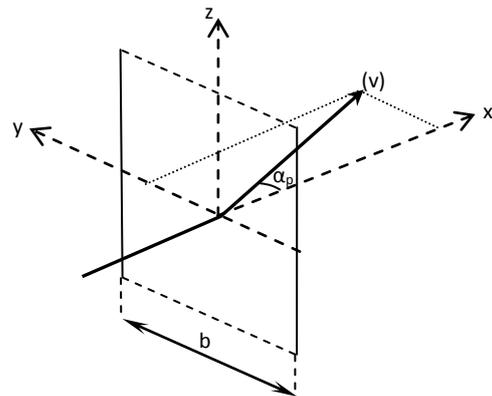
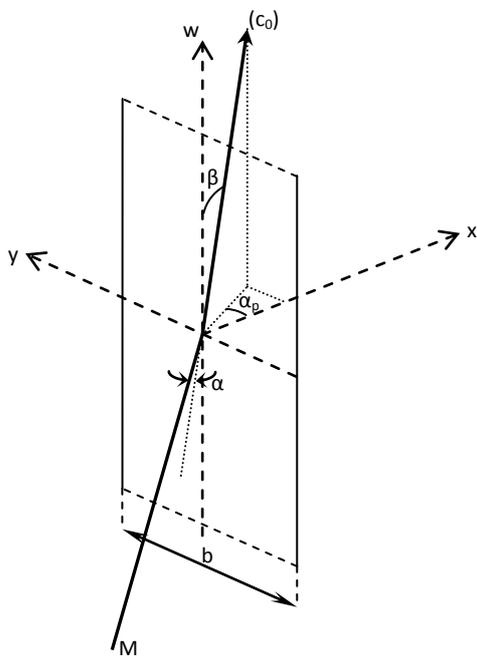


# Theorie der 4-dimensionalen Materiewellen

*Relativistische Effekte im absoluten, aber 4-dimensionalen Raum*



**Category:** Relativity and Cosmology

**Title:** Theory of the 4-dimensional matter wave - relativistic effects in the absolute, 4-dimensional space

**Authors:** Randolph Rolff

**Comment:** 12 pages; German language – Deutsch: Theorie der 4-dimensionalen Materiewellen

### Abstract

This paper describes relativistic effects in the absolute, but 4-dimensional geometric space and with an absolute world time. According to the special relativity theory (SRT) matter moves continuously in the space-time-continuum, in case of zero kinetic energy along the time axis. This is illustrated clearly in the Epstein-diagram [Epstein, Lewis C. *Relativitätstheorie anschaulich dargestellt*. Basel: Birkhäuser Verlag, 1988]. Hence an absolute base point doesn't exist. All movements are relative.

In contrast to this motion, the theory of the 4-dimensional matter wave presented here postulates a particle (e.g. an electron) is as a real matter wave in a 4-dimensional and absolute space. In accordance to this theory matter is moving always as a wave with the speed of light. In case of zero kinetic energy this movement runs along the 4th geometric dimension.

The resulting relativistic effects of movement in the space-time-continuum versus movement in the 4-dimensional space are nearly identical due to the similarity of these movements. However the theory of the 4-dimensional matter wave postulates a 4-dimensional and always Euclidean space.

The result of this work is an alternative but still mathematically exact point of view of relativistic physics. In contrast to the SRT, it is not dominated by abstract, mathematical axioms. Typical difficulties for intuitive understanding of SRT like the inhomogeneity of the time-axis in comparison with the space-axes or the curved space are avoided in this theory.

---

### Abstract:

Dieses Manuskript beschreibt relativistische Effekte im absoluten, aber 4-dimensionalen Raum und mit einer absoluten Weltzeit.

Gemäß der speziellen Relativitätstheorie bewegt sich Materie stets im Raum-Zeit-Kontinuum, im „Ruhezustand“ entlang der Zeitachse. Dieses wird im Epstein-Diagramm [Epstein, Lewis C. *Relativitätstheorie anschaulich dargestellt*. Basel: Birkhäuser Verlag, 1988] besonders anschaulich. Einen absoluten Fußpunkt gibt es dabei nicht, alle Bewegungen sind relativ.

Im Gegensatz zu dieser Bewegung postuliert die hier beschriebene Theorie der 4-dimensionalen Materiewellen dagegen für ein Teilchen (hier beispielhaft ein Elektron) eine reale Materiewelle in einem 4-dimensionalen und absoluten Raum. Die Materie bewegt sich dieser Theorie nach stets als Welle mit Lichtgeschwindigkeit. Im „Ruhezustand“ verläuft diese Bewegung entlang der vierten Raum-Dimension.

Durch die Ähnlichkeit dieser beiden Bewegungen, im Raum-Zeit-Kontinuum bzw. im 4-D-Raum, ergeben sich die relativistischen Effekte nahezu identisch, auch bei der Theorie der 4-dimensionalen Materiewellen, jedoch unter Annahme eines absoluten, 4-dimensionalen und immer euklidischen Raumes.

Das Ergebnis dieser Arbeit ist eine alternative Betrachtungsweise der relativistischen Physik, die ebenso mathematisch exakt ist. Sie ist jedoch nicht so stark von einer abstrakten, mathematischen Axiomatik geprägt, wie die Relativitätstheorie. Die üblichen Anschauungsprobleme der Relativitätstheorie, wie die Inhomogenität der Zeitachse im Vergleich zu den Raumachsen oder der gekrümmte Raum, entfallen.

## Relativistische Effekte im absoluten, aber 4-dimensionalen Raum

Gemäß der speziellen Relativitätstheorie (SRT) bewegt sich Materie stets im Raum-Zeit-Kontinuum, im „Ruhezustand“ entlang der Zeit. Dieses wird im folgend erklärtem Epstein-Diagramm besonders anschaulich. Einen absoluten Fußpunkt gibt es dabei nicht, alle Bewegungen sind relativ.

In der Theorie der 4-dimensionalen Materiewellen wird dagegen für ein Teilchen (hier beispielhaft ein Elektron) eine reale Materiewelle in einem 4-dimensionalen und absoluten Raum postuliert. Die Materie bewegt sich dieser Theorie nach stets als Welle mit Lichtgeschwindigkeit. Im „Ruhezustand“ verläuft diese Bewegung entlang der nicht wahrnehmbaren 4. Dimension.

Durch die Ähnlichkeit dieser beiden Bewegungen, im Raum-Zeit-Kontinuum bzw. im 4-D-Raum, ergeben sich die relativistischen Effekte nahezu identisch, auch bei der Theorie der 4-dimensionalen Materiewellen, jedoch unter Annahme eines absoluten, 4-dimensionalen und immer euklidischen Raumes.

### 1 Das Epstein-Diagramm

Das im Folgenden vorgestellte Diagramm hat für die vorliegende Theorie den ersten Impuls zur Idee gegeben. Es vermittelt übersichtlich Einsichten in die Relativitätstheorie. Lewis C. Epstein hat es in seinem Buch „Relativitätstheorie anschaulich dargestellt“ (Epstein 1988) bereits 1983 vorgestellt und damit die relativistischen Effekte der speziellen Relativitätstheorie (SRT) grafisch hergeleitet. In Abbildung 1.1 sind die Prinzipien des Diagramms dargestellt.

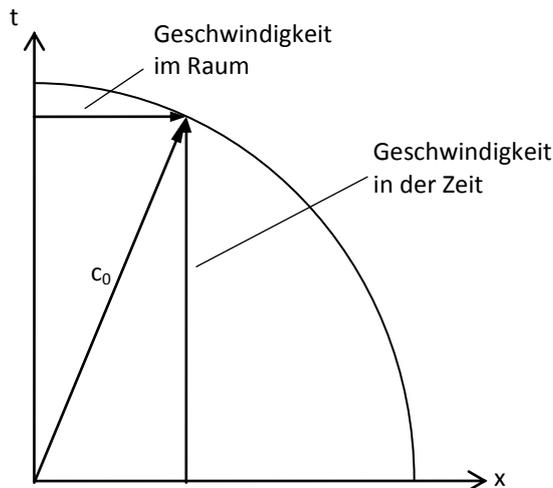


Abbildung 1.1: Raum-Zeit-Diagramm

Die x-Achse entspricht einer Richtung in unserem dreidimensionalen Raum. Einfachheitshalber wird nur eine Dimension gezeichnet. Die vertikale Achse bezeichnet Epstein als „Eigenzeit“  $t$ . Diese ist zur Einheitenkorrektur jedoch mit  $t \cdot c_0$  (mit  $c_0$  als Lichtgeschwindigkeit) als Strecke zu verrechnen. Nach Epsteins „Mythos“, wie er es in seinem Buch bezeichnet, bewegt ein Körper sich stets mit Lichtgeschwindigkeit  $c_0$ . Wenn er „ruht“ bewegt er sich in der Zeit (rein vertikal), wenn er sich bewegt kippt der Geschwindigkeitsvektor  $c_0$  in Richtung „Raum“ und er erhält eine horizontale Komponente, die als Bewegung im Raum wahrgenommen wird. Die vertikale Komponente „Eigenzeit“ läuft dann automatisch langsamer, was der Zeit-Dilatation ent-

spricht. Licht bewegt sich rein horizontal, d.h. nur im Raum, und altert dementsprechend nicht.

Der zurückgelegte Weg entlang des Geschwindigkeitsvektors  $c_0$  entspricht der Koordinatenzeit, die Zeit des ruhenden Systems. Wie in Abbildung 1.2 kann diese Bewegungslinie als neue Zeitachse  $t'$  des Reisenden aufgefasst werden.

Ausführliche Erklärungen zum Epstein-Diagramm sind im Internet unter (Eckstein 2007) verfügbar.

#### 1.1 Die Zeitdilatation im Epstein-Diagramm

In Abbildung 1.2 wird das Epstein-Diagramm angewendet. Ein „Reisender“ auf der  $t'$ -Zeitachse bewegt sich mit der Geschwindigkeit  $v$  (eingezeichnet ist die Strecke  $v \cdot t_0$ ) als Horizontalanteil im Raum. Während ein Ruhender um die Koordinatenzeit  $t_0$  altert, wird der Reisende nur um die Eigenzeit  $t_1$  älter. In der Rechnung wird für Zeiten  $t$  verwendet, im Diagramm sind sie jedoch als Strecken  $t \cdot c_0$  dargestellt.

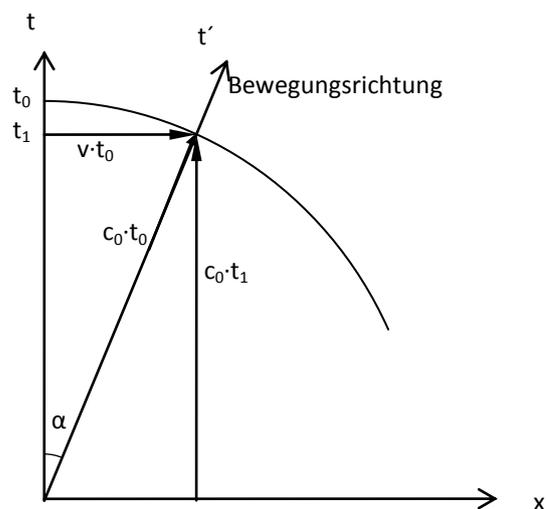


Abbildung 1.2: Zeitdilatation

Es gilt  $t_1 = t_0 \cdot \cos \alpha$  und  $v = c_0 \cdot \sin \alpha$  und mit  $\cos \alpha = \sqrt{1 - \sin^2 \alpha}$  folgt

$$t_1 = t_0 \cdot \sqrt{1 - \frac{v^2}{c_0^2}}$$

die bekannte Formel für die Zeitdilatation.

## 1.2 Die Längenkontraktion im Epstein-Diagramm

Mit Hilfe des Epstein-Diagramms kann ebenso einfach die Längenkontraktion veranschaulicht werden. In Abbildung 1.3 ist ein bewegtes System mit der eigenen, gekippten Zeitachse  $t'$  dargestellt. Mit der Zeitachse kippt auch die wahrgenommene Raumachse  $x'$ , die immer mit  $90^\circ$  zur Zeitachse liegt.

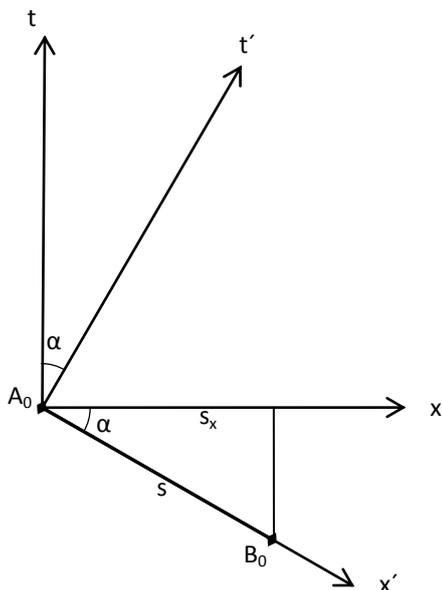


Abbildung 1.3: Längenkontraktion

Im Bild bewegt sich der Stab  $A_0 - B_0$  der Länge  $s$  längs der eigenen Zeitachse  $t'$  mit, aus Sicht des Beobachters, der Horizontalgeschwindigkeit  $v = c_0 \cdot \sin \alpha$ . Dieser Stab wird vom ruhenden Beobachter im ruhenden Raum  $x$  mit der Länge  $s_x$  wahrgenommen.

Es gilt dann  $s_x = s \cdot \cos \alpha$

und mit  $\cos \alpha = \sqrt{1 - \sin^2 \alpha} = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c_0^2}}$  folgt

die bekannte Formel der

Längenkontraktion  $s_x = s \cdot \sqrt{1 - \frac{v^2}{c_0^2}}$  mit  $s$  als Ruhelänge in der Raumrichtung  $x'$ .

## 1.3 Licht im Epstein-Diagramm

Wenn Licht vom Stabende  $A_0$  zum Stabende  $B_0$  fliegt, bewegt sich das Licht rein horizontal (es altert nicht). Es muss den Stab „hinterher fliegen“, was etwas länger als bei einem ruhenden Stab dauert. Wird das Licht bei  $B_0$  gespiegelt und fliegt wieder zurück, dann kommt der Stab dem Licht entgegen, wodurch die Flugzeit etwas kürzer ist. Die gemittelte Flugzeit entspricht genau der Zeitdilatation, die Unterschiede der Flugzeiten entsprechen den Effekten der bewegungsabhängigen Gleichzeitigkeit der Relativitätstheorie.

## 2 Die de-Broglie-Welle und die Materiewelle

Zum Aufbau der Arbeitshypothese zur Theorie der 4-dimensionalen Materiewellen wird zunächst die de-Broglie-Beugung betrachtet. Aus der Eigenschaft der Wellen auch Teilchen-Charakter zu zeigen hat de Broglie die umgekehrte Hypothese aufgestellt, dass Teilchen auch Wellen-Charakter haben könnten. Dazu betrachtete er Impuls und Energie von Photonen und Materie.

Für den Impuls  $p_p$  und die Energie  $E_p$  eines Photons der Wellenlänge  $\lambda_p$  gilt:

$$p_p = \frac{h}{\lambda_p} \quad E_p = \frac{h \cdot c_0}{\lambda_p}$$

( $h$ : Plancksches Wirkungsquantum;  
 $c_0$ : Lichtgeschwindigkeit)

Für ein Teilchen, hier ein Elektron, gilt:

$$p_e = m \cdot v \quad E_e = m \cdot c_0^2$$

( $m$ : Masse des Elektrons;  $v$ : Geschwindigkeit des Elektrons)  
Mit Gleichsetzen des Impulses  $p = h / \lambda$  für Photon und Teilchen postulierte er für Teilchen eine Wellenlänge  $\lambda_B$  mit

$$\lambda_B = \frac{h}{p_e} \quad \text{und somit: } \lambda_B = \frac{h}{m \cdot v}$$

Gleichung 2.1

Diese Betrachtungsweise hat sich bei Beugungsversuchen bewährt. Die de-Broglie-Wellenlänge ist mittels der Beugung von Elektronen an einem Spalt (Kristall) messbar. In Abbildung 2.1 (links) ist der Spalt der Breite  $b$  und die Beugung mit dem Beugungswinkel  $\alpha_B$  eines Elektrons der Geschwindigkeit  $v$  dargestellt.

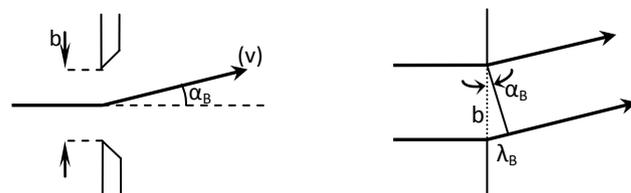


Abbildung 2.1: de-Broglie Beugung

Für den Beugungswinkel  $\alpha_B$  des ersten Minimums im Beugungsmuster gilt, wie aus Abbildung 2.1 (rechts) ersichtlich:

$$\sin \alpha_B = \frac{\lambda_B}{b} = \frac{h}{m \cdot v} \cdot \frac{1}{b}$$

Gleichung 2.2

Die de-Broglie-Welle wird meist nach der bornschen Wahrscheinlichkeitsinterpretation als Wahrscheinlichkeitswelle gedeutet. Auffällig an der Gleichung 2.1 für  $\lambda_B$  ist, dass sie eine Polstelle für  $v \rightarrow 0$  hat und die Wellenlänge damit unendlich wird. Es ist für eine Wellenbetrachtung eines Elektrons naturgemäß hinderlich, dass ein Elektron im Raum ruhen kann. Für diese Polstelle gibt es beim Photon kein Analogon. Zudem hat de Broglie Photon und Elektron bzgl. des Impulses gleichgesetzt, die Energien jedoch nicht betrachtet.

Zur Lösung dieser Kontroversen soll hier die bornsche Wahrscheinlichkeitsinterpretation in Frage gestellt werden und als **Arbeitshypothese** von einem euklidischen **4-dimensionalen Raum** ausgegangen werden.

Drei dieser Dimensionen entsprechen unserer Raumvorstellung und die vierte Dimension nehmen wir aus Gründen, die später noch erörtert werden, nicht wahr.

Damit das Teilchen eine Welle, die Materiewelle, sein kann und gleichzeitig im 3-dimensionalen Raum ruhen kann, wird hier davon ausgegangen, dass sich das „ruhende“ Teilchen in der vierten Dimension bewegt.

Im Folgenden wird die Beugung bei der Interpretation des Elektrons als 4-dimensionale Materiewelle betrachtet. Als Raum wird ein  $(w,x,y,z)$ -Raum verwendet, wobei  $(x,y,z)$  unseren wahrgenommenen Raum darstellt. Die  $w$ -Richtung soll der 4. Dimension entsprechen. Für Skizzen empfiehlt es sich jeweils mindestens eine Dimension konstant zu halten und nicht darzustellen. Das bewegte Elektron soll sich zunächst in  $x$ -Richtung bewegen, die  $y$ - und  $z$ -Achsen werden in den nächsten Abbildungen nicht betrachtet. So ergibt sich für das „ruhende“ Elektron die Abbildung 2.2 (links) und für das bewegte Elektron die Abbildung 2.2 (rechts).

Das „ruhende“ Elektron bewegt sich als Materiewelle mit Lichtgeschwindigkeit in  $w$ -Richtung. In unserem  $(x,y,z)$ -Raum wird keine Bewegung wahrgenommen.

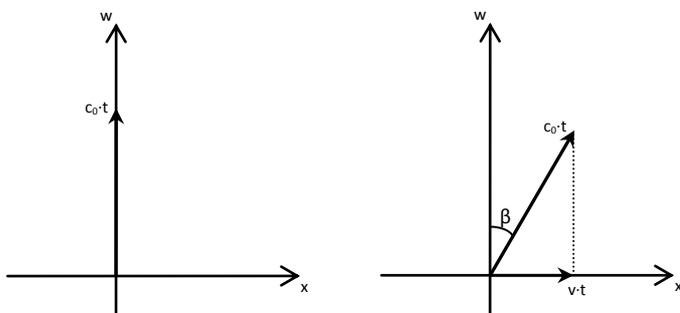


Abbildung 2.2: ruhendes und bewegtes Elektron

Beim „bewegten“ Elektron in Abbildung 2.2 (rechts) bewegt sich die Materiewelle ebenso mit Lichtgeschwindigkeit, jedoch unter einem Winkel  $\beta$  zur  $w$ -Achse. Die von uns wahrgenommene Geschwindigkeit  $v$  entspricht dem  $x$ -,  $y$ -,  $z$ - Anteil, hier den  $x$ -Anteil, und es gilt:

$$v = v_x = c_0 \cdot \sin \beta$$

Gleichung 2.3

Das Diagramm ähnelt dem Epstein-Diagramm in Abbildung 1.1, hier ist die vertikale Achse jedoch eine echte Raumachse. Sie ähnelt Epsteins  $t$ -Achse sehr, da die Ruhebewegung mit Lichtgeschwindigkeit in  $w$ -Richtung erfolgt. Aufgrund dieser Bewegung wirkt die  $w$ -Achse ausgezeichnet, ist jedoch eine normale Raumachse.

Bei Gleichsetzen der Energien statt des Impulses zwischen Photon und Elektron würde für die Materiewelle des Elektrons folgen:

$$E_e = m \cdot c_0^2 = \frac{h \cdot c_0}{\lambda_e} \quad \text{und damit} \quad \lambda_e = \frac{h}{m \cdot c_0}$$

Gleichung 2.4

Auffällig ist, dass diese Wellenlänge genau der Compton-Wellenlänge  $\lambda_c$  entspricht und keine Polstelle hat.

Es gilt:

$$\lambda_c = \lambda_e$$

Die Beugung im 4-dimensionalen Raum erfolgt im Prinzip genauso wie im 3-dimensionalen. In Abbildung 2.3 (unten) ist die Beugung aus unserer Sicht  $(x,y,z)$  dargestellt. Das Elektron fliegt mit der Geschwindigkeit  $v$  durch den Spalt der Breite  $b$  und beugt dabei in der  $x$ - $y$ -Ebene um den Winkel  $\alpha_p$ . Die Beugung im Bild entspricht genau der de-Broglie-Beugung in Abbildung 2.1 links, falls  $\alpha_p = \alpha_B$  gelten sollte.

Im oberen Teil der Abbildung ist die dazugehörige Sicht im 4-dimensionalen Raum dargestellt. Die  $z$ -Achse ist hier weggelassen, da diese den geringsten „Informationsgehalt“ hat. Die Materiewelle  $M$  bewegt mit Lichtgeschwindigkeit  $c_0$  durch den Spalt der Breite  $b$  und beugt sich dabei so, dass zwischen einfallenden und ausfallenden Strahl der Beugungswinkel  $\alpha$  auftritt. Die Horizontalgeschwindigkeit des Elektrons steht, wie in Abbildung 2.2, im direkten Zusammenhang zum Winkel  $\beta$ .

Bei Messungen werden wir jedoch, wegen der Nicht-Wahrnehmbarkeit der 4. Dimension, einen scheinbaren Beugungswinkel  $\alpha_p$  feststellen, die Projektion auf die  $x$ - $y$ -Ebene. Für den Beugungswinkel  $\alpha$  des ersten Minimums des Beugungsmusters gilt auch hier, wie im 3-dimensionalen:

$$\sin \alpha = \frac{\lambda_c}{b}$$

Gleichung 2.5

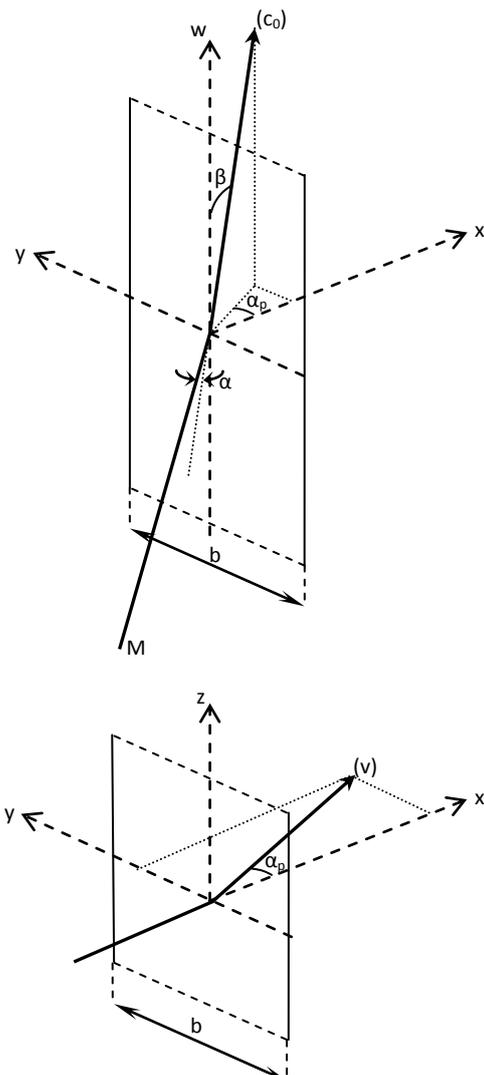


Abbildung 2.3: Beugung im 4-dimensionalen Raum

Der messbare, projizierte Winkel  $\alpha_p$  ist mit Hilfe folgender Abbildung 2.4 mit einfacher Geometrie zu errechnen. Es folgt:

$$\alpha_p = \alpha_B$$

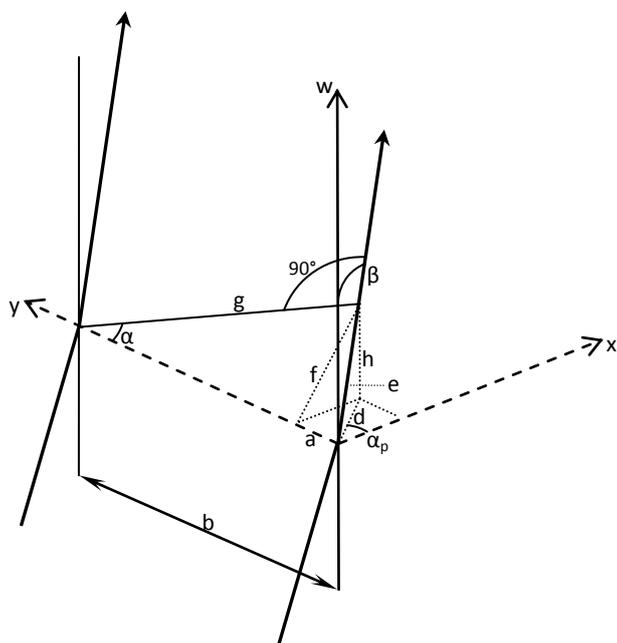


Abbildung 2.4: Berechnung der Beugung

Mittels der hier verwendeten Arbeitshypothese der Materiewelle im 4-dimensionalen Raum lässt sich die de-Broglie-Beugung demnach als Projektion einer normalen Beugung einer Welle mit der Compton-Wellenlänge  $\lambda_c = \frac{h}{m \cdot c_0}$  erklären. Die **Polstelle** der Wellenlänge  $\lambda_B$  für  $v \rightarrow 0$  ist damit eine Folge der Projektion einer Materiewelle, die sich nahezu in w-Richtung bewegt. In dem Fall führen kleine Winkel  $\alpha$  bereits zu vergleichbar großen Winkeln  $\alpha_p$ .

Die Elektronen und die Photonen stimmen nach dieser Theorie bezüglich der Energien überein.

$$E_p = \frac{h \cdot c_0}{\lambda_p} \quad E_e = \frac{h \cdot c_0}{\lambda_c}$$

Die Zusammenhänge bzgl. des Impulses sind in Abschnitt 2.4 „Energie und Impuls“ dargestellt. Mit dem Konzept der Materiewelle im 4-dimensionalen Raum kann die de-Broglie-Beugung somit erklärt werden.

## 2.1 Das Elektron

Wie die Materiewelle aufgebaut sein könnte soll hier am Beispiel des Elektrons, als einfache Materie, erarbeitet werden. Vorher soll aber noch gezeigt werden, wieso die 4. Dimension nicht wahrgenommen wird obwohl der 3-dimensionale Raum zunächst eine Erfahrungstatsache ist.

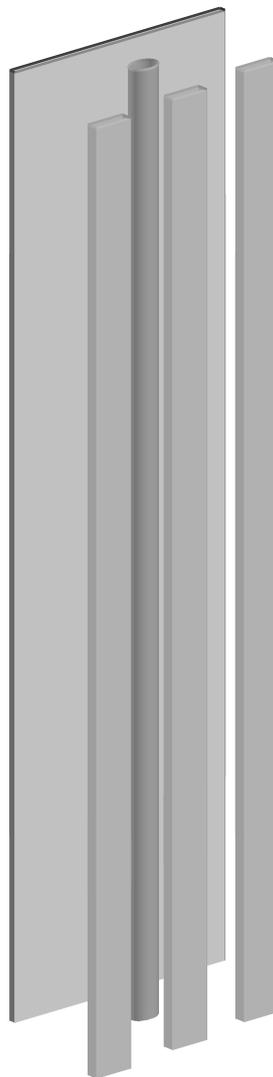
### 2.1.1 Die Indifferenz

Die Problematik der Vierdimensionalität wird auch in anderen mehrdimensionalen Theorien angegangen. Die String-Theorie z.B. verwendet die Kompaktifizierung. Wenn eine Dimension bis unterhalb der Planck-Länge kompaktifiziert wird, soll sie nicht mehr wahrnehmbar sein.

In der hier vorliegenden Theorie soll eher der umgekehrte Fall angenommen werden, die **Indifferenz**. Wenn alles in einer Dimension sehr stark ausgedehnt ist, es jedoch keine

Unterschiede, keine Unterscheidungsmerkmale, innerhalb der Dimension gibt, kann man sie nicht wahrnehmen.

Am vereinfachten Beispiel vom 3-dimensionalen Raum mit zwei wahrnehmbaren Dimensionen sähe das folgendermaßen aus (siehe Abbildung 2.5).



Man würde nur horizontal schauen können. Die Augen wären auch quasi-zweidimensional aufgebaut. Alles wäre unabhängig von der Höhe, die Welt bestünde nur aus Wänden, Zylinder und Ähnlichem ohne obere und untere Begrenzung. Kugeln würden ihrer Formänderung in der Höhe wegen nicht existieren. Es wäre egal auf welcher Höhe man sich gerade befindet, da sich in jeder Höhe alles gleich anfühlt und auch gleich aussieht, zumal keine höhenabhängigen Referenzpunkte existieren.

Wenn man sich in einer solchen Welt schwebend aufhielte wäre die 3. Dimension nicht wahrnehmbar.

Abbildung 2.5: Indifferenz

## 2.2 Das ruhende Elektron

Für die Arbeitshypothese der Betrachtung des Elektrons als Materiewelle sind etliche Randbedingungen zu beachten um zu gewährleisten dass die Theorie mit den Beobachtungen übereinstimmt.

Zur Ermöglichung der **Indifferenz** innerhalb der 4. Dimension muss die Materiewelle in w-Richtung (die 4. Dimension) sehr lang sein. Das sich eine Welle über eine große Länge erstreckt ist nicht außergewöhnlich. Innerhalb dieser Theorie wird zunächst angenommen, dass es sich um einen sehr langen Wellenzug handelt, zumal sonst Effekte der 4. Dimension direkt wahrnehmbar wären. Die genaue Länge ist hier unbedeutend, solange sie hinreichend groß ist.

Ein Elektron wird demnach von einer sehr langen Welle der Wellenlänge  $\lambda_c$  in w-Richtung mit kleinem effektiven Durchmesser in x-, y- und z-Richtung dargestellt.

Desweiteren benötigt diese Welle ein eindeutiges **Zentrum** im (x, y, z)-Raum um die Lokalisierbarkeit des Elektrons zu erklären. Deswegen und wegen des Spins des Elektrons spricht vieles dafür sich die Welle als zirkular polarisierte Welle eines Materiefelds vorzustellen, was wiederum eine zusätzliche Ähnlichkeit zum Photon ergibt.

In Abbildung 2.6 ist dieser zirkular polarisierter „Wellenkern“ als Zylinder dargestellt wobei die Länge im Bild sehr stark untertrieben ist.

„+“, „-“ und „0“ entsprechen dabei Zuständen des Materiefeldes und nicht elektrische Ladungen. Während der Bewegung der Welle mit Lichtgeschwindigkeit in  $w$ -Richtung dreht sich das Feld in einer Höhe (für  $w=\text{const}$ ) in Pfeilrichtung. Die „+“-Stelle des Feldes liegt jeweils auf der gezeichneten Spirale, die Wellenlänge in  $w$ -Richtung beträgt  $\lambda_c$  und der Durchmesser des Zylinders ist  $\lambda_c/2$ .

feld in  $x$ -,  $y$ - und  $z$ - Richtung. Sie bewegt sich mit Lichtgeschwindigkeit in  $w$ -Richtung, wobei die zirkular polarisierte Form als Einheit erhalten bleibt. Bei der Ausbreitung in  $x$ -,  $y$ - und  $z$ -Richtung nimmt die Feldintensität mit zunehmenden Abstand zum Zentrum ab.

Es ist hier nicht gezeigt, dass die zirkular polarisierte Welle die einzige mögliche Lösung ist, aber es handelt sich um eine plausible.

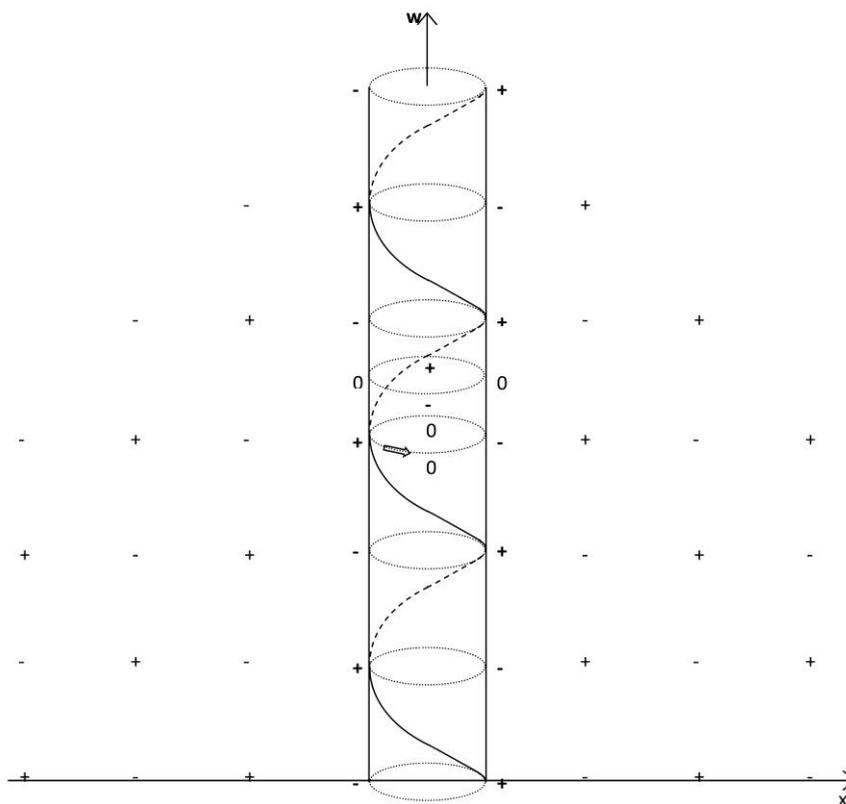


Abbildung 2.6: ruhendes Elektron mit Materiefeld

Ein Elektron ist umgeben vom eigenen elektrischen Feld, welches sich mit Lichtgeschwindigkeit ausbreitet. Das Materiefeld ist nicht identisch zum elektrischen. Es ist jedoch als erste Vermutung naheliegend, dass das elektrische Feld eine Folge des Materiefeldes sein wird. Es wird davon ausgegangen, dass der Wellenkern vom Materiefeld als quer ausbreitende Welle umgeben ist und dieses das elektrisch Feld verursacht. Das resultierende Materiefeld ist in Abbildung 2.6 veranschaulicht.

Wenn sich das Feld in  $x$ -,  $y$ - und  $z$ - Richtung wie in  $w$ -Richtung mit Lichtgeschwindigkeit ausbreitet, muss die Wellenlänge hier identisch  $\lambda_c$  sein.

Damit ist das ruhende Elektron für die Arbeitshypothese im 4-dimensionalen Raum beschrieben.

Es erfüllt die erforderlichen Bedingungen:

- Welle mit der Wellenlänge  $\lambda_c$  (wegen der Energie und der de-Broglie-Beugung)
- mit Lichtgeschwindigkeit in  $w$ -Richtung
- lang in  $w$ -Richtung (zur Gewährleistung der Indifferenz)
- Feld in  $x$ -,  $y$ - und  $z$ - Richtung, welches sich mit Lichtgeschwindigkeit ausbreitet
- eindeutiges Zentrum (im  $(x,y,z)$  -Raum)

Die Materiewelle entspricht somit einer zirkular polarisierten Welle in  $w$ -Richtung mit dem umgebenden Wellen-

### 2.2.1 Das bewegte Elektron

Auch hier wird wieder von Randbedingungen auf das zu bildende Modell geschlossen. Damit die Lichtgeschwindigkeit der Welle und die wahrnehmbare Geschwindigkeit  $v_x, v_y, v_z$  eingehalten werden, muss die Bewegungsrichtung von der  $w$ -Achse um einen Winkel ( $\beta$ ) abweichen (vgl. Abbildung 2.2). Der Wellenkern muss jedoch parallel zur  $w$ -Achse bleiben, zumal das Zentrum der Welle den Ort des Elektrons angibt und dieser trotz Bewegung bis zur heisenbergschen Unschärfe genau bestimmt ist. Ein gekipptes Zentrum gäbe (besonders wegen der großen Länge) einen undefinierten Ort im  $(x,y,z)$ -Raum.

Da die Geschwindigkeit des Elektrons schnell geändert werden kann ist davon auszugehen, dass die Wellenlänge  $\lambda_c$  in  $w$ -Richtung erhalten bleibt. Wäre das nicht so, müsste sich die Welle über die gesamte Länge zusammenziehen (oder Strecken) und dazu wären Geschwindigkeiten weit über Lichtgeschwindigkeit erforderlich. Die Anregung zur Geschwindigkeitsänderung des Elektrons, wie ein Stoß mit einem Photon, muss dementsprechend über die gesamte Länge erfolgen.

In Abbildung 2.7 (links) ist eine Schrägbewegung eines Elektrons dargestellt. Zu sehen ist nur die  $w$ - $x$ -Ebene. Die zylindrische Form des Wellenkerns ist mittels der Ellipsen angedeutet. Das in  $w_1$ -Richtung ausgerichtete Elektron-Zentrum bewegt sich mit Lichtgeschwindigkeit schräg, in  $w^*_1$ -Richtung. Das umgebende Wellenfeld hat eine Wellen-

front parallel zu  $x^*_1$ , die sich in  $w^*_1$ -Richtung ausbreitet und Wellenfronten parallel zu  $w_1$ , die sich vom Zentrum radial in allen  $(x,y,z)$ -Raumrichtungen ausbreiten. Dargestellt ist die Ausbreitung in  $\pm x_1$ -Richtung.

Entlang den „+ - + -“ - Linien verläuft die Stärke des Materiewellenfeldes gemäß einer Sinuskurve. Die Wellenlänge in  $w_1$ -Richtung bleibt, wie gefordert, mit  $\lambda_c$  erhalten. Die Wellenfront  $x^*_1$  muss, wie bei jeder stabilen Welle, senkrecht zur Ausbreitungsrichtung  $w^*_1$  bleiben und ist demnach um den Winkel  $\beta$  zur  $x_1$ -Achse gekippt. Die sich in  $x_1$ -Richtung ausbreitende Welle behält die zu  $w_1$  parallelen Wellenfronten.

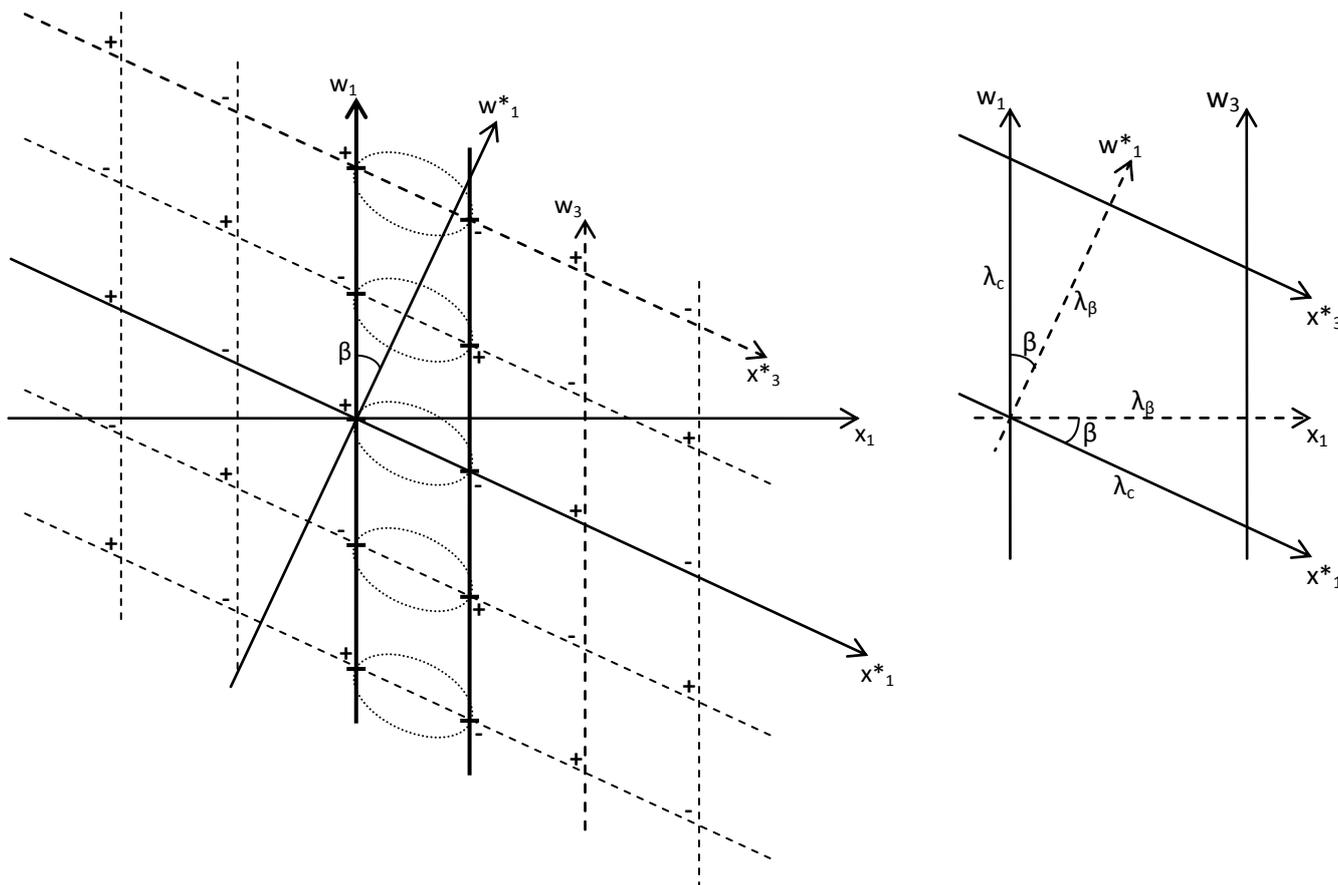


Abbildung 2.7: bewegtes Elektron

In Abbildung 2.7 (rechts) ist der durch die Achsen  $x^*_1$ ,  $w_1$ ,  $x^*_3$  und  $w_3$  eingerahmte Teilbereich dargestellt. Der Abstand der Wellenfronten, die Wellenlänge  $\lambda_\beta$ , ist hier ersichtlich.

Für beide Richtungen,  $w^*_1$  und  $x_1$ , gilt:

$$\lambda_\beta = \lambda_c \cdot \cos \beta$$

Gleichung 2.6

Für die Energie eines Elektrons gilt  $E = \frac{h \cdot c_0}{\lambda_c}$ . Mit Gleichung 2.6 gilt entsprechend für das bewegte Elektron:

$$E_\beta = \frac{h \cdot c_0}{\lambda_c} \cdot \frac{1}{\cos \beta}$$

Gleichung 2.7

In der Abbildung 2.7 ist auch ersichtlich, dass mit der Wellenlänge  $\lambda_\beta$  das Elektron mit dem gesamten Materiewellenfeld in  $x_1$ -Richtung um den Faktor  $\cos \beta$  gestaucht ist.

Die bisherigen Annahmen sollen hier kurz zusammengefasst werden. Da bis hier relativistische Effekte nicht explizit berücksichtigt werden brauchten, kann von einem absoluten Raum mit einer absoluten Weltzeit ausgegangen werden. Die Effekte der Ortszeit werden noch mit der Zeitdilatation erörtert. Der Energieerhaltungssatz wird innerhalb dieser Theorie als selbstverständlich verwendet und sollte deshalb als Annahme genannt werden.

Hiermit sind die Grundlagen zur Arbeitshypothese der Materiewelle im 4-dimensionalen Raum gelegt. Die Physik wird hier beim Kleinsten (Elektron) anfangend aufgebaut.

Die Grundgrößen sind Strecke, Lichtgeschwindigkeit und Energie. Die Zeit  $t$  ist erforderlich, um sich überhaupt Geschwindigkeiten vorstellen zu können. Diese vier Grundgrößen ( $s$ ,  $c_0$ ,  $E$  und  $t$ ) werden mit den ersten vier Annahmen festgelegt. Masse, Impuls und Kraft sind davon abgeleitete Größen.

Zusammengefasst werden damit zur Theorie der 4-dimensionalen Materiewellen folgende acht Annahmen gemacht:

### Annahmen

1. Der Raum wird als euklidisch, absolut und 4-dimensional angenommen. Dieser sei gegeben durch das System K mit den Koordinaten  $w, x, y$  und  $z$ .
2. Im gesamten Raum gibt es eine überall geltende, absolute Weltzeit und eine bewegungsabhängige Ortszeit.
3. Alle Materie besteht aus zirkular polarisierten Materiewellen, die sich in  $+w$  – Richtung und radial in  $\pm(x, y, z)$  – Richtung mit Lichtgeschwindigkeit  $c_0$  ausbreiten.
4. Für die Energie  $E$  eines Teilchens gilt  $E = \frac{h \cdot c_0}{\lambda}$  ( $h$ : plancksches Wirkungsquantum;  $c_0$ : Vakuum-Lichtgeschwindigkeit;  $\lambda$ : Wellenlänge der Materiewelle)
5. Die Gesamtenergie in einem abgeschlossenen System bleibt konstant.
6. Die Materiewellen sind in der 4. Dimension ( $w$ -Richtung) sehr lang und bleiben parallel ausgerichtet.
7. In der 4. Dimension entlang der Materiewellen gibt es, bis auf die periodische Zustandsänderung der Welle, keine Änderungen (Prinzip der Indifferenz entlang der 4. Dimension).
8. Die Wellenlänge der Materiewelle bleibt entlang der 4. Dimension konstant.

Im folgenden Teil soll gezeigt werden, dass, obwohl gemäß Annahme 1 und 2 von einem absoluten Raum und einer Weltzeit ausgegangen wird, die relativistischen Effekte erklärt werden. Die kontinuierliche Bewegung im 4-D-Raum entspricht etwa dem Gedanken der Raumzeit von Einstein.

## 2.3 Die träge Masse

Bisher wurde die Energie  $E_\beta$  des bewegten Elektrons mit Gleichung 2.7 berechnet. Weiter folgt aus Gleichung 2.3:

$$\cos \beta = \sqrt{1 - \sin^2 \beta} = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c_0^2}}$$

Gleichung 2.8

Die kinetische Energie  $E_{kin}$  wird hier als Differenz zwischen der Energie  $E_\beta$  des bewegten Elektrons und der Ruheenergie  $E_0$  des in  $x$ -,  $y$ - und  $z$ -Richtung ruhenden Elektrons definiert:

$$E_{kin} = E_\beta - E_0$$

Mit  $E_0 = \frac{h \cdot c_0}{\lambda_c}$  (vgl. Annahme 4) gilt:

$$E_{kin} = E_0 \left[ \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c_0^2}}} - 1 \right]$$

Für  $v \ll c_0$  gilt dann angenähert:

$$E_{kin} \approx E_0 \left[ 1 + \frac{1}{2} \cdot \frac{v^2}{c_0^2} - 1 \right] = E_0 \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{v^2}{c_0^2}$$

Um den Zusammenhang zum in der newtonschen Mechanik gebräuchlichen Massebegriff herzustellen wird die kinetische Energie mit der newtonschen Formel  $E_{kin} = \frac{1}{2} m_0 v^2$  (für  $v \ll c_0$ ) gleichgesetzt.

Damit folgt

$$E_0 \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{v^2}{c_0^2} = \frac{1}{2} m_0 v^2$$

und somit:

$$m_0 = \frac{E_0}{c_0^2}$$

Gleichung 2.9

Die Masse ist in dieser Theorie keine grundlegende Größe. Die **Ruhemasse**  $m_0$  des Elektrons wird hier als abgeleitete Größe der Ruheenergie des Elektrons definiert. Für die Gesamtmasse  $m_\beta$  des bewegten Elektrons folgt somit  $m_\beta = \frac{E_\beta}{c_0^2}$  und mit Gleichung 2.7 folgt:

$$m_\beta = \frac{m_0}{\cos \beta}$$

Gleichung 2.10

Damit gilt für die Gesamtenergie:

$$E_\beta = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c_0^2}}} \cdot c_0^2$$

Gemäß dieser Theorie ist die kinetische Energie in der Materiewelle des Körpers selber gespeichert. Durch die Schrägbewegung des Wellensystems nimmt die Wellenlänge ab und somit die gespeicherte Energie zu. Diese Energie muss beim Beschleunigen entsprechend zugeführt werden. Die Masseträgheit ist Folge des Erfordernisses zum Beschleunigen Energie zuzuführen. Diese Energie ist unabhängig vom Beobachter und von dessen Inertialsystem, sie hängt nur von der Bewegung zum absoluten Raum ab.

## 2.4 Energie und Impuls

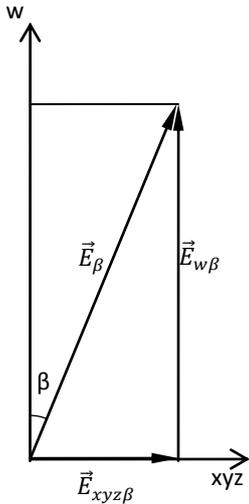
### 2.4.1 Der Energievektor

Wenn die Materie Energie ist (Materiewellen) und sie sich immer mit Lichtgeschwindigkeit fortbewegt, dann ist die Energie als Vektor darstellbar. Für den **Energievektor** des Elektrons gilt damit:

$$\vec{E}_\beta = \frac{h}{\lambda_c \cdot \cos \beta} \cdot \vec{c}_0$$

$\vec{c}_0$  gibt dabei die Bewegung des Materiefeldes an. Dieser Energievektor lässt sich gemäß Abbildung 2.8 sinnvoll aufteilen in einem Anteil  $\vec{E}_{w\beta}$ , der die Komponente der 4. Dimension angibt und in einem Anteil  $\vec{E}_{xyz\beta}$ , der den in unse-

rem 3-D-Raum wahrnehmbaren Teil („Horizontalenergie“) angibt.



Für die Vektorbeträge gilt

$$E_{w\beta} = \frac{h}{\lambda_c \cos \beta} \cdot c_0 \cdot \cos \beta = \frac{h \cdot c_0}{\lambda_c}$$

und

$$E_{xyz\beta} = \frac{h}{\lambda_c \cdot \cos \beta} \cdot c_0 \cdot \sin \beta$$

Gleichung 2.11

Es ist festzustellen, dass  $E_{w\beta}$  unabhängig vom Geschwindigkeitswinkel  $\beta$  ist; er gibt die **Ruheenergie** des Elektrons an:

$$E_w = E_0$$

Der  $E_{xyz\beta}$ -Anteil bedarf weiterer Analyse.

Abbildung 2.8: Energievektor

### 2.4.2 Die Energie-Impuls-Beziehung

Der Impuls  $p$  wird allgemein mit  $p = m \cdot v$  definiert, wobei  $m$  die Gesamtmasse des bewegten Körpers ist. Mit  $v = c_0 \cdot \sin \beta$  für die x-, y- und z-Geschwindigkeit ergibt sich damit für den Impuls:

$$p_\beta = \frac{h}{\lambda_c} \cdot \frac{\sin \beta}{\cos \beta}$$

Gleichung 2.12

Dabei entspricht „sin  $\beta$ “ dem Faktor für die Geschwindigkeitszunahme und „cos  $\beta$ “ dem Faktor für die Massezunahme.

Beim Vergleich von Gleichung 2.12 mit Gleichung 2.11 für die „Horizontalenergie“  $E_{xyz\beta}$  ist festzustellen, dass, bis auf den Faktor  $c_0$ , beide identisch sind. Innerhalb dieser Theorie wird der **Impuls** daher mit dem im (x,y,z)-Raum wahrnehmbaren Energievektorteil definiert zu:

$$\vec{p} = \frac{1}{c_0} \cdot \vec{E}_{xyz\beta}$$

Gleichung 2.13

Der **Impulserhaltungssatz** besagt demnach, dass in einem abgeschlossenen System gilt:

$$\sum \vec{E}_{xyz\beta} = const.$$

Der **Energieerhaltungssatz** besagt:

$$\sum |\vec{E}| = const.$$

Weiter ist aus Abbildung 2.8 unmittelbar ersichtlich, dass gilt

$$E_\beta^2 = E_{w\beta}^2 + E_{xyz\beta}^2$$

und mit  $E = E_\beta$  folgt:

$$E^2 = (m_0 \cdot c_0^2)^2 + (p \cdot c_0)^2$$

Dies entspricht der **relativistischen Energie-Impuls-Beziehung**.

## 3 Die Lorentz-Transformation im 4-dimensionalen Raum

### 3.1 Die Längenkontraktion

In Kapitel 2.2.1 „Das bewegte Elektron“ wurde anhand Abbildung 2.7 gezeigt, dass das bewegte Elektron inklusiv dem zugehörigen Feld in der Bewegungsrichtung  $x_1$  gestaucht ist.

Es gilt nach Gleichung 2.6:  $\lambda_\beta = \lambda_c \cdot \cos \beta$

Wenn das Elektron bzw. das Materiefeld gestaucht ist, ist davon auszugehen, dass jede Materie in Bewegungsrichtung entsprechend gestaucht ist. Für einen bewegten Stab der Ruhelänge  $s_0$  (Ruhelänge bei Ruhe im absoluten Raum; Länge hier in x-Richtung) sollte entsprechend gelten:

$$s_\beta = s_0 \cdot \cos \beta$$

Gleichung 3.1

$s_\beta$  ist die Länge des bewegten Stabes in Bewegungsrichtung x.

Diese Stauchung entspricht der **Längenkontraktion** der speziellen Relativitätstheorie, jedoch ist gemäß dieser Theorie im 4-dimensionalen Raum nicht der Raum sondern nur die Materie gestaucht.

Die Zunahme der bewegten Masse (die kinetische Energie) hängt somit unmittelbar mit der Längenkontraktion zusammen. Die Bewegung verkürzt die Wellenlänge in Bewegungsrichtung, damit wird das Feld kompakter und die Länge des Körpers gestaucht. Dieser nun kompaktere Körper enthält eine höhere gespeicherte Energie. Diese Längenkontraktion ist unabhängig vom Beobachter und von dessen Inertialsystem, sie hängt nur von der Bewegung zum absoluten Raum ab.

### 3.2 Die Zeitdilatation

Die Zeitdilatation ist mit Hilfe einer Lichtuhr gut zu erkennen. Es wird hier von einer Lichtuhr ausgegangen, bei der das Licht in Bewegungsrichtung (x-Richtung) der Uhr hin und her fliegt. Beim Hinfliegen muss, auf Grund des absoluten Raumes, das Licht die Uhr hinterher fliegen. Bei einer Ruhestrecke  $s_0$  gilt für die verlängerte Flugzeit:

$$\Delta t_1 = \frac{s_0}{c_0} \cdot \frac{1 + \sin \beta}{\cos \beta}$$

Beim Zurückfliegen kommt die Uhr dem Licht entgegen, woraus die verkürzte Flugzeit

$$\Delta t_2 = \frac{s_0}{c_0} \cdot \frac{1 - \sin \beta}{\cos \beta}$$

folgt.

Der Lichtblitz benötigt, um einmal die längenkontrahierte Strecke  $s_\beta = s_0 \cdot \cos \beta$  hin und her zu fliegen, die Zeit

$$\Delta t = \Delta t_1 + \Delta t_2 = \frac{2 \cdot s_0}{c_0} \cdot \frac{1}{\cos \beta}$$

Eine mit dem Stab mitfliegende Lichtuhr würde demnach, durch die Bewegung verursacht, für eine Periode länger brauchen, also langsamer laufen. Falls Beobachter, die mit dem Stab fliegen, diese Lichtuhr beobachteten, würden diese die Zeit  $\Delta t'$  einer Periode als

$$\Delta t' = \frac{2 \cdot s_0}{c_0}$$

interpretieren, da sie die Längenkontraktion nicht bemerken.

Damit gilt für die scheinbare Zeit im bewegten System:

$$\Delta t' = \Delta t \cdot \cos \beta$$

Gleichung 3.2

Die Uhr im bewegten System misst für dasselbe Ereignis eine kürzere Zeit. Die bewegte Uhr läuft demnach langsamer, was der **Zeitdilatation** entspricht.

In dieser Theorie bedeutet die Zeitdilatation demnach, dass bewegte Uhren tatsächlich langsamer laufen. Diese Uhren geben die Ortszeit an; die Zeitdilatation ist unabhängig vom Beobachter und von dessen Inertialsystem. Genau wie der Austausch der Photonen in der obigen Betrachtung verlaufen entsprechend alle Informationsübertragungen langsamer. Demnach verlaufen auch alle Prozesse, chemische Reaktionen etc. langsamer, was als Zeitdilatation wahrgenommen wird. Es gibt somit eine übergeordnete und konstante Weltzeit und jeweils eine Ortszeit die nur von der Bewegung zum absoluten Raum abhängt.

### 3.3 Die Lorentz-Transformation

Aus den Raum- und Zeit-Koordinaten ( $x$ ;  $t$ ) zum absoluten Raum sind die Koordinaten ( $x'$ ;  $t'$ ) für ein bewegtes Bezugssystem (z.B. die Erde) errechenbar. Auch innerhalb dieser Theorie folgen hier die Formeln der **Lorentz-Transformation**:

$$x' = \frac{x - t \cdot c_0 \cdot \sin \beta}{\cos \beta}$$

Gleichung 3.3

$$t' = \frac{t - \frac{x}{c_0} \cdot \sin \beta}{\cos \beta}$$

Gleichung 3.4

mit  $v = c_0 \cdot \sin \beta$  und  $\cos \beta = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c_0^2}}$

Obwohl sich hier die Formeln der Lorentz-Transformation ergeben ist die Situation anders als in der speziellen Relativitätstheorie. In der SRT wird von einer Symmetrie ausgegangen: Vom System K aus geht die Uhr in System K' langsamer und umgekehrt. In dieser Theorie der 4-dimensionalen Materiewellen läuft die bewegte Uhr tatsächlich langsamer, der bewegte Stab ist wirklich kürzer, auch wenn der Bewegende es nicht feststellen kann, da alle seine Maßstäbe ebenso verkürzt sind. Das Zwillingsparadoxon ist demnach in dieser Theorie, auch ohne Beachtung der Beschleunigungsphase, nicht paradox.

Mit den Formeln zur Lorentz-Transformation kann gezeigt werden, dass die Geschwindigkeiten auch in dieser Theorie **invariant** sind. Alle Beobachter messen unabhängig vom Inertialsystem dieselbe Geschwindigkeit. Ebenso lässt sich zeigen, dass auch das Null-Ergebnis des Michelson-Morley-Experiments mit dieser Theorie zu erklären ist, obwohl hier von einem absoluten, ruhenden Raum ausgegangen wird.

## 4 Die schwere Masse

Die träge Masse ist oben bereits besprochen. Die Zusammenhänge zur schweren Masse, also zur Gravitation, können hier nur kurz angerissen werden. Da gemäß dieser Theorie jede Masse vom Feld der Materiewelle umgeben sein soll, ist es vorstellbar, dass die Anwesenheit dieses Feldes eine reduzierende Wirkung auf die Lichtgeschwindigkeit hat. Das Materiefeld einer Masse soll demnach die Lichtgeschwindigkeit in seiner Umgebung reduzieren. Die daraus resultierenden Lichtgeschwindigkeits-Variationen führen zur Beugung der immer mit Lichtgeschwindigkeit fliegenden Materiewellen. Diese Beugung wird als Gravitation wahrgenommen. Damit lassen sich qualitativ und quantitativ die Gravitationseffekte erklären.

## 5 Zusammenfassung

Das Ergebnis dieser Arbeit ist eine alternative Betrachtungsweise der Physik, die ebenso mathematisch exakt ist. Sie ist jedoch nicht so stark von einer abstrakten, mathematischen Axiomatik geprägt, wie die Relativitätstheorie, was der Anschauung entgegen kommt. Die üblichen Anschauungsprobleme der Relativitätstheorie, wie die Inhomogenität der Zeitachse im Vergleich zu den Raumachsen oder der gekrümmte Raum, entfallen.

Die 4-dimensionale Raumzeit der Relativitätstheorie wurde hier durch einen echt 4-dimensionalen Raum und eine übergeordnete Weltzeit ersetzt. Auf Grund der Indifferenz kann der Beobachter die 4. Dimension nicht direkt wahrnehmen. Durch die angenommene Bewegung mit Lichtgeschwindigkeit, an Stelle einer raum-zeitlichen Bewegung in der Zeit, sind die direkten Effekte der Relativitätstheorie, wie Zeitdilatation und Längenkontraktion, gleichwohl erklärt. Trotzdem bleiben prinzipielle Unterschiede zur Relativitätstheorie bestehen. Die Zeitdilatation und die Längenkontraktion werden z.B. als einseitige Effekte angesehen und bewegte Uhren laufen langsamer, unabhängig vom Beobachter. Eine experimentelle Unterscheidung muss möglich sein, ist wegen der hohen Übereinstimmung der Ergebnisse jedoch nicht einfach.

Es ist eine von der de-Broglie-Welle bis zur Gravitation homogen zusammenpassende Theorie. Die wichtigsten Punkte sind hier noch einmal zusammengefasst:

- Homogener und euklidischer 4-dimensionaler Raum.
- Zur Anschauung passende absolute Weltzeit (und bewegungsabhängige Ortszeit).
- Impuls und Energie sind zu einem Energievektor zusammengefasst.
- Die Energie ist eine beobachterunabhängige Erhaltungsgröße.
- Die kinetische und die potentielle Energie sind Teil der inneren Energie  $E = m \cdot c^2$ .
- Das Phänomen „Masse“ ist in dieser Theorie erklärt.
- Zeitdilatation und Längenkontraktion bewegter Objekte gelten unabhängig vom Beobachter.
- Das Michelson-Morley-Experiment ist trotz absoluten Raums erklärt.

## 6 Literaturliste

Rolff, Randolf. Theorie der 4-dimensionalen Materiewellen;  
2. Auflage, 2013

Eckstein, David. *Epstein erklärt Einstein (unter  
www.relativity.li)*. Frauenfeld, CH: Genius Media ag, 2007.

Epstein, Lewis C. *Relativitätstheorie anschaulich dargestellt*.  
Basel: Birkhäuser Verlag, 1988.

### Der Autor

**Randolf Rolff:** Nach dem Studium in Elektrotechnik entwickelte er zunächst Regelung und Antrieb für magnetisch gelagerte Turbomolekularpumpen bei der Leybold-Heraeus GmbH. Anschließend und bis jetzt arbeitet er in der Elektronik-Entwicklung bei der INFICON GmbH und entwickelt Hard- und Software für Lecksuchgeräte. Er ist an mehreren Patenten und Patentanmeldungen beteiligt.

© 2013 Randolf Rolff

Clemensstraße 30

50169 Kerpen

Deutschland

Email siehe@Bild.unten:

```
xxx  xx  xxx  xxxxx  @@@  xxx  x  x  x  x  xxx  xxx  x  x  4  xxx  xxx  xxxxx
x  x  x  x  x  x  @  @  @  x  x  x  x  x  x  x  x  4  4  x  x  x  x  x  x
xxx  x  x  xx  x  @  @  @  xxx  xxx  x  xx  x  xx  4  4  x  x  x  x  xxx
x  x  x  x  x  @  x  x  x  x  x  x  x  x  44444  x  x  xx  x  x  x
x  xx  xxx  x  @@@@  x  x  x  x  xxx  xxx  x  x  4  xxx  xx  xxx  xxxxx
```

Alle Rechte vorbehalten.

Das Werk und seine Teile sind urheberrechtlich geschützt.