

# Von der Theorie des einheitlichen Feldes

-Zwölftklassabschlussarbeit-

Viktor Gatys

viga@arcor.de

11.11.2004

# Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	1
Einleitung .....	3
Felder und Feldtheorien.....	5
Der Gedanke der Vereinheitlichung.....	6
Grundlagen aus der Elementarteilchenphysik .....	9
Überblick über die Kräfte und ihre Teilchen.....	9
Elementarteilchen .....	10
Fermionen der ersten Familie .....	10
Elektron .....	11
Elektron-Neutrino .....	11
Up-Quark und Down-Quark .....	11
Eichbosonen .....	12
Photon .....	12
$W^+$ -, $W^-$ -, $Z^0$ -Bosonen.....	12
Gluonen.....	12
Graviton.....	13
Die Grundkräfte .....	13
Elektromagnetische Wechselwirkung.....	14
Starke Wechselwirkung .....	15
Schwache Wechselwirkung .....	15
Gravitation .....	16
Die verschiedenen Ansätze einer einheitlichen Theorie .....	17
Einstein .....	17
Seine Idee .....	17
Das Problem .....	17
Heisenberg.....	18
Seine Idee .....	18
Das Problem .....	18
Supersymmetrische Theorien.....	19
Supersymmetrie .....	20

Superstringtheorie.....	22
Eigener Kommentar .....	24
Anhang.....	27
Literaturverzeichnis.....	27

# Einleitung

Vorab sei gesagt: In dieser Arbeit geht es um eine physikalische Theorie, die erst noch gefunden werden muss. Dabei geht es nicht um irgendeine Theorie, sondern um die Theorie, die, sofern sie denn gefunden wird, die Physik vermutlich vollenden wird[1]. Man geht davon aus, dass sie in Form einer Feldtheorie formuliert werden wird.

Was bei den Feldern und Feldtheorien wichtig ist, steht ausführlicher unter „Felder und Feldtheorien“. Zunächst sei jedoch eine kleine Einleitung vorangestellt, die den Kern der Sache erläutert:

Das zu besprechende einheitliche Feld umfasst das gesamte Universum. Gemeint ist damit, dass alles was für das einheitliche Feld gilt, auch für das Universum Gültigkeit hat. Die Theorie des einheitlichen Feldes ist eine Feldtheorie und laut Definition somit der „mathematisch-physikalische Formalismus, der es gestattet, jede [...] Erscheinung [im einheitlichen Feld] nach einheitlichen Gesichtspunkten zu charakterisieren“[1].

Das heißt, die Theorie des einheitlichen Feldes ist die mathematische Grundlage, um alle Erscheinungen im Universum zu erklären; alles Physikalische im Universum lässt sich mit ihrer Hilfe berechnen. Sie ist die Theorie für Alles.

Man sollte jedoch stets genau unterscheiden, ob eine Theorie nun aussagt wie etwas funktioniert, d. h. dass sie erklärt, oder ob sie sagt, warum etwas so ist, wie es ist. Bei der einheitlichen Theorie verhält es sich nämlich so, dass sie, wenn sie gefunden wird, zwar alles erklären kann, beispielsweise wie und nach welchen Regeln und Gesetzen das Universum aufgebaut ist, aber sie wird nicht sagen können, warum gerade sie Gültigkeit haben, also warum das Universum nicht einfach ganz anderen Gesetzen folgt als gerade denen, denen es folgt. Man kann die Frage: „Warum gerade so und nicht anders“ nur bis zu der Theorie an sich zurückverfolgen, nicht aber für die Theorie selbst klären.

Darin besteht gewissermaßen ein gravierendes Problem hinsichtlich der welterklärenden Funktion der Physik. Denn offensichtlich ist es der Physik alleine nicht möglich, die allerletzte Frage des „Warum“ zufrieden stellend zu beantworten. Um es überspitzt zu formulieren: „Man ist so schlau als wie zuvor“.

Diese Feststellung sollte aber auf keinen Fall die Bedeutung der Findung der Theorie schmälern, denn sie würde immer noch einen riesigen Fortschritt für die Menschheit bedeuten. Man muss sich vergegenwärtigen, dass das Finden dieser Theorie praktisch seit Generationen der größte Traum der Physiker gewesen ist, denn sie bedeutet ja die Vollendung einer seit Jahrtausenden andauernden Forschungsarbeit. Mit einem Mal ist alles erklärt!

Kein Wunder also, dass ihre Entwicklung vor allem im 20. Jahrhundert die klügsten Köpfe bewegte. Früher war eine erfolgreiche Arbeit an einer einheitlichen Theorie den Physikern auch noch nicht möglich, da erst durch die Entwicklungen in der Quantenphysik die Grundlagen für die bis in die heutige Zeit währenden Forschungen geschaffen wurden.

Als einer der Ersten machte sich Albert Einstein gegen Ende seines Lebens an die Arbeit, konnte aber aufgrund seines Ansatzes noch nicht den gewünschten Erfolg erreichen[16]. Weitere Schritte in die richtige Richtung folgten mit der Glashow-Salam-Weinberg-Theorie, mit der Arbeit von Werner Heisenberg[16] und in neuerer Zeit durch die Entwicklungen des Gedanken der Supersymmetrie sowie der Superstringtheorie.

Doch um diese Entwicklungen nachvollziehbar zu machen, bedarf es etwaigen Basiskenntnissen aus der Elementarteilchenphysik, die ich im Folgenden ausführen möchte, bevor ich genauer auf die einzelnen Ansätze, ihre Schwierigkeiten und Probleme sowie den Grundgedanken der „Vereinheitlichung“ zu sprechen komme und mich schließlich genauer den Theorien zuwende.

Auch wenn die Forschungen bis heute noch nicht zum finalen Erfolg geführt haben, macht dennoch gerade dieser Umstand diese Theorie so reizvoll, wenn man bedenkt, welche klugen Köpfe wie beispielsweise Einstein und Heisenberg sich in der Vergangenheit vergeblich mühten, den vermutlichen Abschluss der Physik zu vollenden.

# Felder und Feldtheorien

Da, wie sicherlich schon bemerkt, sich die Thematik um das Aufstellen einer Feldtheorie über ein Feld gruppiert, werde ich als Erstes mit diesen zentralen Begriffen beginnen und dann, von einigen Elementarteilchen angefangen, zu den Grundkräften übergehen.

Bei der einheitlichen Feldtheorie handelt es sich vermutlich um eine Quantenfeldtheorie. Eine Quantenfeldtheorie ist eine Nahwirkungstheorie, da, anders als eine klassische Feldtheorie, bei der man von einer Fernwirkungstheorie spricht, der Raum des zu charakterisierenden Feldes nicht als „leer“ angesehen wird, sondern als mit virtuellen Feldquanten (Eichbosonen) gefüllt, die als Vermittler beispielsweise von Kräften in Kraftfeldern fungieren (s. u.). Dies gelingt hierbei durch den Austausch der Feldquanten zwischen den Teilchen der Materie (Wechselwirkung), auf die die Kraft wirkt[1][6][8][12][15][17][18][22][23].

Man kann jedem Punkt in einem Feld seine in der Regel zeit- und ortsabhängigen Feldgrößen zuordnen. Der Raum des Feldes muss durch denselben physikalischen Zustand verbunden sein. Als Feld bezeichnet man die Gesamtheit aller den Punkten zugeordneten Werte. Dieses Zuordnen folgt nach den Regeln, die durch die Feldtheorie vorgegeben werden[1].

# Der Gedanke der Vereinheitlichung

Häufig wird die Theorie des einheitlichen Feldes auch Vereinheitlichte Feldtheorie genannt. Diese Bezeichnung beinhaltet mehrere Informationen. Genau wie bei der Theorie des einheitlichen Feldes ersieht man, dass es sich um die Feldtheorie eines einheitlichen Feldes handelt. Darüber hinaus erfährt man aber auch, wie diese Theorie entstehen soll, das heißt, wie man sie finden will; Nämlich durch „Vereinheitlichung“[15]. Vereinheitlichung wovon? Vereinheitlichung von anderen Feldern, und zwar der Felder der vier Grundkräfte (s. u.). Wie kommt man darauf? Man vermutet aus der Urknall-Theorie heraus, dass alle Kräfte einen gemeinsamen Ursprung haben, da sich die verschiedenen Wechselwirkungen in Experimenten bei Energien um  $10^{16}$  GeV annähern und beim Urknall extrem hohe Energien wirkten[17]. Daraus folgert man die Existenz einer Urkraft. Aus der fächerten sich im Zuge der Abkühlung des Urknalls zu Beginn des Universums zunächst die Gravitation und später auch die anderen Kräfte auf und erhielten ihr eigenes Feld. Elektromagnetische-, Starke- und Schwache Wechselwirkung entstanden[17]. Mittlerweile gibt es für alle diese vier Felder Feldtheorien. Aus der Vermutung des gemeinsamen Ursprungs folgert man nun, dass das Feld der Urkraft, die Vereinigung aller Kräfte, auch das einheitliche Feld ist. Außerdem finden sich mathematische Indizien in den jeweiligen Formeln, die eine Übereinstimmung vermuten lassen[1]. Also versucht man die Feldtheorien der Grundkräfte zu vereinheitlichen, um somit die Theorie des einheitlichen (oder vereinheitlichten) Feldes zu erhalten, mit der man dann alle Vorgänge im einheitlichen Feld seit Bestehen der Urkraft mathematisch nachvollziehen, d. h. erklären könnte.

Vereinheitlichungen auf Theorieebene haben immer so stattgefunden, dass man eine Theorie formuliert hat, die die beiden Vereinheitlichten enthält[15] (s. a. Maxwell). Bei der Feldtheorie gibt es dann zunächst eine Feldtheorie für zwei Felder.

In der Geschichte der Vereinheitlichten Feldtheorie begannen die Vereinheitlichungen mit der Maxwellschen Theorie des Elektromagnetismus. Er fasste in seiner Feldtheorie die elektrische und die magnetische Kraft im Elektromagnetischen Feld zusammen. So wurde das Feld der Elektromagnetischen Wechselwirkung beschrieben[1].

Mitte der 20. Jahrhunderts gelang den Physikern Glashow, Salam und Weinberg die Formulierung einer Theorie der Elektroschwachen Wechselwirkung, der vereinheitlichten

Theorie von Schwacher und Elektromagnetischer Wechselwirkung, deren allerletzter Beweis mit der Entdeckung des Higgs-Teilchen gelingen soll[18]. In manchen Quellen liest man seitdem von der Elektroschwachen Kraft, was ich hier jedoch nur bedingt übernehmen will.

In neuerer Zeit gelang es auch noch die starke Wechselwirkung unter dem Hut des Standardmodells der Elementarteilchen mit der Elektroschwachen Wechselwirkung zu vereinheitlichen[15]. Über den Erfolg dieses Versuchs herrscht aber noch Uneinigkeit unter den Wissenschaftlern[23]. Man ist aber in den großen Teilchenbeschleunigern dieser Erde intensiv damit beschäftigt, auf experimentellem Wege die aus dem Standardmodell abgeleiteten Vorhersagen zu überprüfen. Auch hier spielt die Entdeckung des Higgs-Teilchens eine Zentrale Rolle[18].

Übrig geblieben auf dem langen Weg der einheitlichen Feldtheorie ist jedoch noch die Gravitation. Ihre Theorie unterscheidet sich noch zu grundlegend von den anderen drei, als das ohne weiteres an eine Vereinigung gedacht werden kann.

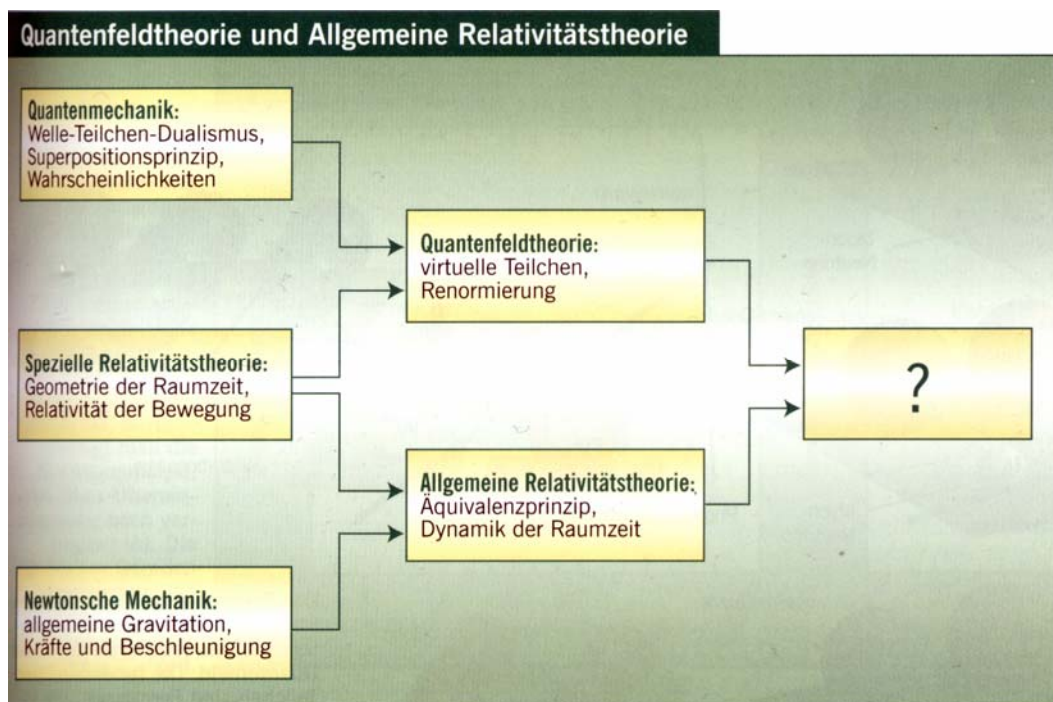


Abb.: 1 Vereinheitlichung der Theorieebene [15]

Die Allgemeine Relativitätstheorie beinhaltet die Theorie der Gravitation[16]. Für diese letzte Stufe zur Theorie des einheitlichen Feldes werden jedoch allem Anschein nach fundamental neue Ansätze und Ideen gebraucht, die wohl von vielem Bisherigen deutlich abweichen[15].

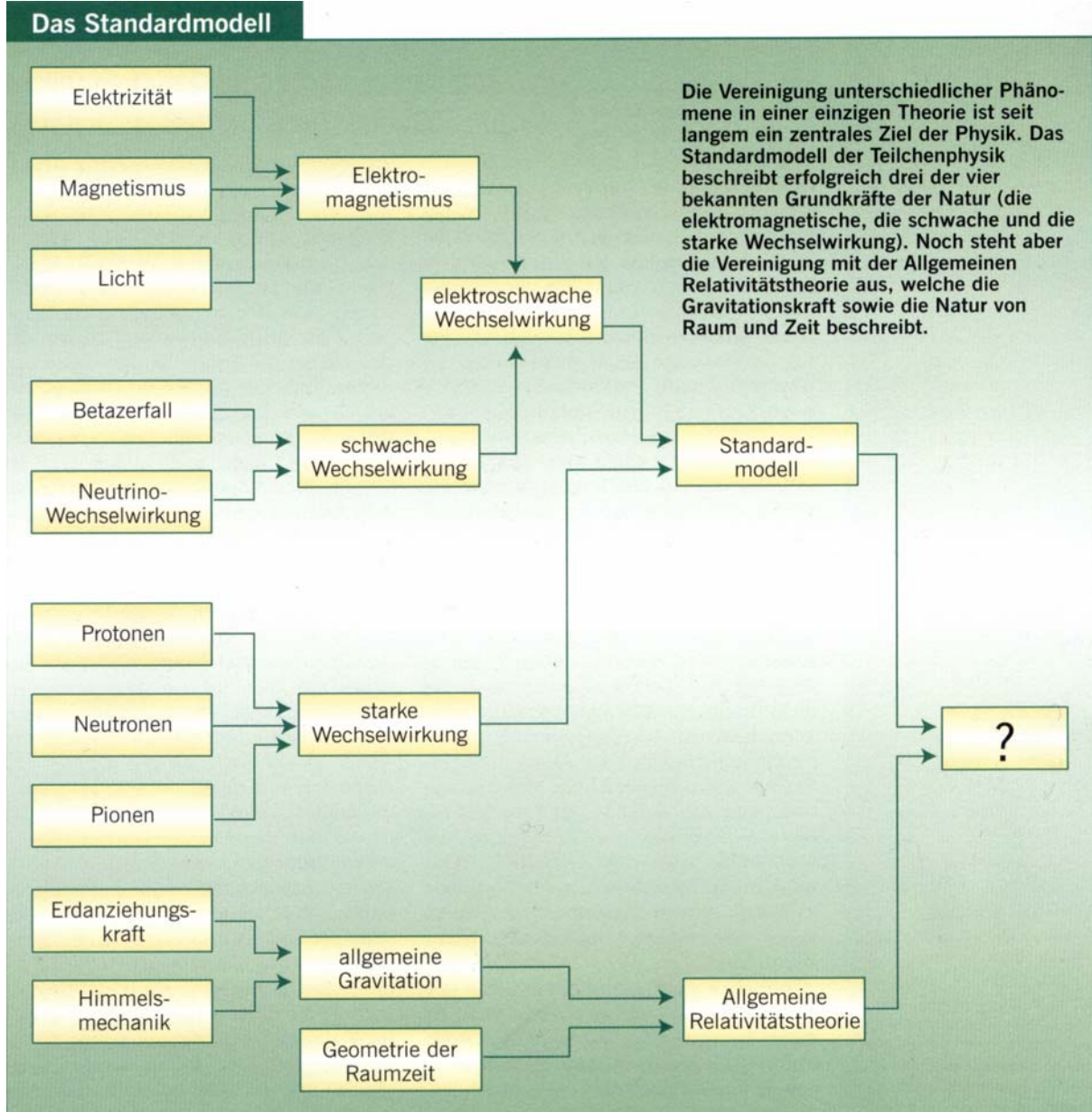


Abb.: 2 Das Standardmodell [15]

# Grundlagen aus der Elementarteilchenphysik

In diesem Bereich der Arbeit möchte ich die wesentlichen Grundlagen hinsichtlich der bisherigen Überlegungen der Wissenschaft zur Aufstellung einer vereinheitlichten Feldtheorie liefern. Daher werden alle Schilderungen lediglich auf das Ziel der zu beschreibenden Theorie ausgerichtet sein. Etwaige weiterführende oder am Rande tangierte Inhalte, auch wenn sie sicherlich sehr interessant sein mögen, wie beispielsweise die Elementarteilchen der zweiten und dritten Familie, werden vernachlässigt.

## *Überblick über die Kräfte und ihre Teilchen*

Diese Tabelle verdeutlicht den Zusammenhang zwischen den Teilchen und den Kräften, die im Folgenden näher erläutert werden.

Deutlich wird, dass die Gravitation Parallelen zu den anderen Kräften aufweist und dass die Fakten vorhergesagt werden können. Der zu sprengende Knoten liegt lediglich in der Entdeckung des Gravitons, um dann die gesicherte Grundlage für die Vereinheitlichung der Theorien zu erhalten.

Wechselwirkung	starke Kraft	schwache Kraft	Elektromagnetismus	Gravitation
Reichweite	$\sim 10^{-15} \text{ m}$	$< 10^{-17} \text{ m}$	unendlich	unendlich
relative Stärke	1	$10^{-13}$	$10^{-2}$	$10^{-38}$
Wirkung auf	Quarks, indirekt auf Hadronen	Leptonen, Quarks	elektrisch geladene Teilchen	alle Teilchen

Austauschteilchen	Gluonen	intermediäre Bosonen $W^+ W^- Z^0$	Photon	Graviton
Ruhemasse ( $\text{GeV}/c^2$ )	0	81 81 93	0	0
elektrische Ladung	0	+1 -1 0	0	0
Spin	1	1 1 0	1	2
Nachweis	indirekt beobachtet	beobachtet	beobachtet	vermutet

Abb.: 3 Überblick über die Kräfte und ihre Teilchen [1]

# Elementarteilchen

## *Fermionen der ersten Familie*

Fermionen sind die fundamentalen, materiebildenden Elementarteilchen. Die Gruppe der Fermionen umfasst die Quarks und die Leptonen, die als Gemeinsamkeiten alle einen halbzahligen Spin ( $s = \frac{1}{2}$ ) besitzen. Der Begriff des Spins gibt einen Quantenzustand eines Teilchens an und dient unter anderem der allgemeinen Sortierung der verschiedenen Elementarteilchen.

Die Quarks sind zu finden in den Nucleonen, dem Neutron und dem Proton. Die Leptonen sind die Familie der „leichten“ Elementarteilchen. Zu ihnen gehören das Elektron und das Neutrino des Elektrons.

Die oben erwähnten zweiten und dritten Familien der Elementarteilchen beinhalten jeweils identische Kopien der Teilchen der ersten Familie, die lediglich in ihren Massen von der ersten Familie unterscheiden. Sie sind jedoch weniger wichtig, weil sie nicht als Bausteine der Materie fungieren[1][22].

Eine wesentliche Eigenschaft der Fermionen ist durch das Pauli-Prinzip (Ausschlussprinzip) formuliert. Es besagt, dass niemals zwei Fermionen an ein und demselben Ort denselben Quantenzustand einnehmen können[22].

Deshalb stoßen sie sich natürlicherweise ab (Entartungsdruck) und es ist viel Energie nötig, um Materie zu schaffen, in der sie zusammenhalten, bzw. es muss eine Kraft herrschen, die dies besorgt. Deshalb sind die Kräfte für unser Universum auch so wichtig, weil sie Materiebildung ermöglichen[17].

	Quarks	Leptonen
1. Familie	<div style="display: flex; flex-wrap: wrap;"> <div style="margin-right: 10px; margin-bottom: 10px;">u</div> <div style="margin-right: 10px; margin-bottom: 10px;">d</div> <div style="margin-right: 10px; margin-bottom: 10px;">u</div> <div style="margin-right: 10px; margin-bottom: 10px;">d</div> <div style="margin-right: 10px; margin-bottom: 10px;">u</div> <div style="margin-right: 10px; margin-bottom: 10px;">d</div> </div>	<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center; gap: 20px;"> <div>e</div> <div><math>\nu_e</math></div> </div>
2. Familie	<div style="display: flex; flex-wrap: wrap;"> <div style="margin-right: 10px; margin-bottom: 10px;">c</div> <div style="margin-right: 10px; margin-bottom: 10px;">s</div> <div style="margin-right: 10px; margin-bottom: 10px;">c</div> <div style="margin-right: 10px; margin-bottom: 10px;">s</div> <div style="margin-right: 10px; margin-bottom: 10px;">c</div> <div style="margin-right: 10px; margin-bottom: 10px;">s</div> </div>	<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center; gap: 20px;"> <div><math>\mu</math></div> <div><math>\nu_\mu</math></div> </div>
3. Familie	<div style="display: flex; flex-wrap: wrap;"> <div style="margin-right: 10px; margin-bottom: 10px;">t</div> <div style="margin-right: 10px; margin-bottom: 10px;">b</div> <div style="margin-right: 10px; margin-bottom: 10px;">t</div> <div style="margin-right: 10px; margin-bottom: 10px;">b</div> <div style="margin-right: 10px; margin-bottom: 10px;">t</div> <div style="margin-right: 10px; margin-bottom: 10px;">b</div> </div>	<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center; gap: 20px;"> <div><math>\tau</math></div> <div><math>\nu_\tau</math></div> </div>

Abb.: 4 Übersicht Fermionen [1]

Des Weiteren sei noch angemerkt, dass es ein zu jedem Teilchen zugehöriges Antiteilchen gibt, das entgegengesetzt geladen ist. Treffen diese Teilchen aufeinander, zerstrahlen sie und Energie wird in Form von Photonen frei[1].

### *Elektron*

Das Elektron ist ein regelrechter „Klassiker“ der Elementarteilchen. Es ist das wichtigste Lepton, weil es in Atomen eine wichtige Funktion als Bestandteil der Materie einnimmt. Das Elektron ist ein sehr leichtes Teilchen, welches eine negative Elementarladung besitzt. Sein physikalisches Symbol ist  $e^-$  (Antiteilchen Positron  $e^+$ ). Elektronen können beim so genannten  $\beta$ -Zerfall (Neutron zerfällt zu Proton, Elektron und Antineutrino) als Energieträger auch aus Nukleonen emittiert werden[8]. Aufgrund seiner Ladung unterliegt das Elektron der elektromagnetischen Wechselwirkung[1][19].

### *Elektron-Neutrino*

Das Neutrino ist bekannt dafür, dass man das Rätsel seiner Masse noch nicht gelöst hat[16]. Da es sehr leicht ist und zugleich stabil, tritt es kaum in Wechselwirkung mit der Umgebung. Das führt dazu, dass es durch vieles einfach und unbemerkt hindurchfliegen kann; Milliardenfach. Ein Neutrino mit der Energie von 1 GeV geht zu 99,99% durch die Erde hindurch[22]. Deshalb fand man auch erst sein Antiteilchen beim  $\beta$ -Zerfall, wo es neben dem Elektron emittiert wird und schloss dann auf die Existenz des Neutrinos, anstatt es beispielsweise im Weltraum zu messen. Sein Zeichen ist  $\nu_e$ . Das Neutrino ist elektrisch Neutral.

### *Up-Quark und Down-Quark*

Mit dem Up- und dem Down-Quark kommen wir zu den beiden Bestandteilen des Nukleons. Jedes Proton und jedes Neutron ist aus diesen beiden Teilchen aufgebaut. Ein Proton besteht aus zwei Up-Quarks und einem Down-Quark, das Nukleon dementsprechend aus zwei Down-Quarks und einem Up-Quark.

Jedes Quark kommt in drei verschiedenen Formen vor. Deren unterschiedliche Merkmale sind die Farbladungen oder Farbquantenzahlen. Die Farben sind willkürlich auf Rot, Blau und Grün festgelegt. Somit besitzt jede Familie sechs Quarktypen[14].

## *Eichbosonen*

Eichbosonen nennt man die Austauschteilchen in Eichfeldtheorien, wie sie die Theorien der Grundkräfte sind. Diese Austausch- oder Wechselwirkungsteilchen nennt man auch Feldquanten, weil sie Vermittler der Kräfte sind[1]. Da sie einen ganzzahligen Spin ( $s = 1$ ) haben, sind sie den Bosonen zuzurechnen. Ein wesentlicher Unterschied zu den Fermionen ist ihre nicht vorhandene Fähigkeit in Bezug auf gegenseitiges Wechselwirken. Während Quarks im Rahmen der Starken Wechselwirkung miteinander wechselwirken, existieren Bosonen ohne gegenseitige Beeinflussung nebeneinander her. Eichbosonen sind Feldquanten und virtuell, das heißt sie treten nur auf, wenn sie „gefragt“ werden und zerfallen so schnell wieder, dass sie nicht messbar sind. Jede Gruppe von Eichboson, die auch intermediäre Bosonen genannt werden, ist jeweils nur einem Feld zugeordnet[1][8][14].

Im deutlichen Gegensatz zu den Fermionen stehen die Bosonen in der Hinsicht, dass sie nicht dem Pauli-Prinzip unterliegen, sondern sich sogar gerne im gleichen Quantenzustand zusammenfinden. Bestes Beispiel ist heutzutage der Laser, der auf dieser Eigenschaft der Bosonen beruht[17].

## *Photon*

Das Photon ist allgemein das „Lichtteilchen“, welches in unterschiedlichen Frequenzen für das menschliche Auge als unterschiedliche Farben sichtbar ist. Zugleich ist es aber noch das Feldquant der Elektromagnetischen Wechselwirkung. In dieser Funktion ist es, genau wie die anderen Bosonen, auch Energieüberträger. Da das Photon keine Ruhemasse hat, kann es nach dem Äquivalenzprinzip von Masse und Energie, und damit auch die Elektromagnetische Wechselwirkung, unendlich weit übertragen werden.

## *$W^+$ -, $W^-$ -, $Z^0$ -Bosonen*

Diese drei Teilchen sind sehr schwere Feldquanten und vermitteln deshalb ihre Schwache Wechselwirkung auch nur über sehr kurze Entfernungen (s. o.). Die hochgestellten Vorzeichen geben ihre Ladungen an.  $Z^0$  ist also ladungsneutral. Streng genommen werden nur sie als intermediäre Bosonen bezeichnet[1][22].

## *Gluonen*

Gluonen haben ihren Namen vom englischen Wort für Kleber (= glue). Das kommt daher, weil sie als Austauschteilchen der starken Kraft die Quarks und darüber hinaus auch

noch die Atomkerne zusammenhalten. Es gibt acht verschiedene Gluonen. Bei den Gluonen hat man die Masse rückwärts bestimmt: man hat sich überlegt, wie weit sie die Starke Wechselwirkung übertragen müssen, um die Atomkerne auch noch beieinander zu halten, und folgerte aus der Entfernung und der Energie die Masse[1][14].

### *Graviton*

Das Graviton ist ein noch hypothetisches Teilchen. Es wird vermutet, wurde aber noch nicht entdeckt. Das Graviton soll als normales Austauscheteilchen für die Gravitation wirken, wenn man die Gravitation in einer Eichfeldtheorie beschreiben kann. Die derzeitige Vorstellung der Gravitation aus Einsteins Allgemeiner Relativitätstheorie stellt die Physiker aber noch vor große Schwierigkeiten. Aufgrund der Unendlichkeit der Reichweite der Gravitation ist zu erwarten, dass das Graviton wie das Photon keine Ruhemasse hat. Ansonsten ist es aber schwer, wirklich Gesichertes über dieses unbekanntes Teilchen zu sagen[1][18][22].

## Die Grundkräfte

Die Kräfte sind neben den Teilchen der zweite Teil des im Universum Existierenden[17]. Sie sind von besonderer Bedeutung, weil es ihnen möglich ist, Materie zu schaffen, in dem sie zwischen Fermionen wirken. In den sie beschreibenden Feldern spielen sich alle Vorgänge ab[17].

Früher in der klassischen Physik betrachtete man die Elektromagnetische und die Gravitationskraft als Axiome[22]. Mittlerweile haben sich im Laufe der Entwicklung der Quantenphysik allerdings neue Ansichten hinzugefügt. Man entdeckte die Schwache und die Starke Wechselwirkung und ging auch bei der Elektromagnetischen Kraft zu der quantisierten Feldtheorie über.

Die Felder der Grundkräfte werden durch Eichfeldtheorien beschrieben. Eichfeldtheorien sind Theorien, in denen so genannte lokale Symmetrietransformationen oder auch Eichtransformationen, ermöglicht werden[1][12]. Da dies eine Spezialität der Quantentheorie ist, ist es nicht nur vom Namen her kompliziert und gilt nicht für die Gravitation.

## Elektromagnetische Wechselwirkung

Die Elektromagnetische Wechselwirkung wirkt auf alle elektrisch geladenen Teilchen. Diese Ladungen sind sehr bekannt und heißen Plus (+) und Minus (-). Die Kraft hat wegen ihres in Ruhe masselosen Photons (Ruhemasse = 0) eine unendliche Reichweite, die jedoch im Universum vielfach durch Ladungsträger abgeschirmt ist. Neben der Gravitation ist sie die für uns am direktesten erfahrbare Kraft, z. B. durch Licht oder Elektrizität[8].

Die Elektromagnetische Kraft hat eine relative Stärke von  $10^{-2}$  in Relation zu der Starken Wechselwirkung[19].

Sie wirkt durch Vermittlung durch das Photon. Die geschieht so, dass sich beispielsweise zwei Elektronen einander nähern und wenn sie zu nah zusammenkommen, wirkt die Kraft und ein virtuelles Photon wird zwischen beiden ausgetauscht und die Elektronen werden abgelenkt.

In der Quantenphysik beschreibt die Theorie der Quantenelektrodynamik (QED) alle Erscheinungen im Zusammenhang mit der elektromagnetischen Wechselwirkung. Die QED war die erste vollständige Quantenfeldtheorie, die alle Probleme mit einer „konsistenten quantentheoretischen Beschreibung von Feldern und die Erzeugung und Auslöschung von Teilchen befriedigend löste“[12].

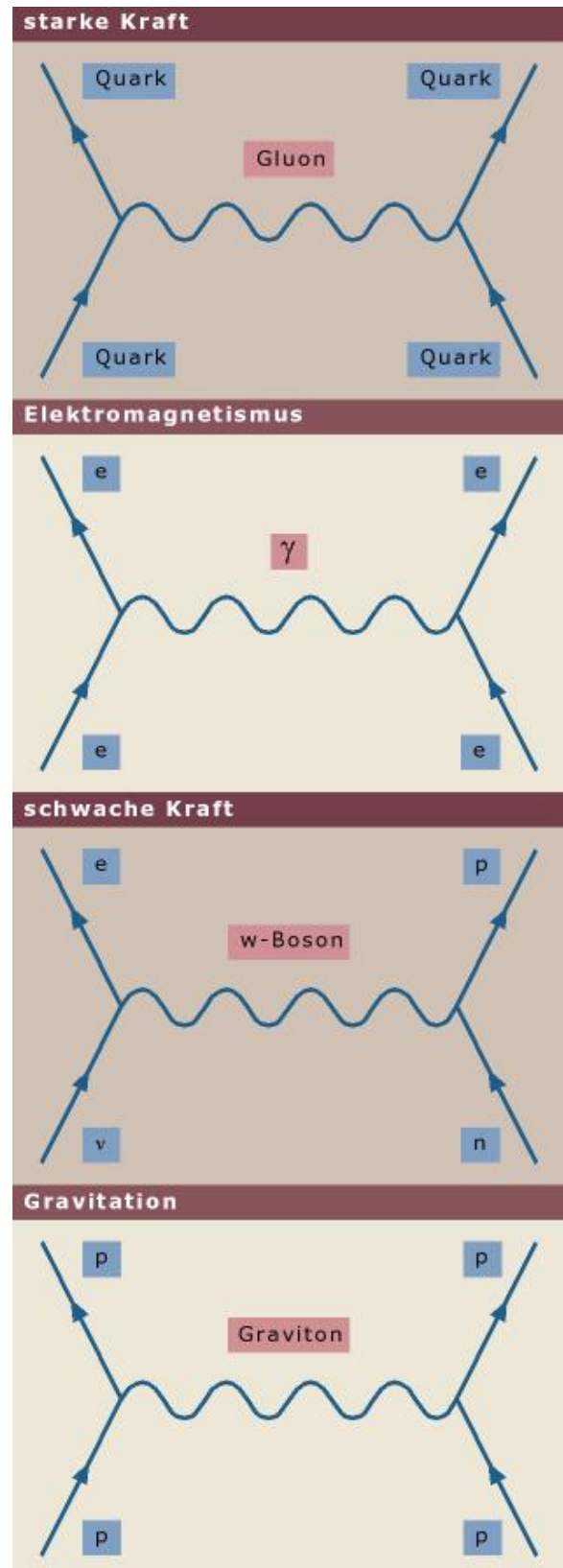


Abb.: 5 Feynmangraphen der Wechselwirkungen

### *Starke Wechselwirkung*

Die Starke Wechselwirkung ist eine der Kernkräfte. Sie wirkt aufgrund ihrer geringen Reichweite nur auf die Atomkerne und sorgt für deren Zusammenhalt[1]. Diese Beschränkung der Reichweite ist auf die Masse der Gluonen zurückzuführen, die die Kraft nicht weiter als den Atomradius transportieren können. Eigentlich wirkt die Starke Wechselwirkung nur zwischen den Quarks im Innern der Nukleonen, zwischen denen Gluonen ausgetauscht werden, aber ihre Reichweite geht noch darüber hinaus und bindet sozusagen die Teilchen im Atomkern zusätzlich aneinander[14]. Sie übersteigt nämlich die abstoßenden Kräfte der Elektromagnetischen Wechselwirkung um einiges, denn die Starke Kraft heißt nicht umsonst so. Sie ist der Maßstab für die anderen Kräfte und hat deshalb als stärkste Kraft die relative Stärke 1 gegenüber den weiteren Kräften. Allerdings sind von der Starke Wechselwirkung außer den Quarks keine Teilchen beeinflussbar.

Die Quantentheorie, die sich mit der Starke Wechselwirkung beschäftigt, heißt Quantenchromodynamik (QCD). „Chromo“-dynamik heißt sie deshalb, weil in ihr die unterschiedlichen Farbladungen der Quarks von Bedeutung sind. Die Farbladungen spielen wiederum beim Pauli-Prinzip eine Rolle und so müssen nicht nur z. B. Spin stimmen, sondern auch die Farben. Um eine Farbladung zu verändern bedarf es immer einer Ladung der neuen Farbe und einer Anti-Ladung der zu löschenden Farbladung[23][18].

### *Schwache Wechselwirkung*

Die Schwache Wechselwirkung wurde bei der Untersuchung des so genannten  $\beta$ -Zerfall des Neutrons entdeckt, da dabei ein Elektron emittiert wird, dessen Halbwertszeit mit 18 Min. zu lang für einen Prozess mit Elektromagnetischer oder Starker Wechselwirkung ist. Man schloss so auf eine weitere Kraft. Sie wirkt nur auf Quarks und Leptonen. Nach der Postulierung des Neutrinos durch Pauli 1930, formulierte Fermi 1933 die erste Theorie der Schwachen Wechselwirkung. Damals ging man noch von lediglich zwei Wechselwirkungs-Teilchen aus; Den geladenen  $W^+$  und  $W^-$  Bosonen. Die Glashow-Salam-Weinberg-Theorie der elektroschwachen Wechselwirkung verlangte allerdings noch nach dem dritten, neutralen Austauscheteilchen, dem  $Z^0$ -Boson. Die Untersuchung dieser neutralen Prozesse ist bis heute allerdings noch durch den Umstand erschwert, dass sie von den geladenen, viel stärkeren elektromagnetische Prozessen überdeckt werden.

Die Schwache Wechselwirkung ist die zweitschwächste Kraft nach der Gravitation, zugleich hat sie aber auch die mit Abstand schwersten Feldquanten, woraus natürlich ihre geringste aller Reichweiten der Grundkräfte resultiert. Man findet sie eigentlich nur bei dem Teilchenzerfall von unterschiedlichen Teilchen[18].

### *Gravitation*

Die Gravitation wirkt immer anziehend zwischen Massen. Sie ist die schwächste der vier Kräfte und hat eine unendliche Reichweite. In Analogie zu den anderen Kräften kann man die Masse auch als Gravitations-Ladung ansehen[8]. Damit hören die gemeinsamen Parameter zur Beschreibung der Grundkräfte aber schon auf, denn der Nächste, wie zum Beispiel ein Austauschteilchen, wurde wie bereits erwähnt noch nicht gefunden und ist lediglich im Standardmodell vorhergesagt[15], weil man anstrebt, auch die Gravitation mit einer Quantenfeldtheorie zu beschreiben. Die heutigen Gleichungen zur Gravitation gehen aus Einsteins Allgemeiner Relativitätstheorie hervor[1]. Sie sind jedoch nicht aus einer Quantisierung einer klassischen Feldtheorie entstanden, sondern beruhen auf dem Prinzip der Raumkrümmung durch die Geometrie der Raumzeit und sind noch in einer klassischen Feldtheorie formuliert. Prof. Dr. Harald Fritzsch beschreibt das Problem folgendermaßen:

Eine [...] Quantisierung würde bedeuten, dass sowohl der Raum als auch die Zeit Quanteneigenschaften erhalten müssten. Dies schafft jedoch erhebliche Probleme für die Quantisierung der normalen Wechselwirkungen, da deren Grundlage das normale Raum-Zeit-Kontinuum ist[1].

Aus dieser Konstellation ergibt sich die große Sonderrolle, die die Gravitation in dem Gefüge der Kräfte einnimmt. Die Quantenphysik, mit deren Hilfe man in den anderen Kräften große Fortschritte gemacht hat, kann mit der Gravitation sozusagen nichts anfangen. In Büchern über Quantenphysik kommt die Gravitation praktisch nicht vor.

# Die verschiedenen Ansätze einer einheitlichen Theorie

Seit der Entwicklung der Allgemeinen Relativitätstheorie und der Quantenfeldtheorie im 20. Jahrhundert gibt es Forschungen mit dem Ziel, eine Formel zu finden, mit deren Hilfe eine vollständige Erklärung aller physikalischer Erscheinungen im Universum möglich ist. Dieser Abschnitt soll nun näher auf die einzelnen Ansätze der Theorien und ihren Aussagen grundsätzlicher Natur, eingehen.

Es sind diesem Unterfangen von vornherein diese engen Grenzen gesetzt, weil die vielen Details der Theorien, welche sie für die Wissenschaft wertvoll machen, tief in den einzelnen mathematischen Formeln und ihren Beziehungen zueinander vergraben sind. Auf der Ebene der Mathematik spielen sich in diesem Gefüge der Theorien die wichtigen Dinge und Unterscheidungen, neue Ideen und Konzeptionen ab. Diese Aussagen auszugraben ist gewiss nicht unmöglich, allerdings kann ich dies nicht leisten, da mir die Mathematik, die dafür benötigt wird, nicht geläufig ist. Daher muss ich mich auf das beschränken, was auch ohne Mathematik verständlich ist.

## Einstein

### *Seine Idee*

Einstein versuchte sich als Erster an einer Vereinheitlichung von Theorien, mit dem Ziel, eine vereinheitlichte Feldtheorie aufzustellen. Er verfolgte den Gedanken, dass Alles auf einen gemeinsamen Ursprung zurückzuführen war. Er beschäftigte sich dabei mit der Vereinigung von dem Elektromagnetismus und der in seiner Allgemeinen Relativitätstheorie beschriebenen Gravitation. Auf diesen Ansatz kam er auf Grund einer Ähnlichkeit in den Gleichungen, die ihn auf einen gemeinsamen Ursprung schließen ließen. Interessanterweise führte er im Laufe seiner Arbeiten eine Art kosmischer Konstanten ein, die alles bestimmend sein sollte[22].

### *Das Problem*

Ein erstes Problem taucht sofort bei den Komponenten von Einsteins Vereinheitlichung auf, denn die Kräfte der Starken und Schwachen Wechselwirkung bleiben unberücksichtigt. Von daher wäre auch ein Erfolg der Bemühungen noch längst nicht allumfassend gewesen, da weite Bereiche noch zu ergänzen gewesen wären[1].

Da Einstein ein entschiedener Gegner der Wahrscheinlichkeitsrechnungen im Rahmen der Unschärferelation der Quantenphysik war (sein legendärer Satz: „Gott würfelt nicht“ ist Ausdruck seiner Skepsis), bewegte er sich, wie er es schon in der Allgemeinen Relativitätstheorie getan hatte, auch in diesen Forschungen weiter auf Gebiet der klassischen Feldtheorien und ließ quantentheoretische Sehweisen außer Acht (wie sie in der „Kopenhagener Deutung“ formuliert sind). Allerdings wird heutzutage die Quantentheorie nicht mehr angezweifelt, sondern als fundamental für die Entwicklung einer einheitlichen Theorie angesehen[16].

## Heisenberg

Heisenberg war der Nächste, der einen Versuch der, wie sie später auch genannt wurde, „Weltformel“ probierte. Er, der bekannt ist für seine Unschärferelation, kam aus dem Bereich der Quantenfeldtheorien.

### *Seine Idee*

Sein Freund Carl Friedrich von Weizsäcker beschrieb Heisenbergs Ansatz später so:

Er wählte ein spinorielles, masseloses Feld ( $s = \frac{1}{2}$ ), dessen Bewegungsgleichung einen nichtlinearen Term der Selbstwechselwirkung enthält. Die Lösungen, die man durch Vernachlässigung des Wechselwirkungsterms erhielt, formal freie masselose ( $s = \frac{1}{2}$ )-Teilchen, sollten physikalisch bedeutungslos sein. Die Lösungen mit Wechselwirkung sollten direkt Teilchen mit endlicher scharfer Ruhemasse bedeuten. [...] der Zusammenhalt und die Ruhemasse eines Teilchens sind durch die Selbstwechselwirkung des Feldes erzeugt[16].

Bewegungsgleichungen sind Bestandteile von Feldtheorien und Spinorfelder beschreiben Fermionen.

### *Das Problem*

Das Problem waren zum einen die Gleichungen selbst, die sich sehr schwer lösen ließen und die nicht Einbeziehung von einigen Phänomenen, die aus der Theorie heraus auch nicht erklärt werden konnten.

Pauli arbeitete zunächst mit ihm zusammen, doch durch dessen Umzug in die Vereinigten Staaten von Amerika wurde die Kommunikation schwieriger und die Arbeiten gerieten

unvollendet ins Stocken. Heisenberg wollte sie auch im unfertigen Zustand veröffentlichen, um den Fortschritt der Wissenschaft nicht zu behindern. In der Folge distanzierte Pauli sich dann von den Arbeiten, weil er der Ansicht war, man sollte keine unfertige Theorie veröffentlichen. Zu diesem Zeitpunkt war die Theorie weder fertig noch bewiesen. In der darauf folgenden Zeit gelang dies auch niemandem und der Heisenberg zugeschriebene Versuch wurde als gescheitert zu den Akten gelegt[3]. Nichts desto trotz wird auch diese Arbeit von der Physik als Schritt in die richtige Richtung gewertet, da die mathematischen Probleme bei Heisenberg, ähnlich wie die bei Einstein, als symptomatisch angesehen werden[16].

Im heutigen Sprachgebrauch spricht man von ihr auch als „Weltformel“, „Materiegleichung“ oder „Vereinheitlichte Theorie der Elementarteilchen“[3].

## Supersymmetrische Theorien

Supersymmetrische Theorien – unter diesem Begriff fasst man den Gedanken der Supersymmetrie und der Superstringtheorie zusammen, da in der Superstringtheorie auch Prinzipien der Supersymmetrie eine Rolle spielen. In beiden geht es darum, noch offene durch das Standardmodell aufgeworfene Fragen zu beantworten.

Der Begriff der Symmetrie spielt in der Physik eine wichtige Rolle. Als symmetrisch wird alles bezeichnet, was nach bestimmten mathematischen Transformationen wie beispielsweise Drehungen oder Spiegelungen, die man dann Symmetrietransformationen nennt, unverändert ist. Symmetrisch können Objekte, physikalische Zustände oder Naturgesetze sein[1].

Auch die schlussendliche Formel sollte der Symmetrie gehorchen und egal, welche Parameter man in ihr transformiert, sie muss immer stimmen[12].

Es dürfen keine so genannten Divergenzen (lat.: = Auseinanderstreben, hier: das Auseinanderstreben von Zahlenreihen ins Unendliche) auftreten[16]. An diesen Divergenzen mussten sich bisher alle Theorien und Formeln messen lassen und jeder Forscher hofft, dass in seiner Theorie, unabhängig davon, welche Ausgangsbedingungen man vorgibt, diese nicht auftreten. Bisher war das bekanntermaßen jedoch noch nicht der Fall. Ein Stolperstein ist zum Beispiel die Veränderung des Energieniveaus, bei dem der zu berechnende Vorgang vonstatten geht[15].

Man versucht diesen Problemen aus dem Weg zu gehen, indem man Formeln versucht so aufzustellen, dass sich unter den bestimmten Bedingungen, in denen Divergenzen in

einzelnen Termen auftauchen, die Terme auf Grund von mathematischen Zusammenhängen herausstreichen, bzw. vernachlässigen lassen[16]. Ähnlich geht man in der in der Mathematik beispielsweise auch bei Nullfolgenberechnungen vor.

Die zweite Möglichkeit, die sich anbietet, Divergenzen in Formeln zu vermeiden, ist die, dass man die störenden physikalischen Gesetze oder Sehweisen modifiziert. Auf dieser Ebene greift der Gedanke der Supersymmetrie und der Superstringtheorie ein. Die Superstringtheorie ist die um die Supersymmetrie erweiterte Stringtheorie. Allerdings wird die Supersymmetrie auch durchaus als eigener Ansatz betrachtet.

Gerade an dieser Stelle der neueren Theorien wird bei eingehender Beschäftigung deutlich, dass es in der Physik noch keine absolute Meinung gibt. Man findet immer Wissenschaftler, die Verfechter der einen oder der anderen Position sind. Von vielen wird die Superstringtheorie als hoffnungsvoller Ansatz gewertet, aber der Weisheit letzter Schluss ist das sicherlich noch nicht, denn es gibt wiederum auch Physiker, die die Theorie noch als zu unvollständig betrachten.

### *Supersymmetrie*

Die Supersymmetrie ist eine Idee, die aus den 1970er Jahren stammt. Sie gilt als ein möglicher Schlüssel auf dem Weg zur endgültigen Lösung der Frage nach einer einheitlichen Theorie der Elementarteilchen. Vorgeschlagen wurde das supersymmetrische Standardmodell von Howard Georgi und Savas Dimopoulos 1981[10]. Man vermutet Supersymmetrien in vielen Bereichen der Natur, konnte sie aber bisher nur für die Ebene der Elementarteilchen, genauer in Atomkernen, klären[2].

Konkret geht es gemäß der Symmetrie darum, dass Teilchen mit einem bestimmten Spin „im Spiegel der Supersymmetrie[10]“ sich so verhalten, wie im selben Fall auch supersymmetrische Teilchen mit einem anderen Spin, obwohl das bisher immer als fundamentales Kriterium zur Unterscheidung der einzelnen Teilchen galt. Bei den Teilchen geht es um die Unterscheidung zwischen den Fermionen ( $s = \frac{1}{2}$ ) und den Bosonen ( $s = 1$ ).

Man konnte kürzlich bei Gold und Platin Isotopen eine bestimmte Zusammensetzung von Protonen und Neutronen zu supersymmetrischen Verknüpfungen zwischen Atomkernen beobachten.

Ein Atomkern mit einer ungeraden Anzahl von Nukleonen ist nach der Addierung der einzelnen Spins weiterhin ein Fermion. Aus einem Atomkern mit einer geraden Anzahl an Nukleonen geht ein Boson hervor.

Nun beobachtete man, dass sich ein in einem Atomkern mit einer ungeraden Nukleonenzahl „übrige“ Nukleon wie ein Neutron-Proton Paar verhält. Dadurch sind Dank der Supersymmetrie ein bosonischer und ein fermionischer Kern miteinander verknüpft, weil sie sozusagen denselben Spin haben[10].

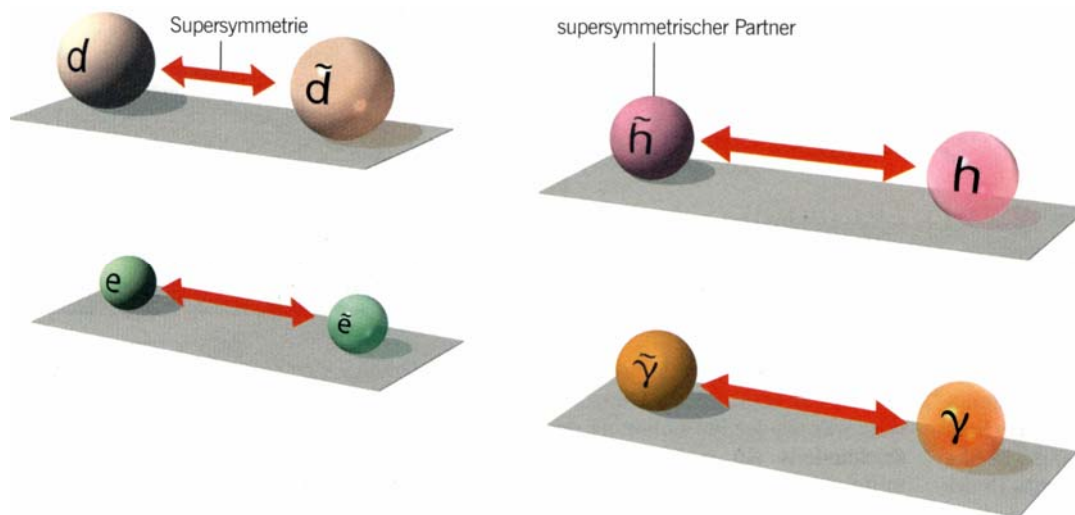


Abb.: 6 Einzelne Supersymmetrien

Mittlerweile ist man auf der Suche zu jedem einzelnen Elementarteilchen ein dazugehöriges, durch Supersymmetrie verbundenes Teilchen zu finden. Dies bedeutet, dass es beispielsweise zu jedem Fermion ein dazugehöriges Boson gibt, die sich in einem Mehrteilchen-Quantenzustand miteinander ohne Veränderung des Gesamtzustandes vertauschen lassen. Diese Vertauschbarkeit bei gleichzeitiger Beibehaltung des Gesamtzustandes ist der zentrale Punkt, damit es nicht zu einer Brechung der Symmetrie führt. Dies ist analog zu den Vertauschungen auf mathematischer Ebene.

Die Namen der neuen Teilchen wären bei den Fermionen Photino, Gluino, Wino, Zino, Gravitino und Higgsino. Vor die bosonischen Superteilchen wird einfach ein s (von Supersymmetrie) vor den Namen ihres Partners gehängt: Selektron, Smyon, Sneutrino, Squark. Allerdings sind alle diese Teilchen noch im Zustand des postuliert sein und es ist noch keines von ihnen gefunden worden[10].

## Superstringtheorie

Die Überlegungen für eine Stringtheorie reichen bis in die 1960er Jahre zurück. Der Zusammenhang zur Supersymmetrie wird dadurch gefordert, dass die Theorie auch für Fermionen Gültigkeit haben soll. Die Superstringtheorie hat, wie der Name schon sagt (engl. string = Faden) mit der Vorstellung von winzigkleinen, momentan noch nicht beobachtbaren, Fäden oder um genau zu sein auch mit Membranen zu tun, mit deren Hilfe man eine Theorie der Quantengravitation beschreiben will. Quantengravitation als neuer Begriff bedeutet bloß die oben erwähnte

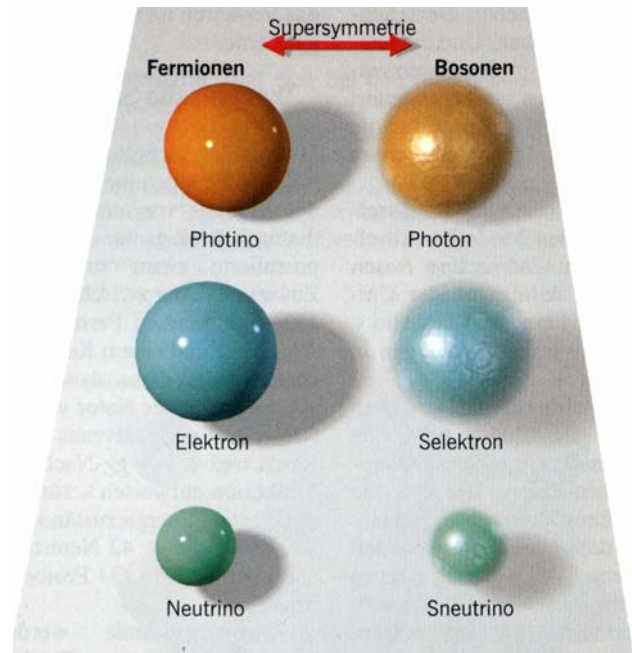


Abb.: 7 Supersymmetrie zwischen Fermionen und Bosonen

Quantisierung der Gravitation, die bislang ja noch aussteht. Zu diesem Zweck müssen die Strings eine Länge nahe der so genannten Planck-Länge von  $10^{-33}$  cm haben[21][10]. In diesem Modell entstehen Teilchen bei unterschiedlichen Frequenzen der Strings und die verschiedenen Teilchen sind dann Ausdruck immer verschiedener Zustände desselben, grundlegenden Strings. Zur Veranschaulichung wird ähnlich der Beschreibung einer stehenden Welle das Bild einer Saite eines Musikinstrumentes verwendet. Der Ton bzw. das Teilchen hängt von der unterschiedlichen Länge und Spannung der Saite ab. Die Spannung ist den Strings von vornherein eigen[21]. Teilchen sollen allerdings nur bei geringen Energien erscheinen[15]. Für uns in der Beobachtung spielt das aber momentan keine Rolle, weil wir experimentell an die hohen Energien wie beim Urknall nicht heranreichen[21]. Der Vollständigkeit halber sei gesagt, dass es zwei grundlegend verschiedene Ansätze von Stringtheorien gibt. Der eine Ansatz geht von permanent geschlossenen Strings aus, der andere erlaubt das zerreißen der Strings[21].

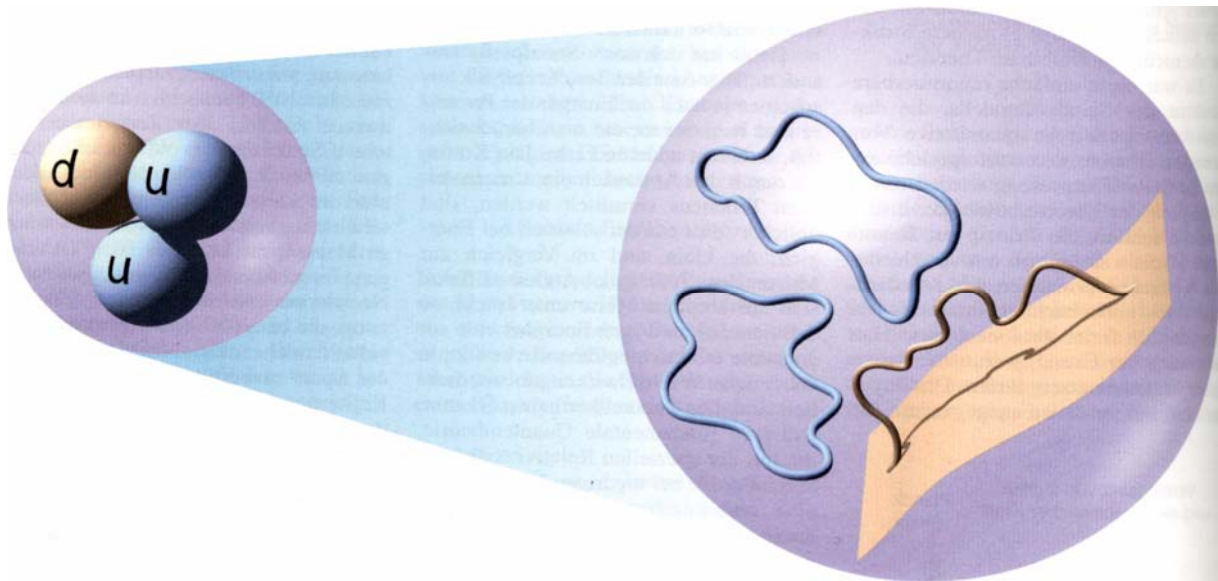


Abb.: 8 Teilchenmodell der Superstringtheorie

Eine Schwierigkeit der Vorstellung, wenn man grundlegende Verständnisfragen der Quantenphysik, die sicherlich erstmal in vielen Teilen ein Rätsel ist, außer Acht lässt, fällt mir jedenfalls in dem Punkt auf, dass die Stringtheorie den Angaben zu Folge eine Betrachtung des Universums als zehn dimensional voraussetzt und die Strings selber eindimensional sind[15]. Ich bin leider auf keine Erklärung für das Existieren von Dimensionen unterhalb von zwei und oberhalb von vier gestoßen und somit entzieht sich dieser Bereich ins anfangs erwähnte „intuitive Verständnis“.

Der allgemeinen Grundstimmung meiner Quellen nach ist die Superstringtheorie einerseits ein aussichtsreicher Kandidat für die Grundlage einer Entwicklung zu einer noch fundamentalen Theorie und andererseits wird sie auch als Vorreiter angesehen, die für die modernen Ideen in der Physik steht. Vielleicht machen ihr etwaige andere Theorien, auf die ich in dieser Arbeit nicht eingegangen bin, in kleineren Fachkreisen diesen Posten streitig, dennoch ist sie als recht populär zu bezeichnen. Vielleicht rührt das unter anderem daher, weil sie auf Grund ihres grundsätzlich auf den ersten Blick verschiedenen und obskuren Ansatz als Sinnbild für unverständliche und verworrene moderne Wissenschaft herhalten muss.

Mir schien sie anfangs ebenfalls merkwürdig, doch überzeugt mich der Gedanke des einheitlichen Ursprungs aller Teilchen in einem String, von dem sie lediglich einzelne Zustände von einer Vielzahl an Möglichkeiten sind und so die Bedingungen für eine Rückführung auf etwas zu Grunde liegendes, einheitliches, alles verbindendes Etwas erfüllt.

## Eigener Kommentar

Die Wurzeln meiner Arbeit ragen streng genommen bis in den Chemie-Unterricht am Ende der Mittelstufe hinein. Zu dem Zeitpunkt begann mein Interesse für die Welt der Atome und Moleküle. Im Laufe der Jahre erweiterten sich meine Kenntnisse und auch die Fragestellungen wurden weit reichender, bis sie in der elften Klasse den Bereich der Chemie verließen und sich den physikalischen Grundlagen der Chemie zuwandten.

Es ging zunächst um Energien und Massen, Elektronen und Photonen (es folgte Interesse für Einstein), bis unvermittelt die Frage auftauchte: „Was sind denn eigentlich Quanten?“ Denn Begriff und das sie wichtig wären hörte man öfters, doch was diese sind, wusste ich nicht.

Nachdem ich im mathematischen Bereich damit in Berührung kam und im Zuge der Diskussionen zur Relativitätstheorie zeitweilig mich für Unendlichkeit interessierte, kaufte ich mir ein Spektrum der Wissenschaft Spezial „Das Unendliche“.

Seitdem schaute ich jetzt häufiger nach interessanten Ausgaben und als die Frage nach den Quanten auftauchte, wurde ich sogleich fündig: Ich kaufte das Dossier „Vom Quant zum Kosmos“. Sofern ich den Inhalt verstand war er sehr aufschlussreich. Unter anderem lautete ein Artikel „Eine Theorie für alles?“ von dem Nobelpreisträger S. Weinberg und er beschäftigte sich mit heutigen Überlegungen zu einer vereinheitlichten Theorie.

Als die Frage nach einem Thema für die Zwölfteklassarbeit akut wurde, fiel mir bald wieder dieser Artikel ein und da ich in der Zwischenzeit auch noch ein Buch über die philosophischen Dimensionen der Physik und ihrer Theorien geschenkt bekommen hatte, war mein Interesse ausreichend geweckt um mich mit diesem Gebiet intensiver zu beschäftigen.

So bin ich zu dem Thema „Von der Theorie des einheitlichen Feldes“ meiner Arbeit gekommen. Zu dem Titel ist noch zu sagen, dass ich die Formulierung im Laufe der Zeit mit zunehmendem Verständnis der Materie häufig variierte um eine exakte Beschreibung dessen zu erreichen, was mein Thema war. Die Wahl des Titels war erst möglich, nach dem ich mir einen umfassenden Überblick gemacht hatte und sehr genau wusste, wie die Gestaltung der Arbeit aussehen würde.

Leider war diese Vorgehensweise nicht nur bei der Wahl des Titels nötig, sondern eigentlich für den gesamten schriftlichen Teil. Anfänglich hat die Recherche und das Verstehen dessen, worüber ich schreiben wollte, enorm viel Zeit verschlungen, bevor ich

überhaupt anfangen konnte, da ich nicht an einem Ende anfangen konnte, während ich noch nicht wusste, was am anderen Ende dabei herauskommen sollte. Ich musste praktisch meine Arbeit erst einmal vollständig vor Augen haben, bevor ich wirklich ans Schreiben gehen konnte.

Im Zuge der Recherche erwies sich das Anfangs erwähnte Dossier vor allem zu Beginn und gegen Ende als wichtiger Anlaufpunkt, da es mir den Weg zu unterschiedliche spezifischere Details öffnete. Ich hielt in den folgenden Wochen Augen und Ohren offen und so sammelte sich ein breites Fundament an Quellen aus Büchern, Zeitschriften, Lexikonartikeln und Webseiten an. Es kristallisierte sich bald heraus, das ich nur zielführend arbeiten konnte, wenn ich meine Inhaltsgestaltung nicht an den Quellen orientierte, sondern den Kern meiner Arbeit aufgrund der vorliegenden Informationen festlegte und mich dann gezielt zu den gewünschten inhaltlichen Punkten informierte. Damit sollte gewährleistet sein, dass ich mich nicht mit unnötigen Details abgab, da mein Anspruch keine Erklärung der Physik von Grund auf war und mir dafür auch die Grundlagen fehlten, sondern viel mehr ein Einblick in die Welt der Theorien und Überlegungen, die sich um die alles erklärende Weltformel ranken.

Des Weiteren war ein intensives Quellenstudium nötig und leider ging es nicht umhin, dass ich teilweise auf englischsprachige Literatur zurückgreifen musste.

Bei den Recherchen stieß ich zwangsläufig und zum Teil gewollt auf Materialien, die aus dem Dunstkreis der Universitäten stammten und dem entsprechend anspruchsvoll waren, so dass ich deutlich merkte, in welche Richtung eine professionelle Bearbeitung meines Themas hinauslaufen würde. Den Aspekt des Themas den ich hier noch ausgeklammert habe, nämlich die zu Grunde liegende Mathematik, wäre dann der wesentliche Bestandteil einer solchen Arbeit. Allerdings bin ich als Schüler mit jener Mathematik hoffnungslos überfordert, weil ich praktisch auf keine Grundlagen dieser Rechnungen zurückgreifen kann.

Im Laufe meiner Arbeit habe ich begonnen mir Bücher von Wissenschaftlern (Heisenberg, Einstein, Weinberg und C. F. v. Weizsäcker) zu kaufen, sodass sich mit den Materialien für die Arbeit mittlerweile eine hübsche kleine Bibliothek angesammelt hat, die mich auch weiterhin motiviert, dieses Thema, die Intensität sei noch offen, weiter zu verfolgen. Auf dem gesamten Physikalischen Gebiet habe ich für mich spürbare Fortschritte gemacht. Es ist mit zum einen besser möglich die klassische Physik zu verstehen, aber ich habe auch Übung darin bekommen, schwierige Texte zu lesen. Ein angenehmes

Gefühl ist es etwa, wenn ich jetzt meine Teils schon sehr alten Quellen, die mir beim ersten Lesen Kopfschmerzen bereitet haben, durchlese und praktisch keine Mühe habe, sie zu verstehen und teilweise schon vorher zu wissen, auf was es hinausläuft und was für Themen sich anschließen. Mir fällt es jetzt relativ leicht, unterschiedlich Gebiete der Physik von Anfang an in eine gewisse Schublade einzuordnen, weil sich für das Verständnis meines Themas ebenfalls ein gewisser vorher noch nicht vorhandener Unterbau gebildet hat.

Gerade diese vielen positiven Erfahrungen verleiten mich im Nachhinein dazu, die schwierigen zu vergessen. Denn gerade gegen Ende war es oft ein schwieriger Kampf mit den Hindernissen und Problemen, die ich mir teils selbst in den Weg gelegt habe und die aus der Arbeit resultierten. Es gab Tage, an denen ich massive Probleme hatte zu schreiben oder an denen ich an dem Verständnis und einzelnen Problemen gerade das Gesamtgefüge betreffend, fest hing.

Darum ist es umso schöner, wenn diese Pflicht erfüllt ist und man vielleicht noch das ein oder andere, was bis jetzt auf der Strecke geblieben ist, in Ruhe vertiefen und ausweiten kann.

# Anhang

## Literaturverzeichnis

- [1] Brockhaus Multimedial Premium 2002
- [2] Buchholz, D., „On the Implementation of Supersymmetrie“, 1, Uni. Göttingen, 1999
- [3] Chomski, B., <http://www.heisenberg-weltformel.de>,
- [4] Cole, K. C., „Warum die Wolken nicht vom Himmel fallen“, Aufbau-Verlag, 2000
- [5] Goenner, H. F. M., „On the History of Unified Field Theories“, Uni. Göttingen, 2004
- [6] Graßmann, H., „Alles Quark?“, 100, Rowohlt, 1999
- [7] Greene, B., „Warum ist nicht nichts?“, Spiegel Gespräch, Der Spiegel 39/2004
- [8] Grehn (Hrsg.), J., „Metzler Physik“, 515ff, 2. Auflage Metzler 1992
- [9] Heisenberg, W., „Der Teil und das Ganze“, Piper, 5. Auflage, 1982
- [10] Jolie, J., „Supersymmetrie in Atomkernen“, Spekt. d. Wiss. Dossier, 1/2003
- [11] Öztürk, M., „Urknall und Entstehung unseres Sonnensystems“, 2001
- [12] Resag, J., „Das Unteilbare“, 1998
- [13] Röthlein, B., „Hoffen auf SUSY“, <http://www.wissenschaft.de>, 1996
- [14] Spektrum d. Wiss. Dossier, „Vom Quant zum Kosmos“, 1/2003
- [15] Weinberg, S., „Eine Theorie für alles?“, Spekt. d. Wiss. Dossier, 1/2003
- [16] Weizsäcker, C. F., „Aufbau der Physik“, 462ff, DTV 1988
- [17] <http://www.br-online.de/alpha/centauri/archiv.shtml>
- [18] [http://www.didaktik.physik.uni-erlangen.de/grundl\\_d\\_tph/wo\\_bin\\_ich.html](http://www.didaktik.physik.uni-erlangen.de/grundl_d_tph/wo_bin_ich.html)
- [19] <http://www.hpwt.de/Astro2.htm>
- [20] <http://www.inkultura-online.de/biograf/string.htm>
- [21] <http://www.superstringtheorie.com>
- [22] <http://www.uni-protokolle.de/Lexikon/>
- [23] <http://www.weltderphysik.de/themen/bausteine/teilchen/grundlage/index.html>