



Masterclass

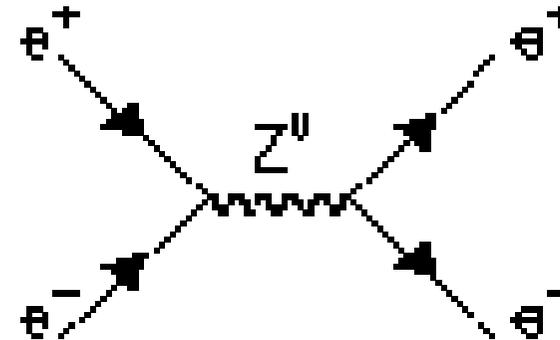
Einführung ins „Event-Scanning“

C.Grab, M.Del Degan, L. Wehrli
Zürich, 14.3.2008



Was kann passieren, wenn Elektronen und Positronen kollidieren?

- $e^+ + e^- \rightarrow \gamma \rightarrow e^+ + e^-$ bei allen Energien : $\gamma = \text{Photon}$
- Bei LEP sind die Energien gleich: $E(e^+) = E(e^-)$
- Bei genügender Energie entsteht als „Zwischenstation“ ein **Z-Boson**, das sofort wieder zerfällt in **verschiedene Zerfallskanäle**; die Theorie sagt uns wie und wie oft.
- $e^+ + e^- \rightarrow Z \rightarrow e^+ + e^-$
- $e^+ + e^- \rightarrow Z \rightarrow \mu^+ + \mu^-$
- $e^+ + e^- \rightarrow Z \rightarrow \tau^+ + \tau^-$
- $e^+ + e^- \rightarrow Z \rightarrow \nu + \bar{\nu}$
- $e^+ + e^- \rightarrow Z \rightarrow q + \bar{q}$
- dies wollen wir selbst prüfen !





Wie "misst" man das "Z" ?

- Produziere viele Z und messe den Zerfall jedes einzelnen Z.
- Benutze "Detektor" = Messapparatur, die alle "Zerfallsprodukte" im Zerfallsprozess aufzeichnet.
- Jede einzelne Reaktion muss identifiziert, klassifiziert und im Detail vermessen werden.
- Vergleiche Eigenschaften und Häufigkeiten von bestimmten Mustern in den vielen Reaktionen.
- Vergleich mit Vorhersagen des theoretischen Modells



Aufgabenstellung

- Bestimmen Sie die relative Häufigkeit, mit der das Z-boson in diese verschiedenen Kanäle zerfällt, das so genannte Verzweigungsverhältnis (Branching Ratio).
- Lernen Sie die Unterschiede zu erkennen
 - Wenden Sie diese Kenntnis an und sortieren Sie Ereignisse nach verschiedenen Zerfallskanälen, also nach Z-Zerfällen in Elektronen, Myonen, Tau und Quark-Paare.
 - Bestimmen Sie die relativen Zerfallsverhältnisse B der Z-Bosonen durch Zählen dieser klassifizierten Ereignisse.



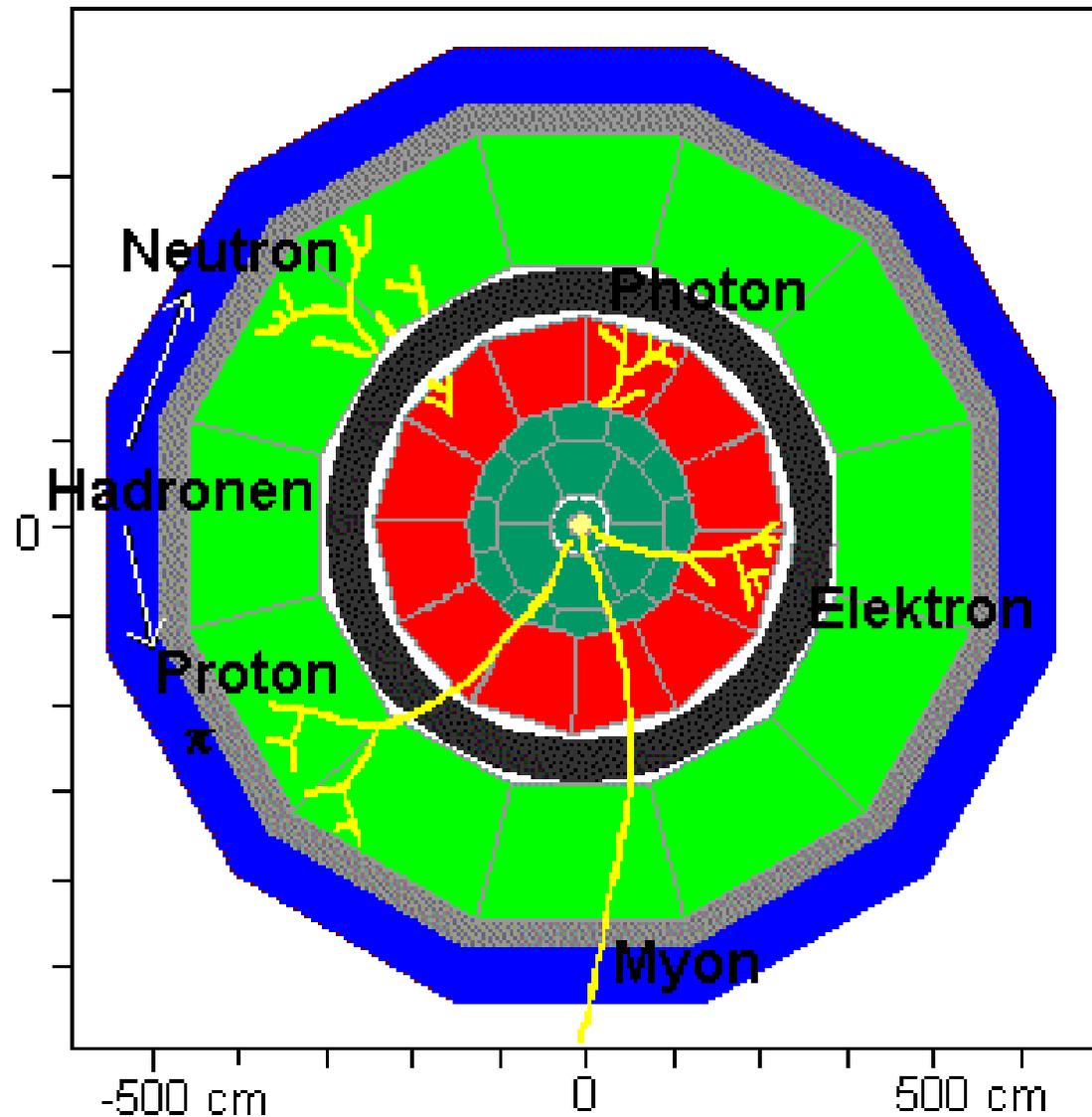
Wie kann man die verschiedenen „Zerfälle“ des Z-Bosons unterscheiden?

- Wir werden jetzt **Unterscheidungskriterien** anhand von Beispielen diskutieren.
- Wie sehen Zerfälle in Quarks, Elektronen, Myonen ...etc. aus ?
- Was macht Quarks speziell?



Detektorquerschnitt mit Teilchenspuren

-  Strahlrohr
-  Spur-kammer
-  mag. Spule
-  elektr.mag. Kalorimeter
-  hadron. Kalorimeter
-  magnet. Eisen
-  Myonen Kammer





"Eve"

Kontrolle: Modus + Komponenten ...

Ereigniswahl

3D - Ereignisdarstellung

Bild drehen oder Zoomen

Frontansicht oder Seitenansicht

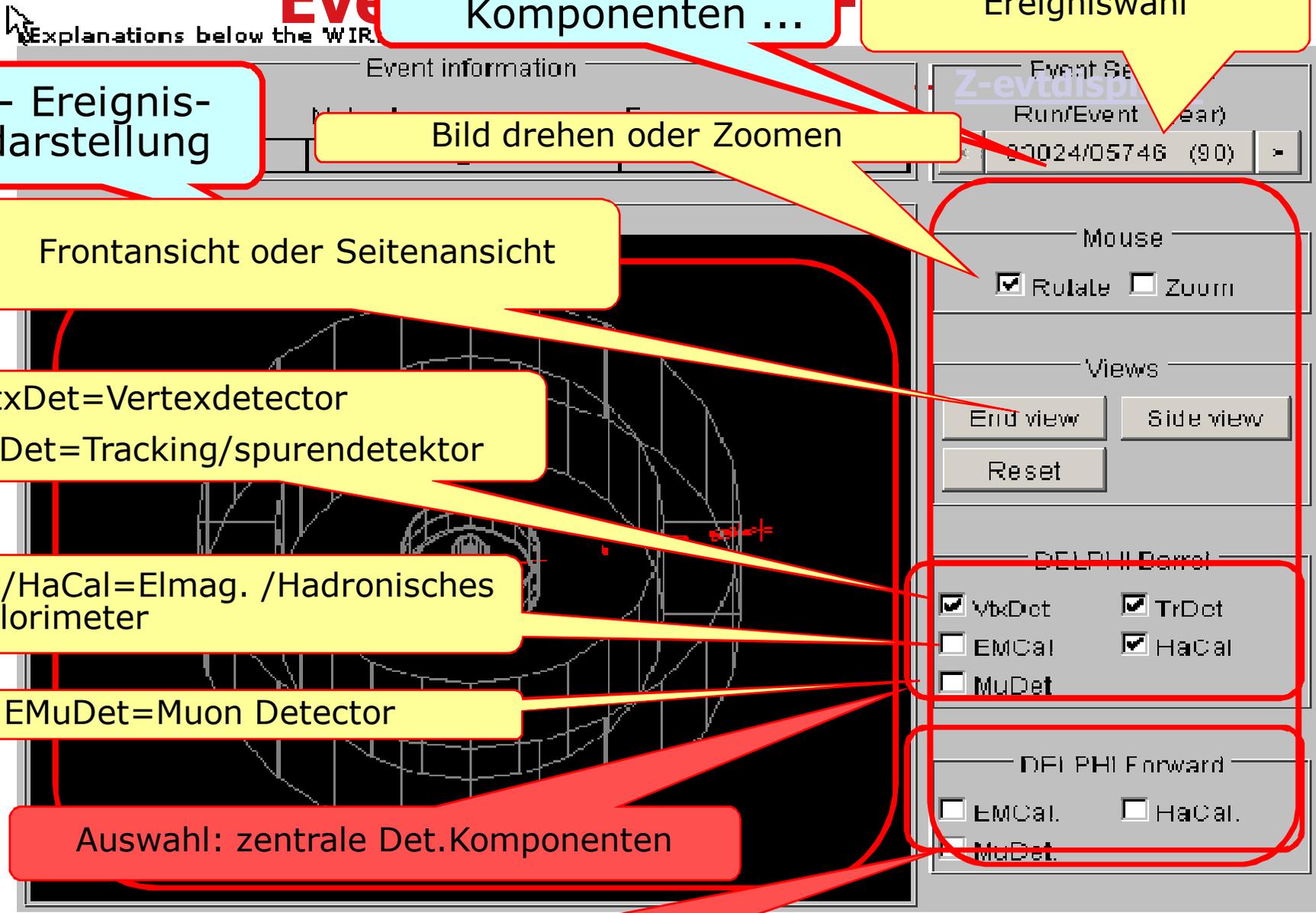
VtxDet=Vertexdetector
TrDet=Tracking/spurendetektor

EMCal/HaCal=Elmag. /Hadronisches Calorimeter

EMuDet=Muson Detector

Auswahl: zentrale Det.Komponenten

Auswahl: seitliche Komponenten



Wired -Events



$Z \rightarrow e^+e^-$: Elekt

Informationen zum Ereignis:
Energie, Spuren, Run/Event

Darstellung gemessener **Daten eines Ereignisses** in DELPHI

Event information		
Ecms	Nr tracks	Energy
99	2	95.4

Event Selection
Run/Event (year)
< 83024/06127 (98) >

DELPHI - (264)

Elektron

Positron = Antielektron

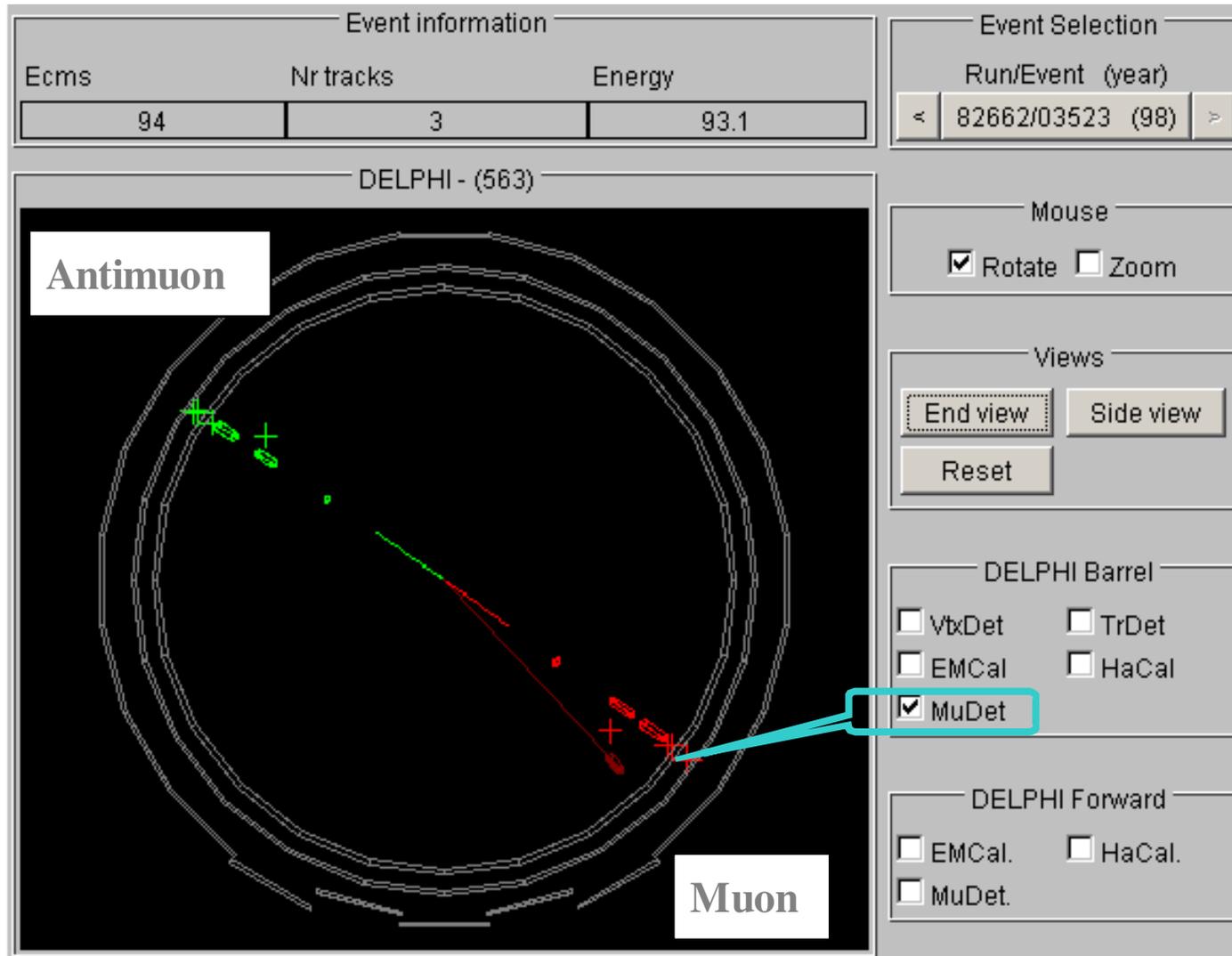
DELPHI Forward
 EMCal. HaCal.
 MuDet.

Frontansicht

Elektronen werden im elektromagnetischen Calorimeter gemessen



$Z \rightarrow \mu^+\mu^-$: Myon-Antimyon-Paar



μ Lebensdauer = 2.2 μ sec \rightarrow μ zerfällt ausserhalb des Detektors



Veranschaulichung

Die "mittlere Lebensdauer eines Muons" im
Ruhesystem ist $\tau = 2.2 \times 10^{-6}$ sek.

Annahme: das Myon fliege mit Lichtgeschwindigkeit
(bei LEP ist dies fast der Fall: $\beta = v/c \approx 0.999997$).

Frage: Wie weit fliegt das Myon, wenn es nach einer Zeit von
 $t = (2.2 \times 10^{-6})$ sec zerfällt?

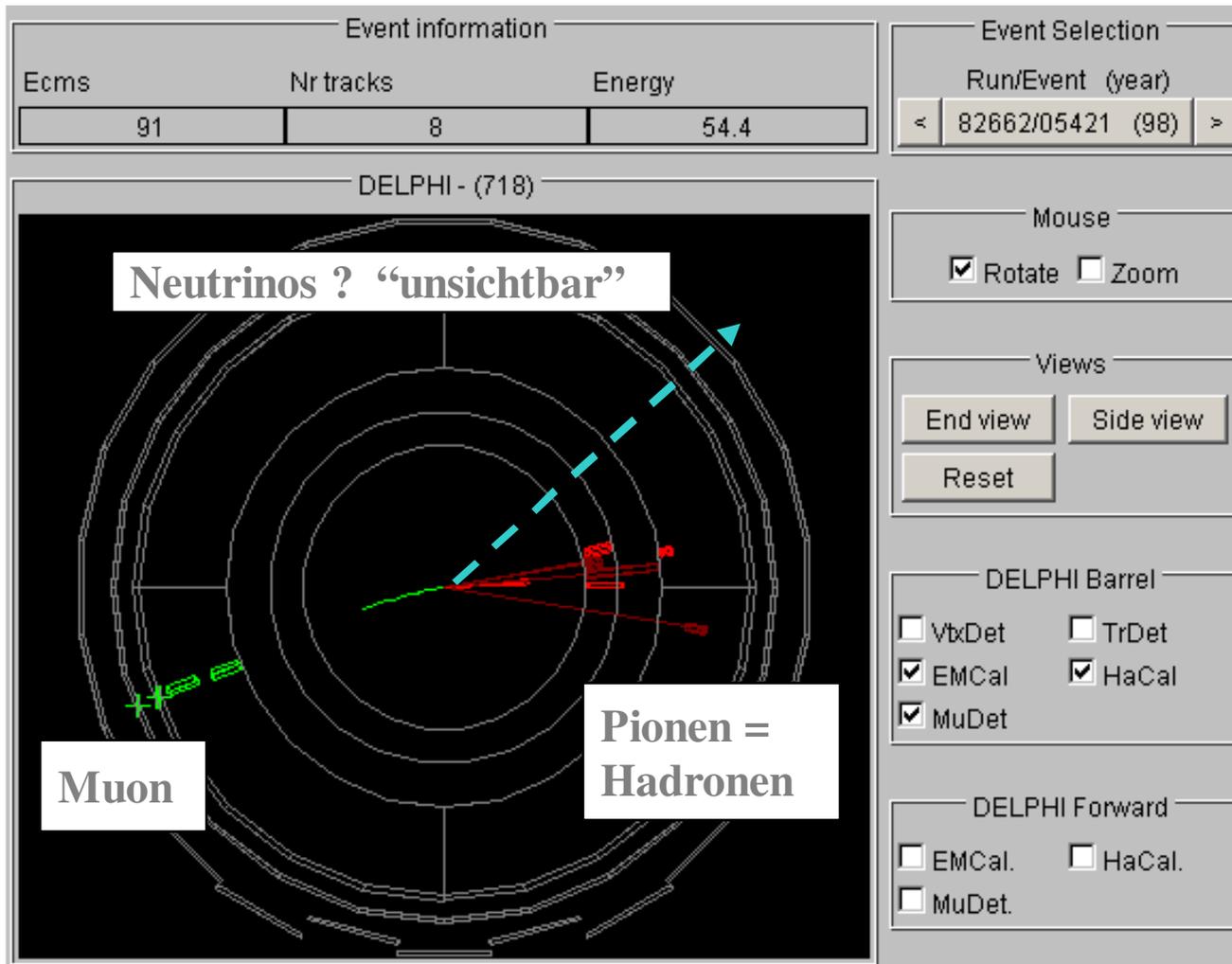
➤ $L = c t = 660$ m

➤ Aber man muss relativistisch rechnen ! Und dann
ergibt sich $L = \beta \gamma c \tau \approx 280$ km

vgl: Auto mit 100 km/h $\rightarrow L=vt = 86 \mu\text{m}$!



$Z \rightarrow \tau^+ \tau^-$: Tau-Antitau-Paar



τ : zerfallen in

- 86% in 1, 2 geladene plus neutrale Teilchen
- 14% in 3 geladene plus neutrale Teilchen

$$\tau \rightarrow e \nu_e \nu$$

$$\tau \rightarrow \mu \nu_\mu \nu$$

$$\tau \rightarrow \pi \pi^0 \nu$$

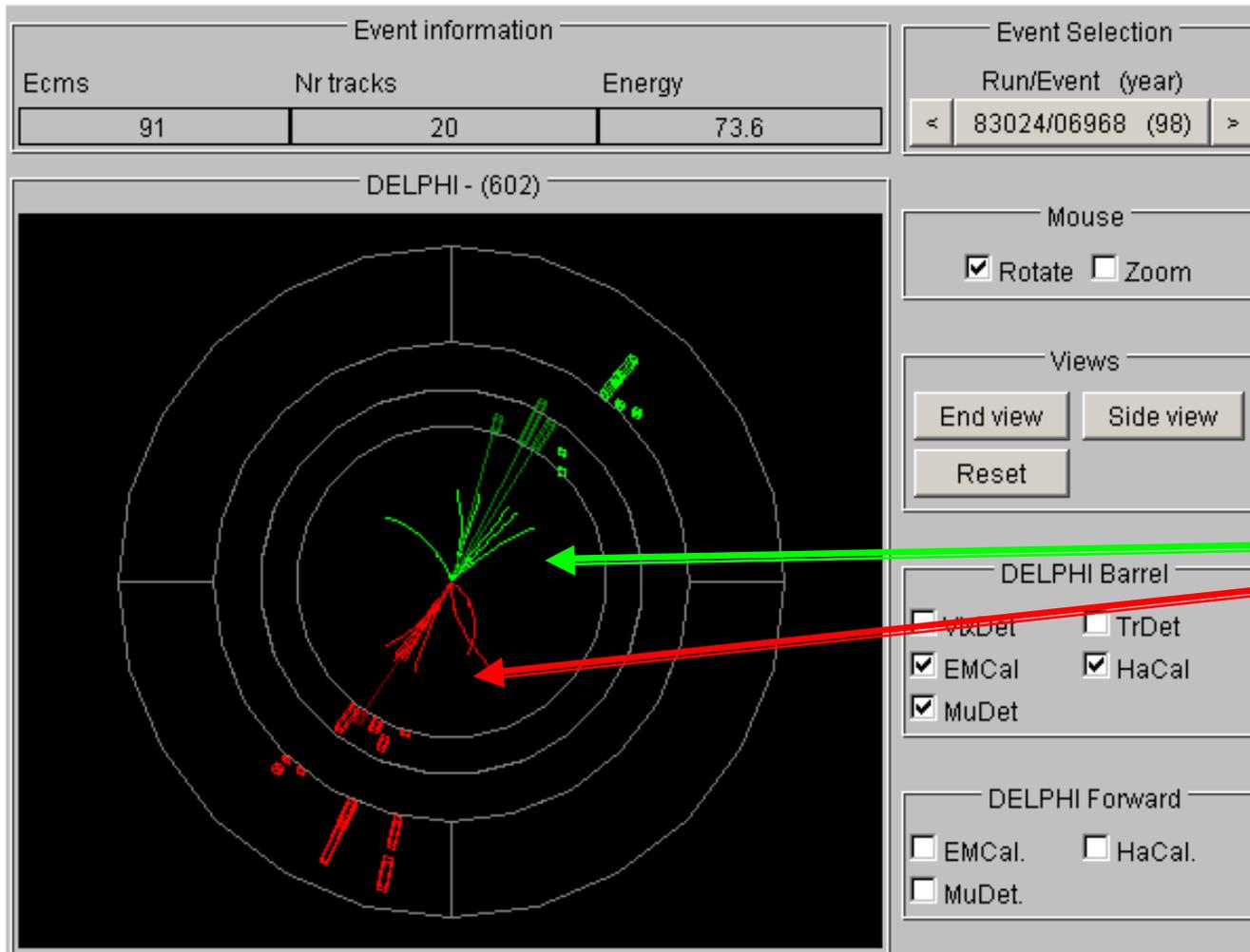
τ : meist nur 1 oder 3 Spuren pro Seite !

τ lebt nur kurz (3×10^{-13} sec) + zerfällt in Elektronen, Muonen oder Hadronen (p, π, \dots) + Neutrinos (ν)



Z → Quark-Antiquark-Paare

ABER: Quarks werden NIE einzeln gemessen, sondern nur als zusammengesetzte Teilchen



Hadronen
(Pion, Proton, ...)

..welche aus den Zerfallsprodukten stammen

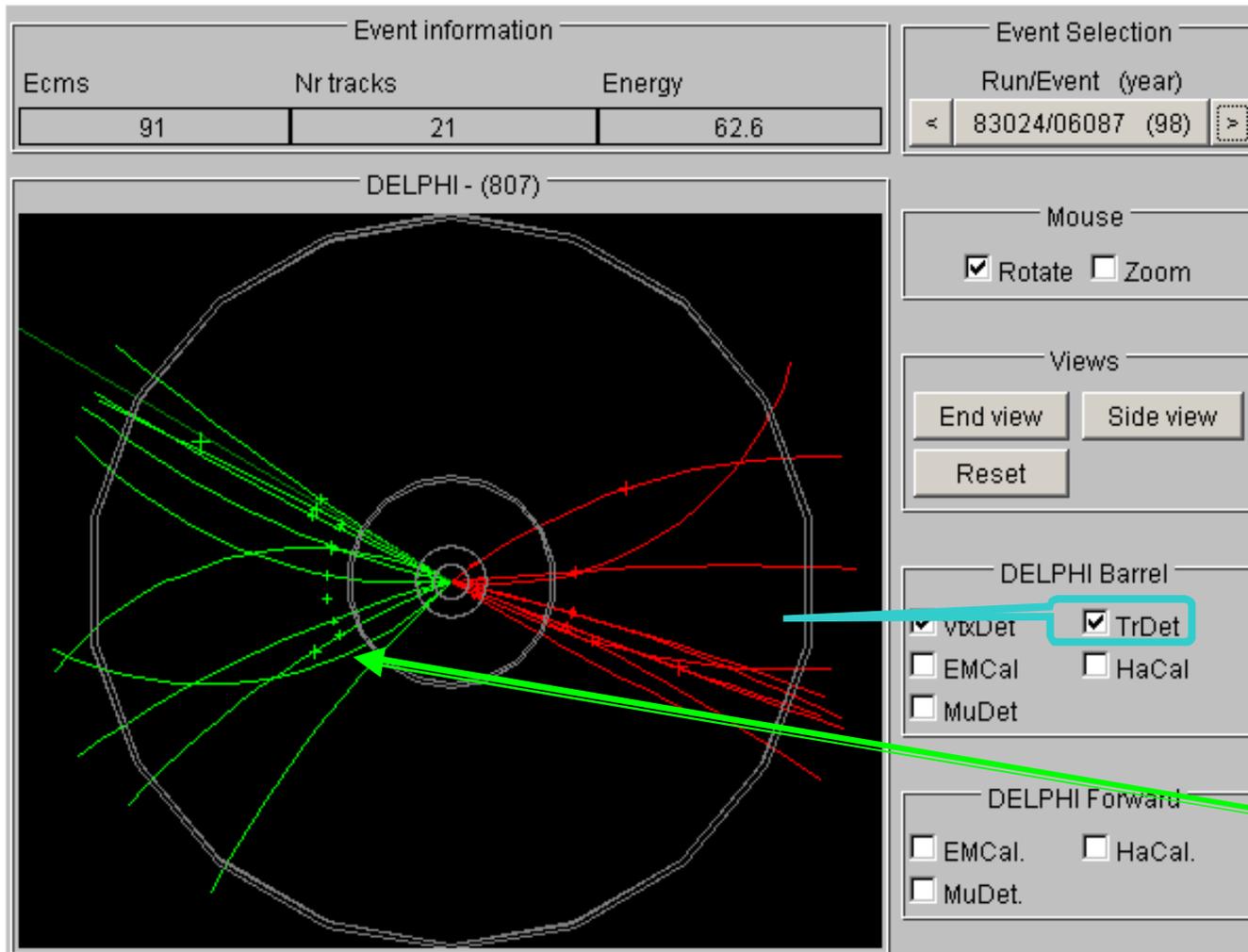
Sichtbar als Bündel von Teilchen = **JETS**

(Farbe rot/gruen nur vom Programm)



$Z \rightarrow$ Quark-Antiquark-Paare

Zoom : Sicht des zentralen Tracking Detectors TrDet



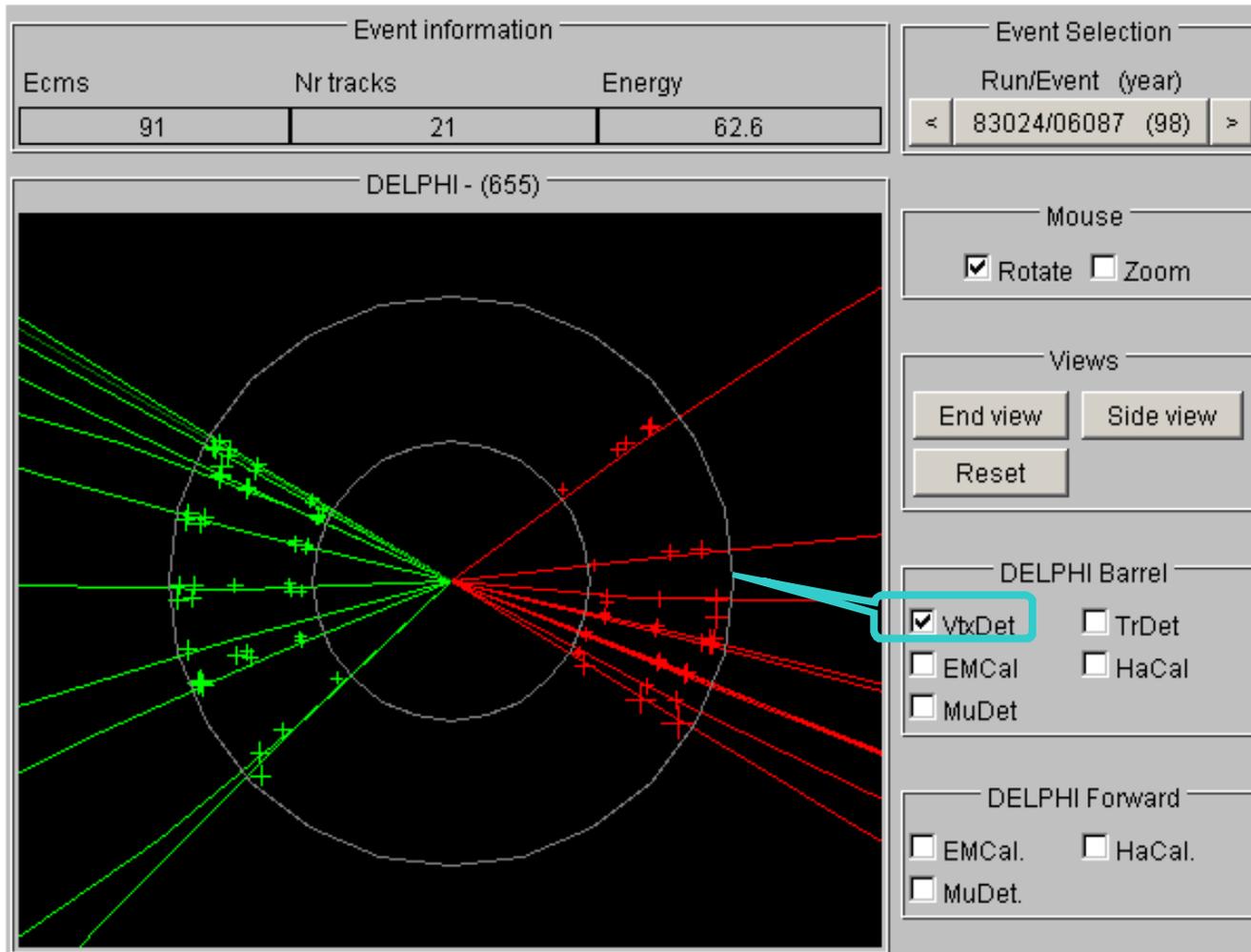
Spuren geladener Teilchen sind gekrümmt im Magnetfeld

"Kreuze" sind Messpunkte



$Z \rightarrow$ Quark-Antiquark-Paare

Noch mehr Zoom : Sicht des Vertex Detectors **VtxDet**



Viele Spuren werden gut sichtbar

(fast gerade wegen Zoom)

"Kreuze" sind Messpunkte



Seitenansicht

Event information

Ecms Nr tracks

Auswahl: seitliche

DELPHI- (1270)

Reset

DELPHI Barrel

- VtxDet
- TrDet
- EMCal
- HaCal
- MuDet

DELPHI Forward

- EMCal.
- HaCal.
- MuDet.

Im Notfall :
RESET



Explanations below the WIR

"Eve"

Kontrolle: Modus + Komponenten ...

Ereigniswahl

3D - Ereignisdarstellung

Bild drehen oder Zoomen

Frontansicht oder Seitenansicht

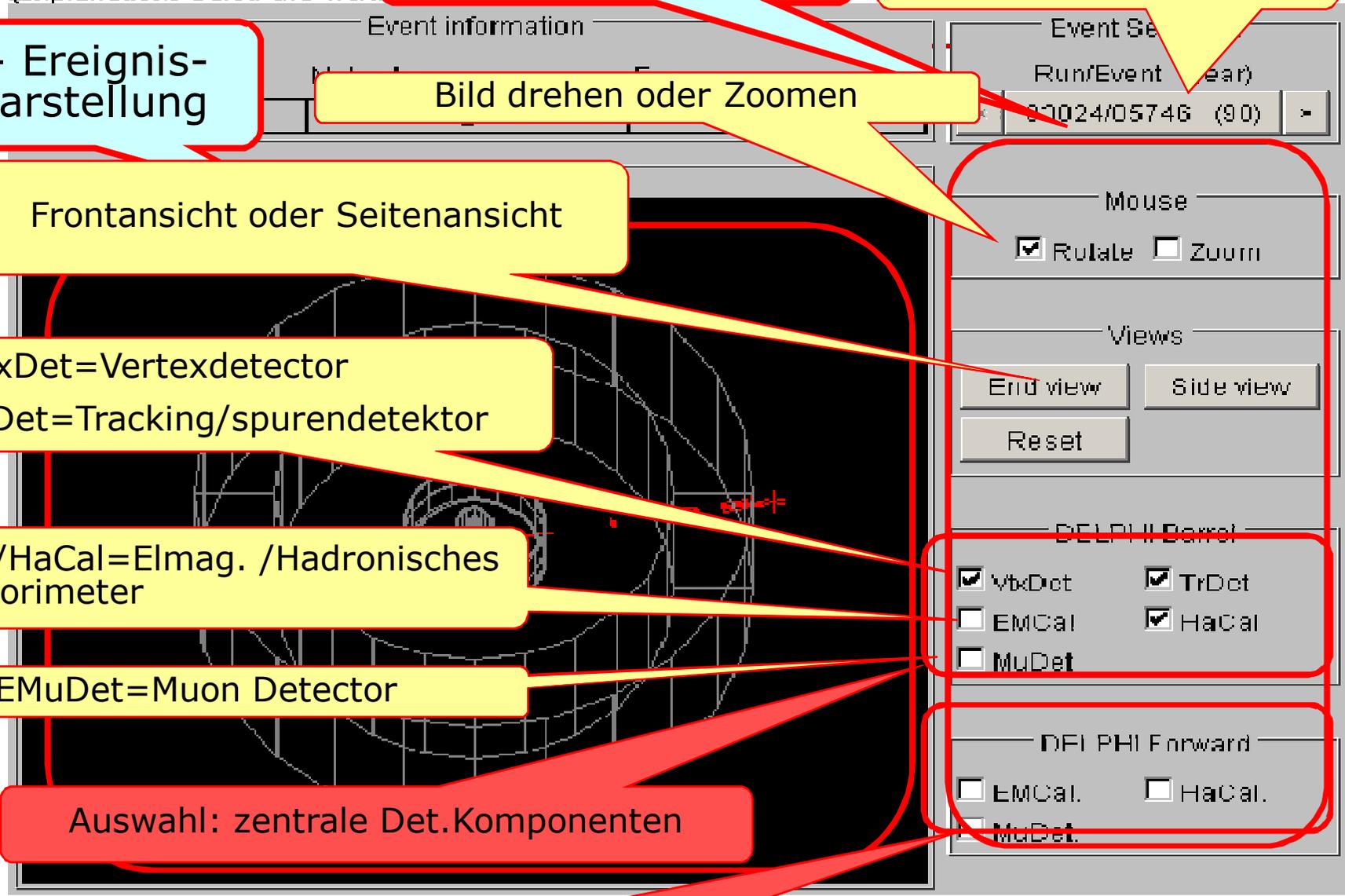
VtxDet=Vertexdetector
TrDet=Tracking/spurendetektor

EMCal/HaCal=Elmag. /Hadronisches Calorimeter

EMuDet=Muson Detector

Auswahl: zentrale Det.Komponenten

Auswahl: seitliche Komponenten





Welche Unterschiede sehen wir in den verschiedenen „Zerfällen“ des Z-Bosons?

- Charakteristische Eigenschaften sind also:
 - Wie viele Spuren von Teilchen gibt es?
sind die Spuren in einem "Bündel"?
 - In welche Richtung fliegen die Teilchen?
 - Wie viel Energie verlieren die Teilchen (farbige Blöcke im Display)?
 - ...
- Mit Kenntnis dieser Eigenschaften können sie die Zerfälle jetzt "unterscheiden".



Frage: Kommen alle Zerfälle des Z-Bosons gleich häufig vor?

- Aufgabe: In zweier Gruppen zählt Ihr Ereignisse aus und sortiert sie nach Zerfällen in Elektronen, Myonen, Tau und Quarks.
- gemeinsam Zusammentragen der Ergebnisse
- Auswertung zusammen → Stimmt die Theorie ?
- Kombinieren der Ergebnisse mit anderen (VC)



Jetzt seid Ihr TeilchenphysikerInnen !

Aufgabe Klassifizierung:

1. Jede Gruppe schaut sich 100 Ereignisse an, identifiziert sie (d.h. bestimmt welcher Zerfall) und zählt die Anzahl der verschiedenen Zerfallstypen
 - Gruppen 1A,1B,1C,1D: Ereignisse 1-100;
 - Gruppen 2A,2B,2C,2D: Ereignisse 101-200...
 - ... Siehe Blatt
2. Jede Gruppe trägt Ihre gefundene Anzahl in die Tabelle ein (verteilte Blaetter)



Jetzt seid Ihr dran ... (2)

3. Mit den Zahlen in der Tabelle **bestimmen wir** die **relativen Zerfallsverhältnisse** der Z-Bosonen in die verschiedenen "Zerfallskanäle".
4. Wir werden die Messungen zusammen besprechen, und danach via Video mit anderen Studenten vergleichen und kombinieren.

Zugang zu den Ereignissen (auf jedem computer):

/cdrom/physics_hoc.htm



Zugang zu den Events (1) ...

CDROM einlegen..... /cdrom/physics_hoc.htm
→ Physics → Hands-on-CERN
→ German [jump to measurements of Z decays]
→ **Teilchenkollisionen**

Es gibt drei links fuer Euch:

- “Wired” Hilfe (das Programm heisst so!)
- Z-Uebung 1: zum Lernen
- Ereignissammlung : selber Klassifizieren



Zugang zu den Events (2)...

1. Hands-on-CERN

The screenshot shows the EPPOG website. On the left is a navigation menu with 'Hands-On-Cern' highlighted. On the right is a main content area with a header 'Hands on Particle Physics' and a list of languages. The 'German' entry in the language list is highlighted with an orange box.

EPPOG

- Home
- Physics
 - Hands-On-Cern**
 - Keyhole
 - Ident. Particles
 - Particle Physics
 - BaBar
 - Le Monde des P.
 - KworkQuark
 - Teilchentour I
 - Teilchentour II
 - Grundlagen
- Links
- Institutes
- Imprint

Hands on Particle Physics

International Masterclasses for High School Students

Hands on Particle Physics

Hands-On-CERN

(E. Johansson et al, Stockholm)

Hands-on-CERN (HoC) is an educational project at the scientific frontier of physics. It is aimed at teachers and high school students studying natural sciences. The purpose of this project is to increase understanding of the most fundamental processes inside matter, and to explain modern research about particle collisions.

After an introduction to the theoretical description of particle physics and the experimental techniques there is the chance to make several measurements with real events recorded by the DELPHI experiment in particle collisions at CERN.

In order to run this program from your hard disk or from a CD please save the **Java policy file** as ".java.policy" to your home directory. (For Windows2000/XP this should be "C:\Documents and Settings\YOURUSERNAME", "C:\Winnt\Profiles\username" on Windows NT, "C:\Windows" on single-user on Windows 95 and 98 systems, "C:\Windows\Profiles\username" on multiuser Windows 95 and 98 systems, on Unix and Linux it is just "~".) Otherwise the java applets won't work.

Catalan	[jump to measurements of Z decays]
■ Czech	[jump to measurements of WW decays]
■ Danish	[jump to measurements of Z decays]
■ English	[jump to measurements of WW decays]
■ French	[jump to measurements of Z decays]
■ Galician	[jump to measurements of WW decays]
■ German	[jump to measurements of Z decays]
■ Greek	[jump to measurements of Z decays]

2. German.... Z-decays



Zugang zu den Events (3)...

Hands on CERN

TEILCHENKOLLISIONEN

Überblick: Teilchenkollisionen

EINFÜHRUNG
Links
Über Hands-on-CERN

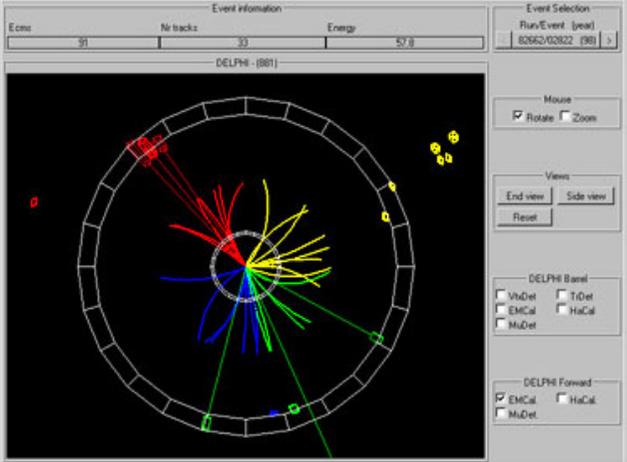
DAS STANDARDMODELL
Materieteilchen
Kraftteilchen
"Fireworks"
Higgs
Zusammenfassung

BESCHLEUNIGER
CERN
LEP
LHC
Zusammenfassung

DETEKTOREN
Spurdetektoren
Kalorimeter
Myon Detektoren
DELPHI
ATLAS
Zusammenfassung

EREIGNISANALYSE
WIRED Hilfe
Teilchenidentifizierung
Ereignistypen

TEILCHEN KOLLISIONEN
Z-Übung 1
Z-Übung 2
WW-Übung
Ereignissammlung



Bildschirm des Programms WIRED.

Das Programm WIRED ist in Java geschrieben und läuft innerhalb des Web Browsers (als sogenanntes Java-Applet). Ein älterer Web Browser muss unter Umständen aktualisiert werden, um WIRED laufenzulassen.

Die Dateigröße von WIRED beträgt etwa 200 kB, sodass es etwa eine Minute dauert, um WIRED über ein analoges Modem zu laden. Anschliessend wird WIRED vom Web Browser nach einer kurzen Initialisierung gestartet.

Auf den folgenden Seiten werden einige Übungen beschrieben, die sich mit Hilfe von WIRED und der Analyse von Z- und WW-Zerfällen lösen lassen.

Am Ende dieses Kapitels befindet sich die Ereignissammlung, von denen Ereignisse in WIRED geladen werden und dargestellt werden können. Die erste Seite enthält Z-Zerfälle, die zweite Seite WW-Zerfälle.

1. ausführliche Hilfe

2. Erklärungen der Ereignistypen

3. Die eigentlichen Ereignisse zum Scannen

[lx2-mc07](#)



Zugang zu den Events (4)...

TEILCHENKOLLISIONEN Ereignissammlung: Z-Zerfälle

Hands-on-CERN

DAS STANDARDMODEL
Materieteilchen
Kraftteilchen
"Fireworks"
Higgs
Zusammenfassung

BESCHLEUNIGER
CERN
LEP
LHC
Zusammenfassung

DETEKTOREN
Spurdetektoren
Kalorimeter
Myon Detektoren
DELPHI
ATLAS
Zusammenfassung

EREIGNISANALYSE
WIRED Hilfe
Teilchenidentifizier
Ereignistypen

TEILCHEN KOLLISIONEN
Z-Übung 1
Z-Übung 2
WW-Übung
Ereignissammlung

1. [Z-Zerfälle von 1998; 91 GeV \(Nr. 001-100\)](#)
2. [Z-Zerfälle von 1998; 91 GeV \(Nr. 101-200\)](#)
3. [Z-Zerfälle von 1998; 91 GeV \(Nr. 201-300\)](#)
4. [Z-Zerfälle von 1998; 91 GeV \(Nr. 301-400\)](#)
5. [Z-Zerfälle von 1998; 91 GeV \(Nr. 401-500\)](#)
6. [Z-Zerfälle von 1998; 91 GeV \(Nr. 501-600\)](#)
7. [Z-Zerfälle von 1998; 91 GeV \(Nr. 601-700\)](#)
8. [Z-Zerfälle von 1998; 91 GeV \(Nr. 701-800\)](#)
9. [Z-Zerfälle von 1998; 91 GeV \(Nr. 801-900\)](#)
10. [Z-Zerfälle von 1998; 91 GeV \(Nr. 901-1000\)](#)

Im Menü auf der linken Seite befinden sich insgesamt zehn Links. Durch Klicken auf einen der Links wird jeweils das Programm WIRED gestartet und ermöglicht die Analyse der ausgewählten Ereignisse.

Jeder Link enthält etwa 100 verschiedene Ereignisse mit Z-Zerfällen. Alle Ereignisse haben eine Kollisionsenergie von 91 GeV.

10 verschiedene Gruppen zum Scannen



Eure Aufgabe :

Klassifizierung der Ereignisse :

1. Jede Gruppe schaut sich 100 Ereignisse an, identifiziert sie (d.h. bestimmt welcher Zerfall) und zählt die Anzahl der verschiedenen Zerfallstypen
 - Gruppen 1A,1B,1C,1D: Ereignisse 1-100;
 - Gruppen 2A,2B,2C,2D: Ereignisse 101-200...
 - ... Siehe Blatt
2. Jede Gruppe trägt Ihre gefundene Anzahl in die Tabelle ein (verteilte Blaetter)



Freiwillig: LHC Events

Auf <http://www.physik.uzh.ch/lectures/MC2009/> unter LHC

Hands on Particle Physics

- Hands on Particle Physics
 - Übung: Ereignissammlung: Z-Zerfälle
 - Übung: Ereignissammlung: WW-Zerfälle
 - Übung: LHC - Java Dateien (zip File) (tar.gz File)
 - Java Dateien auspacken
 - Im entstandenen Ordner "Hypatia-SV" das File "Simplified_Hypatia_2.3.jar" anklicken um das Programm zu starten.
- Hands on Particle Physics CD: (iso File) (tar.gz File)

→ Falls das nicht klappt bitte fragen...



Go for it – und viel Spass.



Fragen sind immer willkommen ...



Das Ziel war ...

- Wir wollen das Standardmodell testen im Zerfall der Z-bosonen.
- Wir wollten genau bestimmen, wie häufig Z-Bosonen in Quark-Antiquark-Paare ($q\bar{q}$) und in Leptonen zerfallen.
- Wir wollten diese Zahl mit der Theorievorhersage vergleichen.



Diskussion der Resultate :

- Vergleichen wir die Verhältnisse in ee , $\mu\mu$ und $\tau\tau$:
→ **BR sind gleich: $BR(e)=BR(\mu)=BR(\tau) \sim 3\%$!**
d.h. die Teilchen selbst haben **gleiche Eigenschaften**, sie sind nämlich alle geladene Leptonen.
- Was erwarten wir **naiv** fürs Verhältnisse in Quarks, falls Quarks auch Leptonen wären ?
 $BR(\text{quark}) = 5 \cdot BR(e)$; da 5 “Flavours” (u,d,s,c,b)
→ zusätzlicher Faktor? **Quarks kommen in 3 Farben !!**
Somit erwarten wir $BR(\text{quark})/BR(e) = 5 \cdot 3/1 = 15$!
Wir sehen aber ~ 20
- **Quarks sind eben keine Leptonen !** sondern sie haben andere Eigenschaften.



Bemerkungen

- 1) Ihr habt leicht **ungleiche Werte gemessen** für B_e , B_μ , B_τ .
- Theorie besagt "Lepton - Universalität" $B_e = B_\mu = B_\tau$!!
 - $B_e = (3.366 \pm 0.008)\%$.
 - $B_{\text{quarks}} = (69.90 \pm 0.15)\%$.
D.h. die **meisten Z zerfallen in Quark-Antiquark Paare** !
 - **Diese Zahlen wurden bestätigt am LEP auf 0.3% !**

Experimentelle Ursachen ?

1. Nachweiswahrscheinlichkeiten verschieden ?
2. Fehlidentifikation (τ - als quark- Zerfallstyp) ?
3. Zusätzliche Prozesse ?

Neutrinos !!!

- 2)* **Neutrinos sind NICHT "sichtbar" !**
wir müssen die Neutrinos auch berücksichtigen.



Als PhysikerIn wären Sie damit nicht zufrieden...

sondern, Sie würden diesen Fragen auf den Grund gehen, und weitere Details studieren, wie z.B.

...

- Nachweiswahrscheinlichkeiten bestimmen ...
- Fehlidentifikationen reduzieren ..
-

..... aber für uns genügt dies heute ...



Zusammenfassend

Ihr habt

- das Standardmodell der Teilchenphysik kennengelernt,
- selbst Z-Zerfälle studiert und bestätigt, dass das Standardmodell die Z-Zerfälle beschreibt, nämlich:
 - Die Verzweigungsverhältnisse in die geladenen Leptonen (e, μ, τ) sind **alle gleich, nämlich 3.37%**
 - Verzweigungsverhältnis in **Quark-Antiquark = 69.90 %**.
D.h. die **meisten Z zerfallen in Quark-Antiquark Paare !**

Gratulation !!!



**Thanks,
Hoffentlich hat's Spass gemacht ...**



Danke



Backup:

ETH Webversion auf:

[http://ihp-lx2.ethz.ch/CompMethPP/
mc07/physics/physics.htm](http://ihp-lx2.ethz.ch/CompMethPP/mc07/physics/physics.htm)



Setup an UZH

- user = m400649 / pw=mc.2008
- Firefox:
 - www.physik.uzh.ch/lectures/MC2008/java.policy
 - Speichern als: .java.policy
 -
 - MAC: in > home
 - LINUX in : LinuxArbeitsraum
 - Firefox schliessen -> click auf CD