

Der Z-Pfad



Kira Abeling

II. Physikalisches Institut Göttingen

03. November 2020



NETZWERK
TEILCHENWELT

Was machen wir heute?

- Echte ATLAS Daten analysieren
 - In Proton-Proton-Kollisionen können viele Teilchen entstehen
- ⇒ Suche nach dem Z- und dem Higgs-Teilchen
- Vielleicht auch neue Physik?...

Teilchen erkennen

Der ATLAS Detektor

Erinnerung an Gestern

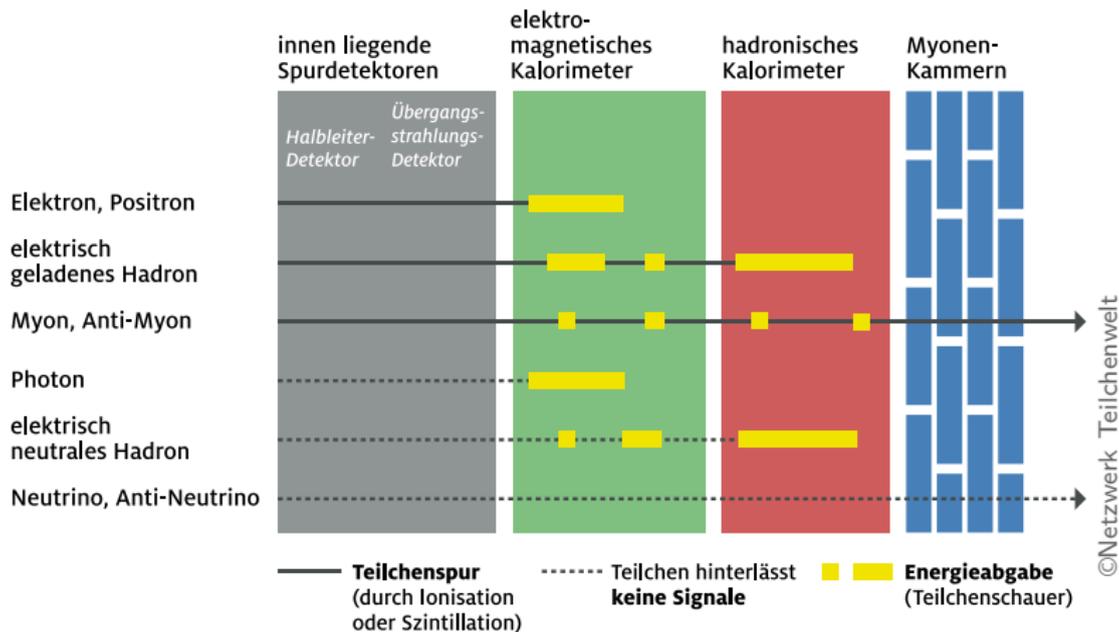


GEORG-AUGUST-UNIVERSITÄT
GÖTTINGEN

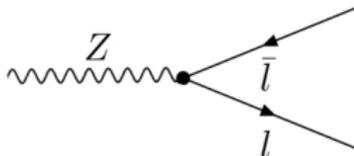
Abstand von der Strahlachse

innen

außen



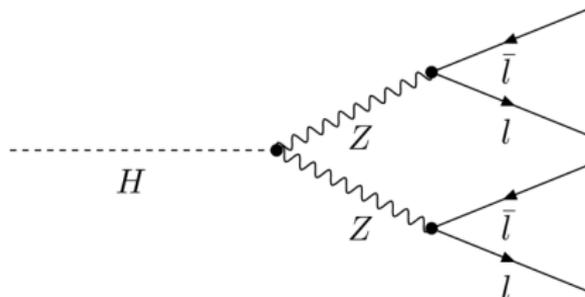
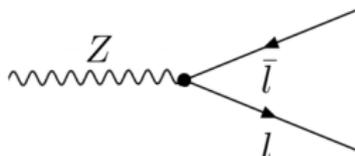
- Weder Z-, noch Higgs-Teilchen sind stabil
⇒ Zerfall in leichtere Teilchen



Z-Teilchen

- $\rightarrow e^+e^-$
- $\rightarrow \mu^+\mu^-$

- Weder Z-, noch Higgs-Teilchen sind stabil
⇒ Zerfall in leichtere Teilchen

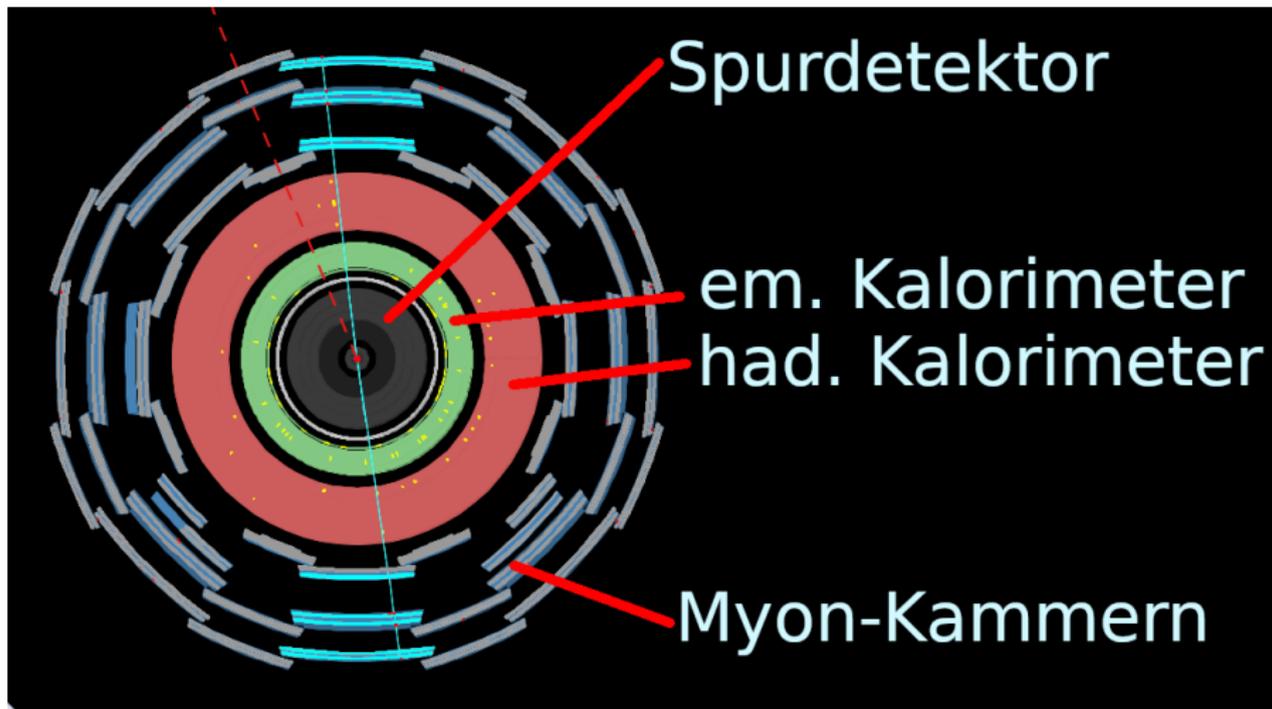


Z-Teilchen

- $\rightarrow e^+e^-$
- $\rightarrow \mu^+\mu^-$

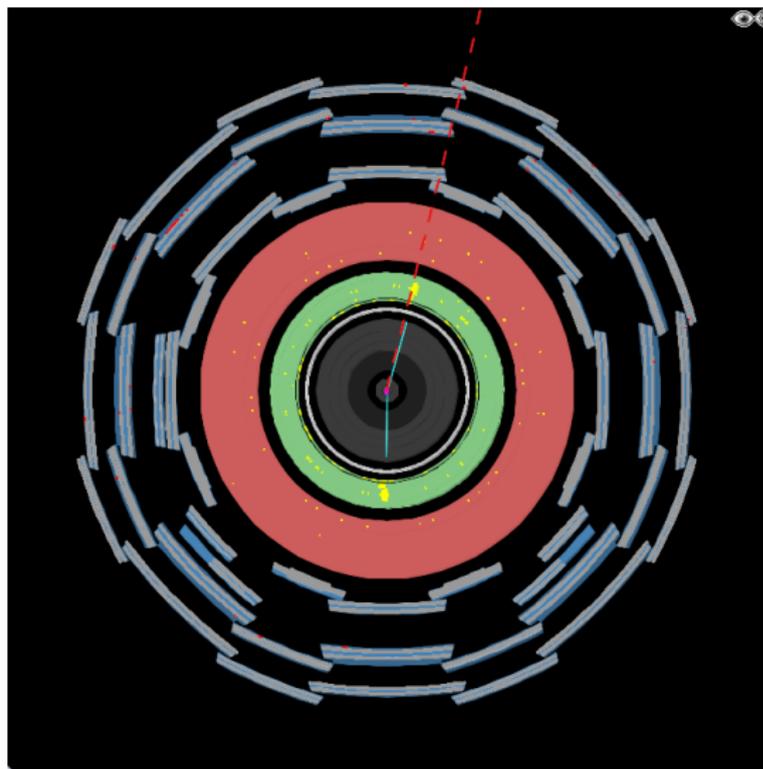
Higgs-Teilchen

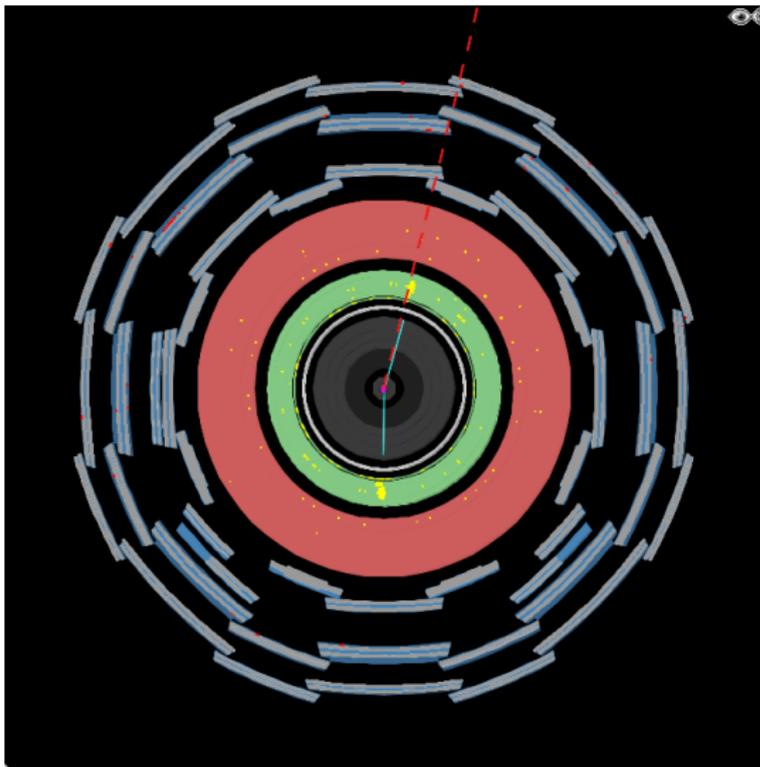
- $\rightarrow ZZ \rightarrow e^+e^-e^+e^-$
- $\rightarrow ZZ \rightarrow \mu^+\mu^-e^+e^-$
- $\rightarrow ZZ \rightarrow \mu^+\mu^-\mu^+\mu^-$
- $\rightarrow \gamma\gamma$



Teilchen im Detektor

Einfache Beispiele



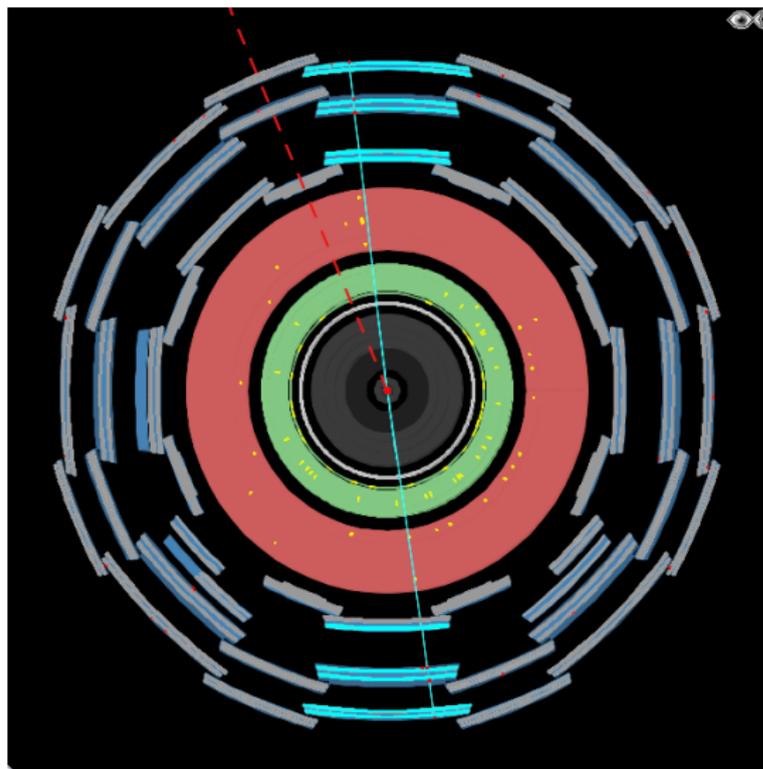


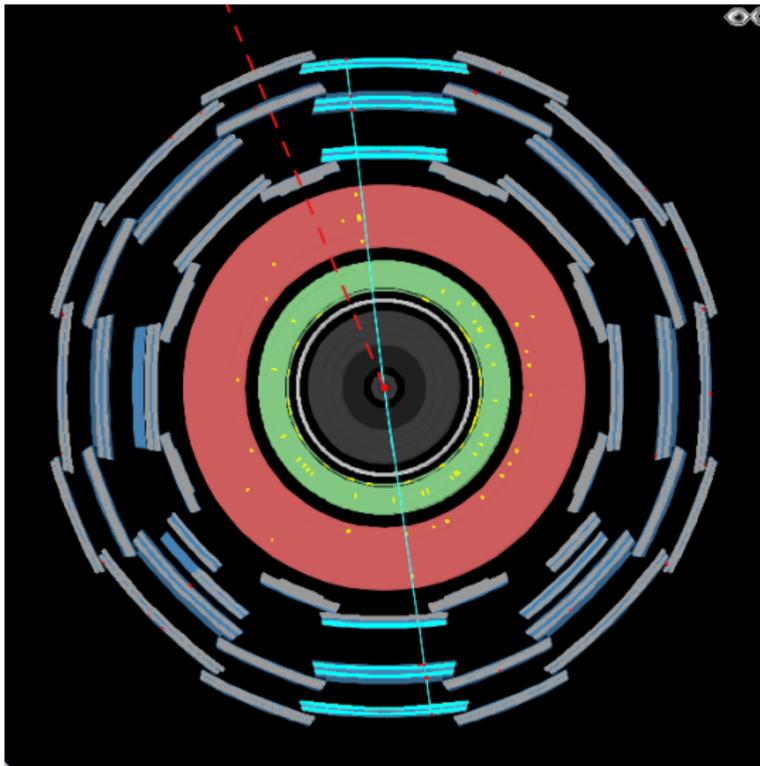
Elektronen e^\pm

- Ladung: ± 1
⇒ Spurdetektor
- EM-Wechselwirkung
⇒ EM-Kalorimeter
(Energie)
- Danach gestoppt

Teilchen im Detektor

Einfache Beispiele



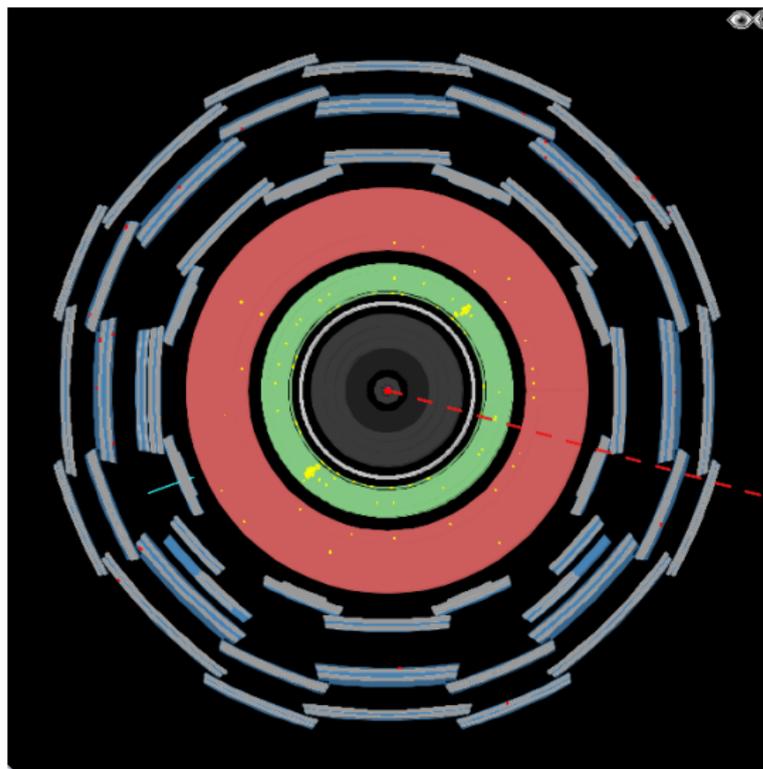


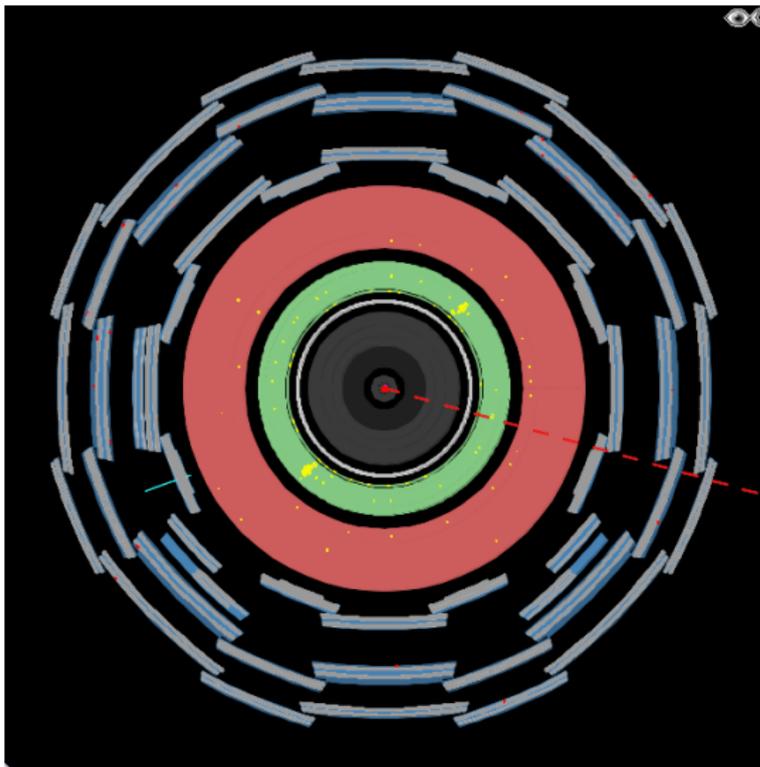
Muonen μ^\pm

- Ladung: ± 1
⇒ Spurdetektor
- ACHTUNG:
“Minimal ionisierend”
⇒ Wenig Energieverlust
(Kalorimeter)
- Nicht gestoppt ⇒
Muon-Kammern

Teilchen im Detektor

Einfache Beispiele

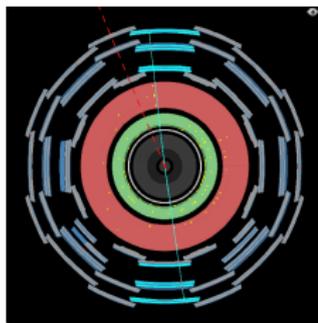
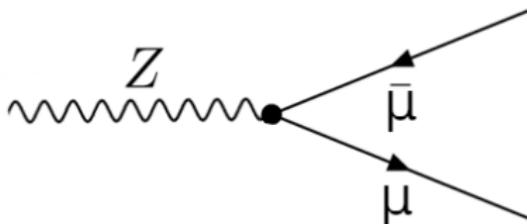




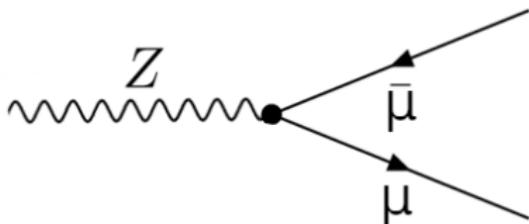
Photonen γ

- Ladung: 0
⇒ KEINE Spur
- EM-Wechselwirkung
⇒ EM-Kalorimeter
(Energie)
- Danach gestoppt

Teilchen entdecken

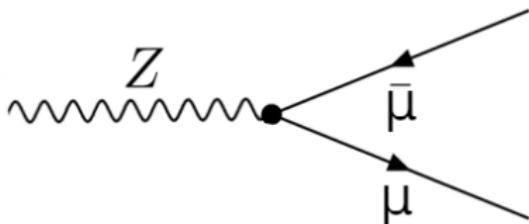


Myon und Antimyon im Detektor – aber war das ein Z ?



Myon und Antimyon im Detektor – aber war das ein Z?

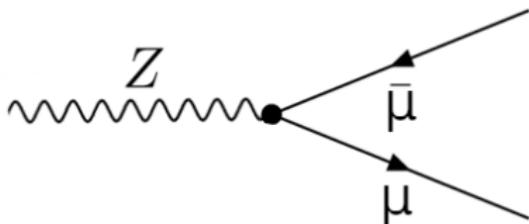
- Einstein: $E = mc^2$



Myon und Antimyon im Detektor – aber war das ein Z ?

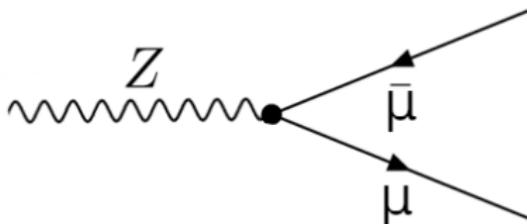
- Einstein: $E = mc^2$

⇒ Masse des Z -Teilchens wird (zum Teil) die Energie der Myonen!



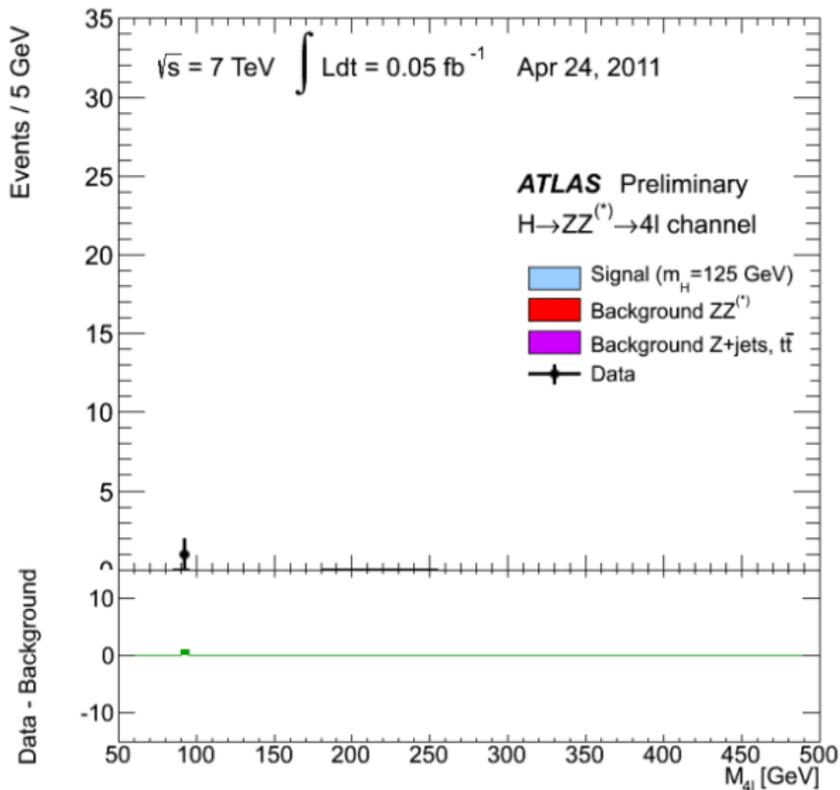
Myon und Antimyon im Detektor – aber war das ein Z?

- Einstein: $E = mc^2$
- ⇒ Masse des Z-Teilchens wird (zum Teil) die Energie der Myonen!
- Emmy Noether: Energie & Impuls bleiben erhalten
- ⇒ Information über Z-Masse bleibt erhalten!
- ⇒ “Invariante Masse” berechnen als Test

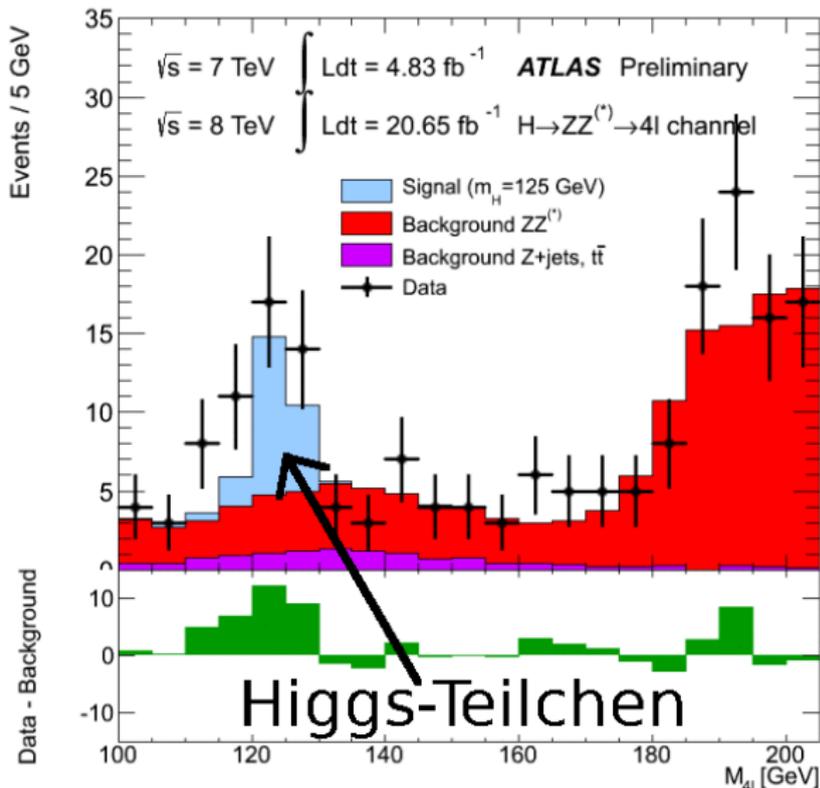


Myon und Antimyon im Detektor – aber war das ein Z ?

- Einstein: $E = mc^2$
- ⇒ Masse des Z -Teilchens wird (zum Teil) die Energie der Myonen!
- Emmy Noether: Energie & Impuls bleiben erhalten
- ⇒ Information über Z -Masse bleibt erhalten!
- ⇒ “Invariante Masse” berechnen als Test
- So kann man auch neue Teilchen entdecken!



©CERN (Video online)



©CERN (Video online)

Das ganze in HYPATHIA

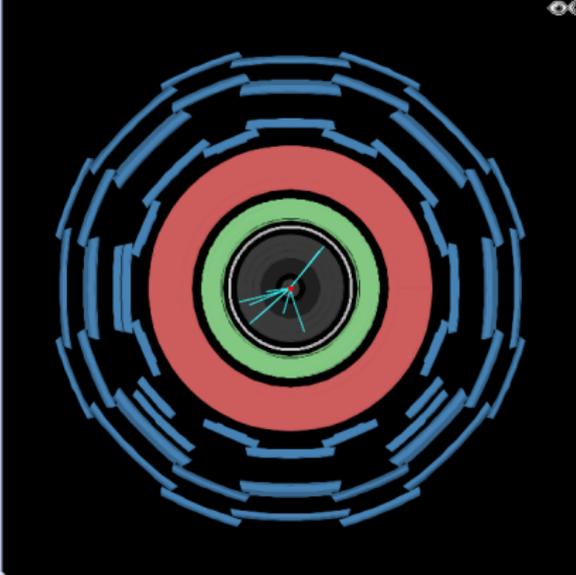
- Vier Fenster öffnen sich

HYbrid Pupils' Analysis Tool for Interactions in ATLAS - version 7.4 - Invariant Mass Window

File View Histograms Preferences Help

File Name ETMIs [GeV] Track P [GeV] +/- Pt [GeV] η Ml(2) [GeV] M(eeee) [GeV] M(eemm) [...] M(mmmm) ... e/m/g

Canvas Window - File: JiveXML_106051_1950731.xml Run: 106051 Event: 1...



HYPATIA - Track Momenta Window

File Previous Event Next Event Electron Muon Photon Delete Track

XMLfile: 13.877 GeV ϕ : 0.785 rad Collection: HRP_ReFinal

events/events4.zip/jiveXML_106051_1950731.xml

Tracks		Physics Objects				
Track	+/-	P [GeV]	Pt [GeV]	η	θ	
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	

HYPATIA - Simplified Control Window

Projection Interaction Cut

|Pt| > 1.0 GeV

|D0| < 0.25 cm

|Z0| < 20.0 cm

End-View Side-View Zoom Pick

- Vier Fenster öffnen sich

Hybrid Pupils' Analysis Tool for Interactions in ATLAS - version 7.4 - Invariant Mass Window

File View Histograms Preferences Help

File Name ETMis [GeV] Track P [GeV] +/- Pt [GeV] φ η M(2) [GeV] M(eee) [GeV] M(eemm) [...] M(mmmm) ... e/m/g

Canvas Window - File: JiveXML_106051_1950731.xml Run: 106051 Event: 1...

HYPATIA - Track Momenta Window

File Previous Event Next Event Electron Muon Photon Delete Track

ETMis: 13.877 GeV φ : 0.785 rad Collection: MIP_RefFinal

events/events4.zip/jiveXML_106051_1950731.xml

Track	+/-	P [GeV]	Pt [GeV]	φ	θ
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

HYPATIA - Simplified Control Window

Projection Interaction Cut

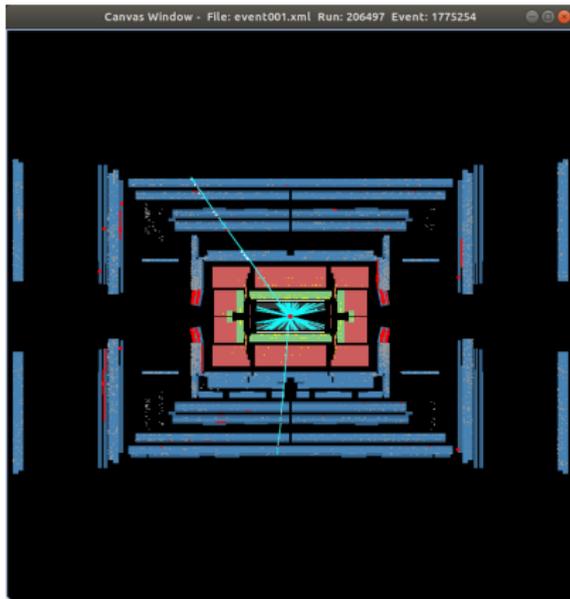
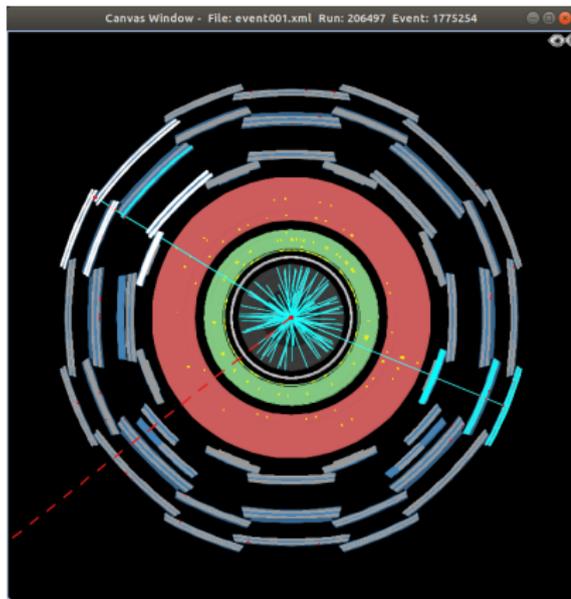
|Pt| > 1.0 GeV

|D0| < 0.25 cm

|Z0| < 20.0 cm

End-View Side-View Zoom Pick

- Ein Fenster zeigt die Spuren und Energien im Detektor
- Es gibt zwei Optionen: Seiten- oder Front-Ansicht



- Ein zweites Fenster zeigt die Werte der Spuren

HYPATIA - Track Momenta Window

File Previous Event Next Event Electron Muon Photon Delete Track Reset Canvas

ETM1is: 37.975 GeV ϕ : -1.183 rad Collection: MET_RefFinal

box/teaching/18-WiSe_Masterclasses/Z-path/dataset09/groupB.zip/event002.xml

Track	+/-	P [GeV]	Pt [GeV]	ϕ	θ
Tracks 2	-	108.74	57.99	1.525	0.562
Tracks 4	+	98.79	61.23	-2.171	2.473
Tracks 10	-	136.93	39.24	-0.248	2.851
Tracks 21	+	43.41	41.65	2.277	1.856
Tracks 410	-	14.96	7.48	-0.701	2.618
Tracks 579	-	179.71	116.20	-1.751	2.438
Tracks 626	+	103.61	70.80	-0.444	0.752
Tracks 627	+	172.28	163.14	-0.125	1.898
Tracks 629	+	44.54	42.15	0.908	1.900
Tracks 631	-	81.25	55.61	1.015	0.754
Tracks 632	+	97.55	33.18	-2.863	0.347
Tracks 634	-	29.37	27.66	2.324	1.914
Tracks 635	-	36.12	27.85	-2.173	0.881
Tracks 636	+	96.97	47.21	2.286	2.633
Tracks 643	-	58.49	32.36	-0.636	2.555
Tracks 655	-	12.40	9.20	2.002	0.726

- Ein zweites Fenster zeigt die Werte der Spuren
- Die **wichtigen** müssen zugeordnet werden

HYPATIA - Track Momenta Window

File Previous Event Next Event Electron Muon Photon Delete Track Reset Canvas

ETM10: 37.975 GeV ϕ : -1.463 rad Collection: MET_RefFinal

box/teaching/18-WISE_Masterclasses/Z-path/dataset00_groupB.zip/event002.xml

Tracks Physics Objects

Track	+/-	P [GeV]	Pt [GeV]	ϕ	θ
Tracks 2	-	108.74	57.99	1.525	0.562
Tracks 4	+	98.79	61.23	-2.171	2.473
Tracks 10	-	136.93	39.24	-0.248	2.851
Tracks 21	+	43.41	41.65	2.277	1.856
Tracks 410	-	14.96	7.48	-0.701	2.618
Tracks 579	-	179.71	116.20	-1.751	2.438
Tracks 626	+	103.61	70.80	-0.444	0.752
Tracks 627	+	172.28	163.14	-0.125	1.898
Tracks 629	+	44.54	42.15	0.908	1.900
Tracks 631	-	81.25	55.61	1.015	0.754
Tracks 632	+	97.55	33.18	-2.863	0.347
Tracks 634	-	29.37	27.66	2.324	1.914
Tracks 635	-	36.12	27.85	-2.173	0.881
Tracks 636	+	96.97	47.21	2.286	2.633
Tracks 643	-	58.49	32.36	-0.636	2.555
Tracks 655	-	12.40	9.20	2.002	0.726

- In dem langen Fenster erscheinen die Ausgewählten

HYbrid Pupils' Analysis Tool for Interactions in ATLAS - version 7.4 - Invariant Mass Window

File	View	Histograms	Preferences	Help											
File Name	ETMis [GeV]	Track	P [GeV]	+/-	Pt [GeV]	ϕ	η	M(2) [GeV]	M(eeee) [GeV]	M(eemm) [GeV]	M(mmmm) [...]	e/m/g			
event001.xml	13.467	Object 0	58.4		58.1	-1.256	-0.092	142.726				g			
		Object 1	119.9		45.3	2.064	1.629					g			
event002.xml	37.975	Tracks 10	136.9	-	39.2	-0.248	-1.922	91.492			364.010	m			
		Tracks 4	98.8	+	61.2	-2.171	-1.058					m			
		Tracks 2	108.7	-	58.0	1.525	1.242	90.333				m			
		Tracks 21	43.4	+	41.7	2.277	-0.289					m			

- In dem langen Fenster erscheinen die Ausgewählten
- Wenn die Ladungen passen, wird automatisch die invariante Masse berechnet

HYbrid Pupils' Analysis Tool for Interactions in ATLAS - version 7.4 - Invariant Mass Window

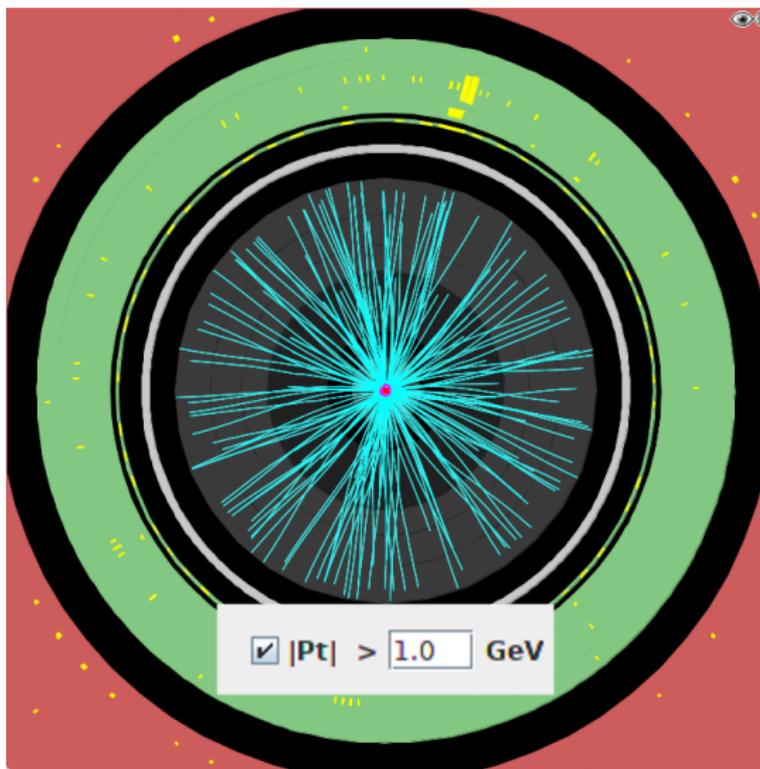
File	View	Histograms	Preferences	Help	File Name	ETMs [GeV]	Track	P [GeV]	+/-	Pt [GeV]	ϑ	η	M(2) [GeV]	M(eeee) [GeV]	M(eemm) [GeV]	M(mmmm) [...]	e/m/g	
event001.xml					13.467		Object 0	58.4		58.1	-1.256	-0.092	142.726					g
							Object 1	119.9		45.3	2.064	1.629						g
event002.xml					37.975		Tracks 10	136.9	-	39.2	-0.248	-1.922	91.492			364.010		m
							Tracks 4	98.8	+	61.2	-2.171	-1.058						m
							Tracks 2	108.7	-	58.0	1.525	1.242	90.333					m
							Tracks 21	43.4	+	41.7	2.277	-0.289						m

-	39.2	-0.248	-1.922	91.492	364.010	m
+	61.2	-2.171	-1.058			m
-	58.0	1.525	1.242	90.333		m
+	41.7	2.277	-0.289			m

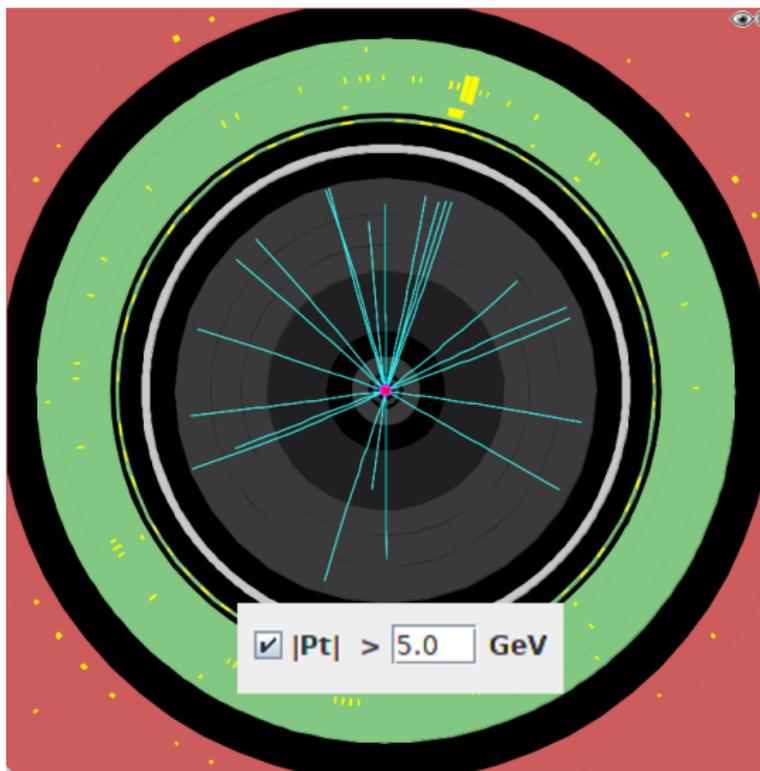
- Das letzte Fenster ist zum Wechseln der Ansicht, ...
- ... zum Wechseln der Werkzeuge ...
- ... oder um Schnitte zu definieren



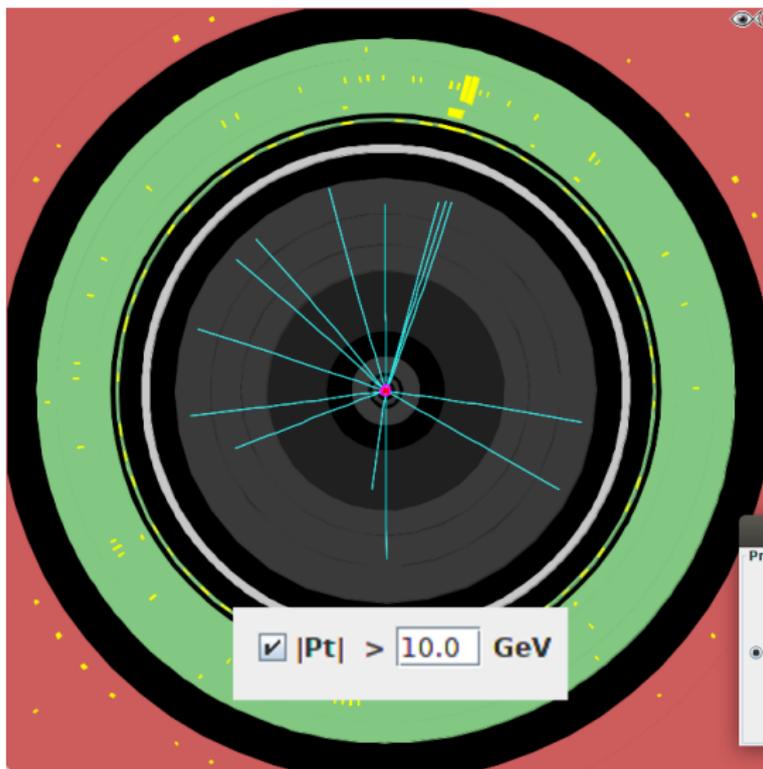
Die meisten Events enthalten mehr Spuren als uns interessieren. . .



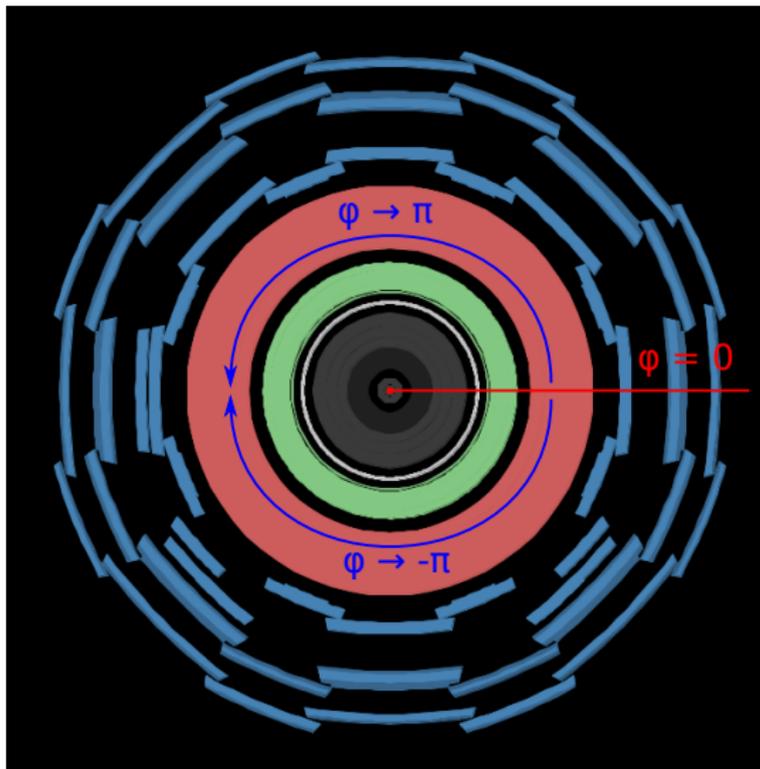
Die meisten Events enthalten mehr Spuren als uns interessieren. . .



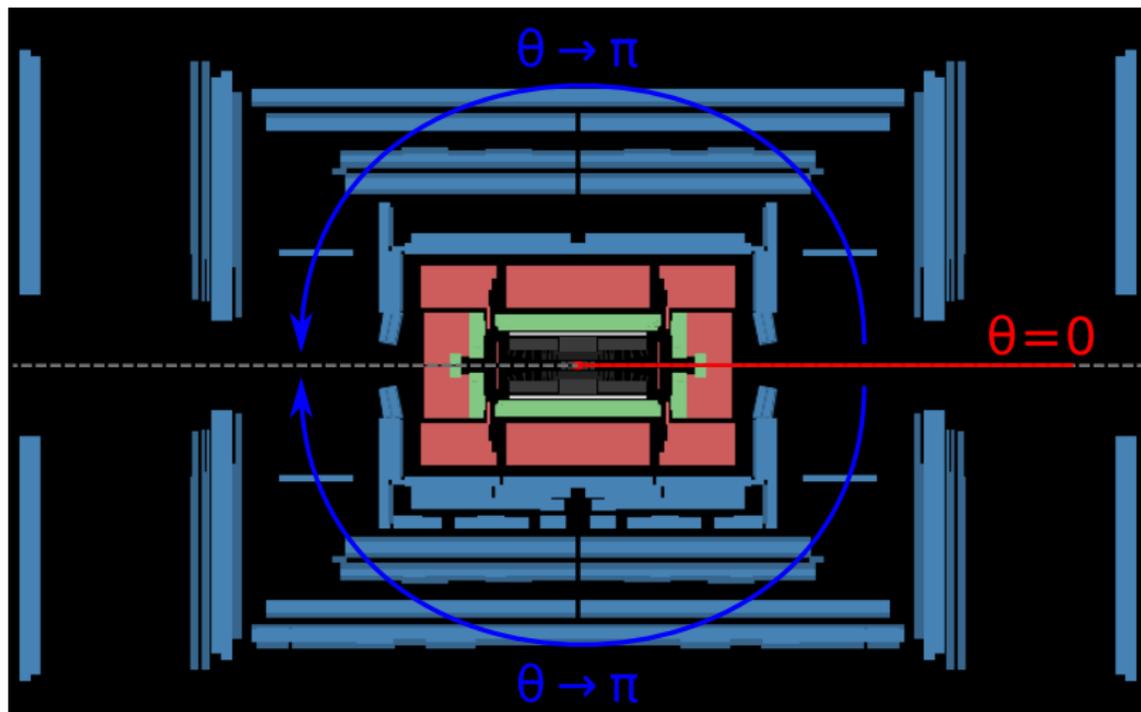
Die meisten Events enthalten mehr Spuren als uns interessieren. . .



Manchmal ist es hilfreich sich die Winkel der Spuren anzuschauen



Manchmal ist es hilfreich sich die Winkel der Spuren anzuschauen



Und jetzt seid Ihr dran!

Wir teilen euch gleich in Gruppen ein.
Je nach Raum nehmt ihr einen anderen Datensatz:

Raum 1 \Rightarrow groupA

Raum 3 \Rightarrow groupC

Raum 5 \Rightarrow groupE

Raum 7 \Rightarrow groupG

Raum 2 \Rightarrow groupB

Raum 4 \Rightarrow groupD

Raum 6 \Rightarrow groupF

Raum 8 \Rightarrow groupH

Eure Aufgabe

1. Öffnet euren Datensatz 05/groupX (File \Rightarrow Read Event Locally)
2. Versucht Photonen, Elektronen und Myonen zu erkennen
3. Lasst die invariante Masse berechnen
4. (Higgs-, Z- oder Untergrund-Ereignis?)
5. Zum nächsten Ereignis

Eure Aufgabe

1. Öffnet euren Datensatz 05/groupX (File \Rightarrow Read Event Locally)
2. Versucht Photonen, Elektronen und Myonen zu erkennen
3. Lasst die invariante Masse berechnen
4. (Higgs-, Z- oder Untergrund-Ereignis?)
5. Zum nächsten Ereignis

Zur Erinnerung...

Wir suchen nach:

- $Z \rightarrow e^+ e^-$
- $Z \rightarrow \mu^+ \mu^-$
- $H \rightarrow e^+ e^- e^+ e^-$
- $H \rightarrow \mu^+ \mu^- e^+ e^-$
- $H \rightarrow \mu^+ \mu^- \mu^+ \mu^-$
- $H \rightarrow \gamma\gamma$

Eure Aufgabe

1. Öffnet euren Datensatz 05/groupX (File \Rightarrow Read Event Locally)
2. Versucht Photonen, Elektronen und Myonen zu erkennen
3. Lasst die invariante Masse berechnen
4. (Higgs-, Z- oder Untergrund-Ereignis?)
5. Zum nächsten Ereignis

Zur Erinnerung...

Wir suchen nach:

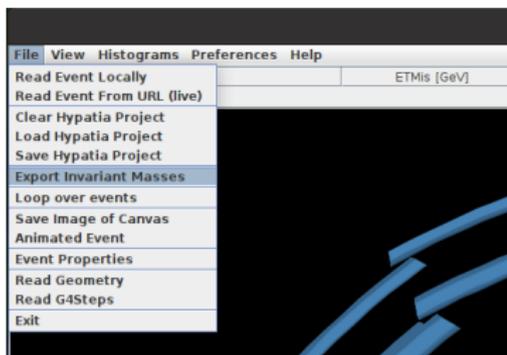
- $Z \rightarrow e^+e^-$
- $Z \rightarrow \mu^+\mu^-$
- $H \rightarrow e^+e^-e^+e^-$
- $H \rightarrow \mu^+\mu^-e^+e^-$
- $H \rightarrow \mu^+\mu^-\mu^+\mu^-$
- $H \rightarrow \gamma\gamma$

Zwischenspeichern: File \rightarrow Save Hypatia Project

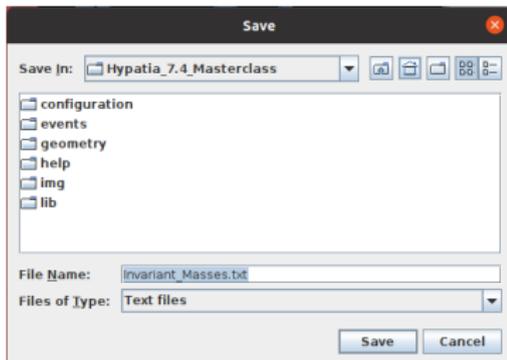
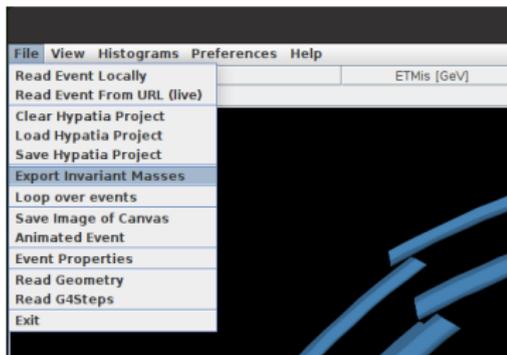
**Bei Fragen schreibt eure
Raumnummer in den Chat!
Wir kommen dann zu euch!**

Speichern und Upload

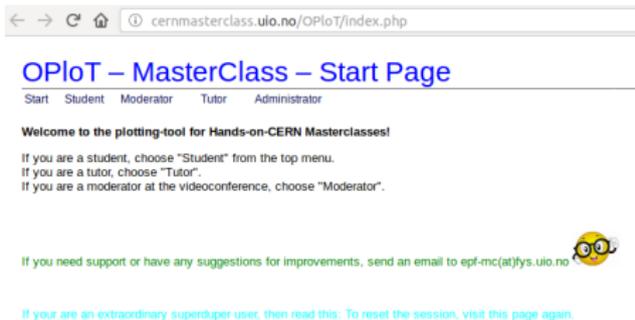
1. File Menü öffnen
2. Export Invariant Masses auswählen



1. File Menü öffnen
2. Export Invariant Masses auswählen
3. Ordner auswählen, den ihr wiederfindet
4. Datei Invariant_Masses.txt speichern
Nicht den Dateinamen ändern!

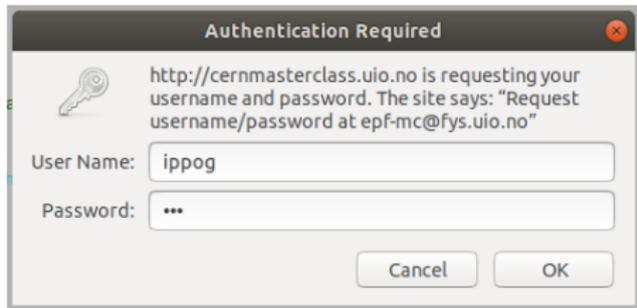


1. Upload-Link in der Agenda öffnen



The screenshot shows a web browser window with the address bar containing `cernmasterclass.uio.no/OPlot/index.php`. The page title is "OPlot – MasterClass – Start Page". Below the title is a navigation menu with links for "Start", "Student", "Moderator", "Tutor", and "Administrator". The main content area contains a welcome message: "Welcome to the plotting-tool for Hands-on-CERN Masterclasses!". It provides instructions for users: "If you are a student, choose 'Student' from the top menu.", "If you are a tutor, choose 'Tutor'.", and "If you are a moderator at the videoconference, choose 'Moderator'.". At the bottom, there is a green text line: "If you need support or have any suggestions for improvements, send an email to [epf-mc\(at\)fys.uio.no](mailto:epf-mc(at)fys.uio.no)" followed by a yellow smiley face icon with glasses. Below that, another line of text says: "If you are an extraordinary superduper user, then read this: To reset the session, visit this page again."

1. Upload-Link in der Agenda öffnen
2. User: ippog
Password: imc



1. Upload-Link in der Agenda öffnen
2. User: ippog
Password: imc
3. Datum etc. auswählen
4. Gruppe: 5 + euer Buchstabe

[OPloT – MasterClass – Student page](#)

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

Student Tasks

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

2019 ▾ February ▾ 05 ▾ Elisabeth-Gymnasium Eisenach ▾ 9 ▾ Group letter: ▾

1. Upload-Link in der Agenda öffnen
2. User: ippog
Password: imc
3. Datum etc. auswählen
4. Gruppe: 5 + euer Buchstabe
5. Browse.. klicken
und Datei auswählen:
Invariant_Masses.txt
6. Submit klicken

OPlot – MasterClass – Plot for Elisabeth-Gymnasium Eisenach Group 9A on 2019-02-05

Site Student Moderator Tutor Administrator Monday, February 05, 2019 - 13:54:54 CEST

Change date

Change institute

Change group

Browse..

Submit

Site: Institute: Level: Major: Update plot Reset

01 Min: 02 Min: 03 Min: 04 Min: 05 Min:
01 Max: 02 Max: 03 Max: 04 Max: 05 Max:

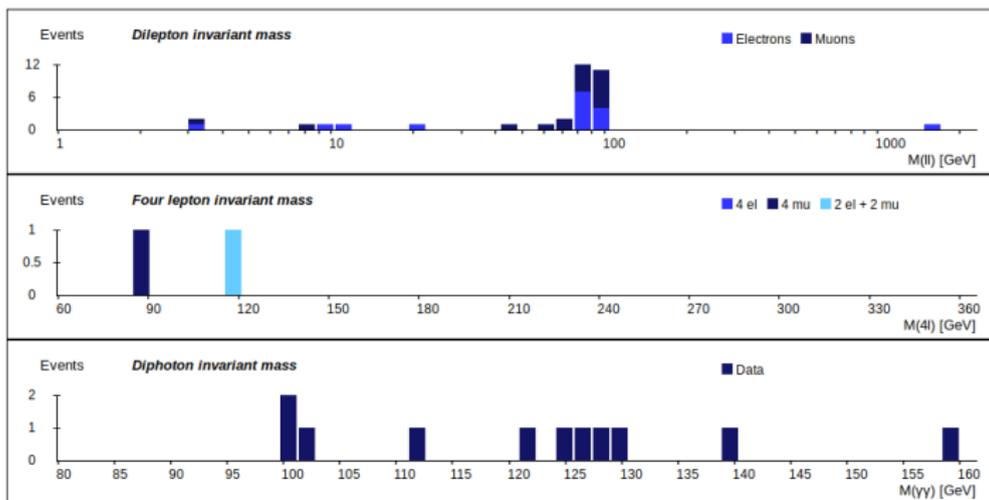
www.ippog.de

Sollte nach Upload in etwa so aussehen (rechts Ansicht verändern)

OPlot – MasterClass – Plot for MinTest Group 2E on 1980-01-01

Start Student Moderator Tutor Administrator

Monday, February 4th



Change date

Change institute

Change group

Plot type:

ll+4l+γγ overview

Bins: 50

Update plot

Reset

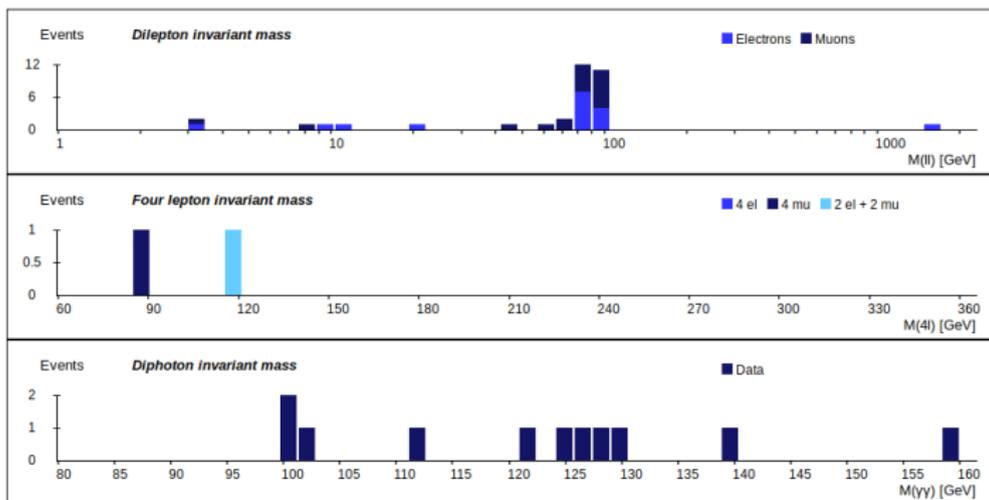
Und jetzt schauen wir zusammen:

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

OPlot – MasterClass – Plot for MinTest Group 2E on 1980-01-01

Start Student Moderator Tutor Administrator

Monday, February 4th



Change date

Change institute

Change group

Plot type:

ll+4l+γγ overview ▾

Bins: 50 ▾

Update plot

Reset