

Der Weg der Physik – Die Abenteuer der Forschung

I. Physikalische Erkenntnis

Was ist Physik?

Gegenstand: Beschäftigung mit den Naturphänomänen

Vorgang: systematische Beobachtung, Aufstellung von Naturgesetze, Aufbau von Theorien

Mittel: Mathematik

Physik fängt mit Beobachtung an und endet mit Beobachtung. Dazwischen liegt Erkenntnis.

Erkenntnis entsteht durch:

Annahmen über den Zusammenhang zwischen den Phänomänen,
Erkennen/Aufstellen von Naturgesetze,
Aufbau von Theorien

Die Basis der physikalischen Erkenntnis ist das Ausdrücken dieser Zusammenhänge durch reelle Zahlen als mathematische Relationen.

Beispiel: Anziehung, Coulomb Gesetz, Maxwell Theorie

Beispiel: Wir beobachten z.B. dass 2 Ladungen sich anziehen oder abstoßen mit einer Kraft, die von Abstand und Größe der Ladungen abhängt. Das ist empirische Erkenntnis



(durch Beobachtung der Phänomene gewonnen). Wir messen und finden folgende Regelmäßigkeit:

$$\text{Kraft} \propto \frac{\text{Ladung}_1 \cdot \text{Ladung}_2}{(\text{Abstand})^2}, \text{ kurz (und damit übersichtlicher) } K = \text{const} \times \frac{Q_1 Q_2}{D^2} \quad (1)$$

Das ist das empirische Coulomb Gesetz. Aber schon hier sind wir über die reine Beobachtung hinaus gegangen (die nur die Änderung der Lagen betrifft), haben ein neues Konzept, *Kraft*, eingeführt und mit seiner Hilfe eine Gesetzmäßigkeit ausgedrückt. So haben wir einen ersten Schritt in Richtung Verständnis gemacht.

Wurden einmal viele empirische Gesetze gefunden, versucht man sie in einem zusammenhängenden Gesamtschema zu verbinden. So entdeckte z.B. Maxwell im XIX Jahrhundert, dass die empirischen Gesetze der elektrischen und der magnetischen Phänomene in einem wunderschönen mathematischen Schema zusammengefasst werden können, der **Theorie der Elektrodynamik**. Aber ein solcher Schritt ist eine enorme Leistung. Denn die empirischen Gesetze werden nicht einfach aneinander gereiht, sondern müssen sich in einem exakten *mathematischen Schema* verzahnen. Und dabei werden auch neue Konzepte eingeführt – etwa, die *elektrischen* und *magnetischen Felder* -, es werden neue Beobachtungen vorausgesagt – z.B. die Radiowellen – und weitere Erkenntnisse erzeugt – etwa, dass das Licht selbst eine *elektromagnetische Welle* ist.

II. Physikalische Theorie

Beispiel für die heutige Verständnis der physikalischen Theorie und ihres Ziels (Duhems Ansatz):

1. Die einzige Möglichkeit, eine physikalische Theorie selbständig zu definieren ist, sie als mathematisches Schema, dessen Symbole auf physikalischen Größen hindeuten, zu definieren. Als Validation Kriterium gilt (nebst mathematische Konsistenz) nur die Übereinstimmung mit den Phänomenen.

2. Die Theorie erlaubt eine

A: *Ökonomie des Denkens*, die sich in Reduktion in mehrere Schritte ausdrückt (von Beobachtungen zu Gesetze, von Gesetzen zu Theorien; vgl. Cassirer: *Massaussagen, Gesetzaussagen, Prinzipienaussagen, allg. Kausal Gesetz*).

3. Diese Reduktion ist ein fortschreitendes Prozess (in der Entwicklung der Physik).

4. Eine Theorie ist *nicht nur eine ökonomische Darstellung der Gesetze*, sondern auch eine

B: *Klassifikation der Regeln und Gesetze*, wodurch diese als Instrumenten geordnet werden.

5. Eine erfolgreiche Theorie schafft Ordnung und erreicht Vollkommenheit, was in uns die Überzeugung erzeugt, dass eine *naturgemäße Klassifikation* erzielt wurde und keine künstliche Ordnung.

6. Der Ziel einer physikalischen Theorie ist daher

C: *anstatt Erklärung, eine Naturgemäße Klassifikation was suggeriert, dass die logische Ordnung in der Theorie der Reflex einer ontologischen Ordnung ist.* („Übergeordneter Ziel“ gegenüber 1.)

7. Eine gute Theorie macht Aussagen für noch nicht beobachteten Phänomene (Fresnel, S.34). Das ist eine Bestätigung des Charakters als naturgemäße Klassifikation, denn einfache *Ökonomie des Denkens* kann sich nur darauf beziehen, was man beobachtet *hat*.

8. Die Geschichte der Physik zeigt in wesentlichem Kontinuität und Fortschritt, was den *NK*-Charakter bestätigt.

III. Physikalische Begriffe: Symbole

Beispiele:

- *Helmholtz*-she Ansatz: aus der Natur *gelesene* Bedeutungen: **(Übersetzung)**

„Die Sinnesempfindungen sind für unser Bewußtsein Zeichen, deren Bedeutung verstehen zu lernen, unserem Verstande überlassen ist“ (Helmholtz 1896).

- *Hertz*-she Ansatz: unter Constraints *generierte* „Bilder“: **(Konstruktion)**

„Wir machen uns innere Scheinbilder oder Symbole der äußeren Gegenstände, und zwar machen wir sie von solcher Art, daß die denknotwendigen Folgen der Bilder stets wieder Bilder seien von den naturnotwendigen Folgen der abgebildeten Gegenstände [... sie] sind unsere Vorstellungen von den Dingen; sie haben mit den Dingen die eine wesentliche Übereinstimmung, welche in der Erfüllung der genannten Forderung liegt, aber es ist für ihren Zweck nicht nötig, daß sie irgend eine weitere Übereinstimmung mit den Dingen hätten.“ (Hertz, 1894).

IV. Grundlegung: die antike Naturphilosophie

6. - 5. Jh. BC - 2. Jh. AD

Geprägt durch:

Suche nach allgemeine Prinzipien

Kompatibilität zwischen Natur und Denken

Empirie gestützt auf Beobachtung (weniger auf Experiment)

Theorie gestützt auf Logik und Mathematik

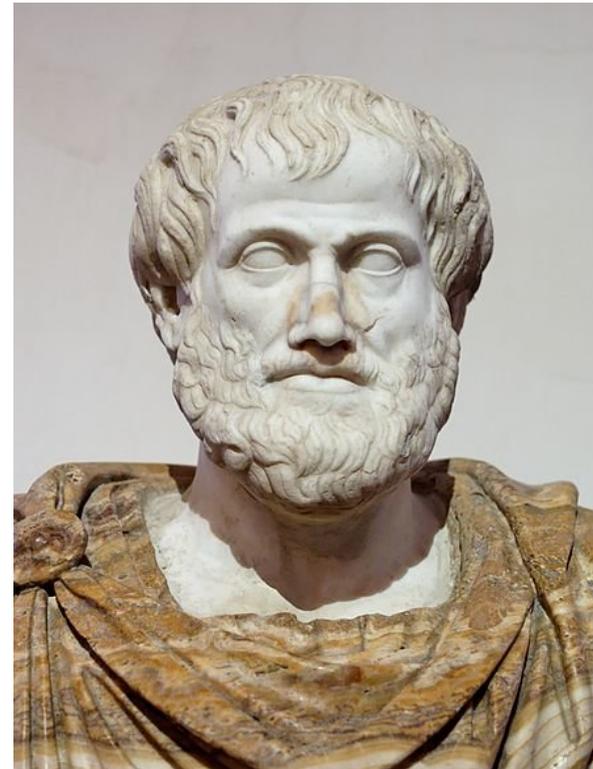
Beispiele:

Philolaos, Zenon, Anaxagoras (5. Jh.BC) (1) (2)

Aristoteles (4. Jh.BC)

Archimedes, Aristarch von Samos, Euklid (3. Jh.BC)

Claudius Ptolemäus (2.Jh.AD)



Aristoteles (384 - 322 BC)

Schüler und Freund Platons, Mitglied der platonischer Akademie

Athener Lykeion Gymnasium

Bewegtes Leben

Charakteristisch: unermüdliche Versuch Gegensätze ins Gespräch zu bringen und Synthesen zu leisten

Werk: (Vorlesungen)

- (Kosmologie): "Über den Himmel", "Über entstehen und vergehen", "Meteorologisches",
- (Biologie): "Tierkunde", "Über die Teile der Tiere", "Über die Fortbewegung der Tiere", "Über die Fortpflanzung der Tiere" und (verloren) "Über die Pflanzen",
- (Psychologie): "Eudemos" (Dialog), "Über die Seele" und "Kleine naturkundlichen Schriften".
- "Metaphysik" allgemeine naturphilosophische und erkenntnistheoretische Fragen

Das Problem der Seiendheit, oder Substanz.

Das Nachprüfen der aus der Sprachanalyse entstandenen Kategorientafel an der Wirklichkeit.

Die Anwendbarkeit des logischen Satzes des Widerspruchs auf den Bereich der Phänomene.

Die Vertiefung der Ursachen-Lehre und des Begriffspaars Möglichkeit/Wirklichkeit.

Die metaphysischen Aspekte der Frage nach dem ersten Beweger.

Die metaphysischen Aspekte des Geistes.

"wir meinen, etwas zu wissen, wenn wir glauben, sowohl die Ursache zu kennen, aufgrund derer ein Ding ist (und zu wissen, dass diese seine Ursache ist), als auch, dass es nicht anders sein kann"

und

"dann muss das beweisende Wissen sich auf etwas gründen, was wahr und primär und unmittelbar ist, und das muss bekannter als die Schlussfolgerung sein, ihr vorausgehen und ihre Ursache sein; denn so werden die Prinzipien dem angemessen sein, was bewiesen wird."

„Ontologisierung“ der Denkgesetze

Naturbegriff: Veränderung, Kontinuität, Zweckmässigkeit

I. Buch:

Die Prinzipien der Natur

1. Die Wichtigkeit, die Prinzipien der Natur zu unterscheiden
2. Wie viel Prinzipien existieren? Es gibt entweder 2 oder 3 Prinzipien
(die einfache Opposition und das, worauf die Opposition sich bezieht; die fundamentale Opposition ist Mangel und Überschuss und die Einheit ist das, worauf Mangel und Überschuss sich beziehen)
3. Die richtige Sicht über die Prinzipien

II. Buch:

Das Studium der Natur

1. Ein natürlicher Gegenstand hat eine Natur. Ist diese sein Stoff oder seine Form? (Antwort: beides)
2. Das Ziel der Naturwissenschaft (Dieses ist, die Natur der Dinge finden – d.h., ihre Zwecke)
3. Die 4 Arten von Ursachen (Stoff, Form, Wirkung - oder Bewegungsursprung - und Zweck)
4. Frage des Zufalls (Schicksal, Ungefähr: Nebenwirkungen, „auf niedrigerer Stufe als Vernunft und Natur“ P 198a)
5. Finalursache ist die wichtigste Ursache in der Natur

III. Buch:

A: Veränderung

1. Definition
2. Veränderung findet statt im veränderten Gegenstand, nicht im Veränderungsagent

B: Unendlichkeit

1. Die Probleme der Unendlichkeit
2. Unendlichkeit ist keine Substanz
3. Der Sinn, in dem Unendlichkeit existiert (nämlich, potenziell: wo „außerhalb jeder herausgegriffenen Größe noch etwas angetroffen wird“, P 207; also nichts Ganzes)
4. Antworten zu den Argumenten für eine aktuelle Unendlichkeit

IV. Buch:

A: Ort

1. Probleme über den Ort
2. Der Ort eines Dinges ist weder sein Stoff noch seine Form
3. Was ist ein Ort (die innerste – nächste – unbewegte Grenze des umliegenden Körpers)
4. Die Welt als Ganzes ist nicht in einem Ort

B: Leere

1. Argumente pro und contra
2. Was „Leere“ bedeutet
3. Beweis, dass es keine Leere getrennt von Körpern gibt
4. Die richtige Erklärung von Kompression und Expansion (nämlich, als stetige Änderungen)

C: Zeit

1. Probleme über Zeit
2. Was Zeit ist (Zahl – Maß – der Bewegung – der Änderung – nach dem Früher und Später und damit auch stetig – P 220)
3. Was ist es "in der Zeit zu sein"?
4. Definition verschiedener zeitlicher Termini

V. Buch:

Veränderung

1. Unterschied zwischen Veränderung und Variation (oder Bewegung; das letztere findet zwischen zwei existierenden Größen statt – P 225)
2. Verschiede Arten von Bewegung (entsprechen den Kategorien von Qualität, Quantität und Ort)
3. Oppositionen (Zwischen Bewegungen, zw. Ruhe und Bewegung)

VI. Buch:

Stetigkeit

1. Beweis, dass kein Kontinuum aus unteilbaren Teilen besteht, Beweis, dass Abstand, Zeit und Bewegung Kontinua sind
2. Ein Jetzt ist unteilbar, daher bewegt sich nichts in einem Jetzt
3. Veränderliches: Gegenstand, Zeit, Veränderung sind alle teilbar
4. Was auch immer sich ändert, hat sich schon verändert
5. Zeno's und andere Argumente „sind für uns keine Schwierigkeit“

VII. Buch:

Verschiedene Punkte bezüglich Änderung

1. Alles, was sich ändert, wird von etwas geändert (bewegt, etc)
2. Veränderungsagent und veränderter Gegenstand müssen in Kontakt sein
3. Nur wahrnehmbare Qualitäten können sich ändern oder etwas ändern
4. Kraft ist zum Gewicht wie Abstand zur Zeit (aber: Halbe Kraft mag gar keinen Effekt haben..)

VIII. Buch:

Ewige und unveränderliche (unbewegliche) Ursache aller Änderungen

1. Bewegung hat immer existiert (und wird existieren)
2. Es gibt bewegte und ruhende Dinge
3. Jedes bewegte Ding wird von etwas bewegt
4. Es muss einen ersten Beweger geben, der ewig und unbewegt ist
5. Die primäre Art von Änderung ist Bewegung
6. Die einzige Art von Änderung, die stetig und ewig sein kann ist die Kreisbewegung
7. Der ewige erste Beweger hat keine Größe und befindet sich an der äußeren Grenze des Universums

Es beeindruckt hier sowohl die Sorgfalt und Wahrhaftigkeit der Diskussion, als auch der Synthesegeist. Aber auch Begrenzungen.

V Von Ptolemäus zum Kopernikus

Auseinandersetzung mit der aristotelischen Naturphilosophie

Impetustheorie: von Philoponos (6. Jh), Avicenna (10.Jh.), Buridan (14. Jh) (3)

Optik, Kontinuum als Vorstellung: Alhazen (10. Jh.) (4)

Auseinandersetzung mit dem Ptolemäischen Weltbild

Averroes (12. Jh.) (5)

Mathematik als Grundlage der Wissenschaft (6)

Averroes, Roger Bacon (13. Jh.)

Kopernikus (1473-1543)

Beweglichkeit der Erde (7)

Einfachheit der Bahnen

Giordano Bruno (1548-1600): Infinitistische Kosmologie

William Gilbert (1544-1603): Erdmagnetismus

Evangelista Torricelli (1608-1647), Blaise Pascal (1623/1662): mechanistische Erklärung des horror vacui

VII Beispiel: Kopernikanische Revolution – Einstein'sche Revolution

Geschichte:

- Heliozentrische Systeme: Aristarchos (3. Jh. BC), Aryabhata (6. JH. AD)
- Geozentrische Systeme: dominant seit Antike bis Mittelalter: Ptolemäus (2. Jh.AD)
- Hybrid-Modelle: Tycho Brahe (1546-1601)
- Kopernikus (1473-1543): kinematisches Modell (hat nur Kreise)
- Kepler (1571-1630): kinematische Gesetze, Ellipse, Sonne in Zentrum
- Galilei (1564-1642): freier Fall, Symmetrien, Äquivalenzprinzip
- Newton (1642-1726) , Gesetze der Bewegung, Gravitationskraft
- Maxwell (1831-1879), Elektrodynamik (nicht-galileische Symmetrie)
- Einstein (1879-1955), relativitätstheorien

Entscheidend: a) Dynamik b) Entwicklung

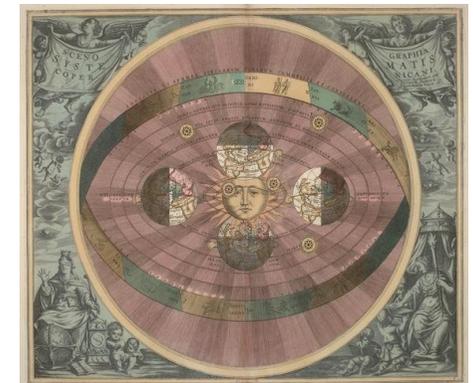
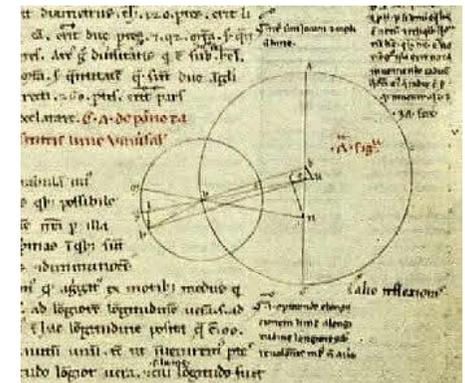
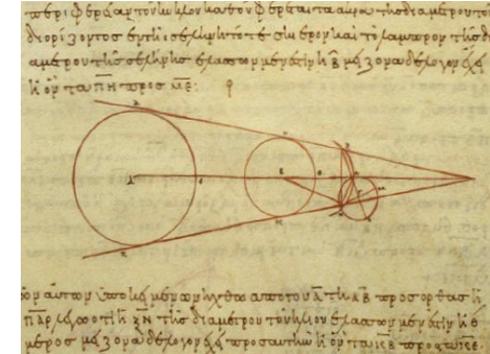
- Erst im Kopernikanischen Modell könnte die Dynamik erkannt werden
(universelle Anziehung, Gravitationskraft) (Kraft → Wechselwirkung)
- Auf dieser Basis: Klassische Mechanik, ED, Paradigma der klassischen Physik

Infragestellung:

- Kinematik: spezielle Relativitätstheorie
- Dynamik: allgemeine Relativitätstheorie

Keine absolute Raum/Zeit. Der Begriff von Kraft bleibt nur als „effektiver Begriff“.

Stattdessen: lokale Wechselwirkung



VII Grundlegung der modernen Physik

Galileo Galilei (1564 – 1642); Anfang der modernen Physik

experimentelle Methode

theoretische Entwicklung: basiert auf Mathematik

Forschung

auch: die Frage der Ueberzeugung

Isaac Newton (1642 – 1726): Begründer der modernen Physik

Mathematik

Mechanik: Aufstellen einer Theorie

Optik

Physik wird zu anerkannte gesellschaftliche Einrichtung

(Academia die Lincei, Royal Society)

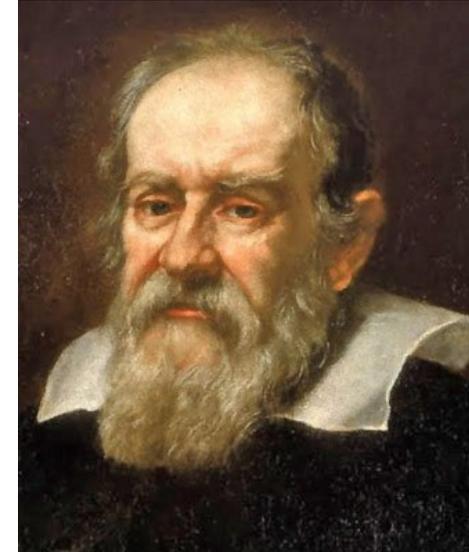
Johannes Kepler (1571-1630), kinematische Gesetze des Sonnensystems

Gottfried Wilhelm Leibniz (1646-1716), Infinitesimalrechnung, Energieerhaltung

Christian Huygens (1629-1695), Wellenoptik

Robert Hooke (1635-1703), Gravitation, Elastizität

Rene Descartes (1596-1650), Ausdehnung, (fast) Impulserhaltung



VIII Die klassische Physik

Die „klassische Physik“, mechanistisches Weltbild,

Mechanik, Elektrodynamik, Thermodynamik, Statistische Mechanik

Maxwell (1831 – 1879): Elektrodynamik, Gas Theorie

Boltzmann (1844 – 1906): Thermodynamik, Gastheorie

Allgemeine Bild der physikalischen Phenomaeene; Mathematik

Michael Faraday (1791-1867)

Hamilton, Euler, Lagrange, Jacobi, ...



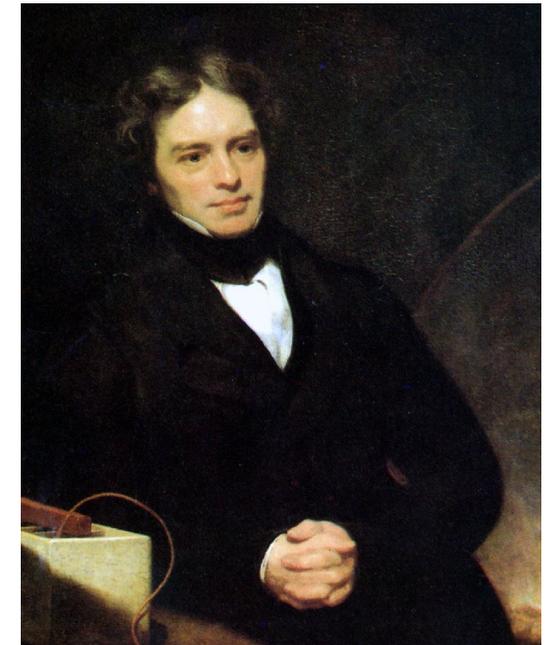
Ausbau der Empirie: Experiment und systematische Beobachtung

Ausbau der mathematischen Physik

Empirie - Naturgesetze - Theorien

Allgemeine Weltbild:

Hermann von Helmholtz



IX Aufbruch in der Moderne

„Bruch“ mit der klassischen Physik: RT, QM

Einstein (1879 – 1955)

Die kopenhagene Schule: Bohr, Schrödinger, Heisenberg

R – Z , R – Z Kausalität, statistische Gesetze, Teilchen und Felder

Lorentz, Planck, Pauli, Dirac, ...

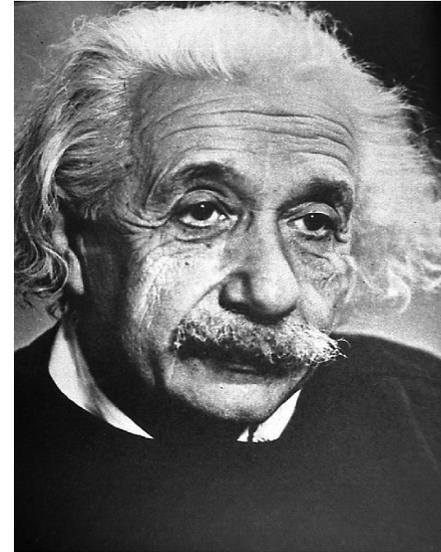
Pierre und Marie Curie, Rutherford, ...

Feldtheorien

Astrophysik und Kosmologie: Hubble, das offene Universum

Neues physikalisches Weltbild

Grundlagen des Standard Modells der Elementarteilchen und der Kosmologie



X Das Standard Modell

Zwei parallele Entwicklungen

Starke Wechselwirkungen (QCD)

Elektro-Schwache Wechselwirkungen (E-W Modell)

(beide phänomenologisch schon gewissermaßen bekannt und modelliert: viele bekannte Teilchen mit ihren Eigenschaften –

Masse, Ladung, weitere Quantenzahlen als Folge von (häufig empirische) Auswahlregeln,
pion-Austausch-Modell für Kernkräfte – Yukawa - , Fermi-Modell für schwache Wechselwirkungen,

die sehr erfolgreiche quantenfeldtheoretische Theorie der QED für die elektromagnetische Wechselwirkungen)

Quark Modell (Gell-Mann, Nee-mann, Zweig 1960-64)

QED (Feynman, Schwinger, ... ~1950's)

Entdeckung ungewöhnlicher Baryonen (Δ^{++})

1. Vereinigung von el. und schw. Ww (Glashow 1960)

Struminsky, Han, Nambu Vorschlag (spätere Quarksfarbe) (1965)

Higgs Mechanismus (Higgs, ... 1963)

Partonen (Feynman, Bjorken 1969)

Renormierbarkeit des Higgs Modells ('t Hooft.. 1972)

Heranziehen nicht-abelschen Eichgruppen

asymptotische Freiheit (Politzer, Gross, Wilczek, 1973)

E-W Model (Weinberg, Salam 1967)

Confinement, nichtperturbative Renormirerung (Wilson 1974)

Entdeckung neutraler Ströme (CERN 1973)

Nachweis von starken Eichbosonen durch Jets (Petra-Desy, 1979)

Beobachtung von e-w Eichbosonen (CERN, 1983)

Das Higgs Teilchen (CERN, 2012)

Vereinheitlichung: Das Standard Modell der Kosmologie