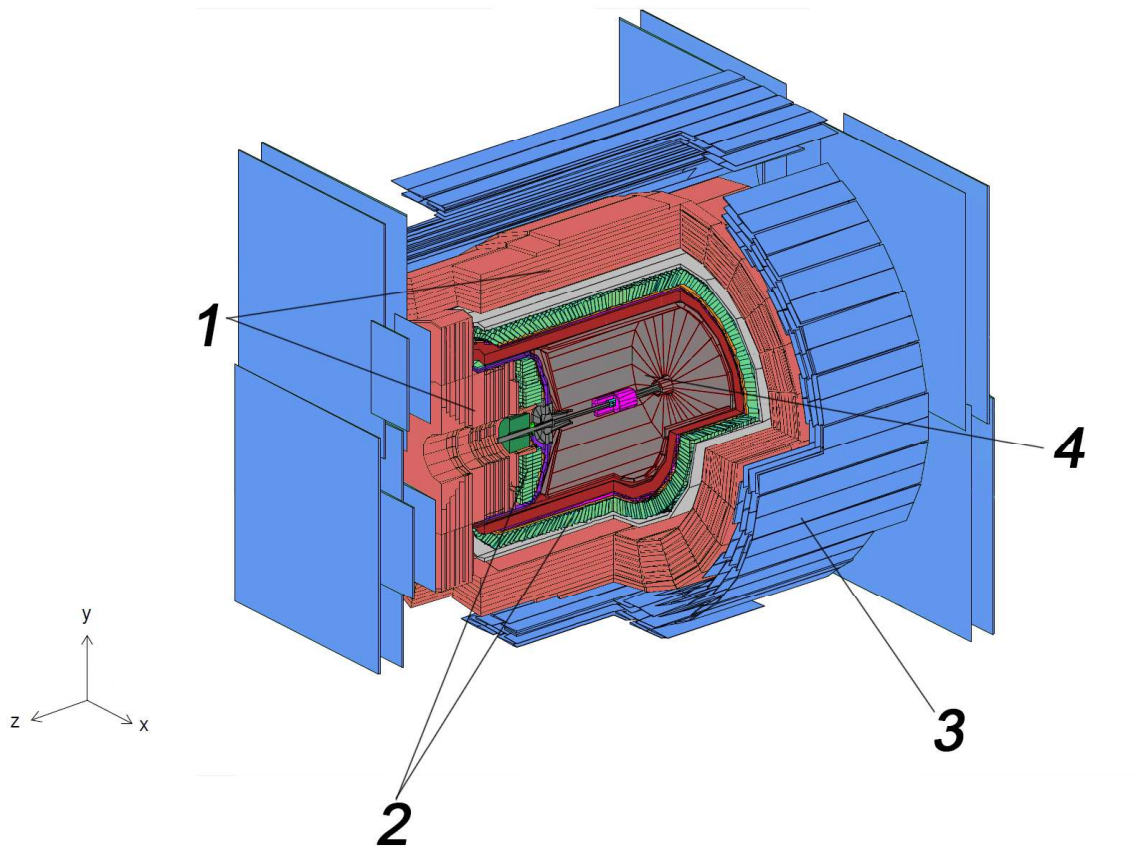


Beschrifte die Myonenkammer, die Spurkammer sowie die hadronischen und elektromagnetischen Kalorimeter in der schematischen Darstellung des OPAL-Detektors. Trage die zu den Komponenten gehörenden Zahlen anschließend in die zugehörigen Bereiche des OPAL-Eventdisplays ein.
Hinweis: Beachte die Orientierung der dargestellten Koordinatensysteme.

Schematische Darstellung des OPAL-Detektors:



(Quelle: Vollmer, C. F. (2004). Bestimmung der Masse und Breite des W-Bosons im semileptonischen Zerfallskanal mit dem OPAL Detektor bei LEP, verändert durch Philipp Lindenau)

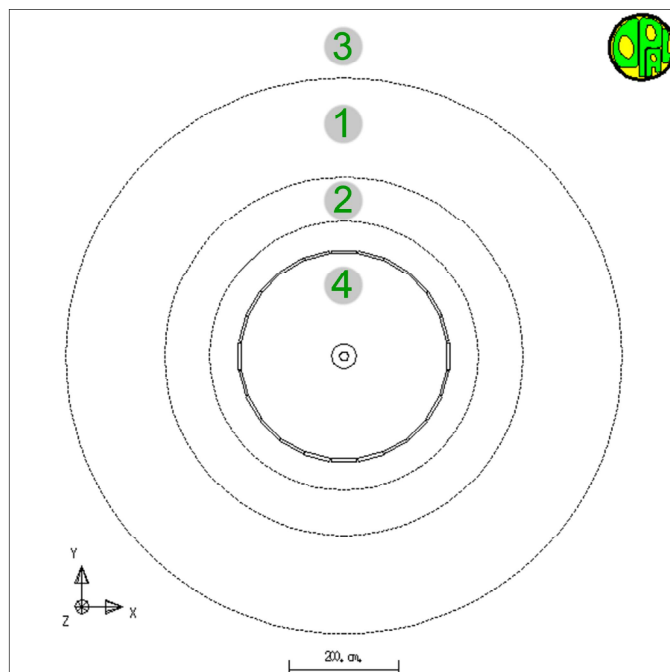
1 hadronische Kalorimeter

3 Myonenkammer

2 elektromagnetische Kalorimeter

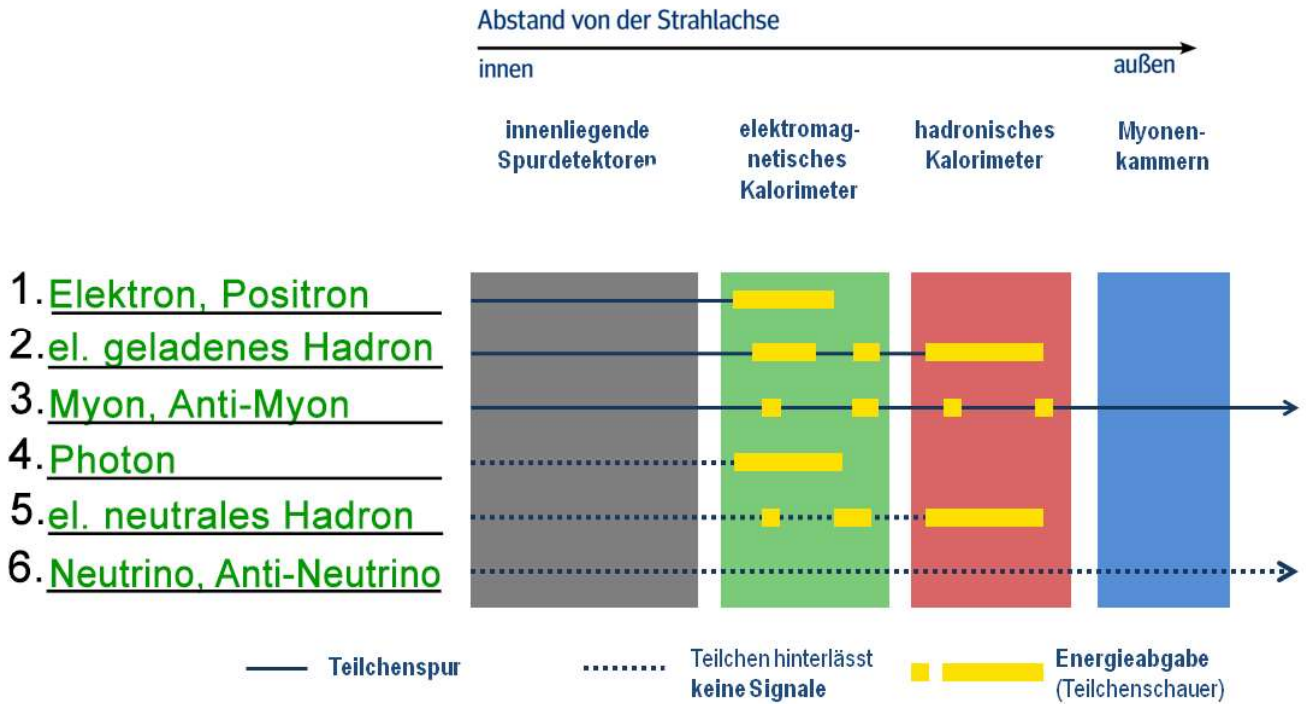
4 Spurkammer

Vereinfachte Darstellung des OPAL-Eventdisplays:



(Quelle: http://www.physicsmasterclasses.org/exercises/manchester/de/x7575_13812.gif, 20.08.2015, verändert durch Philipp Lindenau)

2. In der folgenden schematischen Darstellung des OPAL-Detektors sind die Signaturen unterschiedlicher Anti-/Teilchen dargestellt, welche diese nach ihrer Entstehung im Inneren des OPAL-Detektors hinterlassen haben.
 Beschrifte die dargestellten Signaturen jeweils mit den Namen derjenigen Anti-/Teilchen, die sie erzeugt haben können.
 Hinweis:
 Den Signaturen können meist mehrere Anti-/Teilchen zugeordnet werden.
 Gib gegebenenfalls den allgemeinen Namen der entsprechenden Anti-/Teilchenklasse an.



(Quelle: Netzwerk Teilchenwelt (2015). Unterrichtsmaterial zur Teilchenphysik, verändert durch Philipp Lindenu)

Name:

Datum:

2. Entscheide, welche der folgenden Umwandlungen des Z-Teilchens möglich sind. Im Fall der Unmöglichkeit gib dafür eine Begründung an.

a) $Z \rightarrow e^+ + e^-$

b) $Z \rightarrow b^{\downarrow} + \bar{b}^{\uparrow}$

c) $Z \rightarrow \gamma + \gamma$

d) $Z \rightarrow t^{\uparrow} + \bar{t}^{\uparrow}$

e) $Z \rightarrow \mu^- + \bar{\nu}_\mu$



f) $Z \rightarrow u^{\downarrow} + d^{\uparrow}$

	Masse in $\frac{\text{GeV}}{c^2}$	Elektrische Ladungszahl	Schwache Ladungszahl	Starker Farbladungsvektor
Z	91,2	0	0	$\vec{0}$

a)

e^+	$0,5 \cdot 10^{-3}$	+1	$+\frac{1}{2}$	$\vec{0}$
e^-	$0,5 \cdot 10^{-3}$	-1	$-\frac{1}{2}$	$\vec{0}$
$e^+ + e^-$				



b)

t	173	$+\frac{2}{3}$	$+\frac{1}{2}$	
\bar{t}	173	$-\frac{2}{3}$	$-\frac{1}{2}$	
$t + \bar{t}$				

c)

γ	0	0	0	$\vec{0}$
$\gamma + \gamma$				



d)

b	4,2	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{2}$	
\bar{b}	4,2	$+\frac{1}{3}$	$+\frac{1}{2}$	
$b + \bar{b}$				

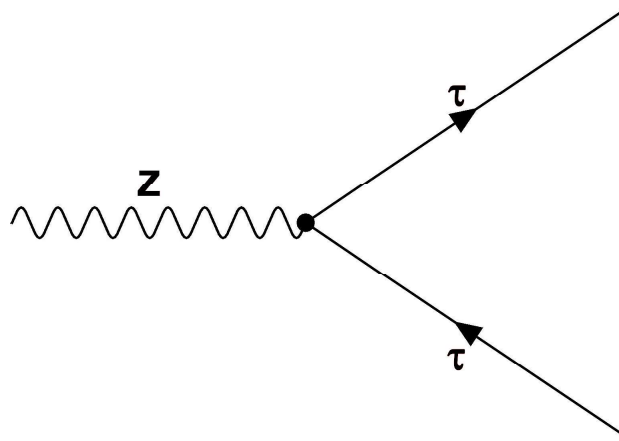
e)

μ^-	0,1	-1	$-\frac{1}{2}$	$\vec{0}$
$\bar{\nu}_\mu$	$< 2 \cdot 10^{-9}$	0	$-\frac{1}{2}$	$\vec{0}$
$\mu^- + \bar{\nu}_\mu$				

f)

u	$2 \cdot 10^{-3}$	$+\frac{2}{3}$	$+\frac{1}{2}$	
d	$5 \cdot 10^{-3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{2}$	
$u + d$				

Umwandlungen des Z-Teilchens in ein Tauon-Anti-Tauon-Paar



Bei der Umwandlung eines Z-Teilchens kann ein Tauon-Anti-Tauon-Paar entstehen. Dieser Prozess ist im obigen Feynman-Diagramm dargestellt. Tauonen und Anti-Tauonen konnten mit dem OPAL-Detektor nicht direkt nachgewiesen werden, da diese Anti-/Teilchen eine sehr kurze mittlere Lebensdauer ($\sim 10^{-13}$ Sekunden) besitzen und sich daher unmittelbar nach ihrer Entstehung in andere Anti-/Teilchen umwandeln. Dafür gibt es jeweils eine Vielzahl unterschiedlicher Möglichkeiten.

In der nachfolgenden Tabelle sind die wahrscheinlichsten Kombinationen von Anti-/Teilchen angegeben, die nach der Umwandlung eines Anti-/Tauons auftreten können. Mitunter entstehen bei der Umwandlung eines Anti-/Tauons instabile Hadronen, die sich sofort wieder umwandeln. In der Tabelle sind lediglich die finalen Umwandlungsprodukte angegeben, deren Signaturen schließlich im OPAL-Detektor beobachtet werden konnten.

Umwandlungsprodukte des Tauons	Umwandlungsprodukte des Anti-Tauons
• $\tau^- \rightarrow e^- + \bar{\nu}_e + \nu_\tau$	• $\tau^+ \rightarrow e^+ + \nu_e + \bar{\nu}_\tau$
• $\tau^- \rightarrow \mu^- + \bar{\nu}_\mu + \nu_\tau$	• $\tau^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu + \bar{\nu}_\tau$
• $\tau^- \rightarrow h^- + \nu_\tau + x\gamma$	• $\tau^+ \rightarrow h^+ + \bar{\nu}_\tau + x\gamma$
• $\tau^- \rightarrow h^- + h^+ + h^- + \nu_\tau + x\gamma$	• $\tau^+ \rightarrow h^+ + h^- + h^+ + \bar{\nu}_\tau + x\gamma$

Dabei bezeichnen h^+ bzw. h^- elektrisch positiv bzw. elektrisch negativ geladene Hadronen und $x\gamma$ symbolisiert eine beliebige Anzahl an Photonen (Es müssen allerdings keine Photonen entstehen). Die Umwandlungskanäle des Anti-Tauons erhält man aus denen des Tauons, indem man alle Teilchen durch ihre Anti-Teilchen ersetzt und umgekehrt.

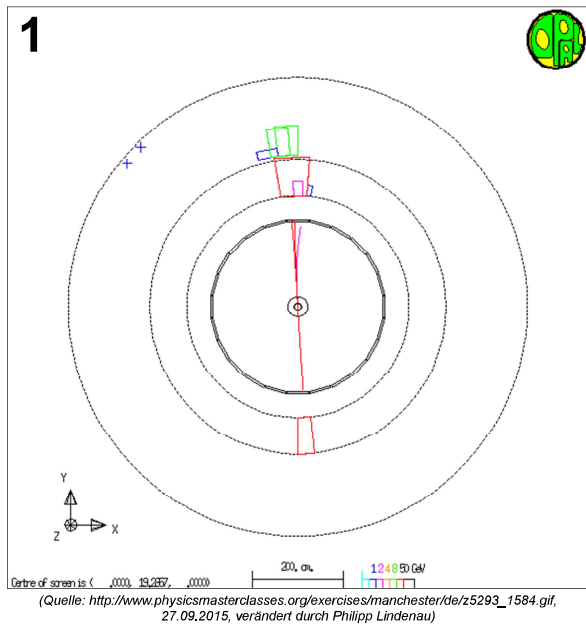
Es entsteht in jedem Fall mindestens ein Anti-/Neutrino. Diese Anti-/Teilchen konnten mit dem OPAL-Detektor nicht nachgewiesen werden. Allerdings kann auf ihre Entstehung unter anderem dadurch geschlossen werden, dass die übrigen Umwandlungsprodukte zusammen nicht die komplette zur Verfügung stehende Kollisionsenergie besitzen. Dies kann man oft an den Farben der Signaturen im OPAL-Eventdisplay erkennen.

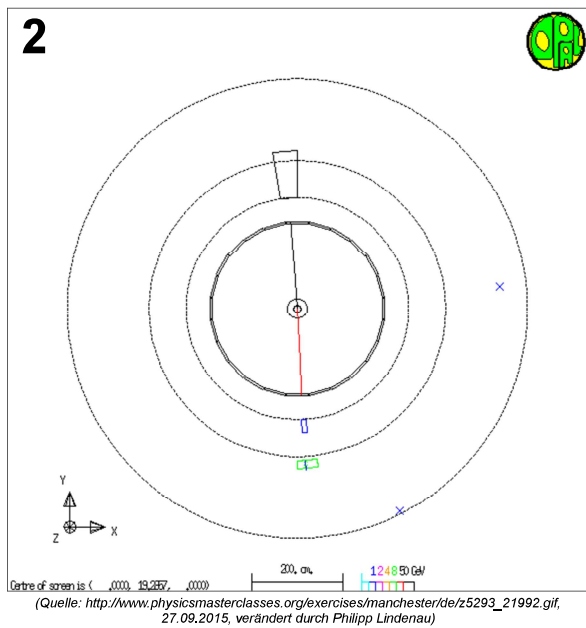
Die Umwandlungen des Tauons und des Anti-Tauons sind unabhängig voneinander. Daher können nach der Umwandlung eines Z-Teilchens in ein Tauon-Anti-Tauon-Paar alle möglichen Kombinationen aus Tauon- und Anti-Tauon-Umwandlungsprodukten auftreten

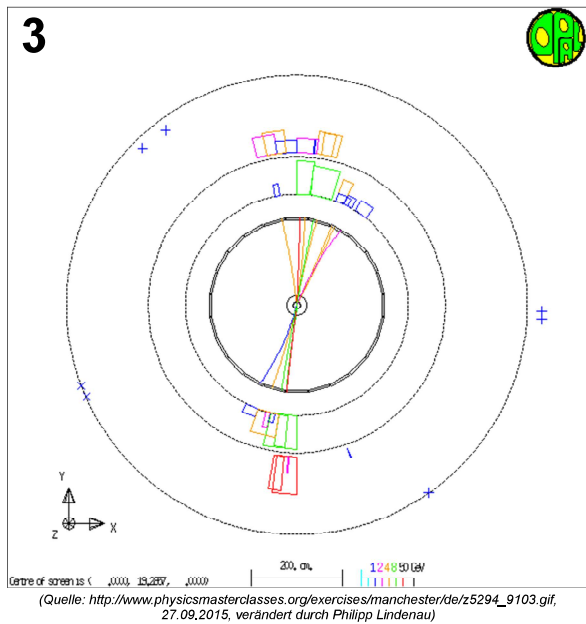
Name: _____

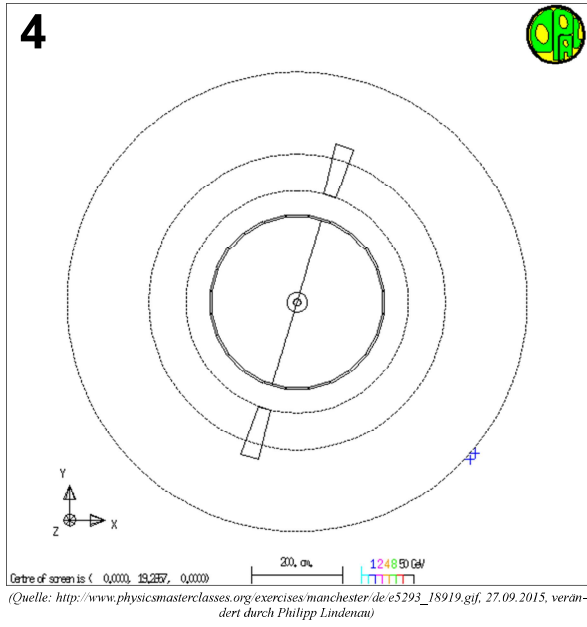
Datum: _____

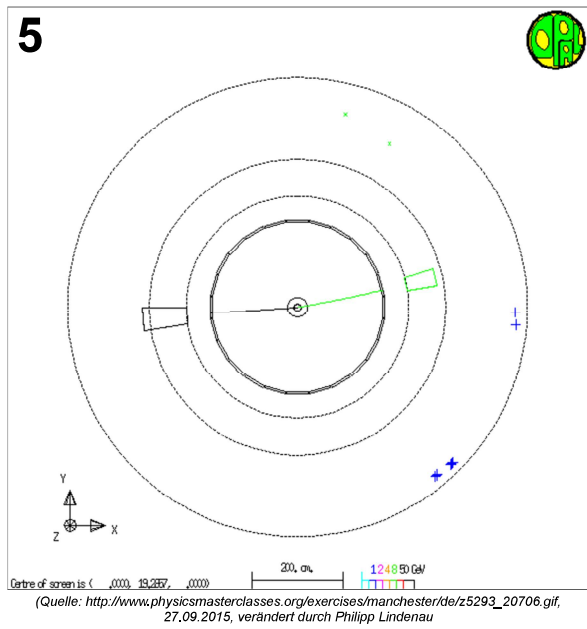
Die folgenden Abbildungen des OPAL-Eventdisplays zeigen die Signaturen von Anti-/Teilchen, die nach der Umwandlung eines Z-Teilchens im OPAL-Detektor registriert wurden. Entscheide jeweils, ob die Signaturen eindeutig auf eine Umwandlung des Z-Teilchens in ein Tauon-Anti-Tauon-Paar schließen lassen. Begründe deine Entscheidung.







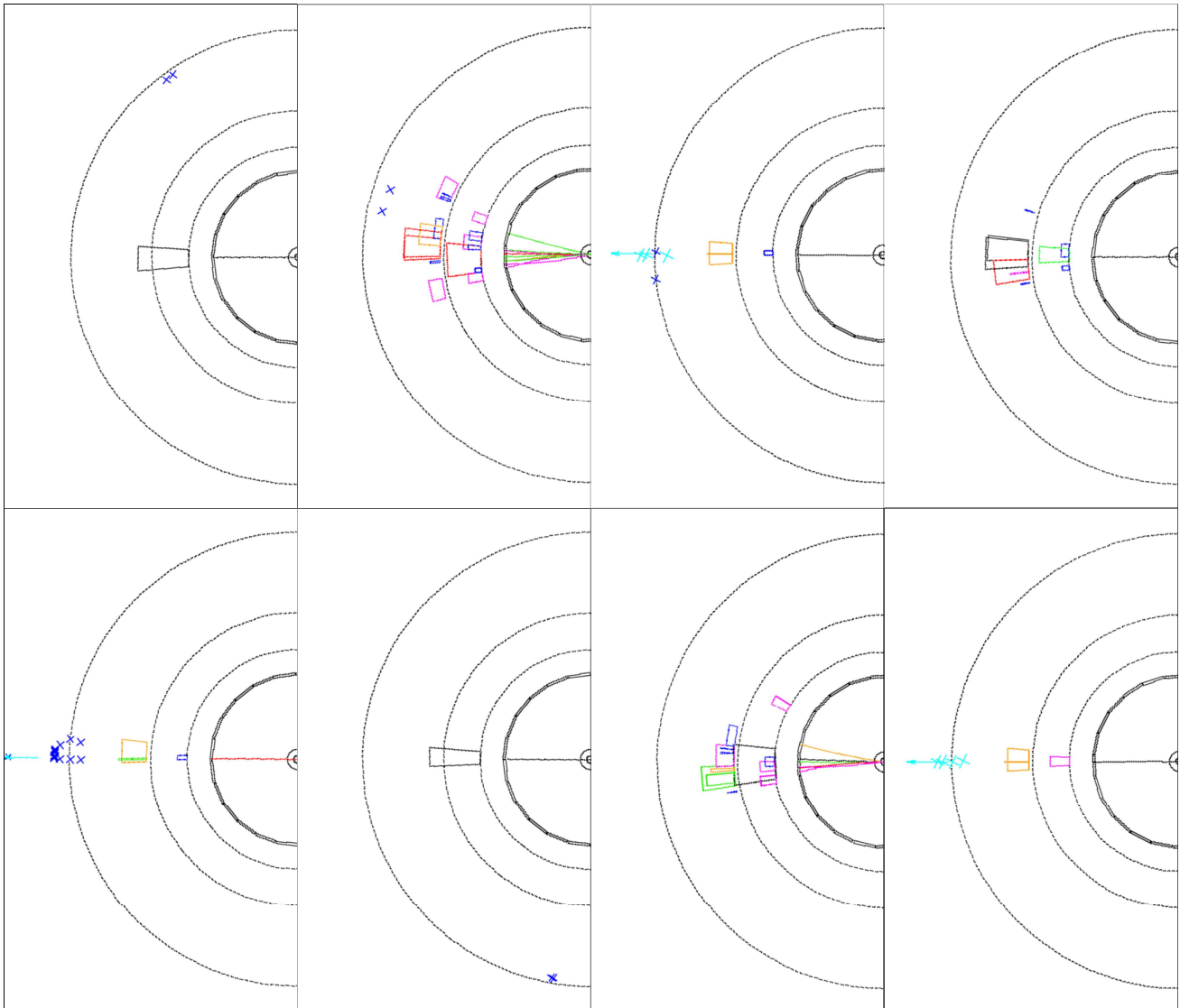




Komplexe Übung zur Umwandlung von Z-Teilchen

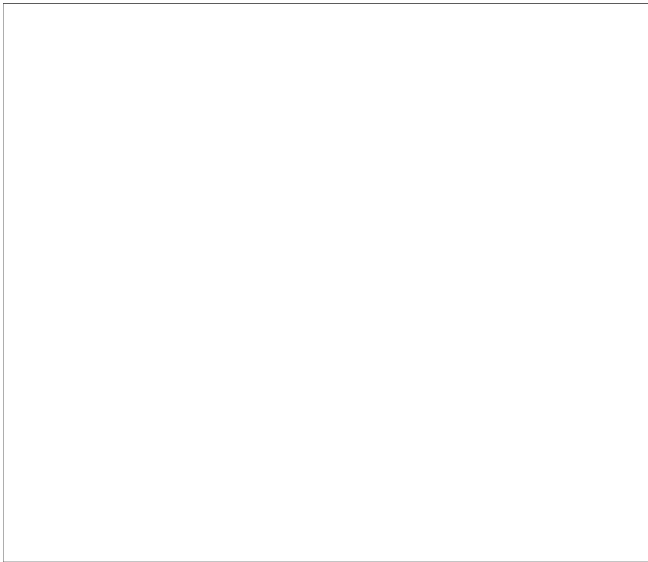
Die folgenden Abbildungen zeigen jeweils die Hälfte der Darstellung eines Ereignisses im OPAL-Eventdisplay. Bei den insgesamt vier Ereignissen handelte es sich um Umwandlungen von Z-Teilchen, wobei **jeweils ein anderer Umwandlungskanal** realisiert wurde.

Schneide die Abbildungen aus und füge sie zu vollständigen Darstellungen dieser Ereignisse zusammen. Klebe diese in die Felder auf dem beiliegenden Arbeitsblatt und zeichne unter die Abbildungen jeweils ein Feynman-Diagramm des zugehörigen Umwandlungskanals.

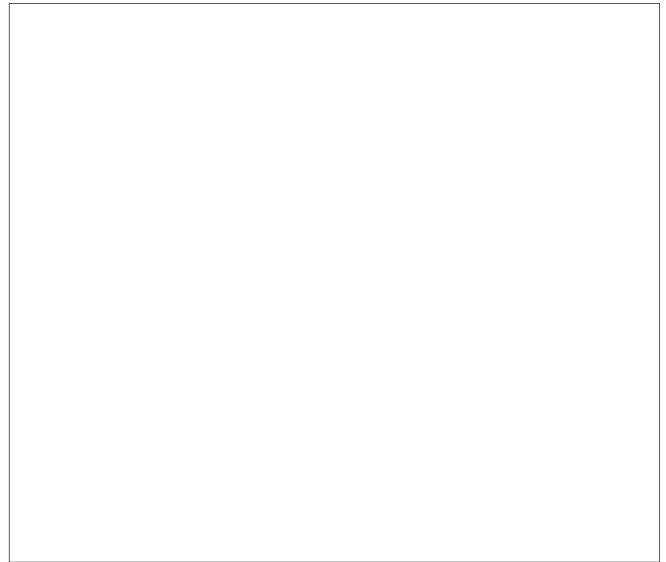


Name:

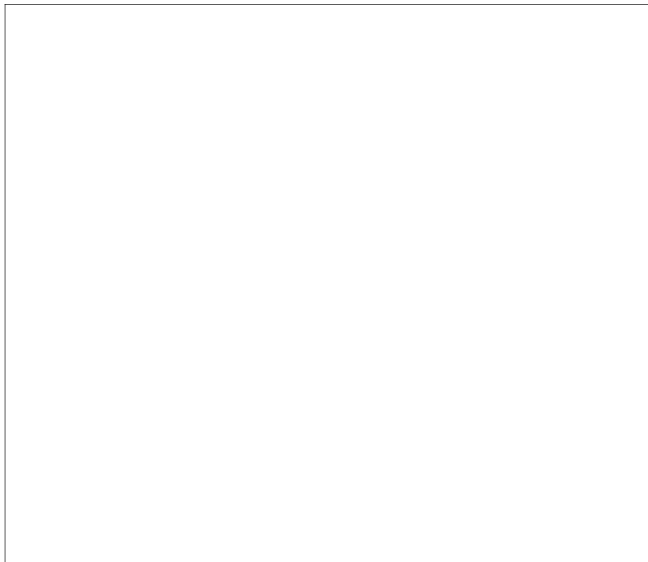
Datum:



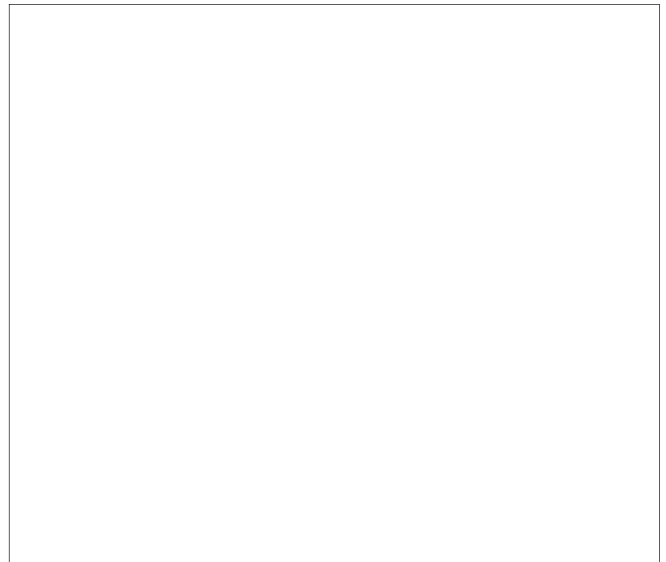
Feynman-Diagramm:



Feynman-Diagramm:

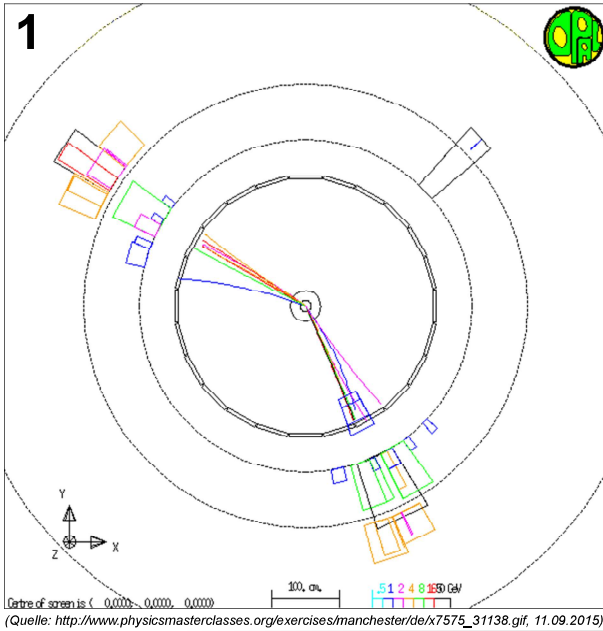


Feynman-Diagramm:



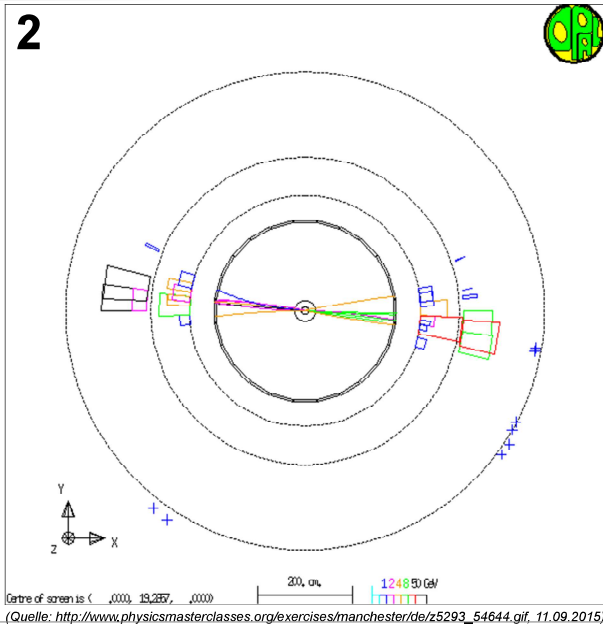
Feynman-Diagramm

2. Die folgenden drei Abbildungen zeigen Ereignisse, bei denen sich ein Z-Teilchen in ein Quark-Anti-Quark-Paar umgewandelt hat. In zwei dieser Ereignisse wurde von einem beiden Anti-/Quarks ein Botenteilchen abgestrahlt wurde. Entscheide jeweils ob und wenn ja was für ein Botenteilchen abgestrahlt wurde. Vervollständige anschließend die zugehörigen Feynman-Diagramme. (Hinweis: Falls ein Botenteilchen abgestrahlt wurde, gibt es mehrere korrekte Feynman-Diagramme.)



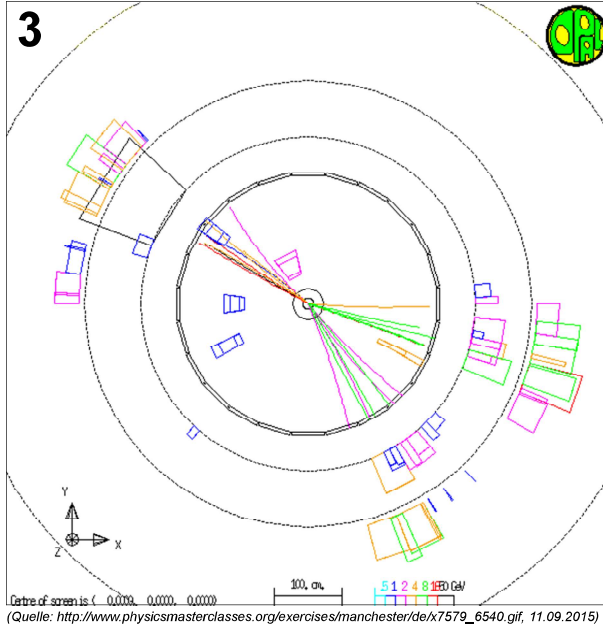
Abgestrahltes Botenteilchen:

Feynman-Diagramm:



Abgestrahltes Botenteilchen:

Feynman-Diagramm:



Abgestrahltes Botenteilchen:

Feynman-Diagramm:



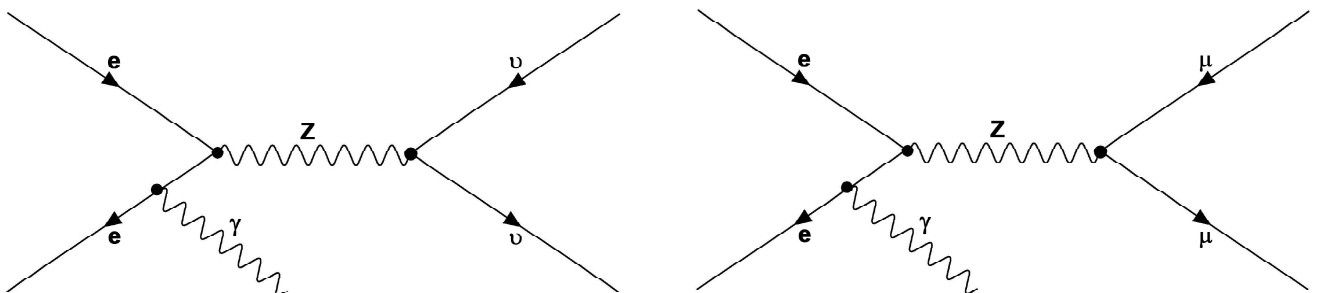
Ergebnisse der LEP-Forschung: Die Anzahl der Neutrinogenerationen

In den Experimenten am Large Electron-Positron Collider (LEP) wollten die Wissenschaftler unter anderem überprüfen, wie viele unterschiedliche Arten von Anti-/Neutrinos existieren. Das Problem dabei war, dass Anti-/Neutrinos mit den Detektoren nicht direkt nachweisbar waren, was die Untersuchung dieser elementaren Anti-/Materieteilchen erschwerte.

Das Standardmodell sagt voraus, wie das Verhältnis der Anzahl der Umwandlungen des Z-Teilchens in ein Neutrino-Anti-Neutrino-Paar zur Anzahl der Umwandlungen in ein Paar aus geladenen Leptonen sein müsste, wenn wie angenommen nur die drei bekannten Arten leichter Anti-/Neutrinos existieren. Wie konnte dieses Verhältnis aber bestimmt werden, wenn man die Zahl der Umwandlungen von Z-Teilchen in Anti-/Neutrinos nicht zählen konnte?

Unter bestimmten Umständen war es möglich, auf die Umwandlung eines Z-Teilchens in ein Neutrino-Anti-Neutrino-Paar zu schließen, auch wenn die Anti-/Neutrinos für die Detektoren unsichtbar blieben.

Die Z-Teilchen wurden am LEP durch die Kollision von Elektronen und Positronen erzeugt. Manchmal kam es vor, dass eines dieser Anti-/Teilchen vor der Kollision ein Photon abstrahlte, welches im Detektor registriert werden konnte. Wandelte sich das entstandene Z-Teilchen anschließend in ein Neutrino-Anti-Neutrino-Paar um, so war im Detektor nur die Signatur des Photons sichtbar. So konnten diese Ereignisse gezählt werden. Der gesamte Prozess ist im linken Feynman-Diagramm dargestellt. Das rechte Feynman-Diagramm beschreibt einen ähnlichen Prozess, nur dass sich das Z-Teilchen dabei in ein Myon-Anti-Myon-Paar umwandelt. Derartige Ereignisse konnten am LEP leicht identifiziert und gezählt werden



Das ermittelte Verhältnis aus Umwandlungen des Z-Teilchens in ein Neutrino-Anti-Neutrino-Paar zu den Umwandlungen in ein Myon-Anti-Myon-Paar wurde mit den Vorhersagen des Standardmodells verglichen, die sich ergeben, wenn man annimmt, dass genau die drei bisher bekannten leichten Neutrinos existieren. Es hat sich gezeigt, dass die experimentellen Ergebnisse sehr genau mit den Vorhersagen übereinstimmen. Mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit existieren also tatsächlich nur drei Arten leichter Anti-/Neutrinos.

Dass eventuell schwere Neutrinos existieren, die eine zu große Masse besitzen um bei der Umwandlung eines Z-Teilchens entstehen zu können, kann anhand der experimentellen Daten allerdings nicht ausgeschlossen werden.