

# Teil 4

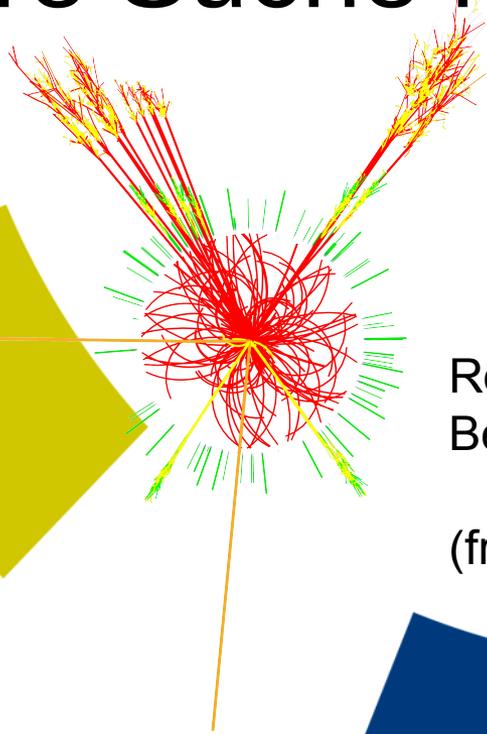
## Eure Suche nach dem Z-Boson

... und mehr?

„Hands on Particle Physics“

Roman Küsters, Dr. Michael Böhler,  
Benjamin Rottler, Naman Kumar Bhalla

(freiburg@teilchenwelt.de)





# Überblick

- Was ist das Z-Boson?
- Noch ein Boson?
- Wie identifiziert man Teilchen im Detektor?
- Wie klassifiziert man Ereignisse?
- Eure Aufgabe für die folgenden 60 min...
- Auswertung der Ergebnisse

# Das Z-Boson

- Austauscheteilchen der schwachen Wechselwirkung
- Elektrisch neutral
- Sehr schwer
  - nur durch Zerfallsprodukte nachweisbar
- Mögliche Zerfälle:  $Z \rightarrow qq$  ( $\sim 70\%$ ),  $Z \rightarrow ll$  ( $\sim 30\%$ )
- **Für heute wichtig:**  $Z \rightarrow e^+e^-$  und  $Z \rightarrow \mu^+\mu^-$  ( $\sim 7\%$ )



# Das Higgs-Boson

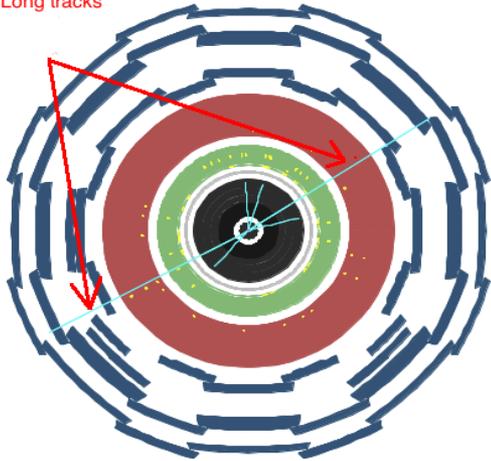


- Das zuletzt entdeckte Teilchen des Standardmodells der Teilchenphysik
- Wird benötigt um die Masse der schweren Bosonen zu erklären
- Sehr viele mögliche Zerfallskanäle u.a.  $H \rightarrow ZZ \rightarrow l^+l^-l^+l^-$  und  $H \rightarrow \gamma\gamma$

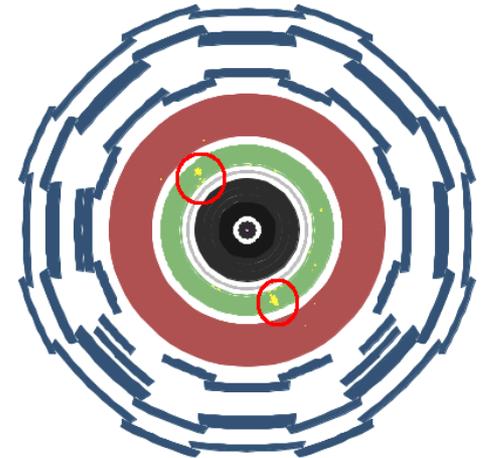
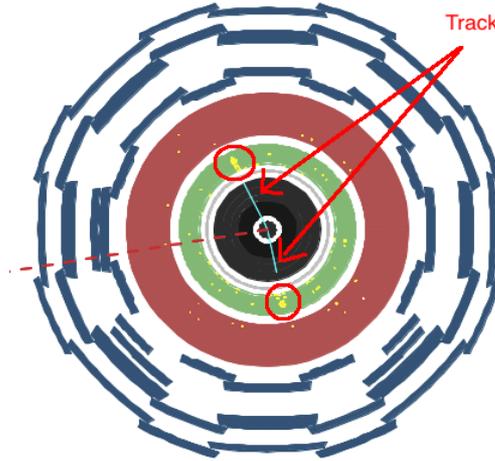
# Teilchenidentifikation

- Idee: verschiedene Teilchen hinterlassen unterschiedliche “Signaturen” im Detektor
- Welche Teilchen sind hier zu sehen?

Long tracks

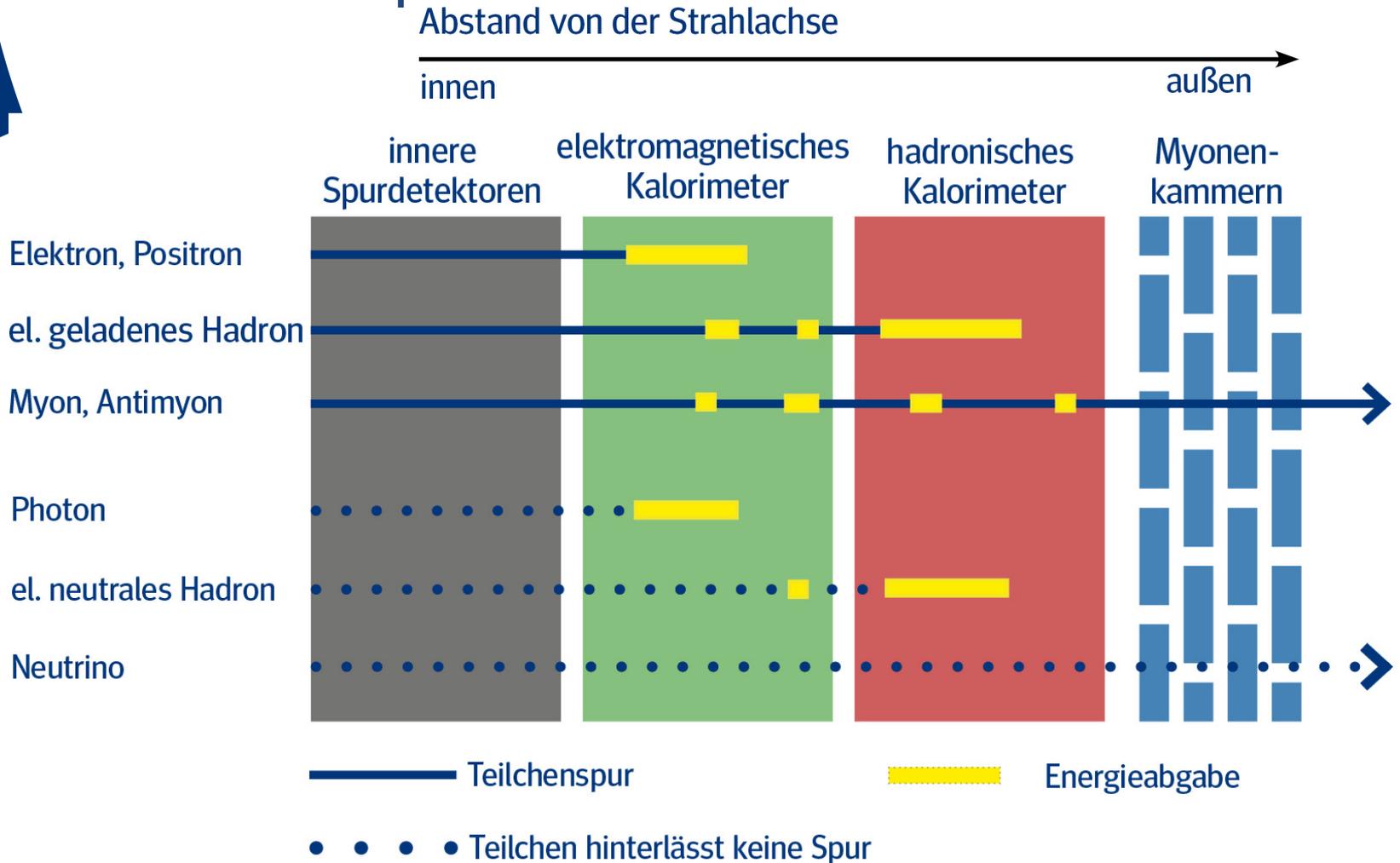


Tracks

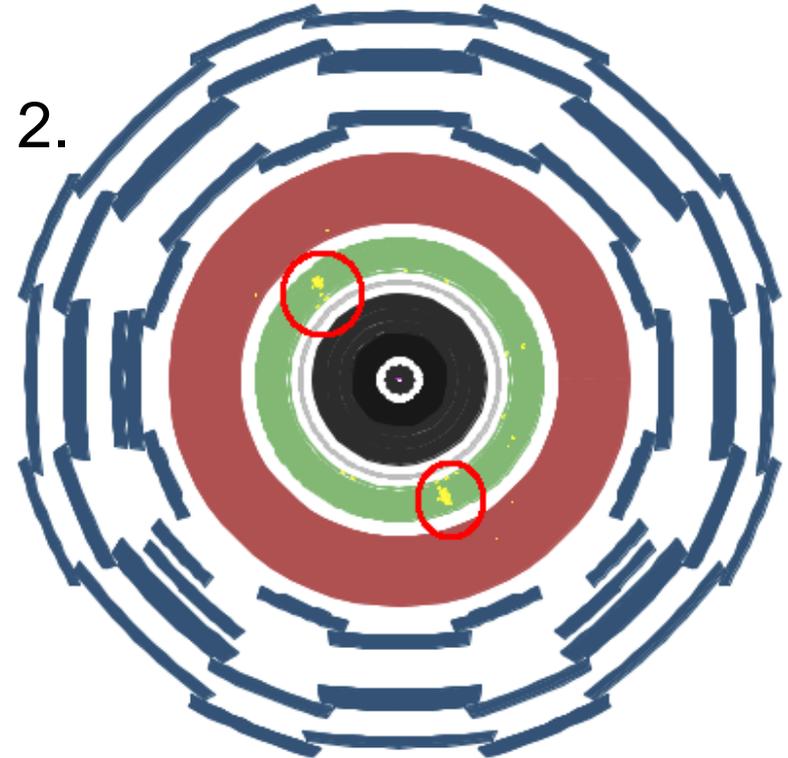
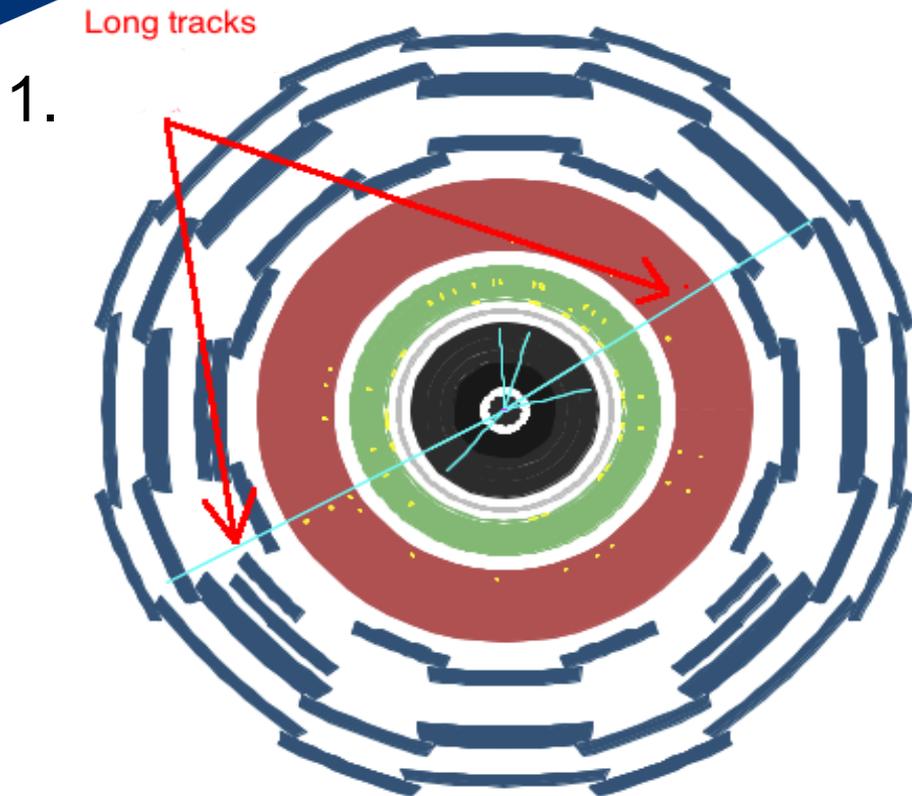




# Reminder: Teilchenspuren im ATLAS-Detektor



# Teilchenidentifikation



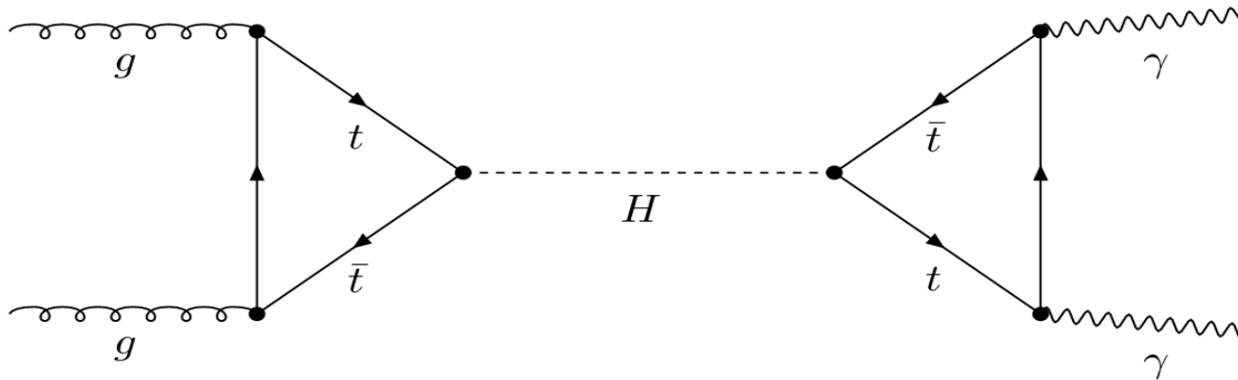


# Ereignisklassifikation

1. Man identifiziert alle (relevanten) Teilchen in einem Ereignis
2. Man klassifiziert ein Ereignis anhand der **Gesamtheit der identifizierten Teilchen**

# Welche Ereignisse gibt es?

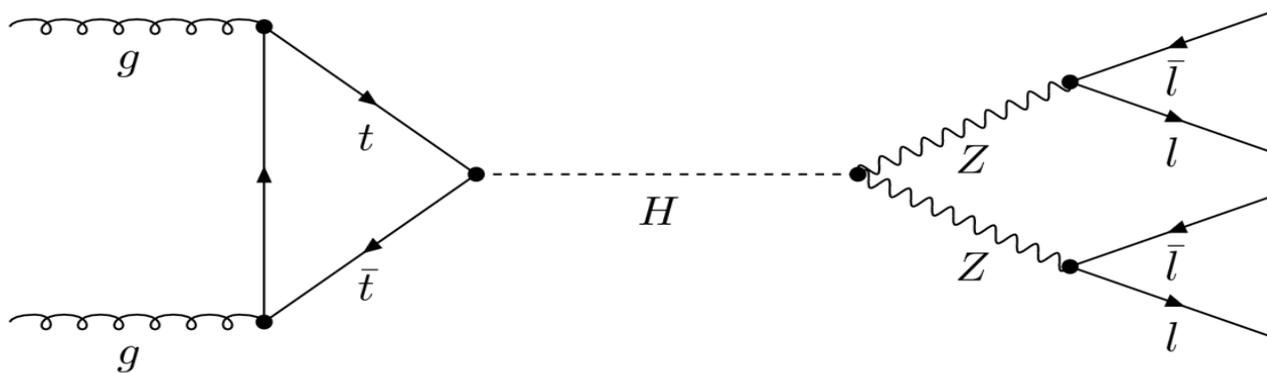
- Higgs-Ereignisse:  $H \rightarrow \gamma\gamma$



- Zwei hochenergetische Photonen

# Welche Ereignisse gibt es?

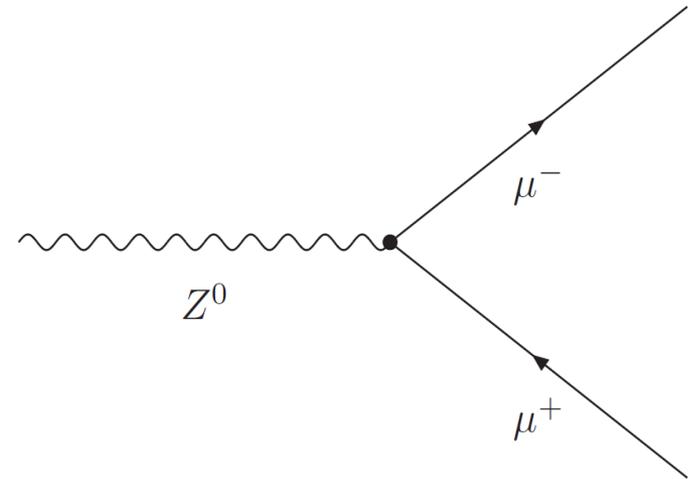
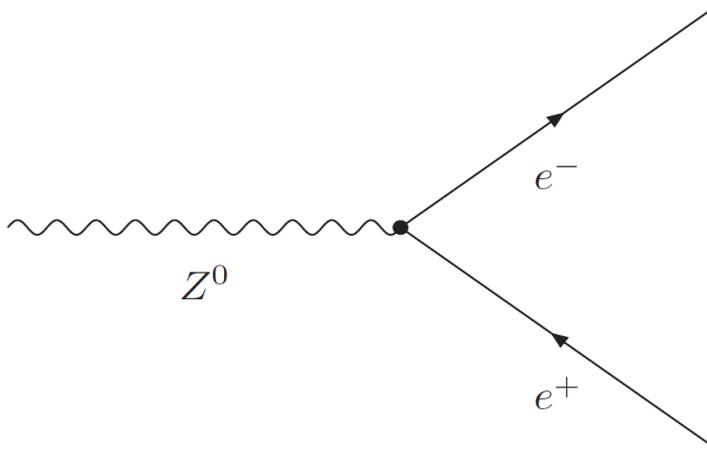
- Higgs-Ereignisse:  $H \rightarrow ZZ^* \rightarrow 4l$



- 4 geladene Leptonen
  - Welche Kombinationen sind möglich?
  - Wie müssen die Ladungen sein?

# Welche Ereignisse gibt es?

- Z-Ereignisse:



- Zwei Elektronen (Muonen) mit unterschiedlicher(!) Ladung

# Eure Aufgabe

Einstein:

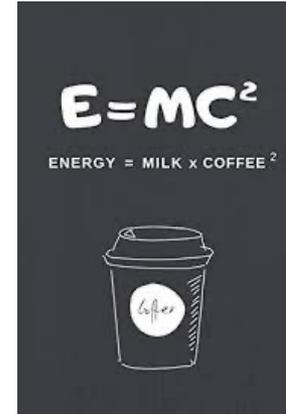
$$E = m \cdot c^2 \quad \text{Energie eines ruhenden Teilchens}$$

$$E = \sqrt{(\vec{p} \cdot c)^2 + (m_0 \cdot c^2)^2}$$

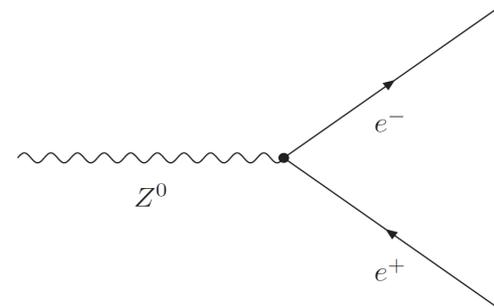
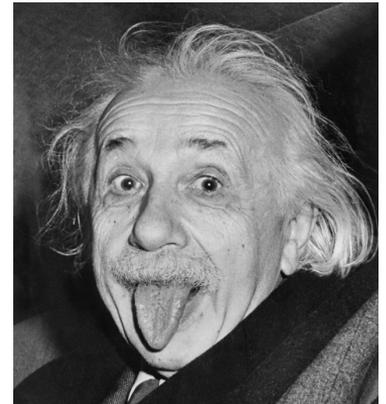
$m_0$  invariante Masse (Erhaltungsgröße)

$$m_0 = \sqrt{\left(\frac{E}{c^2}\right)^2 - \left(\frac{\vec{p}}{c}\right)^2}$$

$$m_0^{(Z)} = \sqrt{\left(\frac{(E_{e^-} + E_{e^+})}{c^2}\right)^2 - \left(\frac{(\vec{p}_{e^-} + \vec{p}_{e^+})}{c}\right)^2}$$



link



# Eure Aufgabe

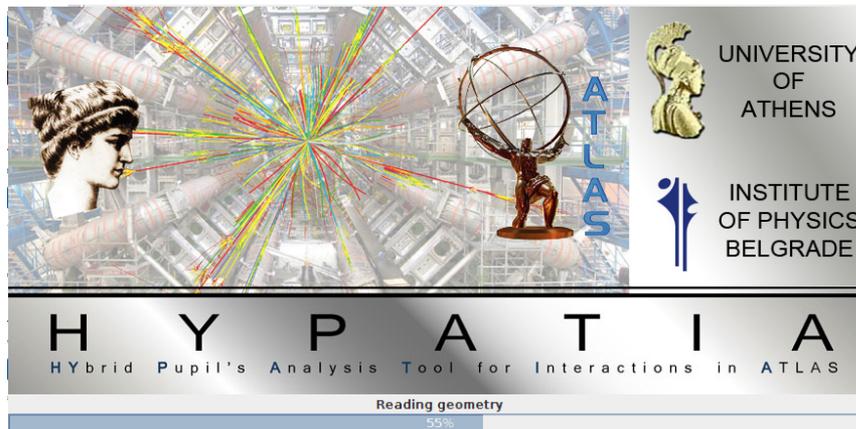
- Energie und Impuls der detektierten Teilchen können gemessen werden
- Also auch die Masse des “Mutterteilchens”
- Bestimmt man die invariante Masse für viele Ereignisse und trägt diese auf  
→ Häufung (Resonanz) im Spektrum

$$m_0^{(Z)} = \sqrt{\left(\frac{(E_{e^-} + E_{e^+})}{c^2}\right)^2 - \left(\frac{\vec{p}_{e^-} + \vec{p}_{e^+}}{c}\right)^2}$$

# Und wie geht das?

- Starten Anwendung Hypatia mit Doppelklick auf das Desktop-Symbol “ATLANTIS”

`java -jar Hypatia_7.4_Masterclass.jar`

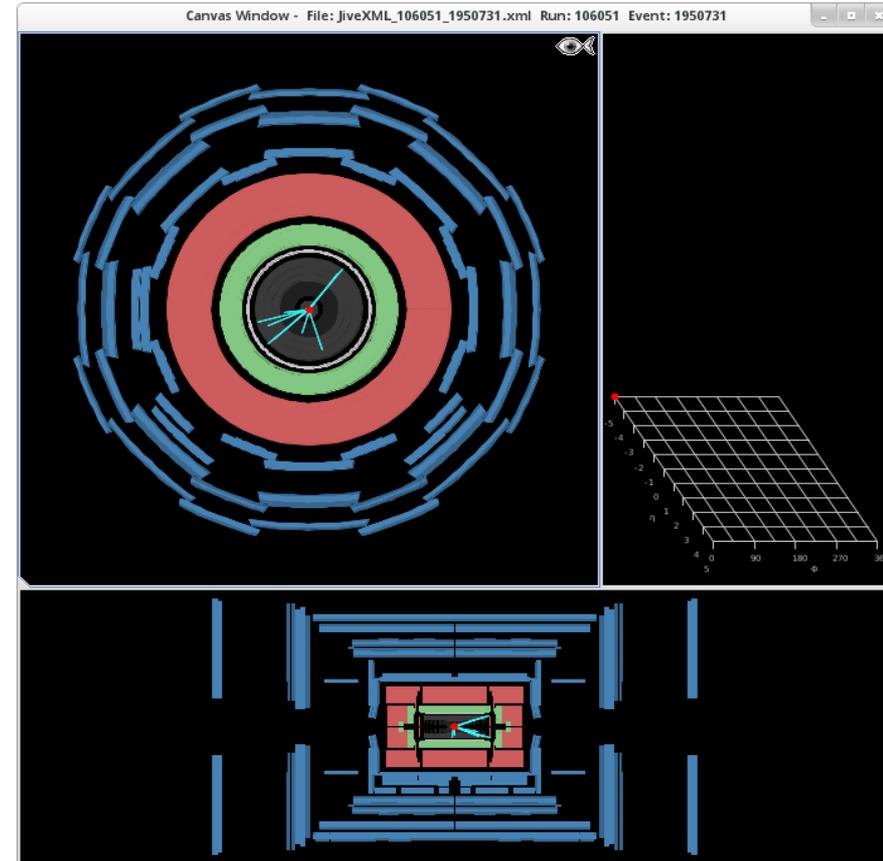


- Laden der Ereignisse über File->Read Event Locally im Auswahldialog gruppeXY.zip auswählen

# Und wie geht das?

- Hypathia hat 4 Fenster
  - Das Ereignisdisplay

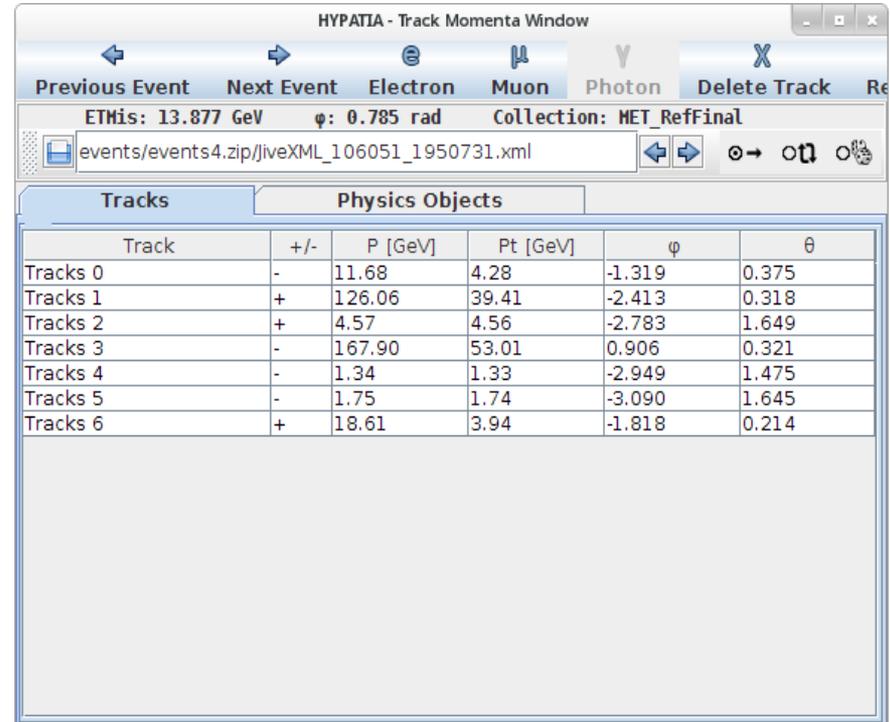
Zeigt eine grafische Repräsentation  
Des Ereignisses in verschiedenen  
Ansichten an



# Und wie geht das?

- Hypathia hat 4 Fenster
  - Das Ereignisdisplay
  - Das “Track-Fenster”

Listet alle Spuren und Objekte des Ereignisses einzeln auf.  
Bei Klick auf eine der Spuren wird diese  
Im Ereignisdisplay hervorgehoben.

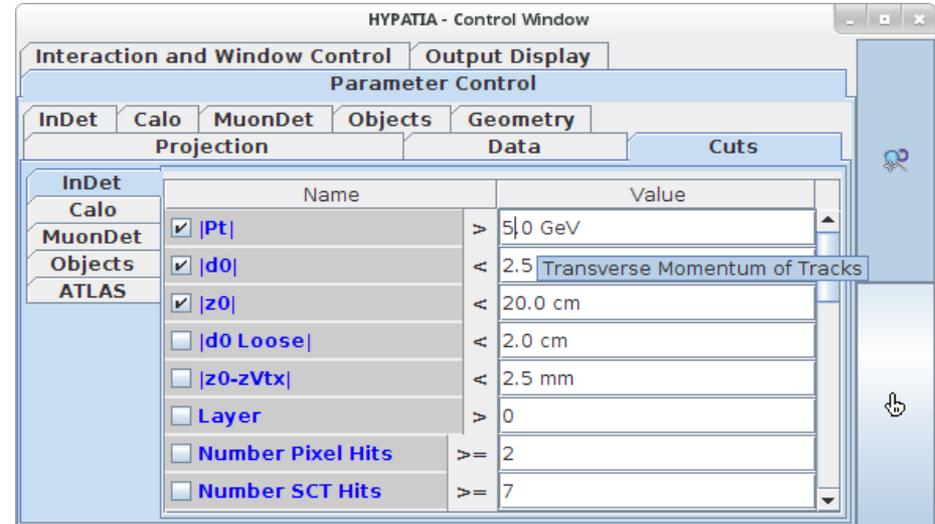


The screenshot shows the HYPATHIA - Track Momenta Window interface. The window title is "HYPATHIA - Track Momenta Window". The interface includes navigation buttons for "Previous Event", "Next Event", "Electron", "Muon", "Photon", and "Delete Track". The event information is displayed as "ETHis: 13.877 GeV",  $\phi: 0.785$  rad, and "Collection: MET\_Reffinal". The file path is "events/events4.zip/liveXML\_106051\_1950731.xml". The window is divided into two tabs: "Tracks" and "Physics Objects". The "Tracks" tab is active, showing a table with the following data:

Track	+/-	P [GeV]	Pt [GeV]	$\phi$	$\theta$
Tracks 0	-	11.68	4.28	-1.319	0.375
Tracks 1	+	126.06	39.41	-2.413	0.318
Tracks 2	+	4.57	4.56	-2.783	1.649
Tracks 3	-	167.90	53.01	0.906	0.321
Tracks 4	-	1.34	1.33	-2.949	1.475
Tracks 5	-	1.75	1.74	-3.090	1.645
Tracks 6	+	18.61	3.94	-1.818	0.214

# Und wie geht das?

- Hypathia hat 4 Fenster
  - Das Ereignisdisplay
  - Das “Track-Fenster”
  - Das Kontroll-Fenster



Bietet Möglichkeiten zu kontrollieren welche Spuren ausgeblendet werden (Tab “Cuts”)

Es sollte immer ein Mindestwert für den Transversalimpuls angegeben Werden (Sonst?)

# Und wie geht das?

- Hypathia hat 4 Fenster
  - Das Ereignisdisplay
  - Das “Track-Fenster”
  - Das Kontroll-Fenster
  - Das Ergebnis-Fenster

Zeigt eine Zusammenfassung aller schon klassifizierten Ereignisse an (Dazu gleich mehr)

File Name	ETMis [GeV]	Track	P [GeV]	+/-	Pt [GeV]	$\phi$	$\eta$	M(2) [GeV]	M(4) [GeV]	e/m/g
00003_Exercise2.xml	16.187	Tracks 2	40.6	+	33.4	-1.366	0.643	90.869		e
		Tracks 141	51.4	-	43.2	2.018	-0.608			e

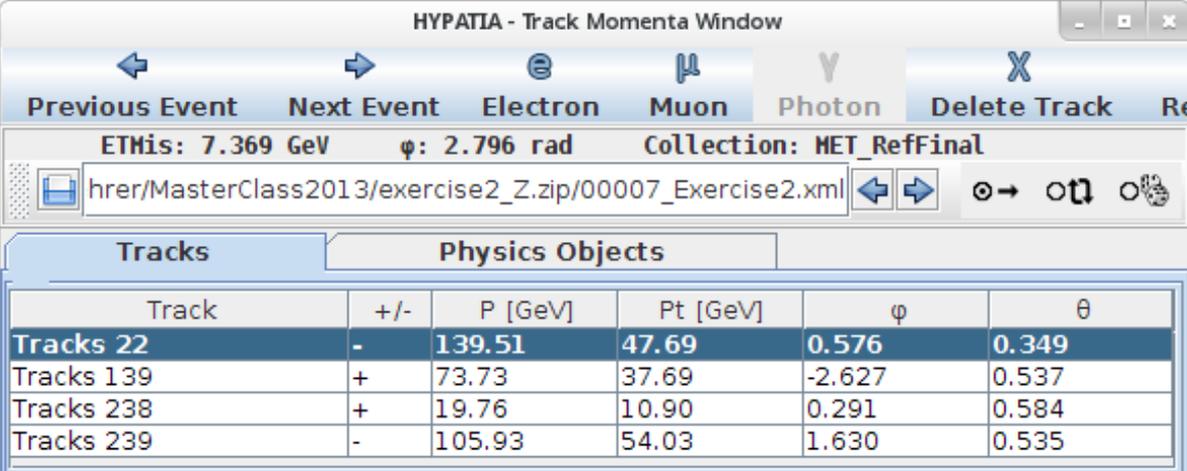


## Und wie geht das?

- Mit Klick auf “Next” bzw. “Previous Event” kann durch die Ereignisse geblättert werden
  - Mit Hilfe des Kontrollfensters kann die Anzahl der angezeigten Spuren begrenzt werden
- Achtung:** Werden zu harte “Schnittkriterien” festgelegt können auch interessante Spuren ausgeblendet werden

# Und wie geht das?

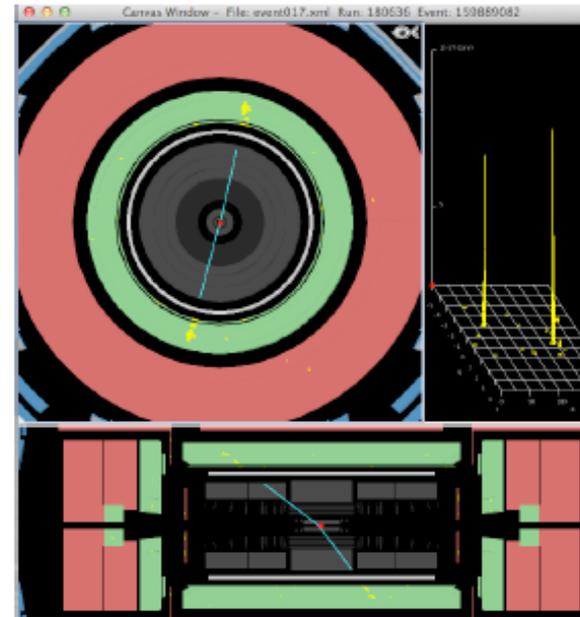
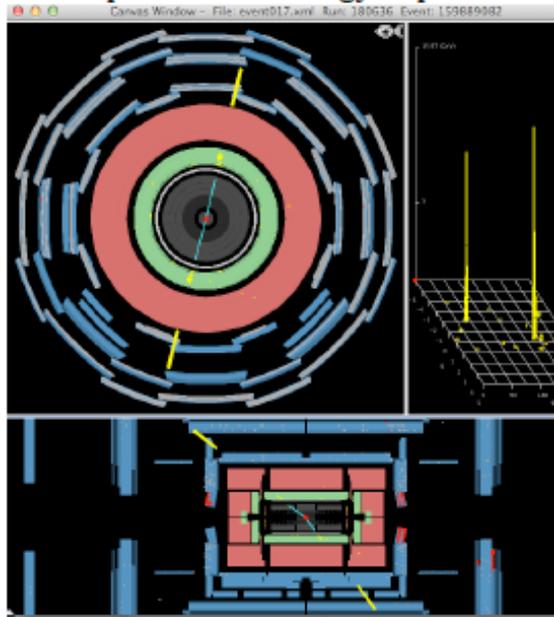
- Ihr habt herausgefunden was für ein Ereignis ihr vor euch habt?



Track	+/-	P [GeV]	Pt [GeV]	$\phi$	$\theta$
Tracks 22	-	139.51	47.69	0.576	0.349
Tracks 139	+	73.73	37.69	-2.627	0.537
Tracks 238	+	19.76	10.90	0.291	0.584
Tracks 239	-	105.93	54.03	1.630	0.535

- Wählt die Spuren einzeln auf und klickt auf die (eurer Meinung nach) passende Teilchensorte (Tipp: Immer auf die Ladung achten)

# Beispiel 1: $Z \rightarrow ee$



Ereignisdisplay

Ergebnis-Fenster

Pt [GeV]	$\phi$	$\eta$	M(2) [GeV]	M(4) [GeV]	e/m/g
32.2	1.344	-1.058	91.682		e
33.2	-1.816	0.682			e

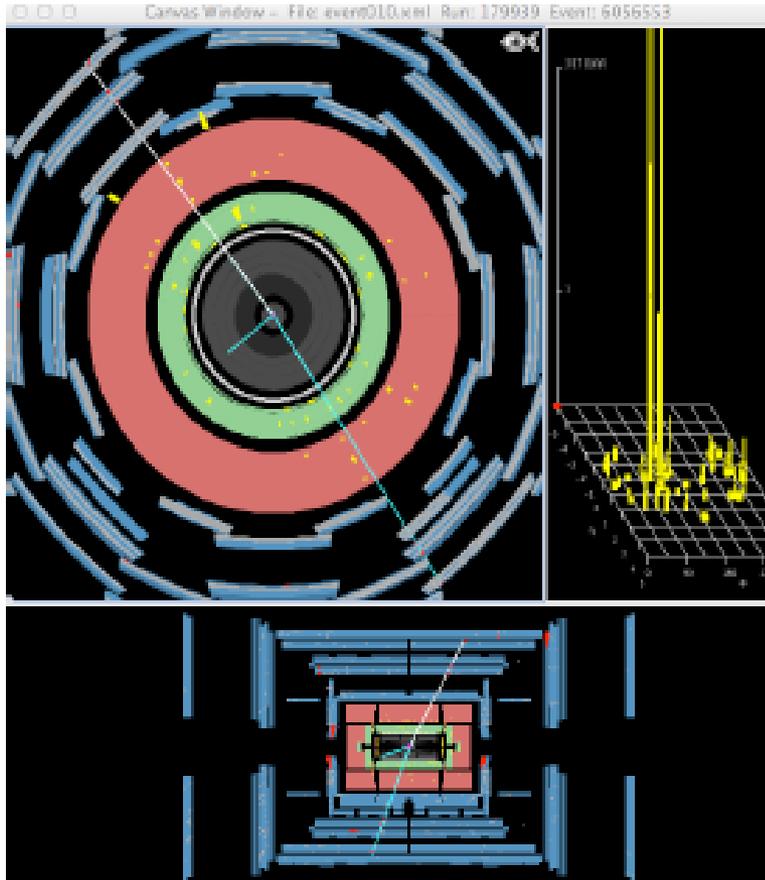
  

HYPATIA - Track Momenta Window						
Previous Event		Next Event		Electron	Muon	Photon
ETMis: 12.267 GeV $\phi$ : -2.710 rad    collection: NET_RefFinal						
events/group04.zip/event017.xml						
Tracks			Physics Objects			
Track	+/-	P [GeV]	Pt [GeV]	$\phi$	$\theta$	
Tracks 2	-	51.92	32.16	1.344	2.474	
Tracks 34	+	41.21	33.18	-1.816	0.936	

The 2-electrons are of opposite charge, have more than 30 GeV momentum, and stem from a Z boson decay:  $M(e^+e^-) = 91.7 \text{ GeV}$

“Track-Fenster”

# Beispiel 2: $Z \rightarrow \mu^+ \mu^-$



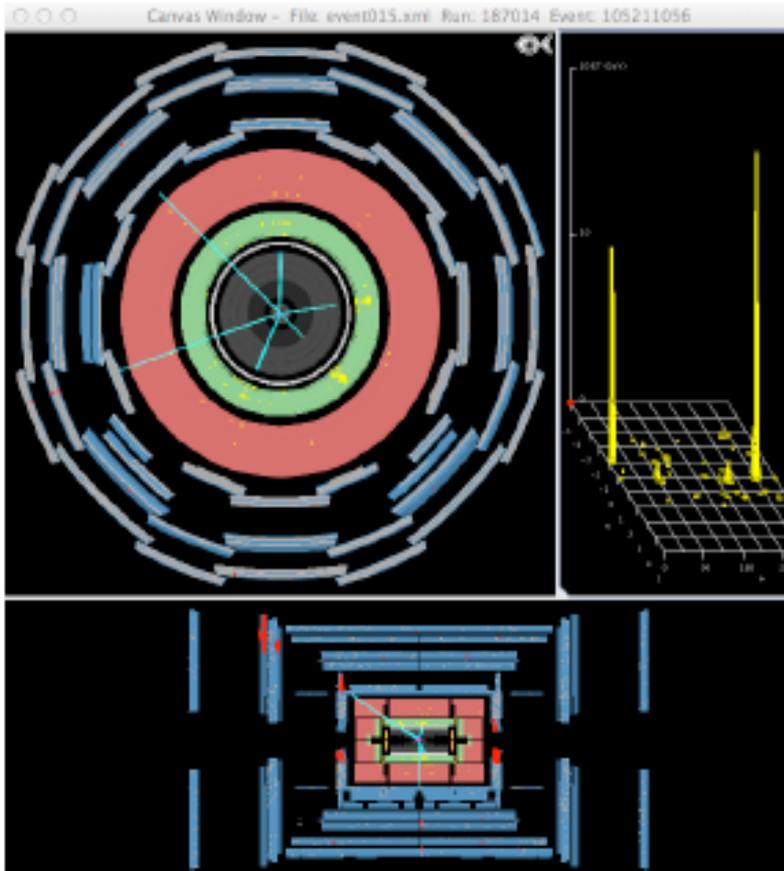
This is an example of di-muon event from Z decay. Two tracks (89 and 117 have opposite charge) with hits in the muon spectrometer (both views).  $M(\mu\mu)=84.3$  GeV.

Track	Pt [GeV]	$\phi$	$\eta$	M(Z) [GeV]	M(4) [GeV]	e/m/g
89	42.8	-1.000	-0.348	84.254		m
117	34.7	2.254	0.517			m

HYPATIA - Track Momenta Window						
Previous Event	Next Event	Electron	Muon	Photon	Delete Track	Reset Ca
ETML: 11.846 GeV $\phi$ : -1.828 rad    Collection: NEXT_ReFinal						
events/group04.zip/event010.xml						
Tracks		Physics Objects				
Track	+/-	P [GeV]	Pt [GeV]	$\phi$	$\theta$	
Tracks 89	-	45.39	42.80	-1.000	1.910	
Tracks 101	+	39.44	34.70	2.254	1.075	
Tracks 117	-	22.12	6.72	-2.512	2.833	

# Beispiel 3: $H \rightarrow \mu^+ \mu^- e^+ e^-$



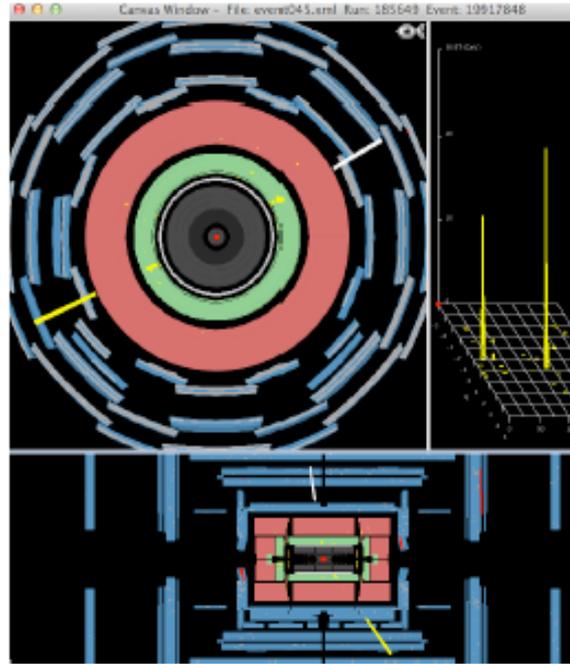
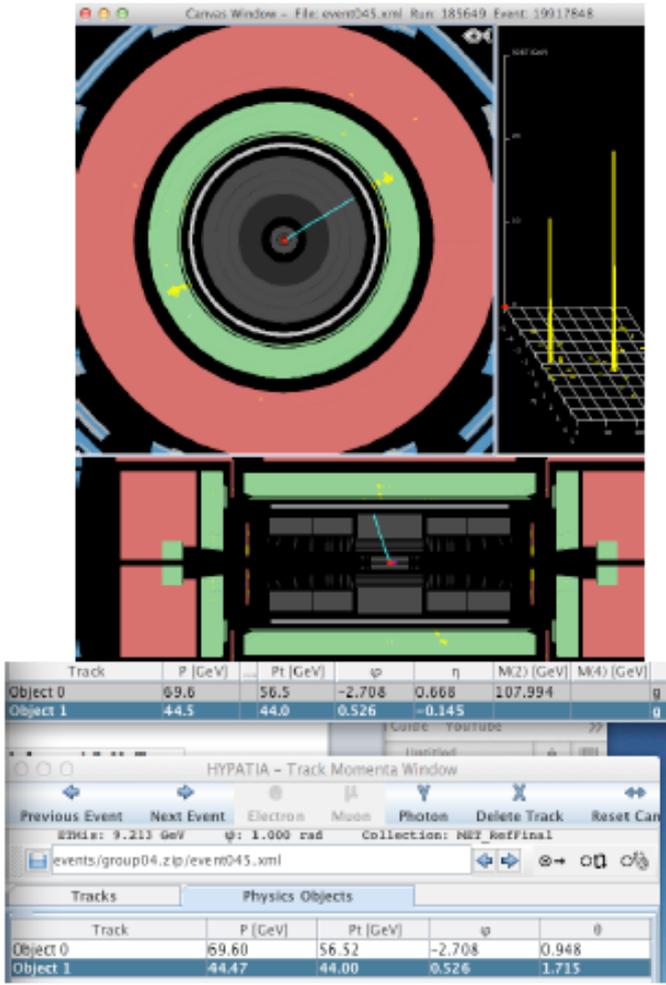
Another 4-lepton event stemming from  $ZZ \rightarrow \mu^+ \mu^- e^+ e^-$  with  $M(\mu\mu) = 91.1$  GeV and  $M(ee) = 89.6$  GeV. There are 2 additional tracks, see further below.

Pt [GeV]	$\varphi$	$\eta$	M(2) [GeV]	M(4) [GeV]	e/m/g
35.4	-2.835	0.027	91.056	291.010	$\mu$
84.1	2.378	-1.212			$\mu$
44.9	0.154	-0.968	89.645		e
75.3	-0.804	0.200			e

Track	+/-	P [GeV]	Pt [GeV]	$\varphi$	$\theta$
Tracks 4	+	12.48	11.87	-1.980	1.256
Tracks 6	+	153.74	84.09	2.378	2.563
Tracks 8	-	76.79	75.28	-0.804	1.372
Tracks 11	+	67.65	44.90	0.154	2.416
Tracks 31	-	10.10	9.30	-2.048	1.170
Tracks 72	-	35.46	35.44	-2.835	1.544

# Beispiel 4: $H \rightarrow \gamma\gamma$



Another 2-photon event with 2 clear calo objects:  $M(\gamma\gamma)=108$  GeV. After a  $p_T$  cut of 5 GeV, one track remains, which however does not point to the cluster in the z-view. In fact, by requiring 2 pixel hits, the track disappears (right figure). The requirement of pixel hits helps remove charged particles that weren't produced at the collision point

## Noch ein Hinweis

- Um den Überblick zu bewahren welche Ereignisse ihr schon klassifiziert habt → Strichlisten
- Wichtig: Es kommt nicht darauf an alle Ereignisse möglichst schnell zu bearbeiten
- Qualität > Quantität →



5 movies  
0 oscars nominations  
0 oscars wins



3 movies  
31 oscars nominations  
17 oscars wins

# Und sonst?

- Bei Fragen -> Fragen!



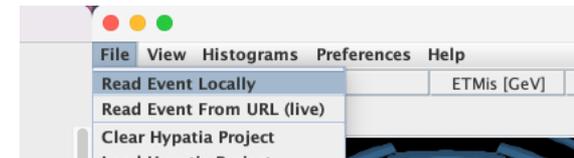
# Los geht's

- Login mit User: cip-user (pwd cip-user)
- Starte ein Terminal (Ctrl+Alt+T)
- Gib ein:

```
cd /mnt/Hypatia_7.4_Masterclass  
source HYPATIA_for_Linux.sh
```

- Klick oben links File → Read Event Locally
  - Wähle:

```
/mnt/Hypatia_7.4_MasterClass/datasets/dir09/group___.zip
```

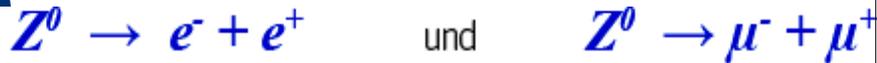


DEIN Buchstabe



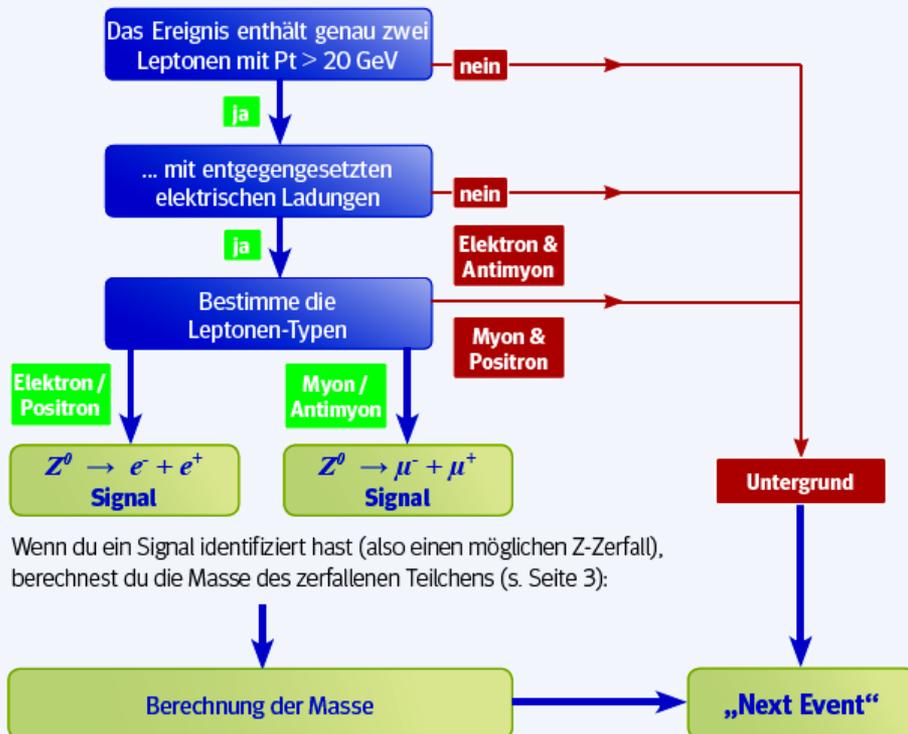
# Vorgehensweise

## 1) Suche nach Z-Boson



### DATENANALYSE: SO UNTERSUCHST DU EREIGNISBILDER

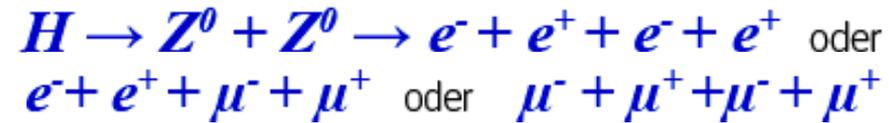
Überprüfe bei jedem Ereignis, ob die **Kriterien für einen Z-Zerfall** erfüllt sind:



## 2) Suche nach H-Boson

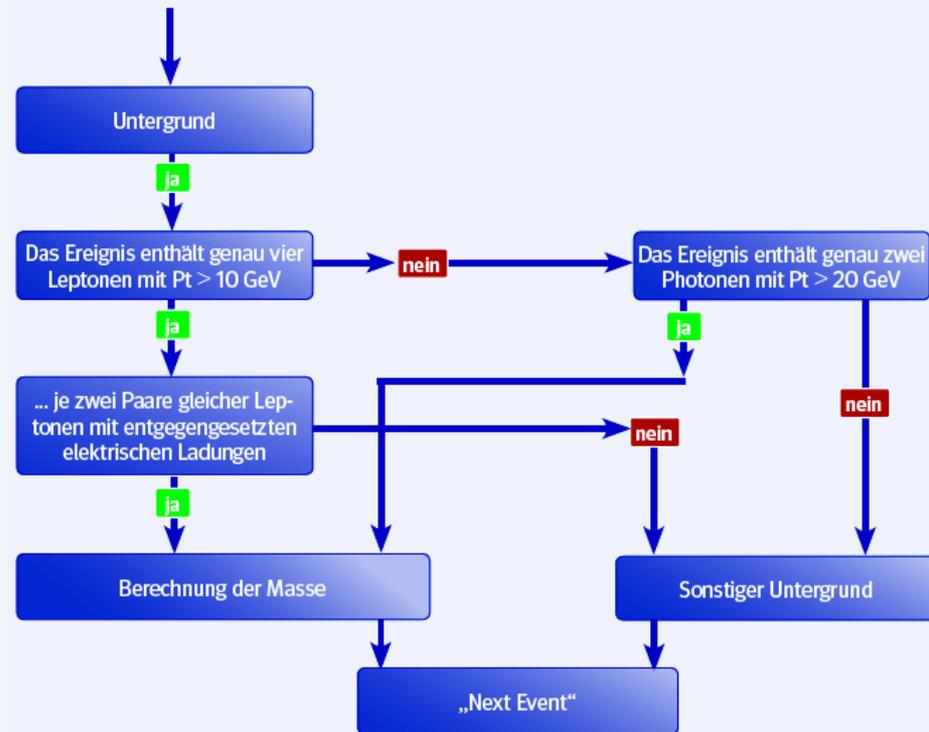


Da das Z weiter zerfällt, suchen wir:



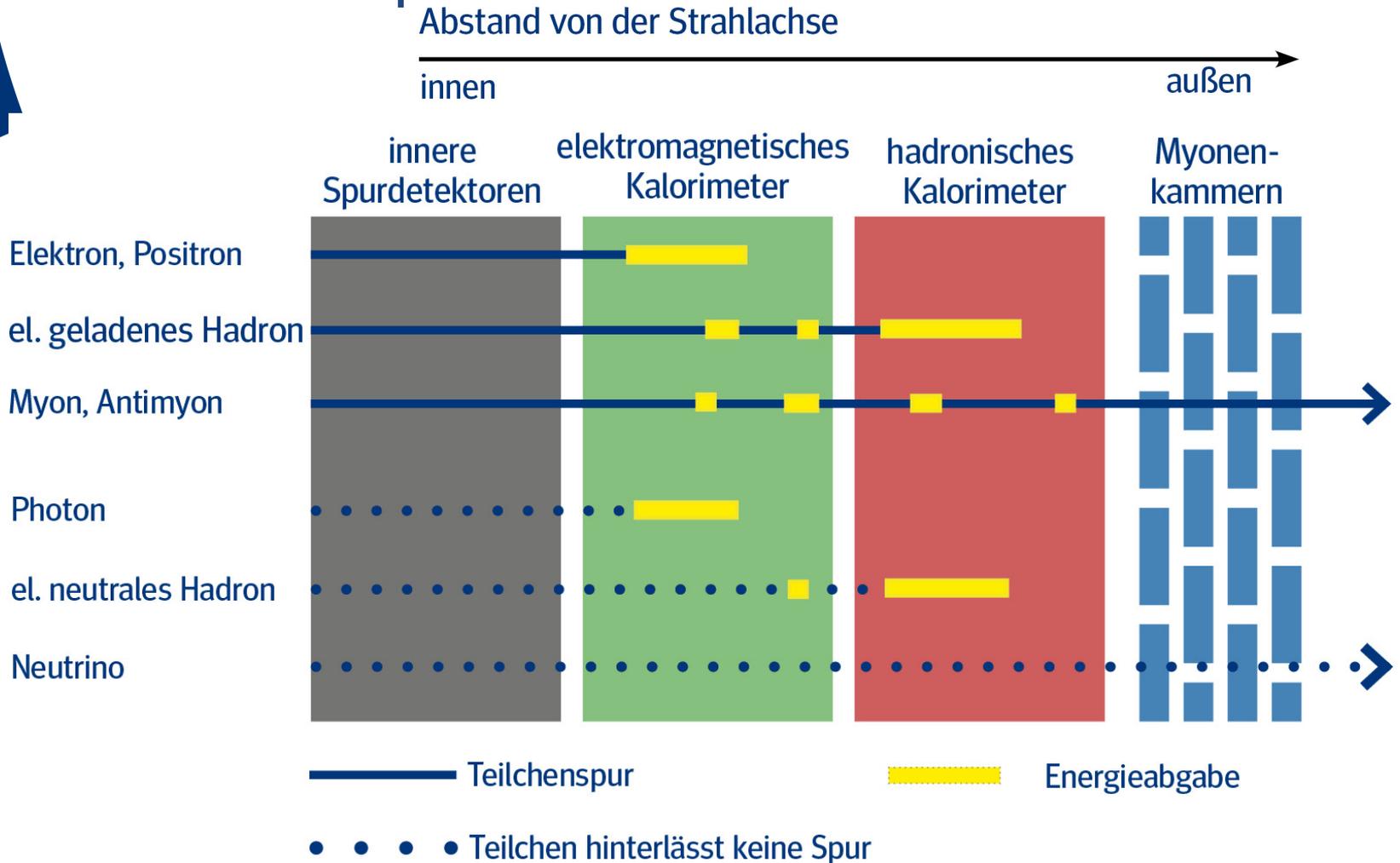
### ERGRUNDANALYSE:

Überprüfe alle Ereignisse, die Untergrund (kein Z-Boson) sind, ob ein Higgs-Ereignis dabei ist:



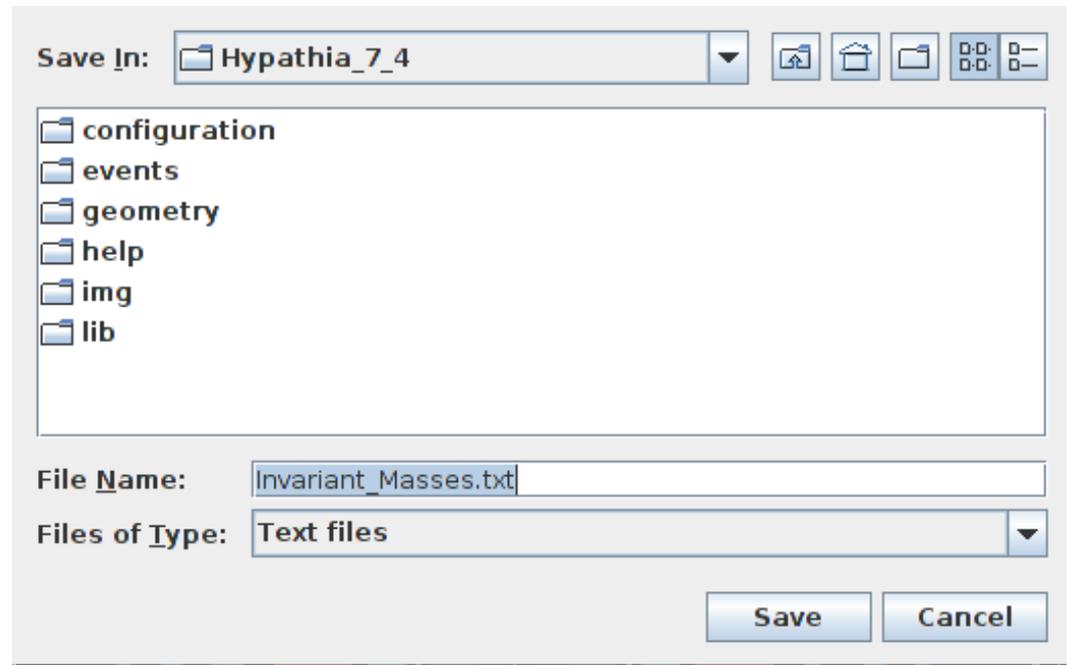


# Reminder: Teilchenspuren im ATLAS-Detektor



# Ergebnisse exportieren

- Klick: File → Export Invariant Masses
- Speichert die Invariant\_Masses.txt Datei, so dass ihr sie wieder findet



- Dann web-browser öffnen

# Daten zusammenfuegen

Öffnet folgenden link:

<http://cernmasterclass.uio.no/OPlot/studentPage.php>

- Username ippog
- Password imc

Wählt folgende Veranstaltung aus:

- 2024 – March – 15 – Freiburg – 15 - < Buchstabe >

## OPlot – MasterClass – Student page

[Start](#) [Student](#) [Moderator](#) [Tutor](#) [Administrator](#)

### Student Tasks

Please select items from the drop-down boxes to submit your results!

2023 ▾ March ▾ 31 ▾ DHG Freiburg ▾ 15 ▾

✓ Group letter  
A  
B  
C

- Browse → euer exportiertes File
- Submit

Upload your file:

Browse...

No file selected.

Submit

No file selected.

# Die Suche nach dem Higgs ( $H \rightarrow \gamma\gamma$ )

Klares Signal zu  
sehen

Masse kompatibel  
mit  $H \rightarrow 4l$

