

Rotoren-Modell eines universellen Elementarteilchens

von

Tom Becker und Werner Ahrendt

Zusammenfassung

In diesem Artikel wird ein Modell vorgestellt, dass alle Fermionen des Standardmodells auf ein universelles Elementarteilchen zurückführt. Dieses universelle Elementarteilchen besitzt drei innere Achsen, die jeweils einzeln sowie auch als Achsensystem rotieren. Die verschiedenen möglichen Rotationszustände dieser inneren Achsen lassen sich eineindeutig den bekannten Fermionen des Standardmodells zuordnen. Die schwachen, starken und elektrischen Ladungen der Teilchen ergeben sich aus ihren inneren Rotationszuständen. Auch die Bosonen des Standardmodells mit Ausnahme des Higgs-Bosons lassen sich in das Modell integrieren. Die Austauschteilchen der starken und elektro-schwachen Wechselwirkung vermitteln Änderungen der inneren Rotationszustände von Fermionen, mit Ausnahme des Z-Bosons sowie des Photons.

I. Einleitung

Alle bekannten Elementarteilchen (Leptonen, Quarks, Austauschteilchen der schwachen, starken und elektromagnetischen Wechselwirkung) tragen eine elektrische Ladung, die der Ladung des Elektrons bis auf einen Faktor 0 , $\pm\frac{1}{3}$, $\pm\frac{2}{3}$ oder ± 1 entspricht. Dieser Umstand ist bemerkenswert, denn eine andere charakteristische Eigenschaft der Elementarteilchen, ihre Ruhmasse, bildet keine Bruchteile oder Vielfache eines bestimmten Grundwerts. Dass die Werte der elektrischen Ladungen aller bekannten Elementarteilchen im Verhältnis kleiner ganzer Zahlen zueinander stehen, legt die Vermutung nahe, dass sie kein reines Produkt des Zufalls sind, sondern dass in allen Elementarteilchen der gleiche Mechanismus wirksam ist, der die elektrische Ladung generiert und den Ladungswert des jeweiligen Elementarteilchens bestimmt.

Im Hinblick auf die elektrischen Ladungen gibt es noch weitere Auffälligkeiten:

- Die elektrische Ladung kann zwei verschiedene Vorzeichen haben, positiv oder negativ.
- Zu jedem Teilchen gibt es ein Antiteilchen, dessen elektrische Ladung jeweils das umgekehrte Vorzeichen trägt.
- Quarks und Leptonen kommen jeweils in zwei Linien vor, wobei sich die elektrische Ladung von zwei Schwesterteilchen jeweils um eine ganze Elementarladung e unterscheidet (Elektron: $-e$ / Neutrino: 0 ; down-Quark: $-\frac{2}{3}e$ / up-Quark: $+\frac{2}{3}e$).
- Nur Teilchen und Antiteilchen, die keine ganzzahlige elektrische Ladung tragen, unterliegen der starken Wechselwirkung.

Diese Auffälligkeiten waren für uns der Anlass, nach einem theoretischen Modell zu suchen, aus dessen inneren Zusammenhängen ersichtlich wird, warum es zwei elektrische Ladungsarten (positiv und negativ) gibt und warum die Elementarteilchen genau ihren jeweiligen Wert der elektrischen Ladung besitzen. Wie sich im Laufe der Suche herausstellte, lassen sich nicht nur die elektrischen Ladungen, sondern auch die schwachen und starken Ladungen aller Elementarteilchen mit Ausnahme des Higgs-Bosons mit einem einheitlichen Modell eines universellen Elementarteilchens beschreiben.

II. Ansatzpunkt

Laut Standardmodell der Elementarteilchenphysik wird die elektromagnetische Wechselwirkung durch virtuelle Photonen als Austauschteilchen vermittelt. Wie ist es dabei möglich, dass ein virtuelles Photon eine abstoßende Wechselwirkung zwischen zwei gleichartig geladenen Teilchen (d.h. $+/+$ oder $-/-$) vermittelt und eine anziehende Wirkung zwischen zwei gegensätzlich geladenen Teilchen (d.h. $+/-$ oder $-/+$)?

Einen Erklärungsansatz bietet der Umstand, dass es sowohl linksdrehend als auch rechtsdrehend polarisierte Photonen gibt, bei denen sich die senkrecht aufeinander stehenden Vektoren des elektrischen Feldes E und des magnetischen Feldes B in Bewegungsrichtung des Photons wie eine Schraube mit Links- bzw. Rechtsgewinde drehen. Nehmen wir an, negative Ladungen senden linksdrehende virtuelle Photonen aus, während positive Ladungen rechtsdrehende virtuelle Photonen aussenden. Trifft ein linksdrehendes, also von einer negativen Ladung stammendes virtuelles Photon, auf eine andere negative Ladung, so vermittelt es eine abstoßende Wirkung, trifft es hingegen auf eine positive Ladung, so vermittelt es eine Anziehung. Ein rechtsdrehendes, also von einer positiven Ladung stammendes virtuelles Photon, vermittelt beim Treffen auf eine andere positive Ladung eine abstoßende Wirkung, beim Treffen auf eine negative Ladung hingegen eine Anziehung. Abbildung 1 zeigt anschaulich ein links- und ein rechtsdrehend polarisiertes Photon, Tabelle 1 die Vermittlung von abstoßenden bzw. anziehenden Wirkungen zwischen elektrischen Ladungen.

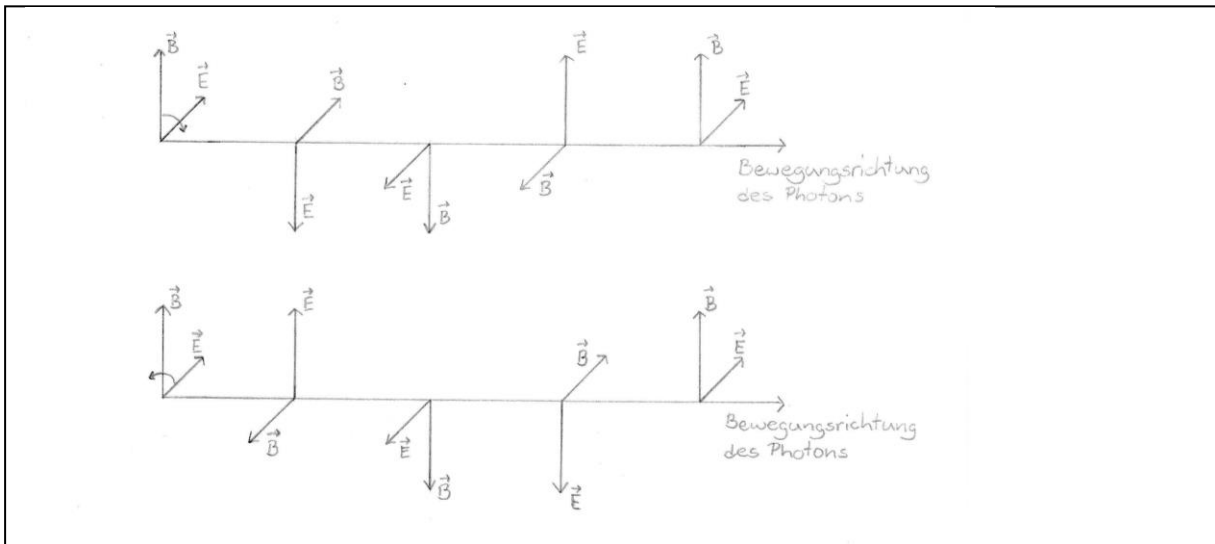


Abbildung 1: Links- (-) bzw. rechtsdrehend (+) polarisiertes Photon

Ausgehend von dieser Überlegung, dass Abstoßung bzw. Anziehung zwischen elektrisch geladenen Teilchen durch den Drehsinn der virtuellen Austausch-Photonen vermittelt wird, liegt die Hypothese nahe, die elektrische Ladung eines Teilchens mit dem Vorhandensein einer inneren Drehung und das Vorzeichen der Ladung mit dem Drehsinn (links- bzw. rechtsdrehend) zu assoziieren. Trifft ein virtuelles Photon auf eine elektrische Ladung mit gleichem Drehsinn, vermittelt es eine Abstoßung, bei entgegengesetztem Drehsinn hingegen eine Anziehung.

Ladung von Teilchen A	Austauschteilchen	Ladung von Teilchen B	Wirkung
-	$\gamma^{(-)}$	-	$<->$
-	$\gamma^{(-)}$	+	$>-<$
+	$\gamma^{(+)}$	+	$<->$
+	$\gamma^{(+)}$	-	$>-<$

Tabelle 1: Vermittlung von Anziehung ($>-<$) und Abstoßung ($<->$) zwischen elektrischen Ladungen durch links- bzw. rechtsdrehend polarisierte virtuelle Photonen als Austauschteilchen

III. Das Rotoren-Modell

Auffälligerweise ist die größte elektrische Ladung eines Elementarteilchens gerade drei Mal so groß wie die kleinste Ladung eines elektrisch geladenen Teilchens. Die Zahl drei kommt zudem in der Elementarteilchenphysik auch noch in anderen Zusammenhängen vor – es gibt drei Generationen von Leptonen und Quarks sowie drei Dimensionen des Raums. Dies kann Zufall sein oder aber auf einen inneren Zusammenhang hindeuten.

Lässt sich ein Modell finden, dass diese Auffälligkeiten in einen Zusammenhang bringt?

Nach längerem Puzzeln haben wir ein solches Modell gefunden, das die Fermionen des Standardmodells auf ein universelles Elementarteilchen zurückführt, dessen innere Rotationen die elektrischen, schwachen und starken Ladungen beschreiben. Dieses universelle Elementarteilchen besitzt drei innere Achsen, die orthogonal zueinander sind. Man kann sich diese drei Achsen in Analogie zu den drei Raumdimensionen vorstellen – allerdings ergeben diese drei Achsen nicht unmittelbar unseren gewöhnlichen Raum, sondern sie bilden den Eigenraum des Teilchens. Benennen wir die drei inneren Raumachsen mit a , b , c in Analogie zu den üblichen Raumdimensionen x , y , z . Zur Unterscheidung und leichteren Veranschaulichung wählen wir zudem eine planare Darstellung mit einem Winkelabstand von 120° zwischen den drei inneren Raumachsen. Abbildung 2 zeigt eine schematische Darstellung der drei inneren Achsen a , b und c des universellen Elementarteilchens.

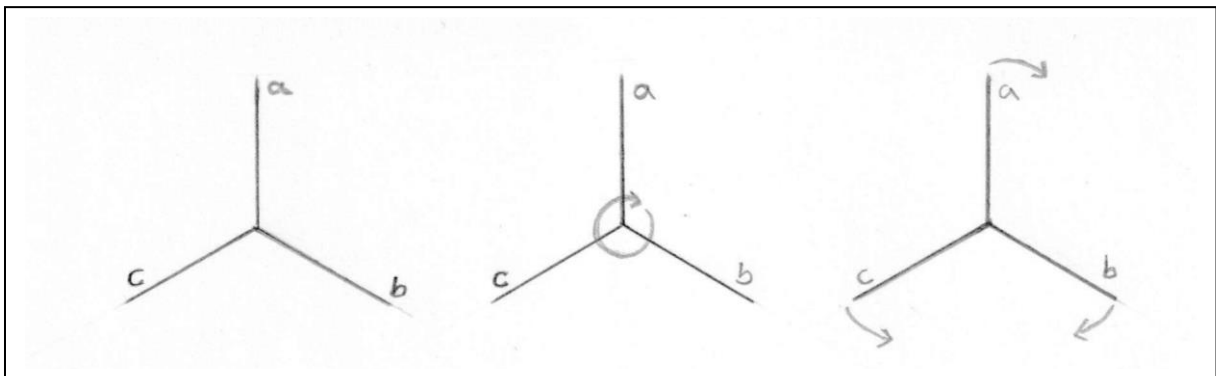


Abbildung 2: Die drei inneren Achsen a , b und c des universellen Elementarteilchens und ihre Rotationsmöglichkeiten

Jedes universelle Elementarteilchen verfügt nun über mehrere Rotationsmöglichkeiten seiner inneren Achsen. Zum einen kann sich das gesamte Achsenkreuz entweder linksherum oder rechtsherum drehen. Zum anderen kann sich aber auch jede einzelne Achse entweder nach links oder nach rechts drehen.

Aber wie schnell erfolgen diese Rotationen?

In der Quantenphysik ist es üblicherweise so, dass Größen keine kontinuierlichen Werte annehmen können, sondern nur bestimmte gequantelte Werte. Zudem ist der Grundzustand nie der Nullpunkt. Übertragen auf die inneren Rotationen des universellen Elementarteilchens bedeutet dies, dass nur gequantelte Rotationsgeschwindigkeiten zulässig sind und die Achsen niemals in Ruhe sein können. Es liegt nahe, die Rotationsgeschwindigkeit der inneren Achsen mit dem Spin der Elementarteilchen in Zusammenhang zu bringen. Alle bekannten Elementarteilchen haben entweder einen ganzzahligen Spin (Bosonen) oder halbzahligen Spin (Fermionen).

Zur Veranschaulichung des Spins hat Stephen Hawking (1942-2018) in seinem Buch „Eine kurze Geschichte der Zeit“ eine Pfeil-Analogie genutzt: „Ein Teilchen mit dem Spin 0 ist ein Punkt: Es sieht aus allen Richtungen gleich aus. Ein Teilchen mit dem Spin 1 ist dagegen wie ein Pfeil: Es sieht aus verschiedenen Richtungen verschieden aus. Nur bei einer vollständigen Umdrehung (360 Grad) sieht das Teilchen wieder gleich aus. [Zudem gibt] es Teilchen [...], die nach einer Umdrehung noch nicht wieder gleich aussehen: Es sind dazu vielmehr zwei Umdrehungen erforderlich! Der Spin solcher Teilchen wird mit $\frac{1}{2}$ angegeben.“

Ausgehend von dieser Analogie liegt die Hypothese nahe, dass bei Bosonen die inneren Achsen innerhalb ihrer Rotationsperiode eine Drehung um 360° ausführen, bei Fermionen die Drehung hingegen um 720° erfolgt. Aber wie groß ist die Periodendauer, innerhalb derer diese Drehung der inneren Achsen um 360° (Bosonen) bzw. 720° (Fermionen) erfolgt?

Auf Louis de Broglie (1892-1987) geht die Idee zurück, dass alle Teilchen auch als Materiewellen aufgefasst werden können. Abhängig von seiner Energie E und seinem Impuls p hat ein Elementarteilchen demnach eine charakteristische Wellenlänge $\lambda = h / p$ und eine Eigenschwingungszeit $\tau = h / E$, wobei $h = 6,626 \cdot 10^{-34}$ Js das Plancksche Wirkungsquantum ist. Die Periodendauer τ der Eigenschwingung eines Teilchens lässt sich bei relativistischer Betrachtung aus seiner Ruhemasse m_0 und dem Impuls p berechnen: $\tau = h \cdot (p^2 c^2 + m_0^2 c^4)^{-\frac{1}{2}}$

Betrachten wir zunächst Fermionen. Bei diesen dreht sich demnach innerhalb ihrer Eigenschwingungsperiode sowohl das Achsensystem als auch jede der drei einzelnen Achsen um jeweils 720° . Eine vollständige Umdrehung in unserem gewöhnlichen Raum benötigt jedoch nur halb so viel – nämlich 360° . Der Drehung des gesamten Achsensystems wollen wir daher den Wert $\pm \frac{1}{2}$ zuweisen. Da das Achsensystem aus insgesamt drei Einzelachsen besteht, geht die Drehung einer einzelnen Achse nur mit einem Gewicht von $\frac{1}{3}$ ein und beträgt folglich $\pm \frac{1}{6}$. Der Drehsinn der Bewegung des Achsensystems als auch jeder einzelnen Achse kann dabei unterschiedlich sein. Die Drehungen der Einzelachsen und die Drehung des gesamten Achsensystems überlagern sich additiv. Die verschiedenen Kombinationsmöglichkeiten zeigt Tabelle 2.

Achsensystem	Einzelachsen	Summe der Drehungen	Differenzen im Drehsinn
(+)	(+) (+) (+)	$\frac{1}{2} + 1/3 * (\frac{1}{2} + \frac{1}{2} + \frac{1}{2}) = +1$	O
(+)	(+) (+) (-)	$\frac{1}{2} + 1/3 * (\frac{1}{2} + \frac{1}{2} - \frac{1}{2}) = +2/3$	^
(+)	(+) (-) (-)	$\frac{1}{2} + 1/3 * (\frac{1}{2} - \frac{1}{2} - \frac{1}{2}) = +1/3$	v
(+)	(-) (-) (-)	$\frac{1}{2} + 1/3 * (-\frac{1}{2} - \frac{1}{2} - \frac{1}{2}) = 0$	O
(-)	(-) (-) (-)	$-\frac{1}{2} + 1/3 * (-\frac{1}{2} - \frac{1}{2} - \frac{1}{2}) = -1$	O
(-)	(+) (-) (-)	$-\frac{1}{2} + 1/3 * (\frac{1}{2} - \frac{1}{2} - \frac{1}{2}) = -2/3$	v
(-)	(+) (+) (-)	$-\frac{1}{2} + 1/3 * (\frac{1}{2} + \frac{1}{2} - \frac{1}{2}) = -1/3$	^
(-)	(+) (+) (+)	$-\frac{1}{2} + 1/3 * (\frac{1}{2} + \frac{1}{2} + \frac{1}{2}) = 0$	O

Tabelle 2: Kombination der Drehungen von Achsensystem und Einzelachsen

Bei der Betrachtung von Tabelle 2 fällt auf, dass in vier Fällen die drei Einzelachsen einen gleichlaufenden Drehsinn haben, in den vier anderen Fällen jedoch eine Achse einen anderen Drehsinn hat als die übrigen beiden Achsen. Die Konstellation (+)(+)(-) wollen wir mit dem Symbol ^ kennzeichnen, die Konstellation (+)(-)(-) mit dem Symbol v. Die Fälle mit gleichlaufendem Drehsinn der drei Einzelachsen sind in Tabelle 2 mit dem Symbol O gekennzeichnet.

Nun wollen wir die in Tabelle 2 erhaltenen Werte für die Summe der Drehungen und der Differenzen im Drehsinn mit den elektrischen Ladungen und den Farbladungen der Fermionen vergleichen:

Summe der Drehungen	Differenzen im Drehsinn	elektrische Ladung	Farbladung	Elementarteilchen
+1	0	+1	-	Positron, Anti-Myon, Anti-Tauon
+2/3	^	+2/3	r, g, b	u-Quark, c-Quark, t-Quark
+1/3	v	+1/3	<u>r</u> , <u>g</u> , <u>b</u>	d-Antiquark, s-Antiquark, b-Antiquark
0	0	0	-	Elektron/Myon/Tau-Neutrino
-1	0	-1	-	Elektron, Myon, Tauon
-2/3	v	-2/3	<u>r</u> , <u>g</u> , <u>b</u>	u-Antiquark, c-Antiquark, t-Antiquark
-1/3	^	-1/3	r, g, b	d-Quark, s-Quark, b-Quark
0	0	0	-	Elektron/Myon/Tau-Antineutrino

Tabelle 3: Vergleich des Rotoren-Modells mit den Eigenschaften der Fermionen

Aus Tabelle 3 wird ersichtlich, dass die Summe der Drehungen im Rotoren-Modell mit den Werten für die elektrische Ladung der Elementarteilchen übereinstimmt und Differenzen im Drehsinn der drei Einzelachsen einhergehen mit dem Vorhandensein einer Farb- bzw. Antifarbladung. Unser Rotoren-Modell muss jedoch noch um eine Facette erweitert werden, um die drei Farbladungen r, g, b und die drei Antifarbladungen r, g, b abzubilden. In Tabelle 2 haben wir bei den Konstellationen (+) (+) (-) bzw. (+) (-) (-) nicht danach unterschieden, auf welcher der drei Einzelachsen a, b oder c der jeweils abweichende Achsendrehsinn auftritt. Fügt man diese Unterscheidung noch hinzu, so lassen sich die drei Farbladungen r, g, b und die drei Antifarbladungen r, g, b zwanglos ins Modell integrieren, wie Tabelle 4 zeigt.

Konstellation	Unterkonstellation	Farbladung
(+) (+) (-)	(+) (+) (-)	r
	(+) (-) (+)	g
	(-) (+) (+)	b
(+) (-) (-)	(-) (-) (+)	<u>r</u>
	(-) (+) (-)	<u>g</u>
	(+) (-) (-)	<u>b</u>

Tabelle 4: Farbladungen im Rotoren-Modell

IV. Chiralität und Helizität

In der Theorie der schwachen Wechselwirkung unterscheidet man zwischen links- und rechtshändigen Teilchen, die jeweils unterschiedlich stark an die Austauschteilchen W^\pm und Z^0 der schwachen Wechselwirkung koppeln. Diese sogenannte Chiralität ist eine Eigenschaft der Teilchen, die nicht identisch ist mit ihrer Helizität. Unter Helizität wird die Projektion des Eigendrehimpulses auf die Bewegungsrichtung des Teilchens verstanden – in diesem Sinne hatten wir zuvor von linksdrehend bzw. rechtsdrehend polarisierten Photonen gesprochen.

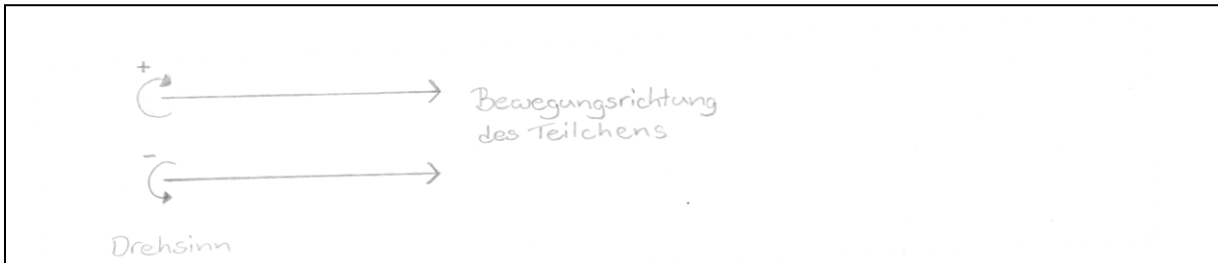


Abbildung 3: Helizität eines Teilchens

Um das Phänomen der Chiralität in unser Rotoren-Modell zu integrieren, müssen wir das Modell noch etwas erweitern und modifizieren. Bislang sind wir implizit davon ausgegangen, dass die Rotation der Einzelachsen und die Rotation des Achsensystems die gleiche Drehachse besitzen bzw. in der gleichen Ebene erfolgen. Diese implizite Annahme sollten wir noch einmal überdenken.

In der physikalischen Realität eines Elementarteilchens gibt es zwei ausgezeichnete Achsen – nämlich seine momentane Bewegungsrichtung einerseits und andererseits die Richtung, aus der es von einem Interaktionspartner „beobachtet“ wird. Beobachten meint hier nicht zwingend die Beobachtung durch eine menschliche Messapparatur, sondern die Interaktion mit irgendeinem anderen Teilchen. Die momentane Bewegungsrichtung ist die Drehachse des Achsenkreuzes. Die Drehachse der drei Einzelachsen hingegen ist stets die jeweilige Beobachtungsrichtung.

Für einen Beobachter überlagern sich also stets die Drehungen der Einzelachsen um die Beobachtungsrichtung und die Drehung des gesamten Achsensystems um die momentane Bewegungsrichtung des Teilchens. Durch Vektoraddition lässt sich die Bewegung des Teilchens aufspalten in eine Komponente entlang der Beobachtungsrichtung z und in eine Komponente in der xy -Ebene senkrecht zur Beobachtungsrichtung. Ein Teilchen lässt sich daher auffassen als eine anteilige Überlagerung eines in Beobachtungsrichtung fliegenden Teilchens und eines in der xy -Ebene fliegenden Teilchens.

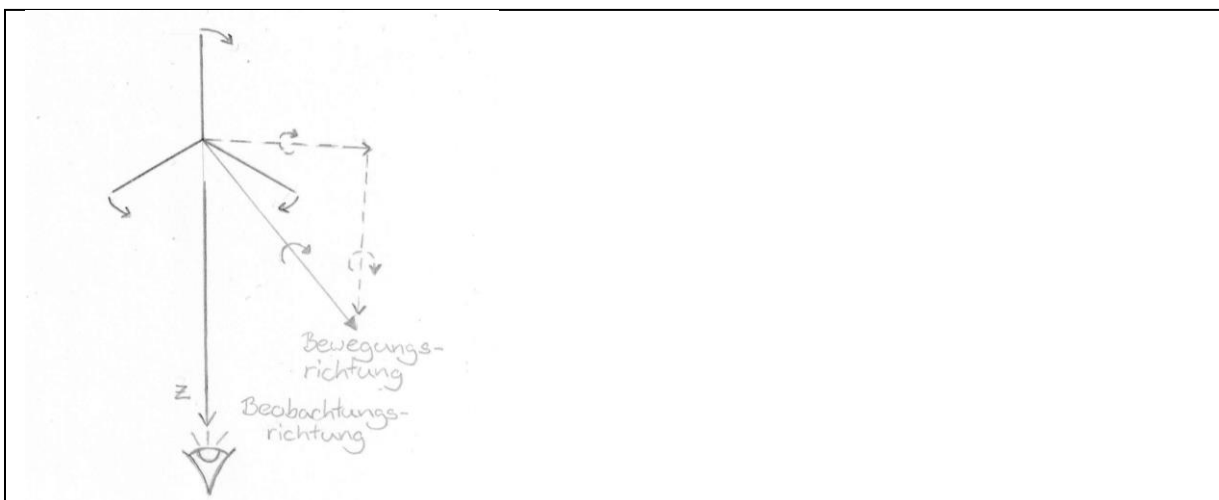


Abbildung 4: Deutung der Chiralität als Rotationsanteile mit Rotationsachse parallel bzw. senkrecht zur Beobachtungsrichtung z

Nun wollen wir die beiden (Ideal-)Fälle „Bewegungsrichtung parallel zur Beobachtungsrichtung“ und „Bewegungsrichtung senkrecht zur Beobachtungsrichtung“ analysieren. Der erste Fall ist identisch mit unserem bisherigen Modell, bei dem wir implizit angenommen haben, dass die Drehachse der Einzelachsen und die Drehachse des Achsensystems identisch sind. Diesen Fall müssen wir also nicht erneut betrachten.

Neu hingegen ist der zweite Fall mit senkrecht zueinander stehenden Drehachsen. In diesem Fall sieht der Beobachter als Rotation um die Beobachtungsrichtung nur die Rotation der drei Einzelachsen. Die Rotation des Achsensystems erfolgt senkrecht dazu und überlagert sich daher nicht additiv mit der Rotation der Einzelachsen. Tabelle 5 zeigt das erweiterte Rotoren-Modell für diesen neuen Fall 2 sowie den bereits betrachteten Fall 1.

Drehsinn des Achsensystems	Drehsinn der Einzelachsen	Fall 2: z senkrecht v		Fall 1: z parallel v	
		Rotation um z-Achse	Rotation in Ebene durch z-Achse	Rotation um z-Achse	Rotation in Ebene durch z-Achse
(+)	(+) (+) (+)	$\frac{1}{3} * (\frac{1}{2} + \frac{1}{2} + \frac{1}{2}) = +1/2$	+ 1/2	$\frac{1}{2} + \frac{1}{3} * (\frac{1}{2} + \frac{1}{2} + \frac{1}{2}) = +1$	0
(+)	(+) (+) (-)	$\frac{1}{3} * (\frac{1}{2} + \frac{1}{2} - \frac{1}{2}) = +1/6$	+ 1/2	$\frac{1}{2} + \frac{1}{3} * (\frac{1}{2} + \frac{1}{2} - \frac{1}{2}) = +2/3$	0
(+)	(+) (-) (-)	$\frac{1}{3} * (\frac{1}{2} - \frac{1}{2} - \frac{1}{2}) = -1/6$	+ 1/2	$\frac{1}{2} + \frac{1}{3} * (\frac{1}{2} - \frac{1}{2} - \frac{1}{2}) = +1/3$	0
(+)	(-) (-) (-)	$\frac{1}{3} * (-\frac{1}{2} - \frac{1}{2} - \frac{1}{2}) = -1/2$	+ 1/2	$\frac{1}{2} + \frac{1}{3} * (-\frac{1}{2} - \frac{1}{2} - \frac{1}{2}) = 0$	0
(-)	(-) (-) (-)	$\frac{1}{3} * (-\frac{1}{2} - \frac{1}{2} - \frac{1}{2}) = -1/2$	- 1/2	$-\frac{1}{2} + \frac{1}{3} * (-\frac{1}{2} - \frac{1}{2} - \frac{1}{2}) = -1$	0
(-)	(-) (-) (+)	$\frac{1}{3} * (-\frac{1}{2} - \frac{1}{2} + \frac{1}{2}) = -1/6$	- 1/2	$-\frac{1}{2} + \frac{1}{3} * (-\frac{1}{2} - \frac{1}{2} + \frac{1}{2}) = -2/3$	0
(-)	(-) (+) (+)	$\frac{1}{3} * (-\frac{1}{2} + \frac{1}{2} + \frac{1}{2}) = +1/6$	- 1/2	$-\frac{1}{2} + \frac{1}{3} * (-\frac{1}{2} + \frac{1}{2} + \frac{1}{2}) = -1/3$	0
(-)	(+) (+) (+)	$\frac{1}{3} * (\frac{1}{2} + \frac{1}{2} + \frac{1}{2}) = +1/2$	- 1/2	$-\frac{1}{2} + \frac{1}{3} * (\frac{1}{2} + \frac{1}{2} + \frac{1}{2}) = 0$	0

Tabelle 5: Erweiterung des Rotoren-Modells auf die beiden Idealfälle „Beobachtungsrichtung z parallel zur Bewegungsrichtung v“ und „Beobachtungsrichtung z senkrecht zur Bewegungsrichtung v“

Nun vergleichen wir Tabelle 5 mit den Quantenzahlen der Elementarteilchen im Standardmodell in Tabelle 6. Dabei stellt sich heraus, dass die Teilchen mit linkshändiger Chiralität gerade solche sind, bei denen die Bewegungsrichtung senkrecht zur Beobachtungsrichtung verläuft, während bei Teilchen mit rechtshändiger Chiralität die Bewegungs- und Beobachtungsrichtung parallel liegen. Reale Teilchen setzen sich anteilig aus den beiden Chiralitäten zusammen – abhängig vom Winkel zwischen ihrer momentanen Bewegungsrichtung und der Richtung des Interaktionspartners.

Elementarteilchen	elektrische Ladung Q_{el}	schwache Hyperladung Y_w	schwacher Isospin T_z	schwache Hyperladung Y_w	schwacher Isospin T_z
Positron, Anti-Myon, Anti-Tauon	+ 1	+ 1/2	+ 1/2	+ 1	0
u-Quark, c-Quark, t-Quark	+ 2/3	+ 1/6	+ 1/2	+ 2/3	0
d-Antiquark, s-Antiquark, b-Antiquark	+ 1/3	- 1/6	+ 1/2	+ 1/3	0
Elektron/Myon/Tau-Neutrino	0	- 1/2	+ 1/2	0	0
Elektron, Myon, Tauon	- 1	- 1/2	- 1/2	- 1	0
u-Antiquark, c-Antiquark, t-Antiquark	- 2/3	- 1/6	- 1/2	- 2/3	0
d-Quark, s-Quark, b-Quark	- 1/3	+ 1/6	- 1/2	- 1/3	0
Elektron/Myon/Tau-Antineutrino	0	+ 1/2	- 1/2	0	0
			Teilchen mit linkshändiger Chiralität		Teilchen mit rechtshändiger Chiralität

Tabelle 6: Quantenzahlen links- und rechtshändiger Fermionen

Auf dem bisherigen Kenntnisstand der Physik gilt die Existenz rechtshändiger Neutrinos als ausgeschlossen, weil bei Experimenten stets nur Neutrinos mit linkshändiger Chiralität nachgewiesen werden konnten. Trotzdem steht das Rotoren-Modell unserer Auffassung nach nicht im Widerspruch zu den experimentellen Befunden. Die in den Experimenten beobachteten Neutrinos wurden von W -Bosonen erzeugt bzw. vernichtet, die bekanntlich nur an linkshändige Teilchen bzw. rechtshändige Antiteilchen koppeln. Folglich mussten die in den Experimenten anhand ihrer Interaktionspartner identifizierten Neutrinos linkshändig sein. Das bedeutet aber nicht, dass andere Interaktionspartner dasselbe Neutrino ebenfalls als linkshändig wahrnehmen müssen. Laut unserem Modell setzt sich jedes reale Teilchen aus einem links- und einem rechtshändigen Anteil zusammen, wobei der Anteil vom Winkel zwischen Bewegungsrichtung des Teilchens und der Beobachtungsrichtung des Interaktionspartners abhängt.

Da der rechtshändige Anteil von Neutrinos weder elektromagnetisch, schwach noch stark wechselwirkt, sondern lediglich gravitativ, sind rechtshändige Neutrinos ein möglicher Kandidat für die „Dunkle Materie“, die von den Astronomen gesucht wird, um den beobachteten gravitativen Zusammenhalt von Galaxien zu erklären. Nach unserer Ableitung des Rotoren-Modells ist die Existenz rechtshändiger Neutrinos zwingend, denn es handelt sich bei ihnen lediglich um einen Projektionsanteil realer Neutrinos.

V. Die drei Generationen von Quarks und Leptonen

Bis zu diesem Punkt vermag das Rotoren-Modell nicht zwischen den drei Generationen von Leptonen und Quarks zu unterscheiden. Denn zwischen gleichartigen Teilchen der drei Generationen gibt es keine Unterschiede hinsichtlich der bisher betrachteten Eigenschaften elektrische Ladung, schwache Hyperladung, z -Komponente des schwachen Isospin, Farbladung und Spin.

Der Umstand, dass es drei Generationen von Fermionen und drei Achsen im Rotoren-Modell gibt, legt einen Gedanken nahe, wie sich die drei Generationen im Rotoren-Modell unterscheiden lassen könnten: In jeder der drei Generationen ist eine andere der drei Achsen gegenüber den verbleibenden beiden Achsen ausgezeichnet – also in der ersten Generation die a -Achse, in der zweiten Generation die b -Achse und in der dritten Generation die c -Achse. Weitere Generationen von Fermionen kann es im Rotoren-Modell nicht geben und wurden bislang auch nicht experimentell beobachtet. Worin genau diese Auszeichnung jeweils einer Achse besteht, vermögen wir zum jetzigen Zeitpunkt nicht zu sagen. Da sich gleichartige Teilchen in den drei Generationen – also z.B. Elektron, Myon und Tauon – hauptsächlich in ihrer Ruhmasse (sowie Lebensdauer und Zerfallswegen) unterscheiden, liegt die Vermutung nahe, dass diese Auszeichnung jeweils einer Achse und die Ruhmasse miteinander zu tun haben.

VI. Die Wechselwirkungsteilchen

Bislang haben wir nur die Fermionen des Standardmodells betrachtet. Das Modell muss daher noch um die Gluonen, die Bosonen W^\pm , Z^0 , das Photon und das Higgs-Teilchen erweitert werden. Die Gluonen vermitteln die starke Wechselwirkung, die drei Bosonen W^\pm und Z^0 vermitteln als virtuelle Austauschteilchen die schwache Wechselwirkung und das Photon die elektromagnetische Wechselwirkung. Da wir die schwache, die starke und die elektrische Ladung mit inneren Rotationen des universellen Elementarteilchens assoziiert haben, liegt die Vermutung nahe, dass die Austauschteilchen Änderungen dieser Rotationszustände vermitteln.

Wenden wir uns zuerst den Gluonen zu. Da die starke Ladung im Rotoren-Modell als abweichender Rotationssinn einer Einzelachse gegenüber den anderen beiden Einzelachsen beschrieben wird, besteht die Wirkung von Gluonen offenbar darin, den abweichenden Drehsinn von einer Achse auf eine andere Achse zu übertragen. Eine solche Übertragung des abweichenden Drehsinns zwischen den

Achsen käme dann zustande, wenn die Achsen miteinander vertauscht würden. Da unser Rotoren-Modell drei Einzelachsen a, b, c kennt, gibt es insgesamt 6 Permutationen abc, acb, cba, bac, cab, bca bzw. fünf Vertauschungsrelationen abc -> acb, abc -> cba, abc -> bac, abc -> cab und abc -> bca. Die Auswirkungen dieser fünf Achsenvertauschungen auf die acht möglichen Kombinationen für die Drehsinne der drei Einzelachsen zeigt Tabelle 7.

Achsentausch	Wirkung auf Drehsinn der Einzelachsen	Effekt auf Farbladungen	Übliche Notation für Gluonen
abc -> acb	(+)(+)(+) -> (+)(+)(+)	-	$(r\bar{g} + g\bar{r})/\sqrt{2}$
	(+)(+)(-) -> (+)(-)(+)	$r \rightarrow g$	
	(+)(-)(+) -> (+)(+)(-)	$g \rightarrow r$	
	(-)(+)(+) -> (-)(+)(+)	-	$-i(r\bar{g} - g\bar{r})/\sqrt{2}$
	(+)(-)(-) -> (+)(-)(-)	-	
	(-)(+)(-) -> (-)(-)(+)	$\bar{g} \rightarrow \bar{r}$	
	(-)(-)(+) -> (-)(+)(-)	$\bar{r} \rightarrow \bar{g}$	
	(-)(-)(-) -> (-)(-)(-)	-	
abc -> cba	(+)(+)(+) -> (+)(+)(+)	-	$(r\bar{b} + b\bar{r})/\sqrt{2}$
	(+)(+)(-) -> (-)(+)(+)	$r \rightarrow b$	
	(+)(-)(+) -> (+)(-)(+)	-	
	(-)(+)(+) -> (+)(+)(-)	$b \rightarrow r$	$-i(r\bar{b} - b\bar{r})/\sqrt{2}$
	(+)(-)(-) -> (-)(-)(+)	$\bar{b} \rightarrow r$	
	(-)(+)(-) -> (-)(+)(-)	-	
	(-)(-)(+) -> (+)(-)(-)	$\bar{r} \rightarrow \bar{b}$	
	(-)(-)(-) -> (-)(-)(-)	-	
abc -> bac	(+)(+)(+) -> (+)(+)(+)	-	$(b\bar{g} + g\bar{b})/\sqrt{2}$
	(+)(+)(-) -> (+)(+)(-)	-	
	(+)(-)(+) -> (-)(+)(+)	$g \rightarrow b$	
	(-)(+)(+) -> (+)(-)(+)	$b \rightarrow g$	$-i(b\bar{g} - g\bar{b})/\sqrt{2}$
	(+)(-)(-) -> (-)(+)(-)	$\bar{b} \rightarrow \bar{g}$	
	(-)(+)(-) -> (+)(-)(-)	$g \rightarrow \bar{b}$	
	(-)(-)(+) -> (-)(-)(+)	-	
	(-)(-)(-) -> (-)(-)(-)	-	
abc -> cab	(+)(+)(+) -> (+)(+)(+)	-	$(r\bar{r} - b\bar{b})/\sqrt{2}$
	(+)(+)(-) -> (-)(+)(+)	$r \rightarrow b$	
	(+)(-)(+) -> (+)(+)(-)	$g \rightarrow r$	
	(-)(+)(+) -> (+)(-)(+)	$b \rightarrow g$	
	(+)(-)(-) -> (-)(+)(-)	$\bar{b} \rightarrow \bar{g}$	
	(-)(+)(-) -> (-)(-)(+)	$\bar{g} \rightarrow \bar{r}$	
	(-)(-)(+) -> (+)(-)(-)	$\bar{r} \rightarrow \bar{b}$	
	(-)(-)(-) -> (-)(-)(-)	-	
abc -> bca	(+)(+)(+) -> (+)(+)(+)	-	$(r\bar{r} + b\bar{b} - 2g\bar{g})/\sqrt{6}$
	(+)(+)(-) -> (-)(+)(+)	$r \rightarrow g$	
	(+)(-)(+) -> (+)(+)(-)	$g \rightarrow b$	
	(-)(+)(+) -> (+)(-)(+)	$b \rightarrow r$	
	(+)(-)(-) -> (-)(+)(-)	$\bar{b} \rightarrow \bar{r}$	
	(-)(+)(-) -> (-)(-)(+)	$\bar{g} \rightarrow \bar{b}$	
	(-)(-)(+) -> (+)(-)(-)	$\bar{r} \rightarrow \bar{g}$	
	(-)(-)(-) -> (-)(-)(-)	-	

Tabelle 7: Vergleich der Auswirkungen eines Achsentauschs im Rotoren-Modell mit den bekannten Farbvertauschungen durch Gluonen

Ein Blick auf Tabelle 7 zeigt, dass ein Achsentausch bei allen Leptonen aufgrund ihrer drei identischen Achsendrehsinne folgenlos bleibt, während bei Quarks deren Farbe wechselt, wie es auch dem Stand des physikalischen Wissens entspricht. Allerdings legt das Rotoren-Modell die Vereinfachung nahe, die bislang acht unterschiedenen Gluonen auf fünf Achsenvertauschungen zu reduzieren.

Während die Gluonen auf den Drehsinn der einzelnen Achsen einwirken, beeinflussen die Austauscheteilchen der schwachen Wechselwirkung den Drehsinn der Achsen in ihrer Gesamtheit. Bei der Emission eines W^- -Bosons ändert sich der Drehsinn des Achsensystems eines Fermions von (-) zu (+), während die Emission eines W^+ -Bosons den Drehsinn von (+) zu (-) ändert. Die Absorption eines W^- ändert den Drehsinn von (+) zu (-), während die Absorption eines W^+ den Drehsinn von (-) zu (+) ändert. Die Abbildungen 5.a und 5.b zeigen dies beispielhaft an zwei bekannten Teilchenumwandlungen.

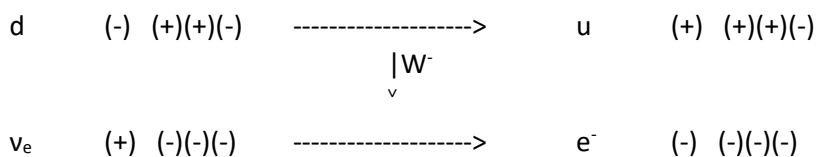


Abbildung 5.a: Umwandlung eines d-Quarks und eines Elektron-Neutrinos ν_e in ein u-Quark und ein Elektron e^- durch Austausch eines W^- -Bosons (Neutrino-Einfang)

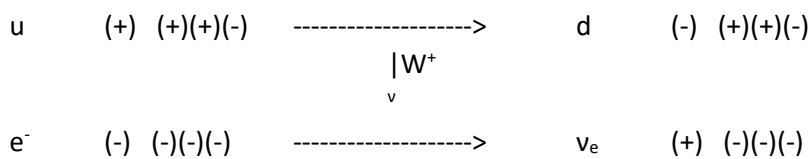


Abbildung 5.b: Umwandlung eines u-Quarks und eines Elektrons e^- in ein d-Quark und ein Elektron-Neutrino ν_e durch Austausch eines W^+ -Bosons (K-Einfang)

Ein prominenter Umwandlungsprozess von Elementarteilchen, bei dem das W^- -Boson als reales Teilchen auftritt, ist der Zerfall eines Myon μ^- in ein Myon-Neutrino ν_μ und ein W^- -Boson, das weiter in ein Elektron-Antineutrino $\bar{\nu}_e$ und ein Elektron e^- zerfällt:

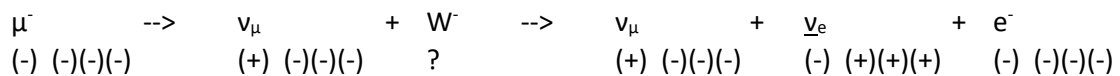
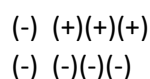


Abbildung 5.c: Zerfall eines Myons μ^-

Da wir die Darstellung der beteiligten Teilchen mit Ausnahme des W^- im Rotoren-Modell kennen, lässt sich die Rotoren-Darstellung des W^- -Bosons erschließen. Damit die Gleichung aufgeht, muss die bisher unbekannte Rotoren-Darstellung des W^- -Bosons offenbar so aussehen:



Diese zweireihige Symbolkombination ist bisher noch nicht aufgetreten. Naheliegend ist die Interpretation, dass die Drehsinne der Achsen und des Achsenkreuzes in den beiden Reihen addiert werden müssen und der Spin doppelt so groß ist wie bei den Fermionen. Mithin trägt das W^- -Boson den Spin 1 und eine elektrische Ladung $-\frac{1}{2} - \frac{1}{2} + \frac{1}{3}(\frac{1}{2} + \frac{1}{2} + \frac{1}{2}) + \frac{1}{3}(-\frac{1}{2} - \frac{1}{2} - \frac{1}{2}) = -1$, was den bekannten experimentellen Daten entspricht.

Da das W^+ -Boson das Antiteilchen zum W -Boson ist, haben alle Drehsinne das jeweils umgekehrte Vorzeichen, wodurch sich auch das Vorzeichen der elektrischen Ladung umkehrt. Tabelle 8 fasst die Rotoren-Darstellung der W^\pm -Bosonen zusammen.

W^-		W^+
(-) (+)(+)(+)	Rotoren-Darstellung	(+) (-)(-)(-)
(-) (-)(-)(-)		(+) (+)(+)(+)
$-\frac{1}{2} - \frac{1}{2} + \frac{1}{3}(\frac{1}{2}+\frac{1}{2}+\frac{1}{2}) + \frac{1}{3}(-\frac{1}{2}-\frac{1}{2}-\frac{1}{2}) = -1$	elektrische Ladung	$\frac{1}{2} + \frac{1}{2} + \frac{1}{3}(-\frac{1}{2}-\frac{1}{2}-\frac{1}{2}) + \frac{1}{3}(\frac{1}{2}+\frac{1}{2}+\frac{1}{2}) = +1$
1	Spin	1

Tabelle 8: Darstellung der W^\pm -Bosonen im Rotoren-Modell

Das Z^0 -Boson und das Photon hingegen ändern die Teilchenart ihrer Interaktionspartner nicht und lassen daher deren innere Rotationszustände unverändert. Sie sind elektrisch neutral und ihre eigenen Antiteilchen. Daher muss die Summe der Drehsinne ihrer inneren Rotationen Null ergeben und zudem so beschaffen sein, dass bei Änderung der Vorzeichen das gleiche Schema entsteht. Wenn man zudem davon ausgeht, dass wie bei den W -Bosonen die Drehsinne der Einzelachsen in jeder Achse identisch sind, gibt es nur noch vier Kombinationsmöglichkeiten, die in Tabellen 9 und 10 gezeigt sind.

Welche der Kombinationen dem Z^0 -Boson bzw. dem Photon entspricht, lässt sich anhand von Vorgängen erschließen, an denen diese Teilchen beteiligt sind. So lässt sich die Rotoren-Darstellung des Photons aus der spontanen Paarbildung oder der Paarzerstrahlung von Teilchen und Antiteilchen erschließen:

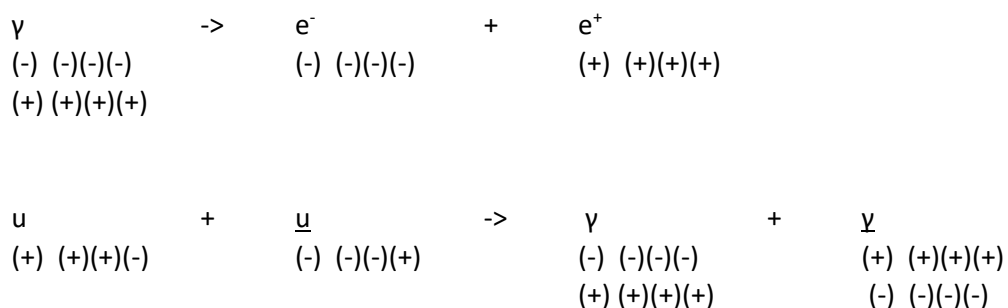


Abbildung 6: Spontane Bildung eines Elektron-Positron-Paars und u/\bar{u} -Paarzerstrahlung

Die Rotoren-Darstellung des Photons legt zudem nahe, dass die Reihenfolge der beiden Zeilen bei den Spin-1-Teilchen physikalisch nicht vollkommen bedeutungslos ist, da es bekanntlich sowohl links- wie rechtspolarisierte Photonen gibt, die sich als Photon und Antiphoton interpretieren lassen.

γ		$\bar{\gamma}$
(-) (-)(-)(-)	Rotoren-Darstellung	(+) (+)(+)(+)
(+) (+)(+)(+)		(-) (-)(-)(-)
$-\frac{1}{2} + \frac{1}{2} + \frac{1}{3}(-\frac{1}{2}-\frac{1}{2}-\frac{1}{2}) + \frac{1}{3}(\frac{1}{2}+\frac{1}{2}+\frac{1}{2}) = 0$	elektrische Ladung	$\frac{1}{2} - \frac{1}{2} + \frac{1}{3}(\frac{1}{2}+\frac{1}{2}+\frac{1}{2}) + \frac{1}{3}(-\frac{1}{2}-\frac{1}{2}-\frac{1}{2}) = 0$
1	Spin	1

Tabelle 9: Darstellung des Photons γ und seines Antiteilchens $\bar{\gamma}$ im Rotoren-Modell

Z^0		Anti- Z^0
(-) (+)(+)(+)	Rotoren-Darstellung	(+) (-)(-)(-)
(+) (-)(-)(-)		(-) (+)(+)(+)
$-\frac{1}{2} + \frac{1}{2} + \frac{1}{3}(\frac{1}{2} + \frac{1}{2} + \frac{1}{2}) + \frac{1}{3}(-\frac{1}{2} - \frac{1}{2} - \frac{1}{2}) = 0$	elektrische Ladung	$\frac{1}{2} - \frac{1}{2} + \frac{1}{3}(-\frac{1}{2} - \frac{1}{2} - \frac{1}{2}) + \frac{1}{3}(\frac{1}{2} + \frac{1}{2} + \frac{1}{2}) = 0$
1	Spin	1

Tabelle 10: Darstellung des Z^0 -Bosons und seines Antiteilchens im Rotoren-Modell

VII. Ausblick

Die Rotoren-Darstellung der elektroschwachen Wechselwirkungsteilchen bietet Ansatzpunkte für weitergehende Überlegungen. Zum einen lassen sich aus anderen als den hier betrachteten Teilchenumwandlungen verschiedene Rotoren-Darstellungen der elektroschwachen Wechselwirkungsteilchen ableiten. Dies deutet darauf hin, dass es mehrere Sorten von W- und Z-Bosonen sowie Photonen geben könnte, die bislang nicht unterschieden werden. Zum anderen drängt sich der Eindruck auf, dass Photon, W-Bosonen und Z-Boson aus jeweils zwei gekoppelten Fermionen bestehen. Dies würde zwanglos erklären, warum ihr Spin genau doppelt so groß ist wie der Spin der Fermionen. Um allerdings die Kopplung zweier Fermionen zu einem Boson zu erklären, müsste es einen bislang unbekanntem Bindungsmechanismus mit einer sehr kurzen Reichweite geben.

Ferner müssen wir einräumen, dass sich das Higgs-Boson als einziges verbleibendes Teilchen des Standardmodells nicht nahtlos in das Rotoren-Modell integrieren lässt. Wir sehen diesen Umstand jedoch nicht zwangsläufig als Manko des Rotoren-Modells an, sondern es bestärkt unsere Zweifel, ob es das Higgs-Boson wirklich gibt bzw. ob die Entdeckung des CERN, die üblicherweise als das Higgs-Boson angesehen wird, anders interpretiert werden muss.

Das Rotoren-Modell enthält zudem bislang die physikalischen Konzepte Masse, Energie und Impuls nicht und damit auch keine Beschreibung des Elektromagnetismus und der Gravitation. Auch fehlen Konzepte aus der Theorie der elektroschwachen Wechselwirkung wie der Weinberg-Winkel und die CKM-Mischungsmatrix der Quarks. An einer Integration dieser Konzepte arbeiten wir bereits, können aber noch keine zufriedenstellende und umfassende Lösung präsentieren. Für die Integration von Masse, Energie und Impuls haben wir bereits weiterführende Ideen, die allerdings eine Modifikation des Rotoren-Modells erfordern und zudem akzeptierte Lehrmeinungen zum Ursprung von Masse und Gravitation infrage stellen.