell \ell$ Decays



Pinguin Zerfälle



Vielen Dank für Eure
Aufmerksamkeit!

Download der Folien im StudIP
und auf www.dsemmler.de

Diego Semmler