

Zur Berechnung der Elementarteilchen-Masse nach W. Seelig

(B 01/1997)

von

V. Balogh, W. Seelig, D. Straub

Universität der Bundeswehr München

Fakultät für Luft- und Raumfahrttechnik

Institut für Thermodynamik

1997

Inhalt

Vorwort	3
Einleitung	5
1.Klassifikation der Teilchen und der Kräfte	9
2.Theorie v. W. Seelig zur geometro-dynamischen Elementar-Struktur der Materie...16	
3.Massenbildung im Rahmen des Elementar-Struktur System der Elementar-Teilchen (ESS-T)	27
3.1 Minimale Semantik.....	28
3.2 Seelig-Hauptsatz	28
3.3 Massen-Bildung.....	29
4. Massen im Standardmodell	32
4.1 "Klassische Spekulationen" (Yukawa über die Masse des Pions; Gell-Mann/Okubo-Massenformel über die Massen der Baryonen und der Mesonen; Coleman-Glashow-Beziehung).....	32
4.2 Theorie von Heisenberg.....	37
4.3 Flavor-Symmetrien und die Quarkmassen.....	39
4.4 Mesonen-Massen im Standardmodell.....	43
4.5 Baryonen-Massen im Standardmodell.....	45
4.6 Vorhersage der W- und Z-Massen aufgrund des GWS-Modells.....	46
4.7 Ursprung der Masse - Spekulationen über den Higgs-Mechanismus.....	46
5. Experimentelle, empirische Daten in Teilchenphysik (Physics Today).....	48
6. Abschließender Kommentar.....	53
7. Appendix.....	56
7.1 Bohr-Sommerfeld Theorie.....	56
7.2 Spekulationen über die Sommerfeldsche Feinstrukturkonstante.....	77
8. Literatur.....	81

*“Was soll ich hoffen,
wenn alles in Ordnung ist?”
- Voltaire -*

Vorwort

Herr Wolfgang Seelig und ich sprachen am 04.10.1997 über seine Darstellung eines 'Struktur-Modells der Materie-Teilchen und die Konstitution des Proton', die er zusätzlich zu seinem vorab übermittelten Papier vom 25.09.96 "Gedanken zur Geometro-Dynamik der Wirkung und zur Konstitution der Materie" als Ableitung aus seiner Theorie beschrieben hatte. Darüber hinaus erläuterte Herr Seelig seine Ideen über die Rolle der Rydberg-Konstanten als Basis-Länge in einer dynamischen Geometrie für die Bestimmung der Massen der Elementarteilchen *jeweils innerhalb eines Drehimpuls-Wirkungs-Quantums*.

Offensichtlich resultieren aus Herrn Seeligs Theorie die Massen von Elektron, Myon und Pion einfach als Vielfaches eines Ausdrucks, den man als Repräsentanten einer physikalischen 'Elementar-Struktur' interpretieren kann. Sein Papier führte nach einer eingehenden Diskussion mit mir zum Vorschlag, die sich erweisende Systematik im Aufbau der Elementarteilchen auf ihre Konsistenz zu überprüfen. Er sollte im Rahmen eines Drittmittel-Forschungsvorhabens am Institut für Thermodynamik der UniBwM realisiert werden. Am 9. Dezember 1996 erfolgte der Forschungsauftrag durch das Büro Seelig zunächst über ein halbes Jahr und beginnend zum Zeitpunkt, zu dem ein geeigneter Wissenschaftlicher Mitarbeiter seine Tätigkeit aufnehmen konnte. Gegenstand war das von Herrn Seelig ausgearbeitete 'Modell der Elementar-Struktur der Materien-Teilchen und Feld-Quanten'.

Unter meiner persönlichen Leitung begann Herr Dipl. Gymn. L. (M/Ph) Vilmos Balogh am 1. April 1997 mit den wissenschaftlichen Untersuchungen. Der am 30. September d.J. von Herrn Balogh vorgelegte Vorläufige Abschlußbericht ergab ausnahmslos eine ausgezeichnete Übereinstimmung der nach dem Seelig Modell theoretisch errechneten Massen der Leptonen und der die einzelnen Teilchen-Klassen charakterisierenden Elementarteilchen mit den aus der Fachliteratur bekannten experimentellen Werten. Einzelheiten dazu findet der Leser im 3. Kapitel dieses Berichtes.

Ich messe diesem Ergebnis eine besondere Bedeutung zu, da das Standard-Modell (SM) der Elementarteilchenphysik bekanntlich keine theoretische Berechnungsmethode für die Massen der Elementarteilchen kennt. Vielmehr müssen diese als empirische Parameter eingegeben werden. Nach der von Herrn Seelig verfaßten Einleitung ist von Herrn Balogh in Kapitel 1 der Status quo der Elementarteilchenphysik im Hinblick auf die derzeit geltende Klassifikation der Teilchen sowie der elementaren Kräfte zusammen mit den notwendigsten Erläuterungen tabellarisch zusammengestellt. Diese Informationen dienen vor allem als Referenz für die von ihm in Kapitel 3 angegebenen Massen, die nach Gleichungen der in Kapitel 2 von Herrn Seelig verfassten Kurzfassung seiner Theorie über die geometro-dynamische Elementar-Struktur der Materie für

eine Auswahl von Elementarteilchen berechnet wurden.

In Kapitel 4 wurde von Herrn Balogh die Entwicklung der bisherigen Theorien zur Elementarteilchen-Physik kurz dargelegt. Im Vordergrund standen die in den vergangenen Jahrzehnten diskutierten Gedanken und Ansätze zur theoretischen Erklärung und Berechnung von bereits bekannten und prognostizierten Massen. Die Darstellung berücksichtigt vor allem den derzeitigen Stand des SM bis hin zu den Spekulationen über den Higgs-Mechanismus. Als Ergänzung bietet Kapitel 5 eine Übersicht über die derzeitigen Zahlenwerte der fundamentalen physikalischen Konstanten.

Kapitel 6 enthält meine zusammenfassende Würdigung aller Ergebnisse des Drittmittelvorhabens. Herr Balogh verfaßte im Anhang zunächst eine kompakte Darlegung der klassischen Bohr-Sommerfeld Theorie des Wasserstoff-Atoms. Anschließend kommentierte er verschiedene zu der Sommerfeldschen Definition alternative Ansätze zur Berechnung sowie Interpretation der Feinstrukturkonstanten. Beide Themenkreise sind für das vertiefte Verständnis einiger Grundelemente der Seelig Theorie von Belang.

Ich danke den Herren Seelig und Balogh für ihre engagierte Mitwirkung bei der Durchführung der Untersuchungen und der Ausarbeitung dieses Forschungsberichtes.

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dieter Straub

Einleitung

Das Standardmodell (SM) der Elementarteilchen-Physik bietet noch nicht die grundlegende Theorie der Materie. Das Modell enthält allein 27 aus experimentellen Ergebnissen entnommene und also nicht aus theoretischen Prinzipien abgeleitete Parameter. Dazu gehören auch die nur experimentell bekannten Größen der Massen der Leptonen und der Quarks. Außerdem kann das SM die Gravitation nicht mit den bekannten drei Kräften verbinden oder vereinigen und gibt keine Antworten zur Natur der Gravitation und deren Quantifizierung.

Durch den nun auch experimentellen Nachweis des Top-Quarks wurde das Massenproblem in besonders auffälliger Weise erneut bewußt. Dabei geht es um die Frage, wieso die Massen der Elementarteilchen gerade die Werte haben, die sie haben und welcher 'Mechanismus' die Massenbildung herbeiführt. So arbeiten die Physiker daran, eventuell mit dem sogenannten Higgs-Mechanismus die Entstehung der Massen aller Fermionen und Bosonen zu erklären. Zwar kann im Standardmodell das scheinbar willkürliche Zustandekommen der Massen für die Eichbosonen W^{\pm} und Z^0 durch den Higgs-Mechanismus der schwachen Wechselwirkung - dessen Einzelheiten noch der Spekulation unterliegen - erklärt werden. Die Darstellung der Massen der geladenen Leptonen und Quarks gelingt indes nur durch zusätzliche 'Yukawa'-Kopplungen an das Higgs-Feld, wobei das damit verbundene Higgs-Teilchen aber (noch) nicht nachgewiesen werden konnte.

Auch beantwortet das Standardmodell nicht, ob die Neutrinos überhaupt eine Masse besitzen und wenn ja, wieso und in welcher Größe. Derzeit geht das SM von masselosen Neutrinos aus. Würde man den Neutrinos eine Masse zuordnen, so können sich die verschiedenen Neutrinogenerationen ineinander umwandeln. Zudem würde bereits ein geringer Massenwert für gewisse Kosmologiemodelle ausreichen, um die vom Standardmodell theoretisch favorisierte kritische Dichte des Universums zu erzielen.

Nach dem SM besteht alle Materie aus Fermionen (halbzahliger Eigendrehimpuls) und Bosonen (ganzzahliger Eigendrehimpuls). Die Fermionen bilden als die fundamentalen Bausteine der Materie zwei Teilchen-Klassen mit jeweils sechs Leptonen und sechs Quarks (mit ihren Antimaterie-Partnern) in jeweils drei Generationen. (Die Teilchen der Generationen unterscheiden sich nur in der jeweils größeren Masse, wobei die Teilchen der zweiten und dritten Generation sich nur in den Hochenergie-Physiklabors erzeugen lassen und wieder in die Fermionen der ersten Generation zerfallen, welche die Materie der uns umgebenden Welt konstituieren).

Die Eichbosonen übertragen die zwischen den Konstituenten wirkenden Kräfte, wobei die 'starke Kraft' die Quarks im Inneren des Protons bindet, die elektromagnetische Kraft den Bau der Atome bestimmt und die 'schwache' Kraft bei der Radioaktivität mitwirkt. (In der Quantengeometrodynamik (QGD) wird versucht, die Newtonsche Konstante der Gravitation durch eine Verschmelzung von Quantentheorie, spezieller und allgemeiner Relativität mit Hilfe der Planck-Länge einzubeziehen.)

Im Standardmodell werden Quarks und Leptonen zwar strikt getrennt behandelt, aber die sich zwischen Leptonen und Quarks zeigende Symmetrie führte zu der Vermutung einer gemeinsamen Sub-Struktur dieser bisher als punktförmig angesehenen Fermionen. Sie implizierte zudem die Vorstellung, daß es noch eine weitere Teilchenfamilie in einer neuen Ebene geben könne, die sowohl mit Quarks als auch mit Leptonen in Wechselwirkung tritt und so die Eigenschaften der Leptonen und der Quarks vereint. Die sogenannten Leptoquark-Bosonen würden eine neue Kraft vermitteln, die Quarks und Leptonen zu einer Einheit verschmelzen.

Auf der Suche nach dem letztlich 'Unenteilbaren', dem 'Atom', und dann dem 'Elementar-Teilchen' - also einem Teilchen ohne innere Struktur - ergaben die Stoßexperimente in Hochenergie-Beschleunigern, daß die Leptonen entweder wirklich punktförmig sind, oder aber einen kleineren Radius als 10^{-18} m besitzen müßten. Dabei würde einem Teilchen mit einem solchen Radius entsprechend der Unschärferelation Energien von >200 GeV zukommen.

Beim Nukleon ist jedoch ein Radius von $1,3 \cdot 10^{-15}$ m in diesen Messungen gut erkennbar, was einer de Broglie-Wellenlänge eines fast mit Lichtgeschwindigkeit c bewegten Teilchens mit einer Masse um 1 GeV entspricht. Für die im Nukleon eingeschlossenen Quarks ergeben sich dann wesentlich kleinere Radien als der Nukleonen-Radius. Falls nun den Quarks ebenfalls eine innere Struktur zukommen sollte - so müßten die Radien dieser 'innere Struktur Teilchen' der Quarks (und wegen der Symmetrie auch der Leptonen) erneut kleiner sein. Noch höhere Energien für dieses 'Leptoquark' müßten vorausgesetzt werden. Trotz der sich darin zeigenden Probleme und dem alle experimentell möglichen Energien übersteigenden Aufwand "...können wir jedoch nicht ausschließen, daß sowohl die Leptonen als auch die Quarks aus noch kleineren Objekten bestehen." (Fritzsche)

Das geometrodynamische Elementar-Struktur Modell der Materie (Seelig) geht davon aus, daß Wirkungs-Größe (h) und Wirkungs-Geschwindigkeit c fundamental für die Beschreibung der Materie sind, da für jedes Experiment die Definition der zu messenden Größe durch eine ihrer Wirkungen¹ erfolgt. Dieses zeigt sich auch in den Stoßexperimenten mit Elementarteilchen. Sie erfahren beim zentralen Stoß eine Impulsänderung $\Delta p \approx W/c$, die entsprechend der Heisenberg'schen Unschärferelation mit der entsprechenden Orts-Unbestimmtheit von $\Delta x \approx h/(2\pi p) \approx hc/(2\pi W)$ korrespondiert.

Dieser Zusammenhang führt zur Beziehung $hc = W \cdot \lambda_c$. Dementsprechend resultiert die durch die stehende Welle am Ort stationierte Schwingungs-Energie als umgekehrt proportional zu ihrer Compton-Wellenlänge. Folglich erweisen sich die im Drehimpuls punktförmig wirkende 'Träge Masse' von W/c^2 und ihr Dreh-Radius ($r = \lambda_c/2\pi$) als jeweils umgekehrt proportional zu hc ($hc \approx W/c^2 \cdot 2\pi r \cdot c^2$).

¹Die Größe Wirkung hat in der Relativistik eine ausgezeichnete Stellung, da sie die einzige physikalische Größe ist, die unabhängig von Bezugssystem, Ort und Zeit relativistisch invariant ist. Bei relativistischer - vierdimensionaler - Behandlung ist die Wirkung die einzige skalare Größe der Dynamik, ist also die einzige richtungsunabhängige, nicht räumlich orientierte dynamische Größe. Da außerdem die Wirkung als einzige gequantelte Größe die entscheidende Grundlage der quantenmechanischen Atomtheorien darstellt, vereint sie Relativitäts-Theorie und Quantenmechanik. "... Quantentheorie wie Relativitätstheorie weisen ... übereinstimmend auf die zentrale Bedeutung der Wirkung in der Physik..." hin. (Finkelburg: 219)

Alle Fermionen (also sowohl die Leptonen als auch die Quarks) besitzen einen Eigendrehimpuls von $\frac{1}{2} h/2\pi$ ('Spin' 1/2). Somit kann man von einem gemeinsamen Struktur-Element mit eindimensional gerichtetem Spin +1/2 ausgehen. Ein solches Struktur-Element der Fermionen und ihrer Wechselwirkungen müßte sich aus dem Teilchen-Paar der ersten Generation der Leptonen - also aus der Struktur des Elektrons und seines Elektron-Neutrino ableiten lassen.

Das Wasserstoff-Atom ist das einfachste Atom, da es nur ein Elektron enthält. Um dieses Elektron aus dem Wasserstoff-Atom zu entfernen, muß ihm eine Ionisations-Energie (Rydberg-Energie R_{∞} durch ein Photon mit der Energie $R_{\infty} = h\nu_{\infty}$ zugeführt werden, welche das Elektron in Form kinetischer Energie aufnimmt. Dieses Ionisationspotential von Wasserstoff für unendliche Protonenmasse entspricht dem Energie-Grundzustand für das Spektrum der elektromagnetischen Strahlung des Wasserstoff-Atoms. Es definiert indes auch die Basis-Schwingungs-Energie ($W_{\infty} = hc/\lambda_{c_{\infty}}$) der eigenständigen Welle des aus dem Atom gelösten freien Elektrons, wie es auch die bekannte Beziehung für die Rydberg-Energie $R_{\infty} = 1/2 \alpha^2 \cdot m_e \cdot c^2$ zeigt, welche diese über die Ruheenergie des Elektrons ausdrückt.

Die in ihrer Compton-Welle mit Lichtgeschwindigkeit transportierte Rydberg-Energie entspricht somit einer Ruhemasse, die um α^2 kleiner als die Ruhemasse des Elektrons ist. Letztere wird in ihrer de Broglie-(Materien-)Welle um α^2 langsamer bewegt als die Lichtgeschwindigkeit: $v_e = c \cdot \alpha^2$.

In der Seelig Theorie wird die Bedeutung und der Wert der bekannten Feinstruktur-Konstanten Alpha α physikalisch gedeutet, als *ein* Ausdruck der geometrodynamischen Struktur der Wirkung. Zur Unterscheidung von α im Bohr-Sommerfeld-Atommodell wird der Buchstabe ζ eingeführt. Dieser Elementarstruktur-Faktor 'Sigma ζ ' beschreibt *nter anderem* die Verkürzung des 'Compton-Radius' zum 'Materie-Radius'.

Damit zeigen sich Rydberg-Länge ($1,097373 \cdot 10^{-7}$ cm) und Rydberg-Dauer ($4,837769 \cdot 10^{-17}$ s) als 'natürliche' Maßeinheiten eines elementaren Maßsystems bzw. als elementare Ausdehnungs-Länge und elementare Zeit-Dauer (und nicht als *kleinste* Länge und *kürzeste* Zeit, wie vermutet wurde). Und mit den Dimensionen von h als $\text{gcm}^2\text{s}^{-1}$ zeigt sich auch die natürliche Einheit der Masse in Gramm. (Aus diesem natürlichen CGS System lassen sich dann auch nach dem Elementar-Struktur-System (ESS) der Theorie (Seelig) die elektromagnetische elementare Ladung e und die Gravitationskonstante G ins SI-System überführen).

Somit ergibt sich das einfachste Struktur-Element (Haplon) aus der Rydberg-Masse mal Sigma ($m_{\infty}\zeta$) mit der entsprechenden Materie-Wellenlänge im eindimensionalen Drehimpuls, gebildet aus der Compton-Wellenlänge geteilt durch Sigma ($\lambda_{c_{\infty}}\zeta^{-1}$). Aus der Verbindung und Vereinigung dieses Basis-Teilchens ergeben sich dann Flächen-Teilchen und Kugel-Teilchen jeweils aus der Multiplikation der Basis-Masse m_{∞} mit ζ^2 und ζ^3 , sowie mit deren spezifischen Verbindungs- und Vereinigungs-Bedingungen, (einschließlich der 'angeregten Zustände' der zweiten und dritten Generation der Leptonen und Quarks. Die punktförmig wirkenden Leptonen stehen also dem sich dynamisch entwickelndem Orts-Volumen der Quarks komplementär gegenüber).

Die Massen der Feld-Teilchen (Bosonen) zeigen sich dann entsprechend im jeweiligen Kraft-Feld von W_i/λ_{Ci} . Dabei ist die elementare im Drehimpuls zum Drehpunkt gerichtete Basis Spannkraft gleich $W_\infty/\lambda_{C\infty}$. Die elementare, wechselseitige Anziehungs-Kraft (Gravitation) zweier elementaren Massen im Abstand von zwei Wellenlängen ergibt sich also zu $W_i/4\lambda_{Ci}$. Für die Gluonen innerhalb des Nukleonen-Radius gilt dann entsprechendes.

1. Klassifikation der Teilchen und der Kräfte

Aus Sicht der heutigen Schulphysik besteht die gesamte Materie aus drei Sorten elementarer Teilchen¹: Leptonen, Quarks und Austauschteilchen. Es gibt sechs Leptonen (Spin 1/2). Sie gliedern sich in drei *Familien* (oder *Generationen*):

Leptonen	Ladung (Q) (in e)	Masse (m) (in MeV/c^2) (empirisch)	Wechselwirkung
Elektron (e)	-1	$0,51099907 \pm 0,00000015$	elektrom.+schwach
E.-Neutrino (ν_e)	0	0	schwach
Myon (μ)	-1	$105,658389 \pm 0,000034$	elektrom.+schwach
M.-Neutrino (ν_μ)	0	0	schwach
Tauon (τ)	-1	$1777,00 \pm 0,30$ (-0,27)	elektrom.+schwach
T.-Neutrino (ν_τ)	0	0	schwach

Zudem gibt es noch sechs Antileptonen - mit umgekehrten Vorzeichen. Das Positron hat die Ladung +1 und die Elektronenzahl -1.

Ganz ähnlich gibt es bei Quarks sechs "Flavors", welche nach Ladung, Seltsamkeit (S), Charm (C), Beauty (B) und Truth (T) klassifiziert werden². Die Quarks nehmen an der starken, elektromagnetischen und schwachen Wechselwirkung teil. Die Quarks (Spin 1/2) gliedern sich gleichfalls in drei Generationen:

¹Was man in der modernen Physik unter Elementarteilchen versteht, ist nicht eindeutig festgelegt. Siehe diesbezüglich das Zitat von W.Heisenberg in der Fußnote 4).

²Der Vollständigkeit halber sollte man "Upness" (U) und "Downness" (D) mit einbeziehen, obwohl diese Begriffe selten gebraucht werden.

Flavor	Ladung (in e)	Masse (spekulativ in MeV/c^2)		
		"Nackt"	Effektiv	
			in Baryonen	in Mesonen
down (d)	-1/3	7,5	363	310
up (u)	2/3	4,2		
strange (s)	-1/3	150	538	483
charm (c)	2/3	1100	1500	
bottom (b)	-1/3	4200	4700	
top (t)	2/3		>160000	

Wie bei den Leptonen wären in der Aufstellung der Antiquarks alle Vorzeichen umgekehrt. Zudem tritt jedes Quark und Antiquark in drei Farben (in "Rot", "Grün" und "Blau") auf, so daß es insgesamt 36 von ihnen gibt.

Das Quarkmodell (1964) (vorgeschlagen von *Murray Gell-Mann* und *George Zweig*³) besagt:

1. Jedes Baryon besteht aus drei Quarks (und jedes Antibaryon aus drei Antiquarks);
2. Jedes Meson setzt sich aus einem Quark und einem Antiquark zusammen.⁴

Mit diesen zwei Regeln kann man den "Quarkinhalt" der bekannten Elementarteilchen auflisten. Folgt man der historischen Entwicklung und berücksichtigt die Spineigenschaft, so ergeben sich

³Eine ausführliche Bibliographie über das Quarkmodell findet sich bei O.W.Greenberg, *Am. J.Phys.* **50**, 1074 (1982). Viele der heute schon "klassischen" Publikationen (einschließlich der ursprünglichen, unveröffentlichten von G.Zweig) sind in D.B.Lichtenberg und S.P.Rosen (Hrsg.): *Developments in the Quark Theory of Hadrons* (Nonantum: Hadronic Press, 1980) nachgedruckt. Eine knappe zusammenfassende Darstellung findet man in: Simonyi (1990), S.527-528.

⁴Diese Auffassung steht in klarem Widerspruch zur Meinung von W. Heisenberg: "Der Begriff des "Teilens" hatte experimentell seinen Sinn verloren. *Der Unterschied zwischen elementaren und zusammengesetzten Teilchen ist damit grundsätzlich verschwunden.* ... Es ist ja unvermeidlich, daß wir eine Sprache benutzen, die aus dieser traditionellen Philosophie stammt. Wir fragen: Woraus besteht das Proton? Kann man das Elektron teilen oder ist es unteilbar? Ist das Lichtquant einfach oder ist es zusammengesetzt? Usw. Aber alle diese Fragen sind falsch gestellt, weil die Wörter "teilen" oder "bestehen aus" weitgehend ihren Sinn verloren haben." (Heisenberg, W. (1975), in: *Gesammelte Werke*, Abteilung C, Band III, S. 508; bzw. S.511.)

die vier Gruppen: *Baryonen (Spin 1/2)*, *Baryonen (Spin 3/2)*, *pseudoskalare Mesonen (Spin 0)* und *Vektormesonen (Spin 1)*. Folgende Tabellen geben neben dem Quarkinhalt auch die Ladung und die empirische Massenwerte an⁵.

Baryonen (Spin 1/2)

Baryon	Quarkinhalt	Ladung	Masse (MeV/c ²)
Proton (<i>p</i>)	<i>uud</i>	+1	938,27231±0,00028
Neutron (<i>n</i>)	<i>udd</i>	0	939,56563±0,00028
Lambda (Λ)	<i>uds</i>	0	1115,684±0,006
Sigma-Plus (Σ^+)	<i>uus</i>	+1	1189,37±0,07
Sigma-Null (Σ^0)	<i>uds</i>	0	1192,55±0,08
Sigma-Minus (Σ^-)	<i>dds</i>	-1	1197,436±0,033
Ksi-Null (Ξ^0)	<i>uss</i>	0	1314,9±0,6
Ksi-Minus (Ξ^-)	<i>dss</i>	-1	1321,32±0,13
Lambda-C+ (Λ_c^+)	<i>udc</i>	+1	2284,9±0,6

Baryonen (Spin 3/2)

Baryon	Quarkinhalt	Ladung	Masse (MeV/c ²)
Delta (Δ)	<i>uuu, uud, udd, ddd</i>	+2; +1; 0; -1	1230-1234 (\approx 1232)
Sigma-Stern (Σ^*)	<i>uus, uds, dds</i>	+1; 0; -1	1382,8±0,4 (+) 1383,7±1,0 (0) 1387,2±0,5 (-)
Ksi-Stern (Ξ^*)	<i>uss, dss</i>	0; -1	1531,80±0,32 (0) 1535,0±0,6 (-)
Omega- (Ω^-)	<i>sss</i>	-1	1672,45±0,29

⁵Die empirischen Werte wurden entnommen vom *Physical Review D*, 1 July 1996, Part I *Review of Particle Physics*, 54, Nr. 1

Pseudoskalare Mesonen (Spin 0)

Meson	Quarkinhalt	Ladung	Masse (MeV/c ²)
Pion (π^\pm)	$u\bar{d}, d\bar{u}$	+1; -1	139,56995±0,00035
Pion (π^0)	$(u\bar{u}-d\bar{d})/\sqrt{2}$	0	134,9764±0,0006
Kaon (K^\pm)	$u\bar{s}, s\bar{u}$	+1; -1	493,677±0,016
Kaon (K^0, \bar{K}^0)	$d\bar{s}, s\bar{d}$	0; 0	497,672±0,031
Eta-Meson (η)	$(u\bar{u}+d\bar{d}-2s\bar{s})/\sqrt{6}$	0	547,45±0,19
η'	$(u\bar{u}+d\bar{d}+s\bar{s})/\sqrt{3}$	0	957,77±0,14
D^\pm	$c\bar{d}, d\bar{c}$	+1; -1	1869,3±0,5
D^0, \bar{D}^0	$c\bar{u}, u\bar{c}$	0; 0	1864,5±0,5
$D_s^\pm (F^\pm)$	$c\bar{s}, s\bar{c}$	+1; -1	1968,5±0,6
B^\pm	$u\bar{b}, b\bar{u}$	+1; -1	5278,9±1,8
B^0, \bar{B}^0	$d\bar{b}, b\bar{d}$	0; 0	5279,2±1,8
B_s^0, \bar{B}_s^0	$s\bar{b}, b\bar{s}$	0; 0	5369,2±2,0
η_c	$c\bar{c}$	0	2979,8±2,1

Vektormesonen (Spin 1)

Meson	Quarkinhalt	Ladung	Masse (MeV/c ²)
Rho-Meson (ρ)	$u\bar{d}, d\bar{u}, (u\bar{u}-d\bar{d})/\sqrt{2}$	+1; -1; 0	768,5±0,6
$K^{*\pm}$	$u\bar{s}, s\bar{u}$	+1; -1	891,59±0,24
K^{*0}	$d\bar{s}, s\bar{d}$	0; 0	896,10±0,28
Omega (ω)	$(u\bar{u}+d\bar{d})/\sqrt{2}$	0	781,94±0,12
Phi (Φ)	$s\bar{s}$	0	1019,413±0,008
J/Ψ	$c\bar{c}$	0	3096,88±0,04
$D^{*\pm}$	$c\bar{d}, d\bar{c}$	+1; -1	2010,0±0,5
D^{*0}	$c\bar{u}, u\bar{c}$	0; 0	2006,7±0,5
Υ	$b\bar{b}$	0	9460,37±0,21

Es gibt vier fundamentale Kräfte in der Natur: die *starke*, die *elektromagnetische*, die *schwache* und die *gravitative*. Sie sind in der Reihenfolge der Stärke⁶ aufgeführt:

Kraft	Stärke	Theorie	Feldquant
<i>Stark</i>	10	Chromodynamik	Gluon
<i>Elektromagnetisch</i>	10^{-2}	Elektrodynamik	Photon
<i>Schwach</i>	10^{-13}	Flavordynamik	W und Z
<i>Gravitativ</i>	10^{-42}	Geometrodynamik	Graviton

Zu jeder dieser Kräfte gehört eine physikalische Theorie. Die klassische Theorie der Schwerkraft ist Newtons Gravitationsgesetz. Ihre relativistische Verallgemeinerung ist Einsteins Allgemeine Relativitätstheorie. Eine befriedigende Quantentheorie der Schwerkraft steht noch aus. Das größte Problem ist dabei, daß die Gravitation relativ einfach zu schwach ist. Die die elektromagnetische Kraft beschreibende Theorie wird *Elektrodynamik* genannt. Ihre klassische Formulierung gelang Maxwell vor über hundert Jahren. Diese Theorie war bereits mit der Speziellen Relativitätstheorie vereinbar. Die Quantentheorie der Elektrodynamik wurde von *Schinitschiro Tomonaga*, *Richard Feynman* und *Julian Seymour Schwinger* in den 40er Jahren entwickelt. Die schwache Kraft, die z.B. für den nuklearen Betazerfall verantwortlich ist (ebenso für den Zerfall des Pions, Myons und vieler der sogenannten seltsamen Teilchen), war der klassischen Physik nicht bekannt. Ihre theoretische Beschreibung erfolgte von Anfang an mit Hilfe der relativistischen Quantenmechanik. Die erste Theorie wurde im Jahre 1933 von *E. Fermi* vorgelegt; *Tsung-Dao Lee* und *Chen Ning Yang*, *Murray Gell-Mann* und *R. Feynman* und viele andere verfeinerten diese Theorie in den Fünfzigern⁷, und in den Sechzigern gaben ihr *Lee*

⁶Hier folgen wir der Aufstellung von Griffiths, D. (1996), S. 61, eine andere "Stärkeinteilung" ist angegeben in: Simonyi (1990), S. 514, Abbildung 5.5-17; bzw. in: Gribbin, J. (1996), S. 153-154: "The relative strengths of the four forces cover an enormous range. In units in which the strength of the strong force is 1, the strength of the electromagnetic force is 10^{-2} (Just 1 per cent of the strength of the strong force), the strength of weak force is 10^{-6} (one-millionth the strength of the strong force) and the strength of gravity is a mere 10^{-40} . This means, for example, that the electromagnetic force of repulsion between two electrons is 10^{38} times greater than the gravitational force of attraction between the same two electrons. Gravity is so extraordinarily weak that it plays virtually no part in interactions involving pairs of fundamental particles or a few particles."

⁷Beiträge zu der geschichtlichen Entwicklung der Theorie findet man in: L.M.Brown et alii (1989) S.359-496

Sheldon Glashow, Steven Weinberg und Abdus Salam ihre heute bekannte Form (G-W-S-Modell) (Vgl. Simonyi (1990) S.527-528). Das G-W-S-Modell behandelt schwache und elektromagnetische Wechselwirkungen als unterschiedliche Erscheinungsformen einer einzigen *elektroschwachen* Kraft und reduziert in diesem Sinne die vier Kräfte auf drei.

Jede dieser vier Elementarkräfte ist je ein charakteristisches Austauscheteilchen zugeordnet, die die entsprechende Paarwechselwirkung repräsentieren: das Photon für die elektromagnetische Kraft, zwei W's und ein Z für die schwache Kraft, das Graviton (vermutlich) für die Gravitation. In *Yukawas* ursprünglicher Theorie (1934) war das Austauscheteilchen der starken Kraft das Pion. Mit der Entdeckung der sogenannten schweren Mesonen konnte dieses Bild nicht weiter gehalten werden. Protonen und Neutronen konnten nur Rhos und Etas und K's und Phi's u.s.w. austauschen.

Das Quarkmodell bedeutete eine radikale Revision der Ansichten über Elementarteilchen: wenn Protonen, Neutronen und Mesonen komplizierte zusammengesetzte Strukturen wären, dann gibt es keinen Grund für die Annahme, daß ihre Wechselwirkung untereinander *einfach* seien. (Vgl. Griffiths, D.(1996), S.51). Um die starke Kraft zu studieren, muß man zunächst die typische Wechselwirkung zwischen individuellen Quarks betrachten. Dabei erhebt sich die Frage: Welche Teilchen werden in einem Prozeß der starken Wechselwirkung zwischen zwei Quarks ausgetauscht? Diese hypothetischen Austauscheteilchen werden unter der Sammelbezeichnung *Gluon* zusammengefaßt. Im Standardmodell gibt es acht davon. Die Gluonen selbst tragen eine Farbladung (wie die Quarks) und existieren daher nicht als isolierte Teilchen.(Vgl. Feynman, R. (1985), S.136-137) Es gibt indirekte experimentelle Hinweise auf die Existenz von Gluonen: Die sogenannten tiefelastischen Streuexperimente zeigten, daß ca. die Hälfte des Impulses des Protons von elektrisch neutralen Bestandteilen getragen wird, vermutlich (!!?) von den Gluonen. Darüber hinaus kann die charakteristische *Jetstruktur* der Proton-Streuung bei hohen Energien⁸ über den Zerfall von "fliegenden" Quarks und Gluonen erklärt werden.⁹ Glueballs mögen auch beobachtet worden sein.¹⁰ Niemand kann indes mit gutem Gewissen behaupten, daß das experimentelle Beweismaterial heute wirklich zwingend ist.

⁸Vgl. *Phys. Rev. D. Particles and Fields, 1 July 1996 Part I, Vol.54* S.186

⁹Vgl. M.Jacob und P.Landshoff in: *Scientific American*, März 1980

¹⁰Vgl. K.Ishikawa in: *Scientific American*, November 1982

Was die Theorie der starken Kraft (QCD) betrifft, ist die Anzahl der Dinge, die man zur Zeit tatsächlich *berechnen* kann, peinlich gering. Es gibt einige Versuche, die die vorhandenen Probleme lösen wollen¹¹. Aber alle diese Unternehmungen haben "mehr mit der internen Stimmigkeit des Modells als mit den experimentellen Daten zu tun. Wenn die QCD die richtige Theorie der starken Wechselwirkung ist, wo ist dann ihre Lösung *klassischer* Probleme der Hadronphysik? Warum berechnen wir nun nicht die Massendifferenz von Neutron und Proton oder die Kraft zwischen zwei Protonen oder den Wirkungsquerschnitt für die Pion-Nukleon-Streuung oder die Bindungsenergie des Deuterons? Die Schwierigkeit liegt darin, daß alle diese einfach klingenden Fragen komplizierte Vielkörperprobleme sind. Ich vermute, daß wir mit der Zeit Wege finden werden, solche Angelegenheiten mit der QCD zu behandeln, genau so, wie physikalische Chemiker gelernt haben, die Quantenmechanik auf große Moleküle anzuwenden. Aber für den Augenblick müssen wir uns mit einfacheren Errungenschaften bescheiden." (Griffiths, D. (1996), S.325).

Zusammenfassend: "All dies ergibt zusammen eine peinlich große Anzahl angeblich "elementarer" Teilchen: 12 Leptonen, 36 Quarks und 12 Austauscheteilchen (ich werde das Graviton nicht zählen, da die Gravitation nicht im Standardmodell enthalten ist). (...) Die Glashow-Salam-Weinberg-Theorie verlangt nach mindestens einem *Higgs*-Teilchen, so daß wir es mit einem Minimum von 61 Teilchen zu tun haben. Durchdrungen von unserer Erfahrung zuerst mit Atomen und später mit Hadronen haben viele Leute vorgeschlagen, daß wenigstens einige dieser 61 Zusammensetzungen aus noch elementareren Subteilchen sein müssen. (...) Solche Spekulationen liegen jenseits des Standardmodells (...) Persönlich denke ich nicht, daß die große Anzahl "elementarer" Teilchen im Standardmodell für sich genommen alarmierend ist, denn sie hängen eng zusammen. Die acht Gluonen sind zum Beispiel abgesehen von ihrer Farbe identisch, und die zweite und dritte Generation ahmen die erste nach." (Griffiths, D. (1996), S.52)

¹¹Vgl. Griffiths, D. (1996), S.325; bzw. F.Halzen und A.D.Martin: *Quarks and Leptons*, New York, Wiley, 1984, Kap. 10 und 11; C.Quigg: *Gauge Theories of the Strong, Weak and Electromagnetic Interactions*, Reading, MA, Benjamin/Cummings, 1983, Abschn. 8.4 und 8.5

2. Theorie von W.Seelig zur geometro-dynamischen Elementar-Struktur der Materie

Das Wasserstoff-Atom ist das einfachste Atom, da es nur ein Elektron enthält. Um dieses eine Elektron aus dem Wasserstoff-Atom zu entfernen, muß diesem eine Energie \bar{R}_∞ (Ionisations-Energie) zugeführt werden. Somit entspricht $-\bar{R}_\infty$ der Energie des Grund-Zustands der elektromagnetischen Atom-Strahlung mit der Grund-(Rydberg-)Frequenz $\nu_\infty = \bar{R}_\infty / h$ und der Länge der entsprechenden Compton-Welle von $\lambda_{C_\infty} = hc / \bar{R}_\infty$. Mit W_∞ für $-\bar{R}_\infty$ zeigt sich

$$hc = W_\infty \cdot \lambda_{C_\infty} \tag{1}$$

In einer elektromagnetischen *Strahlung* wird der Impuls (p) der jeweiligen Schwingungs-Energie (W) der Compton-Welle mit Lichtgeschwindigkeit c *linear* 'verschoben' ($W = p \cdot c$). Für den Energie Grundzustand des Atoms bedeutet dies, daß die stehende Compton-Welle im *Dreh-Impuls* ($h/2\pi$) *eines* Wirkungs-Quants mit Lichtgeschwindigkeit (c) *scheinbar* auf einem Kreisweg in sich zurück läuft. Dabei wird der Impuls $p_\infty (= W_\infty / c)$ längs des Krümmungs-Radius von $r_\infty = \lambda_{C_\infty} / (2\pi)$ in der Zeit von $t_\infty = 1/2\pi\nu_\infty$ linear verschoben, womit Wirkungs-Weg und -Dauer jeweils *eines* Wirkungs-Quantums quantifiziert werden:

$$\frac{hc}{2\pi} = \frac{W_\infty}{c} \cdot r_\infty \cdot c \tag{2}$$

Diese Zeit benötigende (nicht spontane - 'zeitlose' - also nicht unmittelbare) räumliche Ausbreitung der Wirkung zeigt, daß diese gegen einen Widerstand erfolgt, wobei wir einen Widerstand gegen das Herbeiführen einer Änderung auf die sogenannte Trägheit desjenigen zurück führen, das den Widerstand ausübt. Die gleichförmig konstante Impuls-Verschiebung mit Lichtgeschwindigkeit (Wirkungs-Bewegung) erweist sich also als 'träge', was besagt, daß ihre konstante Linear-Geschwindigkeit das Resultat einer Beschleunigung (gegen den entsprechenden Ausbreitungs-Widerstand¹ R) ist.^A

Die Ausbreitung einer Wirkung erfolgt radial kugelförmig in alle Richtungen. [Das Licht breitet sich in allen Inertialsystemen in allen Richtungen mit der gleichen Vakuumgeschwindigkeit c aus, so daß also eine Kugelwelle in jedem Inertialsystem eine Kugelwelle bleibt.]

Für diese radialsymmetrische Wirkungs-Ausbreitung ergibt sich so die Vorstellung, daß sich ein während der Wirkungs-Dauer über einen bestimmten Radius mit Lichtgeschwindigkeit c aufspannendes bestimmtes Volumen ausbildet. Letzteres charakterisiert - in entgegengesetzter

^A Sh. Seelig, Wolfgang: 'Über die erkenntnistheoretische Definition der Kraft als gemeinsame Grundlage der Relativität und der Quantelung'. Studium Generale 24(1971) 1150-1159, Springer-Verlag, Berlin 1971.

Sh. Seelig, Wolfgang: 'Wille, Vorstellung und Wirklichkeit'. Bouvier Verlag Herbert Grundmann, Bonn 1980. Seiten 95 - 107.