

Die Modelldefinition von Heinrich Hertz oder Warum Hertz die Quantentheorie nicht erfand

Erkenntnistheoretische Grundlagen, Probleme und Anwendbarkeit
der posthum erschienenen *Prinzipien der Mechanik*

Seminar „Wissenschaftshistorische und wissenschaftsphilosophische Grundlagen“
LMU München – Institut für Statistik - PD Dr. Rudolf Seising – 16. Mai 2014

Harald Goldbeck-Löwe
Zentrum für Geschichte der Naturwissenschaft und Technik – Universität Hamburg



Heinrich Hertz

1857-1894



Die Modelldefinition von Heinrich Hertz

Einleitung

- 1880 Promotion bei Hermann v. Helmholtz
- 1883 Prof. für Theor. Physik CAU Kiel
- 1884 „Die Constitution der Materie“, (bis 1999 unveröffentlicht)
- 1885 Prof. für Physik TU Karlsruhe, Beobachtungen zum Fotoeffekt
- 1892 „Ausbreitung der elektrischen Kraft“
- 1889 Prof. für Physik Uni Bonn
- 1894 „Die Prinzipien der Mechanik“, posthum, Hrsg.: Philipp Lenard



Heinrich Hertz im Kreise seiner Dozenten-Kollegen an der Universität Kiel
(Staatsarchiv Hamburg)

Quelle: Hertz 1999

Einleitung: Poster zur IX. ICHSSE 2012 in Flensburg

Der Hallwachs-Effekt Der äußere lichtelektrische Effekt, das Tor zur Quantenphysik

1887 Heinrich Hertz
(1857-1894)



Originalfoto 202
Annalen 21 (1887)

Abb. 1: Hertz' Experimentanordnung
zu freien elektromagnetischen Wellen im Raum

Beobachtungen: (themenbezogene Auswahl):
• Licht des Funkens A, Abb. 2) kann die Entladung elektrischer Funkenzwischen Metallkugeln (Funkens B, Abb. 1) begünstigen. Zunächst beobachtet bei der Entladung und Untersuchung der von Maxwell vorhergesagten elektromagnetischen Wellen.
• Das Best. die Wirkung nicht durch „Doppelplatt, Stahlnetz und Begleitluft“ sind durchlässig.
• Die Wirkung vergrößert sich mit wachsendem Abstand zwischen A und B.
• Die Wirkung der Elektroden hat keinen merklichen Einfluss auf die Wirkung, die Pole müssen abgerundet und glatt sein.
• Die Wirkung des Funkens A breitet sich nach allen Seiten geradlinig aus, genau nach den Gesetzen der Lichtbrechung, einschließlich Reflexion.
• In verdünnter Luft in einer Luftpumpe mit einem „Fenster aus Bergkristall“ vermindert sich die Wirkung.
• Ultraviolettes Licht hat die Fähigkeit, die Schwingweite einer Funkenentladung zu vergrößern.
• Vermutung, dass die Kathode der Funkenentladung der allgemeine Entstehungsort der lichtelektrischen Wirkung sei. Ein Beweis fehlt wegen zu großer Größe und zu kurzer Funken.

Modellvorstellung en:
• Hertz fasst Licht als elektromagnetische Welle auf.
• Als Träger der Welle wird zu jener Zeit die Lichtstrahlung angesehen, ein nicht wahrnehmbares Stoff, der den gesamten Raum erfüllt, aus dem die Materie (materielle Körper) entsteht.
• Als Ansatz: von Hermann von Helmholtz (1821-1894) in Berlin entwickelte Theorie mit (akustischen) Resonatoren. Bei seinen Untersuchungen elektromagnetischer Wellen nutzte Hertz dafür, elektromagnetische Resonatoren als Indikatoren freier Wellen im Raum.

Theoriebildung:
• Hertz fasst zusätzlich auf die Entwicklung einer allgemeinen Theorie zum Fotoeffekt, falls nur Versuchsgegenstand mit, die als Nebenprodukt bei der experimentellen Verifizierung der Maxwell'schen Theorie der elektromagnetischen Felder auf der Basis der entsprechenden Maxwell'schen Theorie entsteht.

Quellen und allgemeine Literatur (Auswahl), genau angegeben im Textteil:
Annalen der Physik, 101 (1887) Verlag G. B. Sch. KGaA, Weidmann, Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, Leipzig, Physikalische Zeitschrift, Leipzig
Physical Review Letters, American Physical Society (Hrsg.), Hermann, Nauka, dt. Phosphor, Braun, Schöningh, 1994.
Mason, Stephen R.: Geschichte der Naturwissenschaften, Saum 1997.
Grün, J.; Kraus, J.; Meiser-Philipp, Christ: Gym, 2. Aufl. Hannover 1999.

1888 Wilhelm Hallwachs
(1859-1922)



Originalfoto 201/2
Annalen 22 (1888)

Abb. 2: Goldblatt-
Elektroskop (19. Jh.)

Originalfoto 202
Annalen 22 (1888)

Abb. 2: Prinzipskizze zum Grundversuch:
Entladung einer negativ geladenen Platte bei
Beleuchtung mit UV-Licht

Beobachtungen: (Auswahl):
Vorfälle der katodische Versuchenordnung: gelblich graue Schichten auf „Reinzer“ sowie, elektrisch geladene Metallplatten, Spiegellampe und Magnetnadel, quantitative Messungen mit Elektroskop und Schaltung.
• Negativ geladene Platte wird durch Licht entladen (Grundversuch), positiv geladene Platte bleibt bei Licht unverändert. Die Entladung beginnt, sobald die Lichtstrahlen auf die Platte auftreffen...
• Nachweis, dass die lichtelektrische Wirkung durch ultraviolettes Licht hervorgerufen wird und nicht durch rotes Licht oder Wärmestrahlung.
• Nachweis, dass die Wirkung an der Oberseite der Platte entsteht.
• Platten aus verschiedenen Metallen zeigen verschiedene starke Wirkung.
• Entladung einer Platte geht einher mit einer (schwach) Ladung einer dicht gegenüberliegenden, isolierten Platte.
• Eine ungeladene Platte wird durch UV-Licht bis zu 2,1 positiv aufgeladen.

Modellvorstellung en:
Phänomenologischer Ansatz, methodisch hervorragend durchgeführt, kaum nachvollziehbar von Modellvorstellung: gelber, kein Hinweis auf Lichtenergie.
• Causal Begründung: elektrische Ladung, Elektricität... geht von negativ elektrisch geladenen Körpern aus... dass eine Schaltung der Elektroden einleitet... aber auch negative elektrische Ladungen gehen von den Metallplatten weg. Der Begriff „Elektron“ war 1890 noch nicht bekannt. Die Annahme einer „Elektronstruktur“ der elektrischen Ladung wurde 1891 von Helmholtz ausgedrückt. Die Bezeichnung „electron“ wurde 1891 von Johnstone Stoney geprägt (Wass.).

Theoriebildung:
Zweifel vorhanden:
• Annahme, dass bei Beleuchtung mit ultravioletten Lichtstrahlen Elektricität von den negativ geladenen Körpern fortgeht und den im Felde wirkenden elektrischen Kräften folgt.
• Annahme, dass Wellen an der Oberfläche auf irgend welche Art eine Schaltung der Elektroden einleitet.

Bildnachweise:
Porter (1914), Wladimir (1914), Lenz (1914) für freie Dokumentationen, Abb. 2, S. Hallwachs 1916, Abb. 4, Lenz 1899, Abb. 6, Wöhrer - Physik, 2. Aufl., 1999, Abb. 7, Wikipedia (GNU-Lizenz für freie Dokumentationen).

1899 Philipp Lenard
(1862-1947) Nobelpreis 1905



Originalfoto 202
Annalen 21 (1900)

Abb. 4: Lenards
Mikroelektronen

Originalfoto 202
Annalen 27 (1905)

Abb. 2: Prinzipskizze zur quantitativen Untersuchung der
Schwächenstrahlung: Strahlung mit hochvakuum-Fotokathode und
Gegenstrommethode

Beobachtungen: (Auswahl einmaliger Beobachtungen):
Nach Vorarbeiten von Döberl und Galat, Wien und Righi Versuche mit „zwei Elektroden“ als Metallkathode, metallischen Körpern und den nach der „Lichtstrahlentherapie“ als Wellenvorgang aufgefassten optischen Prozess im leeren Raum. Ein „helfender“ Formaler „Unterschied“ besteht darin, dass der Zustand eines Körpers durch eine zeitliche Annäherung an Strahlung, z.B. für Masse, Volumen, Impuls und Energie, bestimmt ist, während man für die Beschreibung des elektromagnetischen, also auch des optischen Zustandes eines Raumes kontinuierliche räumliche Funktionen benötigt. Optische Beobachtungen beziehen sich dabei auf zeitliche Intensitäten, nicht aber auf Momentanwerte, mit denen Bewegungen beschrieben werden.
• Lenard benutzt zunächst (1900) noch die anschauliche Modellvorstellung des Lichtstrahls als Träger der elektromagnetischen Lichtwellen. Erst ab 1910 hat er diese Vorstellung aufgegeben.
Für das bessere Verständnis einiger optischer Beobachtungen schließt Lenard die Annahme einer abstrakten Vorstellung von dem, nämlich die Energie des Lichtes im Raum, diskontinuierlich in Form von Lichtquanten verteilt auf.

Modellvorstellung en:
• Lenard benutzt 1899 erstmalig den Begriff „Quanten“, aber ausschließlich auf die ausstrahlende Elektrode bezogen, d.h. sich beim auf eine Vorstellung von masselastigen, negativ elektrisch geladenen Körpern. Die Bezeichnung „Elektron“ benutzte er nicht.
• Vergleich mit der bekannten Kathodenstrahlung.
• Besonders in Lenard 1902 eindeutig, kontinuierliche Vorstellung der ausstrahlenden, „entworfener“ Ladungsträger.

Theoriebildung:
In Lenard „annus mirabilis“ 1905 veröffentlichte Döberl vier grundlegende Artikel in den Annalen der Physik, von denen der erste den Fotoeffekt enthielt. Dieser stützt seine Theorie auf die Ergebnisse und Überlegungen von Wien und erwarb die große Plancks Theorie der Schwarzen Strahlung auf, die nach Planck in drei Arten Energiequanten in emittieren und absorbieren teilt. Für das bessere Verständnis einiger optischer Beobachtungen schließt Lenard die Annahme einer abstrakten Vorstellung von dem, nämlich die Energie des Lichtes im Raum, diskontinuierlich in Form von Lichtquanten verteilt auf, wie durch Hypothese lässt sich der Fotoeffekt gut erklären. Döberl erklärt:
$$E = h \cdot \nu = h \cdot \frac{c}{\lambda} = h \cdot \frac{c}{\lambda} = h \cdot \nu$$

In moderner Schreibweise: $E = h \cdot \nu$, die Gleichung der lichtelektrischen Gesetze. Die Gültigkeit dieser Gleichung wurde durch Millikan experimentell bestätigt.

1905 Albert Einstein
(1879-1955) Nobelpreis 1921



Originalfoto 202
Annalen 17 (1905)

Originalfoto 202
Annalen 21 (1900)

Abb. 4: Lenards
Mikroelektronen

Originalfoto 202
Annalen 27 (1905)

Abb. 2: Prinzipskizze zur quantitativen Untersuchung der
Schwächenstrahlung: Strahlung mit hochvakuum-Fotokathode und
Gegenstrommethode

Nutzt Ergebnisse von:
• Wilhelm Wien (1864-1927); Strahlungsgesetz
• Philipp Lenard, Annalen 6, 1902, 165-166.
• Max Planck, Annalen 4, 1901, 368-369.
• Robert A. Millikan, Phys. Zeitsch 17, 1906, 217-220.

Aktuelle Problemlage:
Nach den Vorstellungen des Wellenmodells für das Licht:
• müsste der lichtelektrische Effekt bei jeder Frequenz zu beobachten sein, müsste bei geringer Lichtintensität eine zeitliche Veränderung zu beobachten sein,
• müsste die Energie der ausstrahlenden Ladungsträger von der Intensität des Lichtes abhängen und von der Frequenz unabhängig sein.
Keine dieser notwendigen Konsequenzen der Wellenmodelle konnte beim lichtelektrischen Effekt beobachtet werden.
Der lichtelektrische Effekt, Hallwachs-Effekt oder Photoeffekt, ist mit dem Wellenmodell nicht zu erklären.

Modellvorstellung en:
Döberl analysiert die Unveränderlichkeit der Modellvorstellungen von „zwei Elektroden“ als masselastigen, metallischen Körpern und den nach der „Lichtstrahlentherapie“ als Wellenvorgang aufgefassten optischen Prozess im leeren Raum. Ein „helfender“ Formaler „Unterschied“ besteht darin, dass der Zustand eines Körpers durch eine zeitliche Annäherung an Strahlung, z.B. für Masse, Volumen, Impuls und Energie, bestimmt ist, während man für die Beschreibung des elektromagnetischen, also auch des optischen Zustandes eines Raumes kontinuierliche räumliche Funktionen benötigt. Optische Beobachtungen beziehen sich dabei auf zeitliche Intensitäten, nicht aber auf Momentanwerte, mit denen Bewegungen beschrieben werden.
• Lenard benutzt zunächst (1900) noch die anschauliche Modellvorstellung des Lichtstrahls als Träger der elektromagnetischen Lichtwellen. Erst ab 1910 hat er diese Vorstellung aufgegeben.
Für das bessere Verständnis einiger optischer Beobachtungen schließt Lenard die Annahme einer abstrakten Vorstellung von dem, nämlich die Energie des Lichtes im Raum, diskontinuierlich in Form von Lichtquanten verteilt auf.

Theoriebildung:
In Lenard „annus mirabilis“ 1905 veröffentlichte Döberl vier grundlegende Artikel in den Annalen der Physik, von denen der erste den Fotoeffekt enthielt. Dieser stützt seine Theorie auf die Ergebnisse und Überlegungen von Wien und erwarb die große Plancks Theorie der Schwarzen Strahlung auf, die nach Planck in drei Arten Energiequanten in emittieren und absorbieren teilt. Für das bessere Verständnis einiger optischer Beobachtungen schließt Lenard die Annahme einer abstrakten Vorstellung von dem, nämlich die Energie des Lichtes im Raum, diskontinuierlich in Form von Lichtquanten verteilt auf, wie durch Hypothese lässt sich der Fotoeffekt gut erklären. Döberl erklärt:
$$E = h \cdot \nu = h \cdot \frac{c}{\lambda} = h \cdot \nu$$

In moderner Schreibweise: $E = h \cdot \nu$, die Gleichung der lichtelektrischen Gesetze. Die Gültigkeit dieser Gleichung wurde durch Millikan experimentell bestätigt.

Weiterentwicklungen: Quantenmechanik, Matrizenmechanik, Wellenmechanik, Unschärferprinzip, Probleme der Kausalität
Anwendungen, Theorie: Atomphysik, Elementarteilchen, Compton-Effekt, γ-Strahlung
Anwendungen, Verfahren: Fotoelektronen, Fotokathoden
Anwendungen, Verfahren: astronomische Fotometrie, Spektroskopie, optoelektronische (Tiefen) und in Verbindung mit Szintillationsdetektoren in atmosphärischen Anwendungen (γ-Strahlung-Detektoren)

1906 Robert A. Millikan
(1868-1953) Nobelpreis 1923



Originalfoto 217
Phys. Zeitsch 17 (1906)

Originalfoto 217
Phys. Zeitsch 17 (1906)

Originalfoto 217
Phys. Zeitsch 17 (1906)

Nutzt Ergebnisse von:
Döberl, um den Nachweis von Millikan bestätigt die Richtigkeit der Döberl'schen Gleichung. Aber, „Nichtbeobachtung“ einzelner der physikalische Theorie, auf der die Gleichung aufbaut, gleich unzulässig: (Phys. Z. 17, 1916, 217).

Beobachtungen: (Auswahl):
Ergebnis des Döberl'schen Versuchs: Die elektrische Ladung von mechanisch (durch Strahlung) aufgeladenen Döberl'schen Körpern in genauem Verhältnis einer mechanischen Ladung, die Stromentladung ist vor.

Modellvorstellung en:
Döberl erkennt aber nur die reine Korpuskulare Vorstellung von Elektronen und Ionen, da Millikan sich nur mit elektrischen und andern physikalischen Eigenschaften von Körpern mit Größen im zehnten Bereich befasst.
Die Korpuskulare Vorstellung von Quanten elektromagnetischer Strahlung lehnt Millikan ab unzulässig, ohne diese Haltung zu begründen.

Theoriebildung:
Die Größe der Stromentladung ist eine Naturkonstante: $e = 1,60219 \cdot 10^{-19} \text{ C}$

Theoriebildung:
Die große Anzahl verschieden schwingender Resonatoren ermöglicht eine statistische Beschreibung der Gesamtstrahlungswerte S. Planck's modifizierende Annahme war, dass S zusammengefasst sei... auf einer ganz bestimmten Anzahl einzelner gleicher Teile... also aus Energieelementen proportional zur Schwingungszahl ν mit der Konstanten h = e · h · ν. Die mit dieser Annahme beschriebene Energieverteilung wird durch die gleiche Gesetz beschrieben wie die von Planck halb intuitiv, durch Problem antizipierte Spektralformel, die er als Verbesserung der Wien'schen Formel beschrieb.

Theoriebildung:
Die große Anzahl verschieden schwingender Resonatoren ermöglicht eine statistische Beschreibung der Gesamtstrahlungswerte S. Planck's modifizierende Annahme war, dass S zusammengefasst sei... auf einer ganz bestimmten Anzahl einzelner gleicher Teile... also aus Energieelementen proportional zur Schwingungszahl ν mit der Konstanten h = e · h · ν. Die mit dieser Annahme beschriebene Energieverteilung wird durch die gleiche Gesetz beschrieben wie die von Planck halb intuitiv, durch Problem antizipierte Spektralformel, die er als Verbesserung der Wien'schen Formel beschrieb.

1900 Max Planck
(1858-1947) Nobelpreis 1918



Originalfoto 227, Verhandlungen
der Dt. Phys. Ges. 2 (1900)

Originalfoto 227, Verhandlungen
der Dt. Phys. Ges. 2 (1900)

Originalfoto 227, Verhandlungen
der Dt. Phys. Ges. 2 (1900)

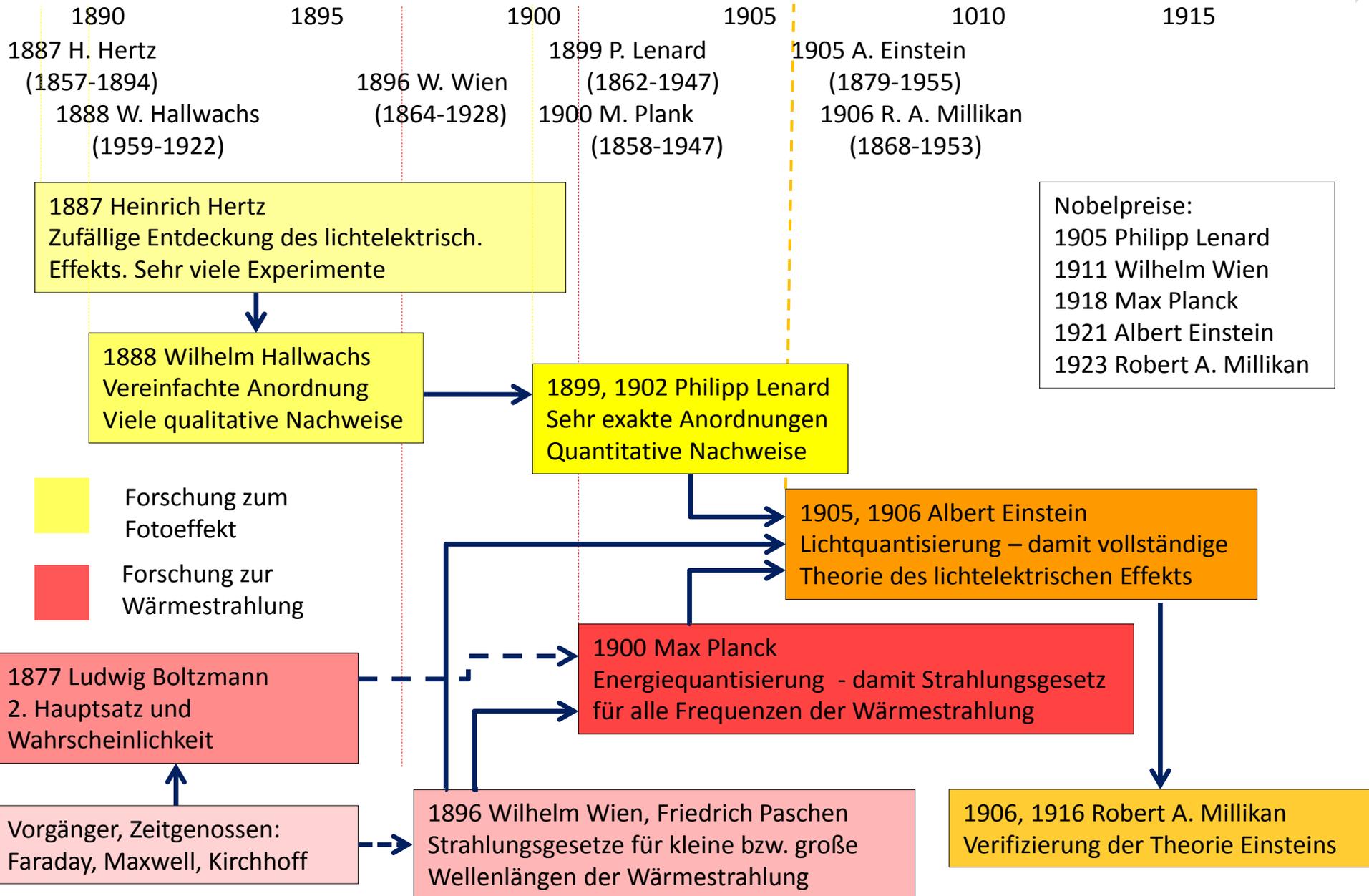
Nutzt Ergebnisse von:
Gustav Kirchhoff (1824-1887): Forschungsprogramm der Strahlungsgesetz zur Wellenmechanik, Modellierung „Schwarzer Strahlung“
Ludwig Boltzmann (1844-1906): Statistik.
Heinrich Hertz (1857-1894): Photoeffekt.
Wilhelm Wien (1864-1927): Strahlungsgesetz

Beobachtungen: (Auswahl):
Planck's Vorstellung von elektromagnetischer Strahlung war ausschließlich wellenmechanisch orientiert. Grundlage bei der Beschreibung der Energieverteilung der Strahlung war das von Kirchhoff eingeführte Modell des „Schwarzen Strahlers“, auch „Schwarzen Strahlung“, der die auftretende Strahlung über Wellenlänge vollständig absorbiert und dessen Strahlungsspektrum als thermischer Strahlung beschrieb. Dieses Maximum, umgeben sich nur von der Temperatur ablesen, das Schwarze Strahler nicht durch ein Messgerät Resonator, also als Defizit, die Strahlung mit Materie freigesetzt emittieren und absorbieren. Er wird am besten durch einen Resonator mit nicht transparenten Innenwänden und kleiner Öffnung realisiert. Planck kombinierte diese Modell mit der Vorstellung, dass die Innenwände des Schwarzen Strahlers mit sehr vielen gleichzeitigen, aber mit verschiedenen Frequenzen monochrom schwingenden Resonatoren besetzt seien. Dadurch sind Emission und Absorption mit beliebigen Frequenzen möglich.

Theoriebildung:
Die große Anzahl verschieden schwingender Resonatoren ermöglicht eine statistische Beschreibung der Gesamtstrahlungswerte S. Planck's modifizierende Annahme war, dass S zusammengefasst sei... auf einer ganz bestimmten Anzahl einzelner gleicher Teile... also aus Energieelementen proportional zur Schwingungszahl ν mit der Konstanten h = e · h · ν. Die mit dieser Annahme beschriebene Energieverteilung wird durch die gleiche Gesetz beschrieben wie die von Planck halb intuitiv, durch Problem antizipierte Spektralformel, die er als Verbesserung der Wien'schen Formel beschrieb.

Theoriebildung:
Die große Anzahl verschieden schwingender Resonatoren ermöglicht eine statistische Beschreibung der Gesamtstrahlungswerte S. Planck's modifizierende Annahme war, dass S zusammengefasst sei... auf einer ganz bestimmten Anzahl einzelner gleicher Teile... also aus Energieelementen proportional zur Schwingungszahl ν mit der Konstanten h = e · h · ν. Die mit dieser Annahme beschriebene Energieverteilung wird durch die gleiche Gesetz beschrieben wie die von Planck halb intuitiv, durch Problem antizipierte Spektralformel, die er als Verbesserung der Wien'schen Formel beschrieb.

Einleitung: Zeit-Übersicht zur Frühjahrstagung der DPG Jena 2013



Zur Wiederholung aus der zweiten Vorlesung vom März 2014

Heinrich Hertz, *Die Principien der Mechanik*, 1894



Heinrich Hertz
(1857-1894)

Wir machen uns innere Scheinbilder
oder Symbole der äußeren Gegenstände,
und zwar machen wir sie von solcher Art,
**daß die denotwendigen Folgen
der Bilder stets wieder die Bilder seien
von den naturnotwendigen Folgen
der abgebildeten Gegenstände**

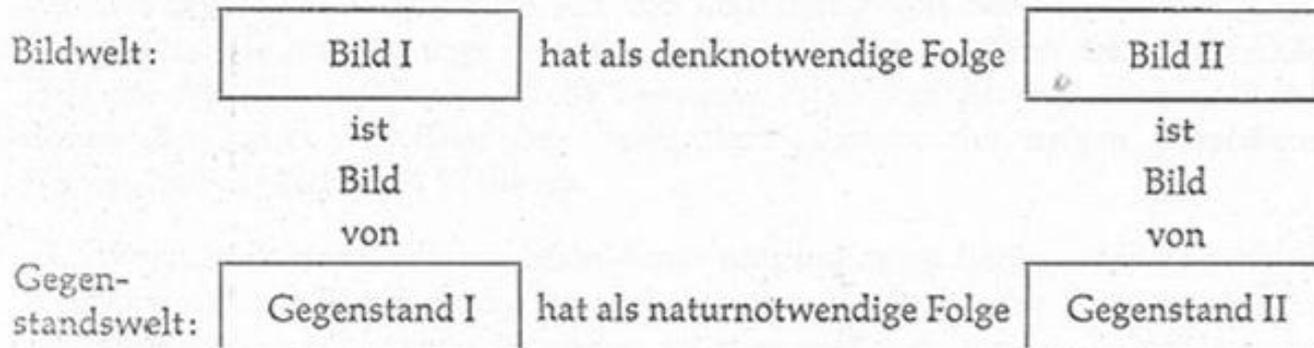


Heinrich Hertz, *Die Principien der Mechanik in neuem Zusammenhang dargestellt*, Leipzig 1894.
(Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften Bd. 263, S. 67.)

Zur Wiederholung aus der zweiten Vorlesung vom März 2014

Heinrich Hertz, *Die Principien der Mechanik*, 1894

Hier wird in übersichtlicher Weise gezeigt, wie in der Physik Naturerkenntnis gewonnen wird. Das folgende Schema dient zur Veranschaulichung des Gedankenganges:



Wünschenswerte Präzisierung: Gegenstand I: G1; Bild I: B1;

„... ist Bild von ...“: Abbildung f .

$$B1 = f(G1)$$

Welche Eigenschaften muss die Abbildung f haben?

Peter Berger: *Philosophische Vertiefung des Physikunterrichts*. Braunschweig: Friedr. Vieweg & Sohn, 1967. Seite 84.

Noch einmal Wiederholung vom März 2014

Heinrich Hertz, *Die Principien der Mechanik*, 1894

Die Bilder, von welchen wir reden, 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 haben.

In der Tat wissen wir auch nicht, und haben auch kein Mittel zu erfahren, ob unsere Vorstellungen von den Dingen mit jenen in irgend etwas anderem übereinstimmen, als allein in eben *jener einen fundamentalen Beziehung*.

Heinrich Hertz, *Die Principien der Mechanik in neuem Zusammenhang dargestellt*, Leipzig 1894.
(Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften Bd. 263, S. 67.)

Ergänzung zur 2. Vorlesung im März 2014

Heinrich Hertz: „Wir machen uns innere Scheinbilder oder Symbole der äußeren Gegenstände, und zwar machen wir sie von solcher Art, daß die denotwendigen Folgen der Bilder stets wieder die Bilder seien von den naturnotwendigen Folgen der abgebildeten Gegenstände.

*Damit diese Forderung überhaupt erfüllbar sei, müssen gewisse Übereinstimmungen vorhanden sein zwischen der Natur und unserem Geiste. Die Erfahrung lehrt uns, daß die Forderung erfüllbar ist und daß also solche Übereinstimmungen in der Tat bestehen. **Ist es uns einmal geglückt, aus der angesammelten bisherigen Erfahrung Bilder von der verlangten Beschaffenheit abzuleiten, so können wir an ihnen, wie an Modellen, in kurzer Zeit die Folgen entwickeln, welche in der äußeren Welt erst in längerer Zeit oder als Folgen unseres eigenen Eingreifens auftreten werden; wir vermögen so den Tatsachen vorauszuweichen und können nach der gewonnenen Einsicht unsere gegenwärtigen Entschlüsse richten.***

Die Bilder, von welchen wir reden, 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 haben. In der Tat wissen wir auch nicht, und haben auch kein Mittel zu erfahren, ob unsere Vorstellungen von den Dingen mit jenen in irgend etwas anderem übereinstimmen, als allein in eben jener einen fundamentalen Beziehung.“

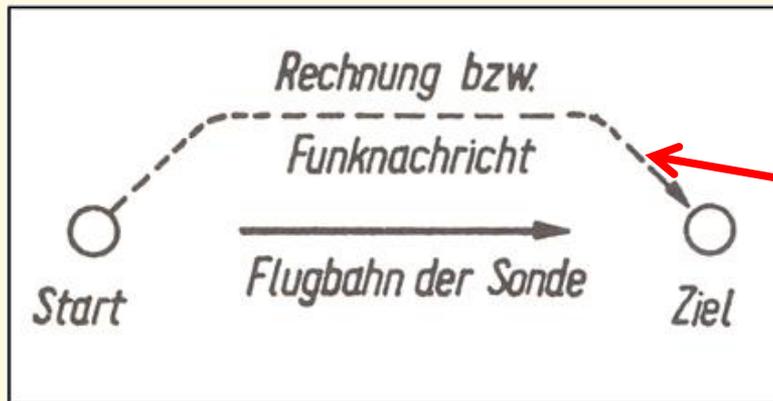
Ergänzung zur 2. Vorlesung im März 2014



Modell des Schlörwagens 1939 Quelle: Deutsches Zentrum für Luft und Raumfahrt

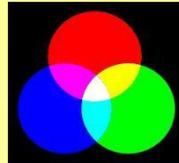
Bergers Beispiel: Modell einer Mondsonde

- Überlegungen anhand von Modellvorstellungen führen zu einem Programm.
- Programm ist vor dem Start vorausberechnet worden.
- Nach dem Start werden Kursabweichungen durch Fernsteuerung korrigiert.
- Einem Beobachter auf dem Mond „könnte der Aufschlagpunkt durch Funk mitgeteilt werden, **noch ehe die Sonde selbst eingetroffen ist.**“
- „**Ebenso wie der rechnende Verstand eilt die Funknachricht der Sonde selbst voraus.**“



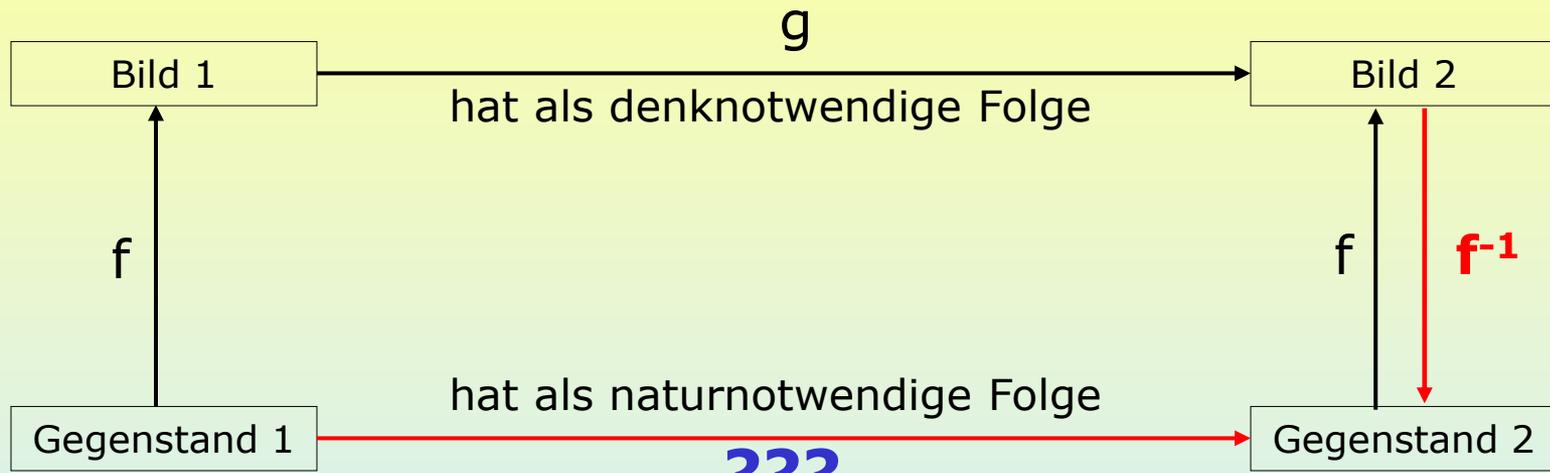
Verführung dazu, die Abbildung als eindeutig und umkehrbar anzusehen.

Peter Berger: *Philosophische Vertiefung des Physikunterrichts*. Braunschweig: Friedr. Vieweg & Sohn, 1967. Seite 85



Modelldenken

Daher meine Hypothese in einem Vortrag 2010:
Die Abbildung  ist eine Funktion.



Grafik nach einem Vorschlag von Peter Berger

$$B1 = f(G1)$$

$$B2 = g \circ f(G1)$$

$$G2 = ???(G1)$$

Forderung für f: **eindeutig + umkehrbar, also: Isomorphismus**

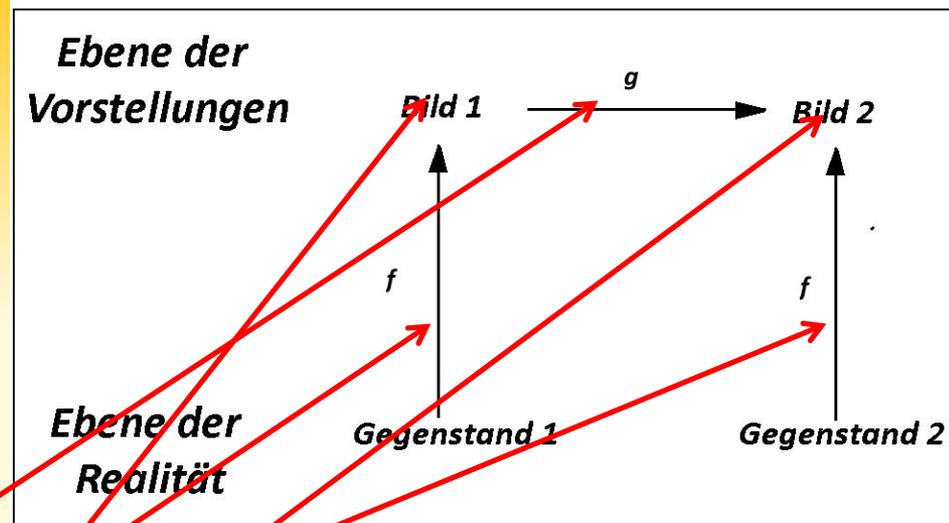
Weitere Ergänzung zur 2. Vorlesung im März 2014

Die wissenschaftlich **prognostische** Nutzung von Modellen schein mir ohne deren Eigenschaft als **isomorphe, also umkehrbar eindeutige Abbildung** grundsätzlich nicht möglich zu sein.

Dagegen Heinrich Hertz: „Eindeutig sind die Bilder, welche wir uns von den Dingen machen wollen, noch nicht bestimmt durch die Forderung, daß die Folgen der Bilder wieder die Bilder der Folgen seien. Verschiedene Bilder derselben Gegenstände sind möglich, und diese Bilder können sich nach verschiedenen Richtungen unterscheiden.“

Eindeutigkeit wird so jedenfalls nicht beschrieben!
Also ist f auch kein Isomorphismus, nicht einmal eine Funktion!
Hertz versucht mit zusätzlichen Forderungen die Eindeutigkeit zu erreichen.

Hertz' drei Kriterien für geeignete Bilder



Die Bilder müssen

- **zulässig** sein, d.h. sie dürfen keinen „Widerspruch gegen die Gesetze unseres Denkens in sich tragen,
- **richtig** sein, d.h. „ihre wesentlichen Beziehungen“ dürfen „den Beziehungen der äußeren Dinge“ nicht widersprechen,
- **zweckmäßig** sein, d.h. sie sollen „neben den wesentlichen Zügen“ eine möglichst geringe „Zahl überflüssiger und leerer Beziehungen“ enthalten.

Nebenbei: aus der Zusatzforderung: Die wissenschaftliche Darstellung eines Bildes solle „uns klar zum Bewußtsein führe[n]“, welche der drei Kriterien das Bild erfüllt, folgt:

Nach Hertz umfasst das „Bild“ die gesamte Ebene der Vorstellungen.

Hertz' Kritik an den bestehenden Theorien (Bildern) der Mechanik

Das erste Bild – Die Kraft als Grundgröße

Grundgrößen sind: **Raum, Zeit, Masse, Kraft**

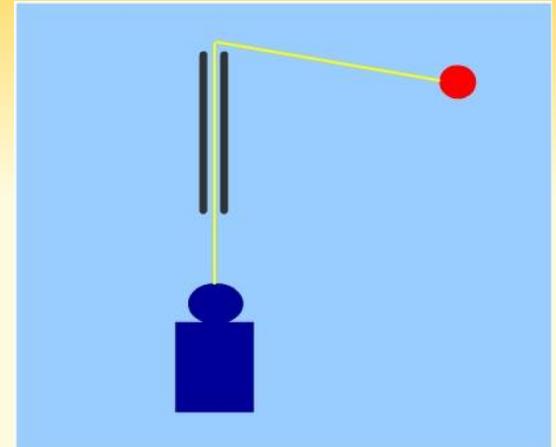
Beispiel Zentralbewegung:

Die Kraft, die ursprünglich als Ursache der Bewegung (Zentripetalkraft) eingeführt und

definiert wurde, werde in diesem Fall als Folge einer Bewegung (Zentrifugalkraft) erlebt und angesehen.

Das führe zu Begriffsverwirrung und -vielfalt.

Das Kriterium der Zweckmäßigkeit ist verletzt, das Bild wird verworfen.



Hertz' Kritik an den bestehenden Theorien (Bildern) der Mechanik

Das zweite Bild – Die Energie als Grundgröße

Grundgrößen sind: **Raum, Zeit, Masse, Energie**

Hertz' Kritik:

- **Kriterium der Richtigkeit:** Eine Kugel rollt der Trägheit folgend auf fester horizontaler Ebene. Die mathematisch mögliche Anwendung des Hamilton Prinzips führt zu physikalisch unmöglichen Ergebnissen.
- **Kriterium der Zulässigkeit:** Die Energie wird per definitionem als Substanz angesehen, ist eine notwendigerweise positive Größe, während potentielle Energie auch negative Werte annehmen kann.

Zwei Kriterien sind verletzt, das Bild wird verworfen.





Hertz' eigenes Bild: *Die Prinzipien der Mechanik* Das dritte Bild

Grundgrößen: Raum, Zeit, Masse – Dazu die **Hypothese verborgener Massen** mit starren Verbindungen zu untersuchten Körpern als Ersatz für Kräfte.

„Wir nehmen also an, daß es möglich sei, den sichtbaren Massen des Weltalls andere denselben Gesetzen gehorchende Massen hinzuzudichten von solcher Art, daß dadurch das Ganze Gesetzmäßigkeit und Verständlichkeit gewinnt, und zwar nehmen wir an, daß dies ganz allgemein und in allen Fällen möglich sei, und daß es daher andere Ursachen der Erscheinungen auch gar nicht gebe, als die hierdurch zugelassenen. Was wir gewohnt sind als Kraft und Energie zu bezeichnen, ist dann für uns nichts weiter als eine Wirkung von Masse und Bewegung, [...]“

Hertz' eigenes Bild: *Die Prinzipien der Mechanik*

Begründung für verborgene Massen:

Alle uns möglichen Sinneswahrnehmungen, so Hertz, reichen nicht hin, um ein theoretisches Weltbild zu konstruieren, „in welchem gleiche Zustände stets gleiche Folgen haben.“

Hertz greift Forschungsergebnisse von Hermann von Helmholtz auf, der sich intensiv mit Sinnesphysiologie beschäftigt hatte. Im Sinne der Kohärenztheorie der Rechtfertigung von Hypothesen hat diese Begründung eine hohe Akzeptanz-Wahrscheinlichkeit.

Der Begründung durch die Zielvorstellung für die Einführung dieser Hypothese, dass „das dadurch Ganze Gesetzmäßigkeit und Verständlichkeit“ gewinnen soll, kann kein solch hoher Wert zugeschrieben werden.

Hertz' eigenes Bild: *Die Prinzipien der Mechanik*

Mechanistisches Weltbild, Geltung des **Kausalitätsprinzips**:

„Alle Physiker sind einstimmig darin, dass es die Aufgabe der Physik sei, die Erscheinungen der Natur auf die einfachen Gesetze der Mechanik zurückzuführen.“

(Die Prinzipien der Mechanik, Vorwort des Verfassers, Seite XXIII)

Das theoretische Weltbild soll also ausschließlich mechanische Begriffe benutzen und auf Gesetzen der Mechanik beruhen.

Hertz' eigenes Bild der Mechanik

Die Ausarbeitung der Theorie der Mechanik geschieht in zwei Büchern.

Über das erste Buch, das Aussagen zur Geometrie und Bewegungen enthält, schreibt Hertz:

„Den Überlegungen des ersten Buches bleibt die Erfahrung völlig fremd. Alle vorgetragenen Aussagen sind Urteile *a priori* im Sinne KANT'S.“

Die wichtigste Definition des ersten Buches lautet:

„Jede natürliche Bewegung eines selbständigen materiellen Systems bestehe darin, daß das System mit gleichbleibender Geschwindigkeit eine seiner geradesten Bahnen verfolge.“

Hertz' eigenes Bild: *Die Prinzipien der Mechanik* *Dynamische Modelle*

Definition: „Ein materielles System heißt dynamisches Modell eines zweiten Systems, wenn“ ...

- die **Anzahlen der Koordinaten** übereinstimmen,
- für beide Systeme **gleiche Bedingungsgleichungen** bestehen,
- die Ausdrücke für **die Verrückungen** übereinstimmen.

Folgerung 1:

„Ist ein System Modell eines zweiten Systems, so ist auch umgekehrt, das zweite System Modell des ersten.“

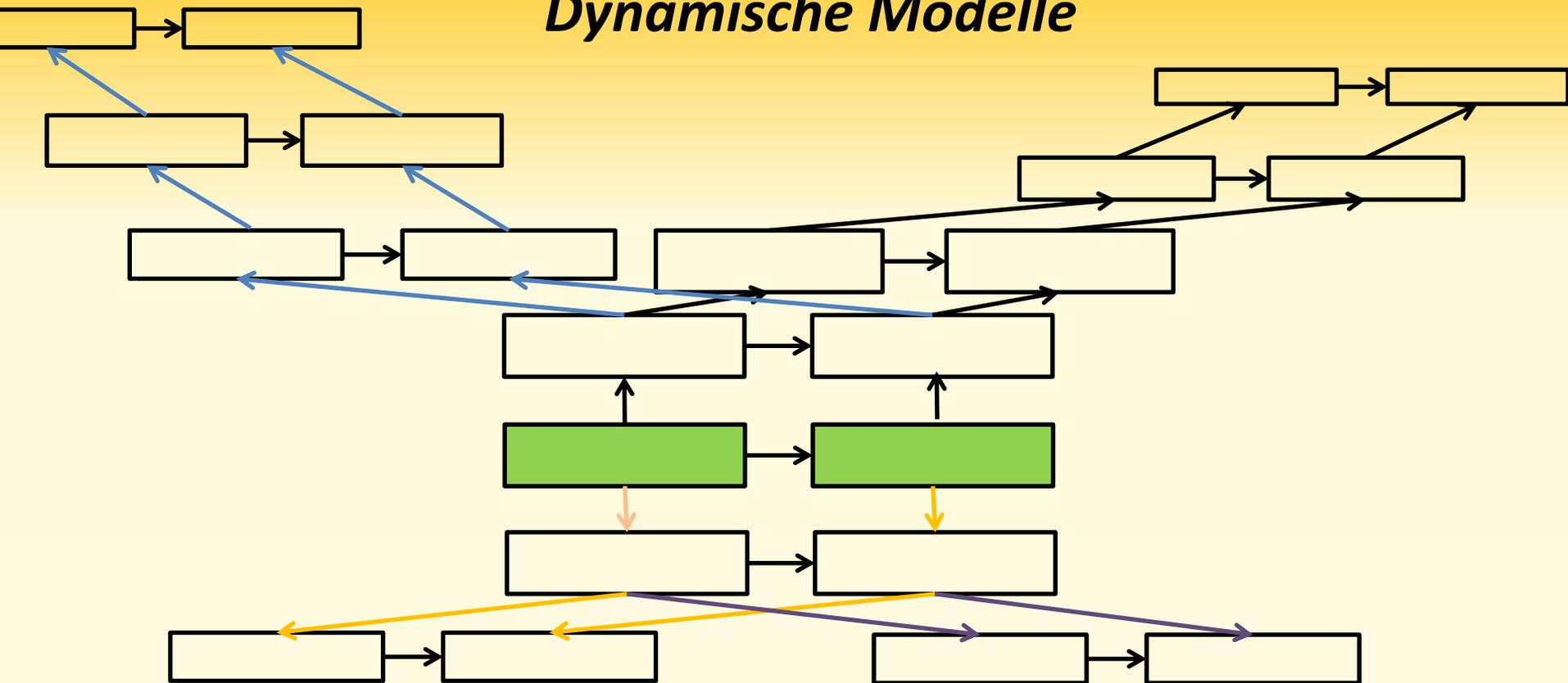
Hertz' eigenes Bild: *Die Prinzipien der Mechanik* *Dynamische Modelle*

Der Bezug zum Ausgangspunkt der Überlegungen von Hertz in der Einleitung:

„**Anmerkung 2:** Das Verhältnis eines dynamischen Modells zu dem System, als dessen Modell es betrachtet wird, ist dasselbe, wie das Verhältnis der Bilder, welche sich unser Geist von den Dingen bildet, zu diesen Dingen.“

„**Die Übereinstimmung zwischen Geist und Natur läßt sich also vergleichen mit der Übereinstimmung zwischen zwei Systemen, welche Modelle voneinander sind, [...]**“

Hertz' eigenes Bild: *Die Prinzipien der Mechanik* *Dynamische Modelle*



„**Folgerung 3:** Ein System ist noch nicht vollständig bestimmt dadurch, daß es Modell eines gegebenen Systems ist. **Unendlich viele, physikalisch gänzlich verschiedene Systeme können Modelle eines und desselben Systems sein.**“

Hertz' eigenes Bild der Mechanik

Das dritte Bild - Analyse

Hertz' Eigenanalyse:

Mögliche – von Hertz konstruierte - Einwände gegen:

Weitläufigkeit sowie

Zulässigkeit, Richtigkeit und Zweckmäßigkeit

widerlegt Hertz mit Argumenten, die er meistens schon bei den Definitionen verwendete.

Typisches Beispiel zur Zweckmäßigkeit: verborgene Massen sind wegen unserer mangelhaften Naturwahrnehmung als Hypothese notwendig.

Hertz' eigenes Bild der Mechanik

Das dritte Bild - Analyse

Zwei kritische Fremdanalysen in Stichworten:

Hugo Dingler (1848-1925) :

„... der stille und fast tragische Kampf *Boltzmanns* gegen die wilden und instinktlosen Formalisierungen von *H. Hertz* ...“



Ernst Mach (1838-1916) :

„Die Physik gewöhnt sich allmählich ohnehin, die Beschreibung der Tatsachen durch Differentialgleichungen als ihr eigentliches Ziel anzusehen, [...].“

„In dem schönen Idealbild der Mechanik, welches Hertz entwickelt hat, ist der physikalische Gehalt bis auf einen scheinbar kaum merklichen Rest zusammengeschrumpft.“

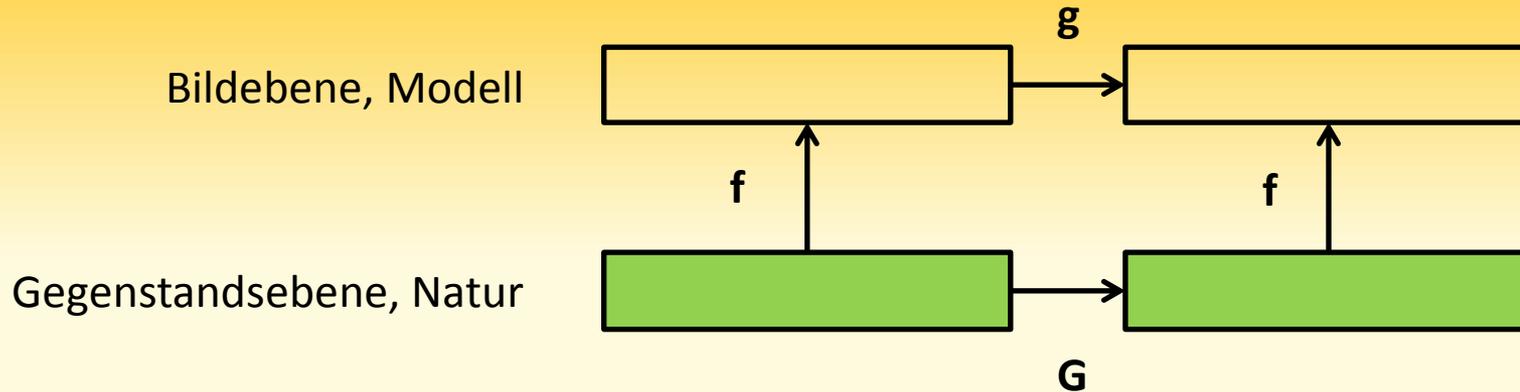


Hertz' eigenes Bild der Mechanik

Das dritte Bild - Analyse

Trotz solcher negativen Kritiken nimmt die Mathematisierung physikalischer Theorien nach dem Vorbild von Hertz ständig zu. Insbesondere die Strahlungstheorie der Wärme ist ohne statistische Methoden nicht zu bewältigen. Von daher entsteht um 1900 durch Boltzmann(!) und Max Planck (1858-1947) die Idee der Quantisierung.

Was bleibt? - Was ist noch sicher?



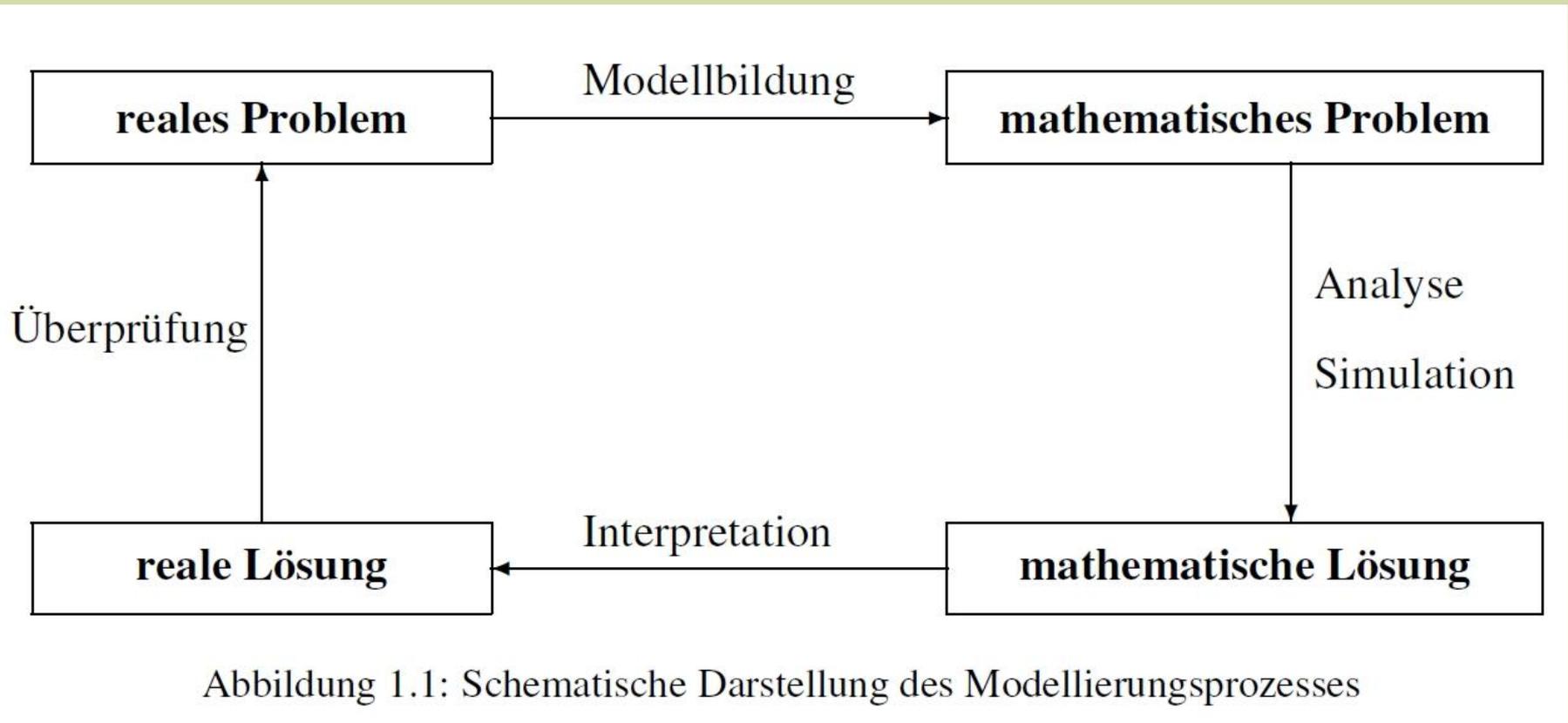
g : denknotwendige Folge

G : naturnotwendige Folge

Die Relation f ist **strukturerhaltend**, ein Homomorphismus
Erkennbar ist die **Kommutativität** der Verkettungen: $f \circ g = G \circ f$

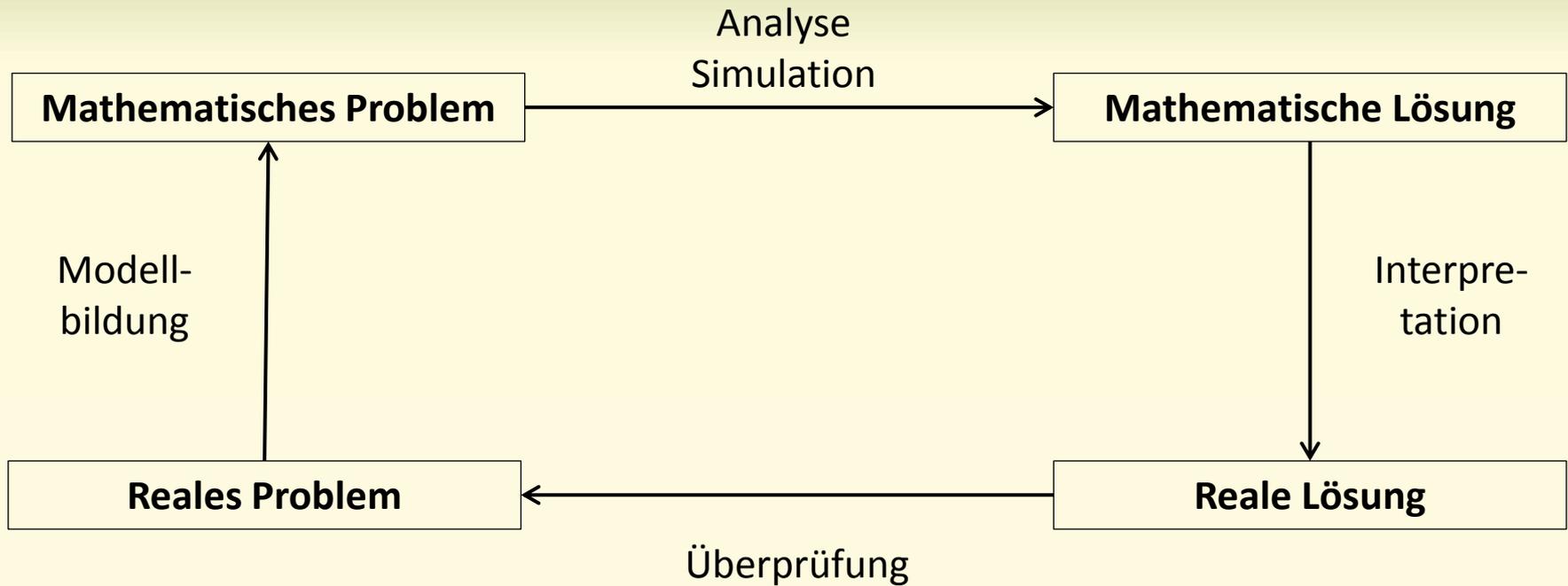
Da f^{-1} nicht existiert, muss B_2 , die denknotwendige Folge von B_1 ,
interpretiert werden, um G_2 prognostizieren zu können.
Das geschieht bei der **mathematischen Modellierung**.

Ausblick auf die mathematische Modellierung



Entnommen aus: **Ortlieb:2013**

Einschub: Ausblick auf die mathematische Modellierung



Was genau heißt und bedeutet „Interpretation“?

Eine Antwort könnten wir im „Strukturalistischen Theorienkonzept“ suchen.

Und die Antwort auf die Frage des Untertitels?



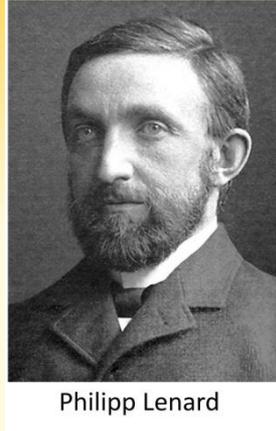
Herman v. Helmholtz



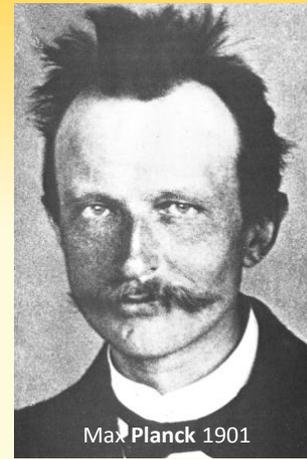
Heinrich Hertz



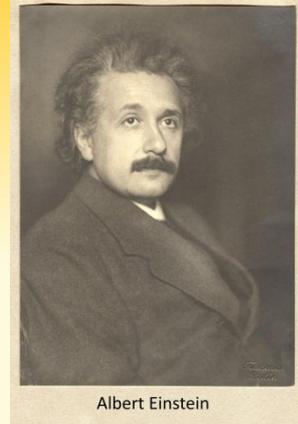
Wilhelm Hallwachs



Philipp Lenard



Max Planck 1901



Albert Einstein

Die Physiker um v. Helmholtz, Hertz, Hallwachs, Lenard und bis zu einem bestimmten Zeitpunkt Ende 1900 auch Planck waren stark an der Mechanik orientiert. Ihr Weltbild war noch extrem mechanistisch geprägt und deshalb von der Vorstellung rein stetiger Bewegungen und der absoluten Gültigkeit des Kausalgesetzes bestimmt. Ihre Modellvorstellungen kannten keine statistischen Gesetzmäßigkeiten. Daher konnten sie weder die lichtelektrischen Effekt noch die Wellenlängenabhängigkeit der Wärmestrahlung vollständig richtig interpretieren. Das gelang erst 1905 Albert Einstein nach Vorarbeit von Max Planck.

Wer will was Lebendigs erkennen und beschreiben,
Sucht erst den Geist heraus zu treiben,
Dann hat er die Teile in seiner Hand,
Fehlt, leider! nur das geistige Band.

(J. W- v. Goethe, Faust I: Mephisto zum Schüler über die Naturwissenschaft)



*Haben Sie noch
Fragen?*



Will Quadflieg und Gustav Gründgens 1960

Dann hätte ich da noch ein paar Fragen an Sie, ja an Sie!

Der Philosoph und Pädagoge Georg Picht (1913-1982) schreibt :

„Wir wissen, dass die Natur den Gesetzen gehorcht, die von der Natur erkannt worden sind, weil wir nach diesen Gesetzen operieren und den Erfolg unserer Operation mit Sicherheit vorausberechnen können.“

- Zitiert bei HOLM TETENS, *Wissenschaftstheorie*, München 2013

- Geben Sie Picht Recht? In jedem Fall oder vielleicht teilweise?
- Können Sie sich eine nicht-mathematisierte moderne Physik vorstellen, in der vielleicht mehr Natur enthalten ist?
- Sind Sie sicher, dass wir mit Hilfe technischer Anwendungen der Wissenschaft die für uns wichtigen Phänomene unter allen Umständen sicher beherrschen können?
- Haben Sie bei der vorigen Frage nur an die Naturwissenschaften gedacht oder vielleicht auch an die Medizin, die Soziologie oder die Ökonomie?

Nun ist aber wirklich Schluss!