

Wir suchen Z- und Higgs-Bosonen und messen deren Masse!

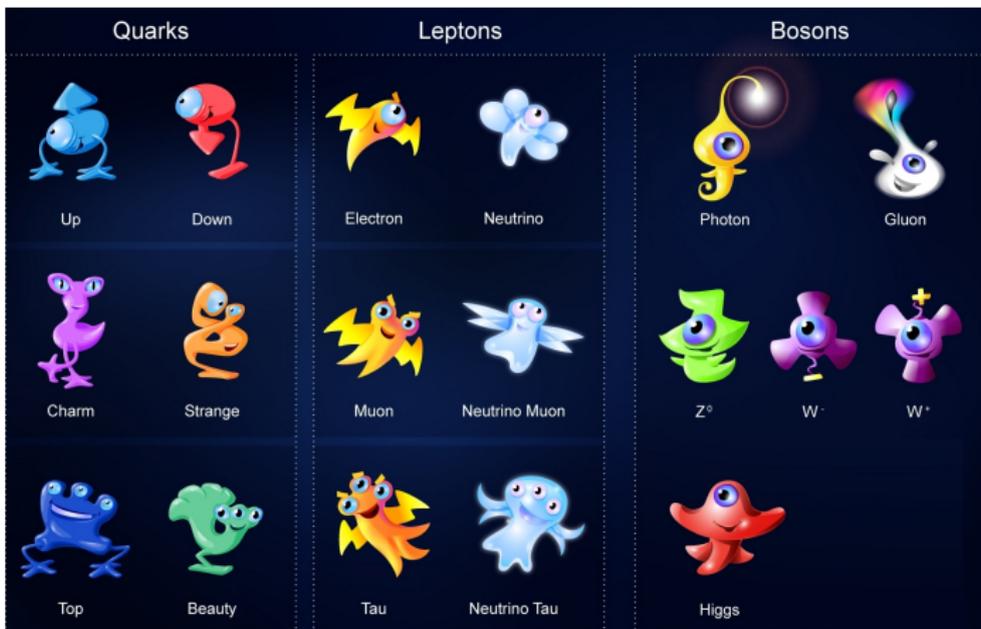
Daniel Buchin

International Masterclass 2023

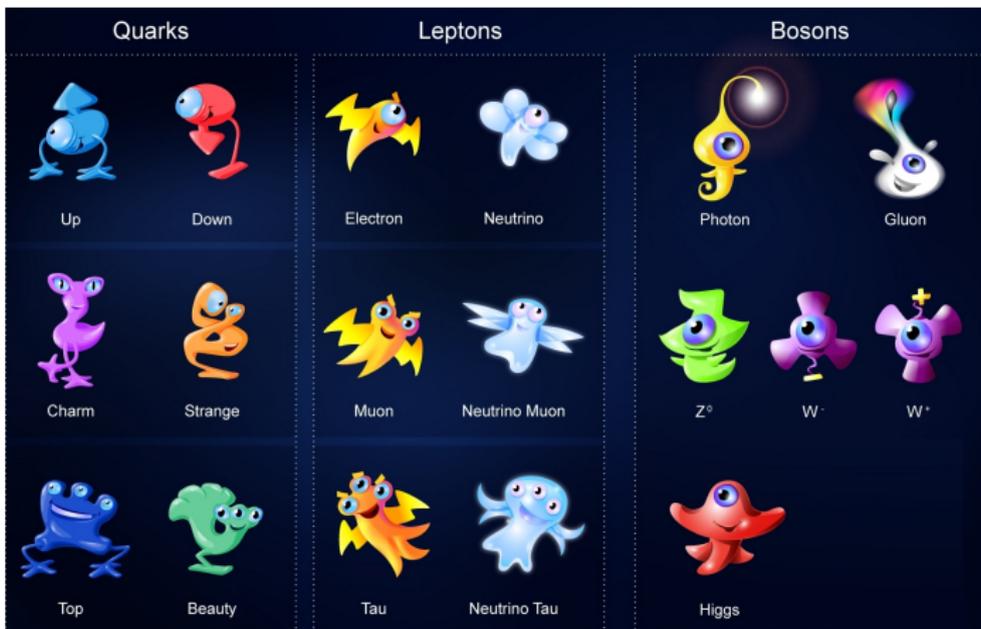
16. März 2023



# Das SM beschreibt die fundamentalen Teilchen und ihre Wechselwirkungen!



# Das SM beschreibt die fundamentalen Teilchen und ihre Wechselwirkungen!



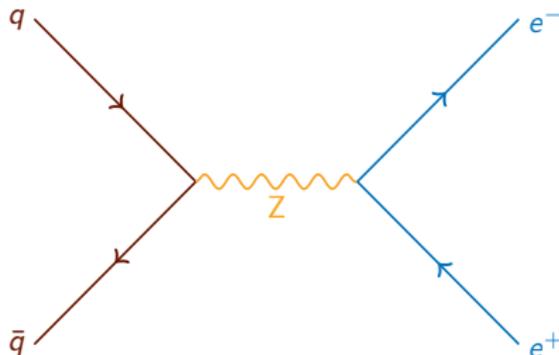
## SM in einem Satz:

Materie besteht aus Quarks und Leptonen, deren Wechselwirkungen von Bosonen vermittelt werden.

## Jetzt beschäftigen wir uns mit dem Z-Boson

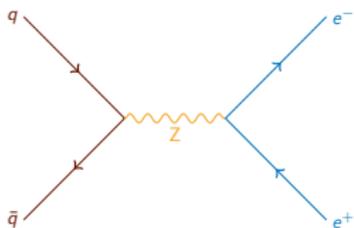
## Das Z-Boson

- Austauschteilchen der schwachen Wechselwirkung
- Nachweis: CERN 1983
- Elektrische Ladung: 0
- Masse:  $91.2 \text{ GeV}/c^2$
- Mittlere Lebensdauer:  $\approx 3 \cdot 10^{-25} \text{ s}$
- Kann sowohl in Quarks als auch in Leptonen zerfallen

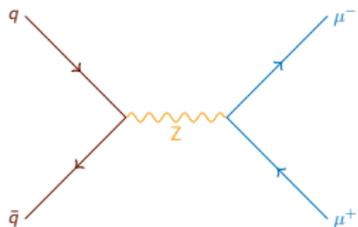


## Das Z-Boson zerfällt in:

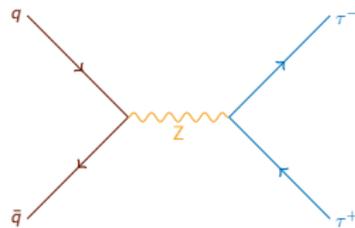
Elektron und Positron



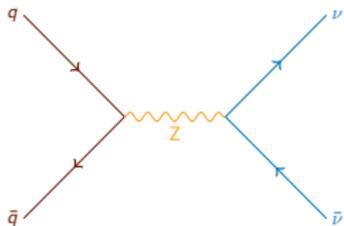
Muon und Anti-Muon



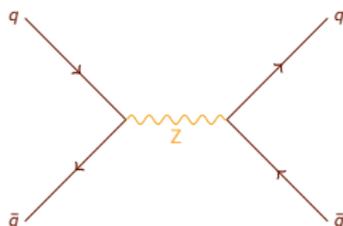
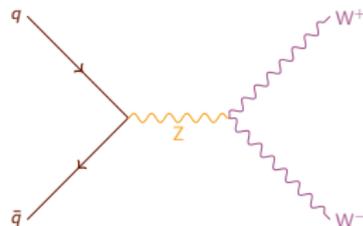
Tau und Anti-Tau



Neutrino und Anti-Neutrino



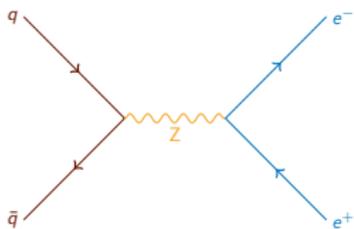
Quark und Anti-Quark

 $W^+$  und  $W^-$ 

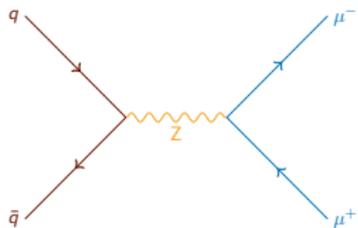
Welche dieser Zerfälle sind mit ATLAS am 'einfachsten' zu messen?

## Das Z-Boson zerfällt in:

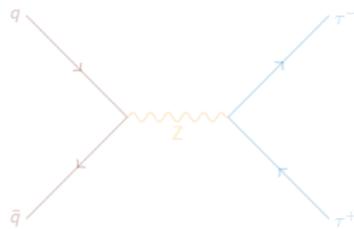
Elektron und Positron



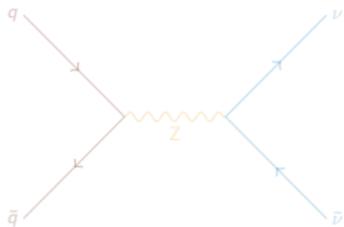
Muon und Anti-Muon



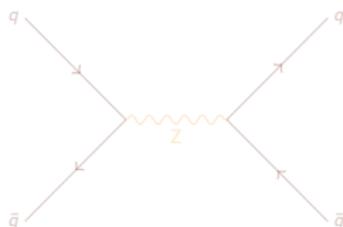
Tau und Anti-Tau



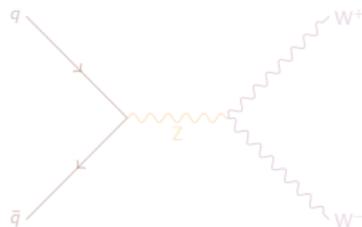
Neutrino und Anti-Neutrino

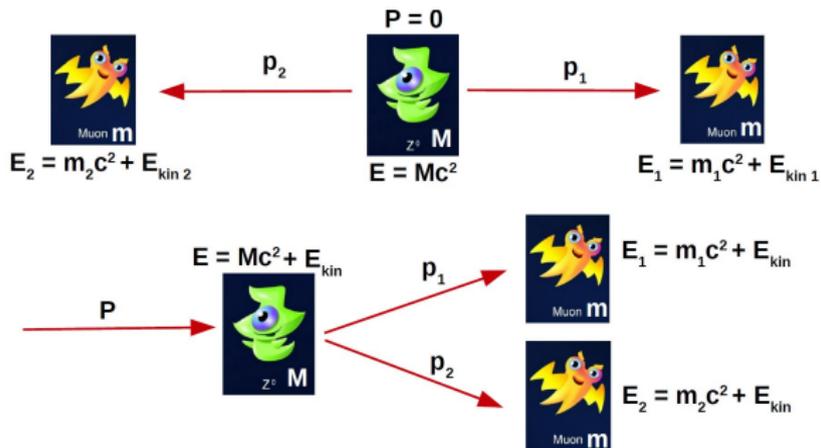


Quark und Anti-Quark



W+ und W-





## Bestimmung der invarianten Masse

Man kann die invariante Masse  $M$  eines Teilchens aus den Energien, Massen und Impulsen seiner Zerfallsprodukte berechnen.

- Invariante Masse = **Ruhemasse** des Teilchens
- Berechnung über **Energie- und Impulserhaltung**

## Wir suchen noch ein zweites Teilchen!

- In manchen der Daten, die ihr später analysiert, kann noch ein anderes Teilchen gefunden werden
- Das **Higgs-Boson!**

## Wir suchen noch ein zweites Teilchen!

- In manchen der Daten, die ihr später analysiert, kann noch ein anderes Teilchen gefunden werden

→ Das **Higgs-Boson!**

### Das Higgs-Boson

- Bote des Higgs-Feldes
- Nachweis: CERN 2012
- Elektrische Ladung: 0
- Masse:  $125.1 \text{ GeV}/c^2$
- Mittlere Lebensdauer:  $\approx 10^{-22} \text{ s}$
- Wechselwirkt nur mit massiven Teilchen



## Wir suchen noch ein zweites Teilchen!

- In manchen der Daten, die ihr später analysiert, kann noch ein anderes Teilchen gefunden werden

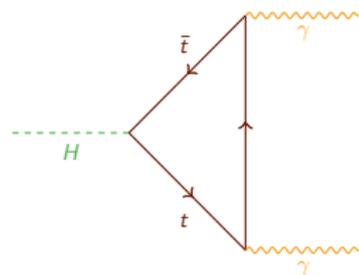
→ Das **Higgs-Boson!**

## Das Higgs-Boson

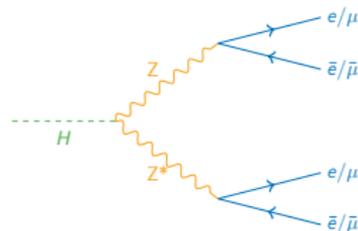
- Bote des Higgs-Feldes
- Nachweis: CERN 2012
- Elektrische Ladung: 0
- Masse:  $125.1 \text{ GeV}/c^2$
- Mittlere Lebensdauer:  $\approx 10^{-22} \text{ s}$
- Wechselwirkt nur mit massiven Teilchen



$$H \rightarrow \gamma\gamma$$



$$H \rightarrow ZZ^* \rightarrow \mu\mu\mu\mu / e e \mu\mu / e e e e$$



## Wir suchen noch ein zweites Teilchen!

- In manchen der Daten, die ihr später analysiert, kann noch ein anderes Teilchen gefunden werden

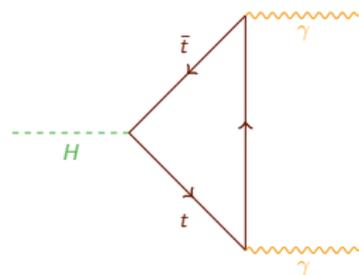
→ Das **Higgs-Boson!**

## Das Higgs-Boson

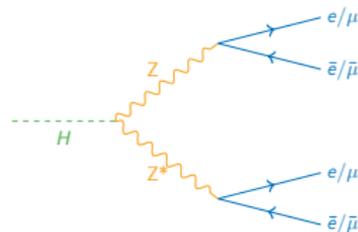
- Bote des Higgs-Feldes
- Nachweis: CERN 2012
- Elektrische Ladung: 0
- Masse:  $125.1 \text{ GeV}/c^2$
- Mittlere Lebensdauer:  $\approx 10^{-22} \text{ s}$
- Wechselwirkt nur mit massiven Teilchen



$$H \rightarrow \gamma\gamma$$



$$H \rightarrow ZZ^* \rightarrow \mu\mu\mu\mu / ee\mu\mu / eeee$$



## Wenn es denn so einfach wäre...

- Wir suchen ein zerfallendes **Z- oder Higgs-Boson** → das ist unser **Signal!**
- Bei den meisten Kollisionen entstehen aber andere Teilchen → das ist der **Untergrund**
- Untergrund zeichnet sich beispielsweise durch unterschiedliche invariante Massen aus

## Wenn es denn so einfach wäre...

- Wir suchen ein zerfallendes **Z- oder Higgs-Boson** → das ist unser **Signal!**
  - Bei den meisten Kollisionen entstehen aber andere Teilchen → das ist der **Untergrund**
  - Untergrund zeichnet sich beispielsweise durch unterschiedliche invariante Massen aus
- Trotzdem später 'mitnehmen', wir sortieren Signal und Untergrund in der Auswertung am Ende!

## Wenn es denn so einfach wäre...

- Wir suchen ein zerfallendes **Z- oder Higgs-Boson** → das ist unser **Signal!**
  - Bei den meisten Kollisionen entstehen aber andere Teilchen → das ist der **Untergrund**
  - Untergrund zeichnet sich beispielsweise durch unterschiedliche invariante Massen aus
- Trotzdem später 'mitnehmen', wir sortieren Signal und Untergrund in der Auswertung am Ende!

- Jetzt: Ereignispakete gibt es auf <https://cernmasterclass.uio.no/datasets/allSets/dir01/>



## Wie sieht ein $Z \rightarrow ee$ Zerfall aus?

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

File View Histograms Preferences Help

File Name	ET[GeV]	Tracks	Track	P [GeV]	Pt [GeV]	$\phi$	$\eta$	M2 [GeV]	M3[GeV]	M4[GeV]	M5[GeV]	status
event004.xml	10.959	Tracks 4 Tracks 8		216.2 215.6	55.0 53.0	0.076 2.914		-2.208 -2.065	106.305			

Gegensätzliche Ladung!

Richtige Tracks als "Electron" markieren

Spuren im inneren Detektor  
Zeigen auf Energieablagerung im ECAL

Zoom in: Ursprung im gleichen Vertex (magenta Ellipsen)

Cuts für Z Zerfälle

Parameter Control Interaction and Window Control Event Display

Projection	Category	Name	Value
Calo	Calo		
MacroDet	<input checked="" type="checkbox"/> IP8		
Objects	<input checked="" type="checkbox"/> [Pz]		< 700.0 MeV
ATLAS	<input checked="" type="checkbox"/> [E]		< 2.5 mm
	<input checked="" type="checkbox"/> [E]		< 20.0 cm
	<input checked="" type="checkbox"/> [E]		< 2.0 cm
	<input checked="" type="checkbox"/> [E-vtx]		< 2.5 mm
	<input checked="" type="checkbox"/> Layer		> 0

## Wie sieht ein $Z \rightarrow \mu\mu$ Zerfall aus?

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

File View Histograms Preferences Help

File Name	ET[GeV]	Tracks	Track	P [GeV]	+	-	PT[GeV]	$\phi$	$\eta$	M(D) [GeV]	M(see) [GeV]	M(muon) [GeV]	M(muonmu) [GeV]	emsg
event01.xml	42.02	Tracks 9 Tracko 216	34.3	25.6	1.430	0.558	0	0.558	0	0.414				m

HYBRID - Track Morphology Window

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

BTGL: 42.028 GeV  $\eta$ : -1.506 rad Collection: MET\_ReFinal

C:\Users\daniel\Desktop\MasterThesis\MC202\Tgipw\T.zipw\event01.xml

Tracks Physics Objects

Track	+	-	P [GeV]	PT[GeV]	$\phi$	$\eta$
Tracks 9			34.30	25.56	1.430	0
Tracko 216			180.09	25.91	-1.986	0.163
Tracks 372			183.71	36.39	2.068	0.348

Spuren in den Myonkammern

HYBRID - Control Window

Parameter Control Interaction and Window Control Output Display

Projection Data Cuts **Cuts** teDet Cabo MuesDet Objects Geometry

Projector	Data	Cuts	teDet	Cabo	MuesDet	Objects	Geometry	Name	Value
teDet									
Cabo									
MuesDet								[P]E	> 20.0 GeV
Objects								[P]Z	< 700.0 MeV
ATLAS								[d]E	< 2.5 mm
								[d]Z	< 20.0 cm
								[d] L(see)	< 2.0 cm
								[d] #[eta]	< 2.5 mm
								Layer	> 0

## Wie sieht ein $H \rightarrow \gamma\gamma$ Zerfall aus?

The screenshot displays the HYPRID analysis tool interface. On the left, there are three event displays: a top-down view of the detector, a 3D track visualization, and a cross-sectional view of the detector. The main window shows the 'Track Momenta Window' with a table of tracks and a 'Physics Objects' table. A red arrow points to the 'Photon' object in the 'Physics Objects' table, with a red circle around it. Another red arrow points to the 'P [GeV]' value of 22.81 in the 'Tracks' table, with a red circle around it. A red text label 'Photon Pt muss > 20 GeV sein!' is positioned below the table. The 'Control Window' at the bottom right shows various parameters and their values.

Track	P [GeV]	η	φ	z [cm]	z_err [cm]
Object 0	81.48	0.00	2.880	2.300	0.000
Object 1	50.10	0.00	-0.204	1.105	0.000

Object	Type	P [GeV]	η	φ [rad]	z [cm]	z_err [cm]
0	Photon	95.79	0.00	2.880	2.300	0.000
1	Photon	22.81	0.00	-0.204	1.105	0.000

# Wie sieht ein $H \rightarrow ZZ^* \rightarrow \mu\mu\mu\mu/\text{e}\text{e}\mu\mu/\text{e}\text{e}\text{e}\text{e}$ Zerfall aus (hier: $\mu\mu\mu\mu$ )?

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

File View Histograms Preferences Help

File Name	ET[GeV]	Track	P [GeV]	η	φ	η	M[GeV]	M[GeV]	M[GeV]	M[GeV]	η
event012.aml	37.975	Tracks 2	108.7	56.8	1.005	1.242	90.333				364.010
		Tracks 21	43.4	41.7	2.277	-0.286					
		Tracks 10	139.0	30.2	0.248	1.522	91.492				
		Tracks 4	98.8	61.2	-2.171	-1.058					

HYPATIA - Track Momenta Window

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

STML: 37.975 GeV η: -1.183 rad Collection: MBT\_Befinal

C:\Users\dare\Desktop\Thesis\BAC202\group7\zpravent012.aml

Track	η	P [GeV]	PT [GeV]	φ	θ
Track 2	-	108.74	57.99	1.525	0.562
Track 4	-	98.79	61.23	-2.171	2.473
Track 21	+	43.41	41.05	2.277	2.253
Track 10	+	139.20	70.80	-0.444	0.752
Track 579	+	178.71	115.20	-1.751	2.438
Track 626	+	103.61	70.80	-0.444	0.752
Track 527	+	112.20	193.14	-0.125	1.698
Track 629	+	44.54	42.15	0.908	1.800
Track 631	-	81.25	55.61	1.015	0.754
Track 632	+	97.95	53.48	-2.863	0.347
Track 634	-	29.37	27.09	2.324	1.914
Track 635	-	36.52	27.85	-2.173	0.881
Track 636	+	96.97	47.21	2.206	2.833
Track 643	+	58.49	32.38	-0.638	2.955

HYPATIA - Control Window

Parameter Control Interaction and Window Control Output Display

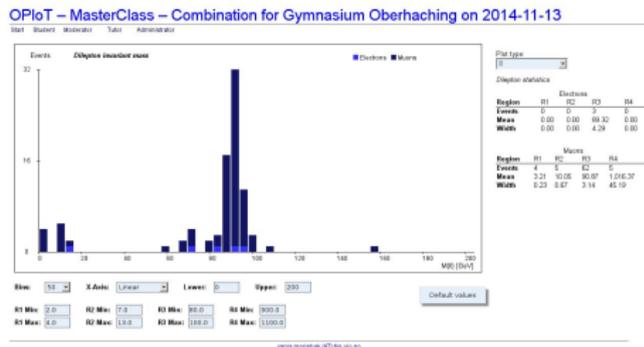
Projection Data Cuts InDet Calo MuonDet Objects Geometry

Cuts für 4 leptonen

Name	Value
IPM	> 10.0 GeV
IP2I	< 700.0 MeV
IP3I	< 2.5 mm
IP4I	< 20.0 cm
IP0 LooseI	< 2.0 cm
IP0 aIaI	< 2.5 mm
Layer	> 0

## 1) Exportieren der Massen

- Im Menü auf „File“ klicken
- auf „Export Invariant Masses“ klicken
- Dateinamen auswählen und speichern



## 2) Datei hochladen

- auf <https://cernmasterclass.uio.no/OPlot/> gehen
- „OPlot“ auswählen
- auf „Student“ klicken
- Username: „**ippog**“ / Password: „**imc**“
- Munich auswählen
- mit „Browse“ und „Submit“ eure Datei hochladen