

Der Hallwachs-Effekt

Das Tor zur Quantenphysik

Frühjahrstagung 2013 der Deutschen Physikalischen Gesellschaft
„Wissenstransfer in der Geschichte der Physik“
Fachverband Geschichte der Physik – 25-27.2.2013

© Harald Goldbeck-Löwe

Geschichte der Naturwissenschaften - Universität Hamburg
harald.goldbeck[at]physik.uni-hamburg.de

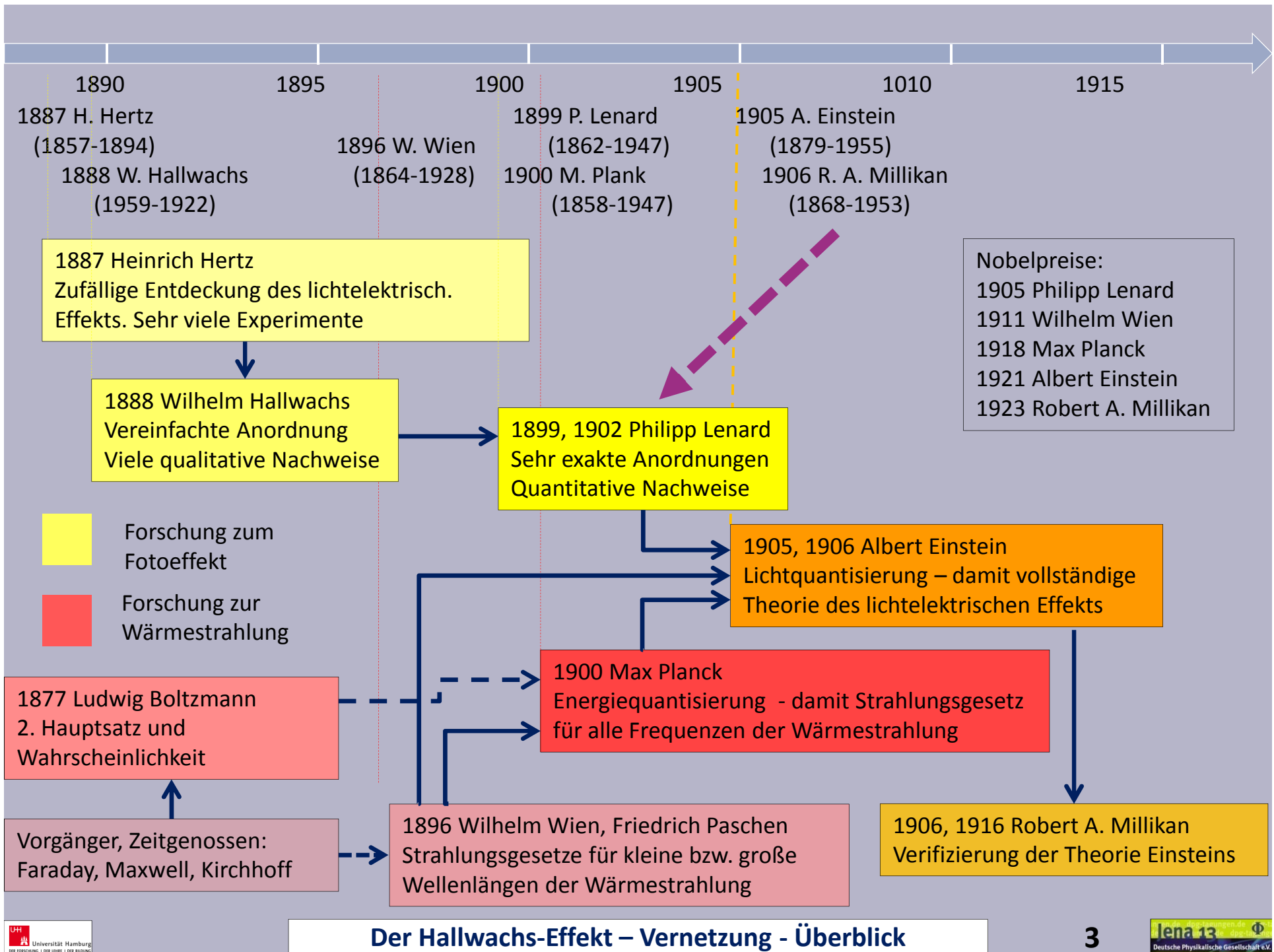
Überblick

Vernetzung - Wissenstransfer auf konventionellen Wegen innerhalb der Physik

Max Plancks „Akt der Verzweiflung“ – ein Beispiel für Methodentransfer innerhalb der Physik?

Bedingungen für funktionierenden Wissenstransfer

Work in Progress!



Der Hallwachs-Effekt – Vernetzung - Überblick



Um 1900

Philipp E. A. Lenard (1862-1947)

1905 Physik-Nobelpreis
(Kathodenstrahlen)

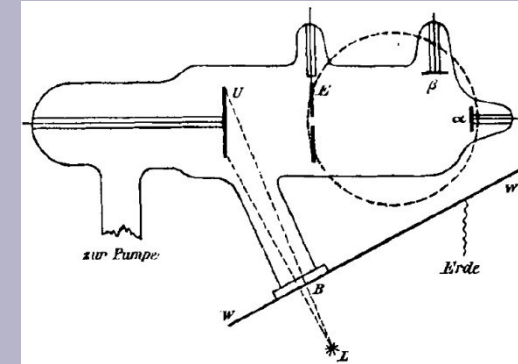
Später Wortführer der

„Deutschen Physik“,

Mitglied der NSDAP,

antisemitische Tendenzen

- Sorgfältiger Experimentator, „genialer Forscher“ (A. Kleinert)
- Vollständige Untersuchung des Fotoeffekts.
- Reiner Empiriker, kein Theoretiker
Keine Theorie des Lichtelektrischen Effekts



Röhre zur Untersuchung des
lichtelektrischen Effekts

Zu Philipp Lenard

1847	v. Helmholtz	„Erhaltung der Kraft“
1860	J.C. Maxwell	Geschwindigkeitsverteilung und Freie Weglänge von Gasmolekülen
1881	v. Helmholtz	Faraday-Rede: Struktur der Elektrizität
1887	Hertz	Über einen Einfluss des ultravioletten Lichts auf die elektrische Entladung: zufällige Entdeckung des lichtelektrischen Effekts
1888	Hallwachs	Über den Einfluss des Lichtes auf elektrostatisch geladene Körper
1888	A. Righi	Verhalten in Luft; Lichtquellen Kohlebogen und Zinkbogen
1888	Bichat, Blondlot, Rend	Einfluss des Anblasens der Oberfläche des bestrahlten Metalls
1889	A. G. Stoletow	Kräfte innerhalb einer Doppelschicht an der (Foto-)Kathode
1891	Elster und Geitel	Geschwindigkeit der „durch das Licht ausgetriebenen Quanten“ (Lenard)
1893	Elster und Geitel	Proportionalität zwischen Lichtintensität und Wirkung (Ladungsmenge Q)
1894	Lenard	Kathodenstrahlen im Gegenfeld machen Gase elektrisch leitend
1895	v. Helmholtz	Kräfte bei der elektromagn. Dispersion (Lenard: entsprechen den Kräften bei Resonanzschwingungen in den durch Licht angeregten Atomen)
1898	J. J. Thomson	Ladung an materiellen Trägern „gleich der eines einzelnen, selbständig beweglichen Quants freier Elektrizität“
1899	Schuster u. Hemsalech	Leuchtdauer einer Zinkfunkenpektrallinie
1899	Lenard	Erzeugung von Kathodenstrahlen durch ultraviolettes Licht
1899	Kurlbaum	Reflexionsvermögen von Petroleumruss für Ultrarot
1899	O. E. Meyer	Gasttheorie: Tabelle mittlerer freier Weglänge
>1899	Merrit und Steward	ähnliches Thema wie Lenard 1899
1901	J. S. Townsend	Materielle negativ geladene Träger können in Gasen neue Träger erzeugen
1902	Lenard	Über die lichtelektrische Wirkung - Fortsetzung der Arbeit von 1899

Literaturangaben und Bezüge bei Lenard 1902

Beteiligung von 19 Forschern außer Lenard

Zu Philipp Lenard

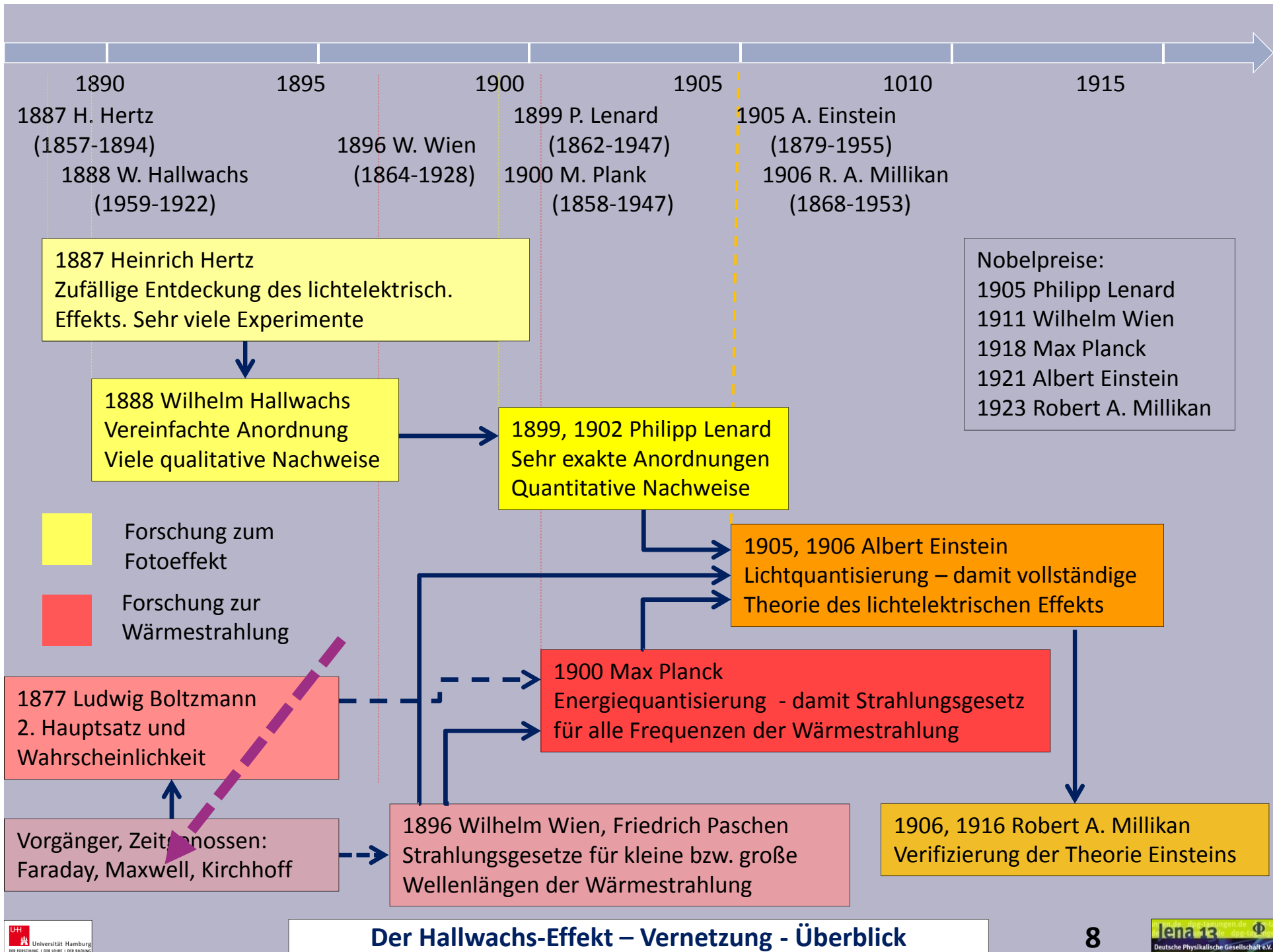
Ergebnisse der Experimente:

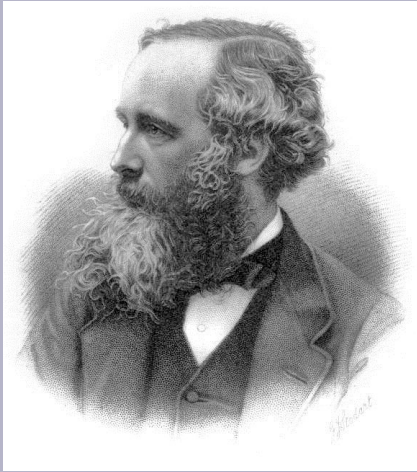
- Keine Abhängigkeit irgendeiner elektrischen Größe von der Lichtintensität.
- Nur Licht kurzer Wellenlängen ist wirksam,
- Glas- und Glimmerplatten halten alle Wirkung ab,
- Funken- und Kohlebogenlicht erzeugen verschiedene Anfangsgeschwindigkeiten.
- Lenards Annahme, dass die Absorption von Licht als Resonanzerscheinung aufgefasst werden kann, führt ihn auf einem **Widerspruch**.

Zu Philipp Lenard

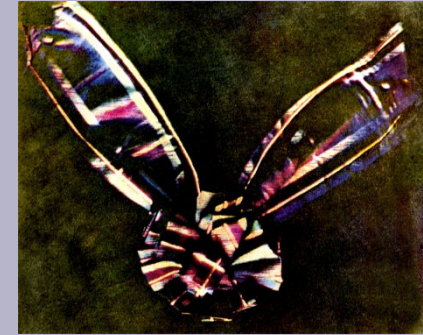
Wissenstransfer – Was geschieht mit Lenards Wissen?

- ü Die Frequenz- und Materialabhängigkeit der Elektronenenergie in Lenards Arbeit von 1902 regt A. Einstein zur theoretischen Erklärung des Fotoeffekts an.
- ü Lenards Röhre mit einer Kathode im Vakuum wird modifiziert zur Vakuum-Fotozelle mit Ringanode.
- ü Die von Lenard entwickelte Gegenfeldmethode wird zur Energieanalyse von Elektronen- und Ionenstrahlen genutzt.



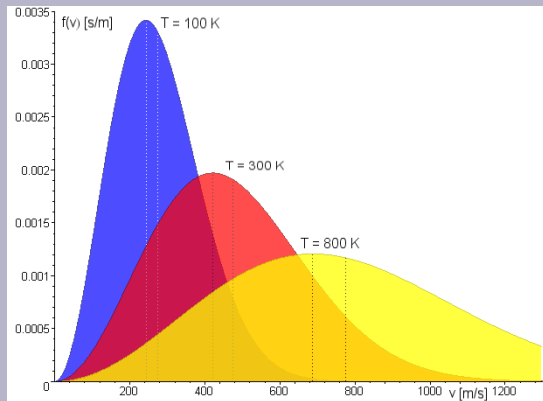


James Clerk Maxwell (1831-1879)



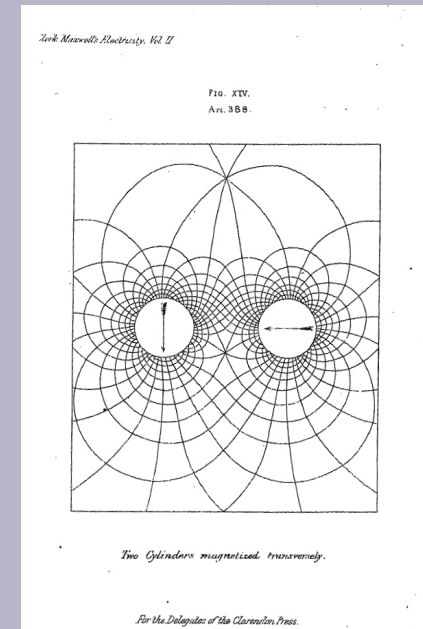
The Tartan Ribbon (1861)
Die weltweite Farbfotografie

Thermodynamik
Geschwindigkeitsverteilung
Aufgegriffen von Wien und Boltzmann

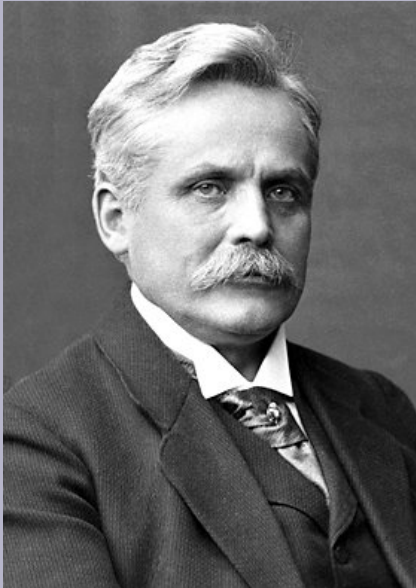


Maxwell-Boltzmannsche Geschwindigkeitsverteilung für Stickstoff – Quelle: Wikipedia

El.-Magn. Feldtheorie
Faraday: Anschaulichkeit
Maxwell: Theorie dazu.
Aufgegriffen:
1891 von Boltzmann
1896 von Hertz



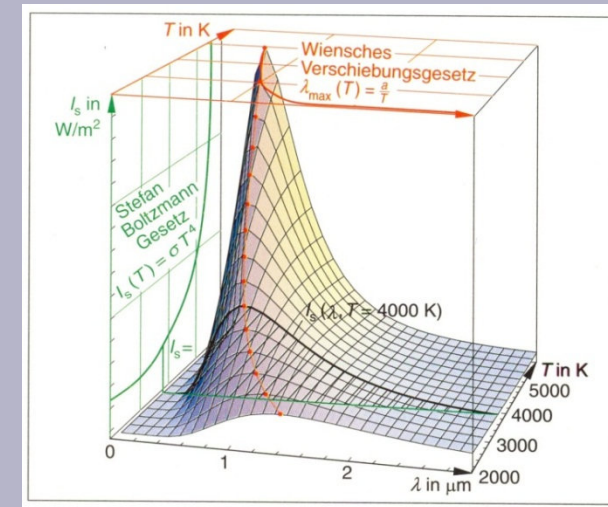
Two Cylinders magnetized transversely – Quelle: Maxwell, A Treatise on Electricity and Magnetism II, Oxford 1860.



Wilhelm (Willy) Wien (1864-1928)

1889-1892 Assistent bei
von Helmholtz

1911 Physik-Nobelpreis
(Verschiebungsgesetz)



Plancksches Strahlungsgesetz – 3-dimensional
Quelle: Grehn, Krause: Metzler Physik, Hannover 1998

- Grundlage: das Wiensche Verschiebungsgesetz.
- Zusätzliche Hypothesen:
 - stationärer Zustand von Absorption und Emission,
 - Maxwell'sche Geschwindigkeitsverteilung
 - und weitere

Zu Wilhelm Wien

Wiens Strahlungsgleichung: $\varphi_\lambda = \frac{c}{\lambda^5} e^{-\frac{c}{\lambda\vartheta}}$

veröffentlicht im Juni 1896 (Theorie).

Wien nutzt Ergebnisse von Lommel, Paschen, Maxwell, Clausius, Boltzmann und Helmholtz.

Paschens Strahlungsgleichung: $J = c_1 \lambda^{-a} e^{-\frac{c_2}{\lambda T}}$
veröffentlicht im Mai 1896 und Januar 1897 (Experiment)

Paschen nutzt Ergebnisse von Kirchhoff, Langley, Weber, Michelson, Rayleigh, v. Köveslighety, Stefan, Boltzmann, Wien, Nicols, Rubens und Lummer.

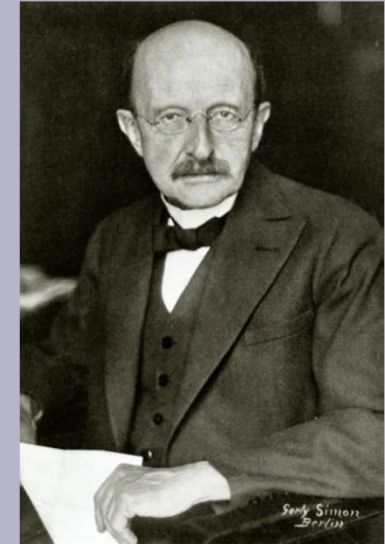


ca. 1901

Max K. E. L. Planck (1858-1947)

1919 Physik-Nobelpreis
(Entdeckung des Wirkungsquantums)

1930-1937 Präsident der
Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft



Reiner Theoretiker.

Aussagen wurden stets durch Experimente überprüft.

Strebte im besonderen Maße nach dem »Absoluten« in den
Gesetzen der Natur (Hermann 1973).

Zu Max Planck

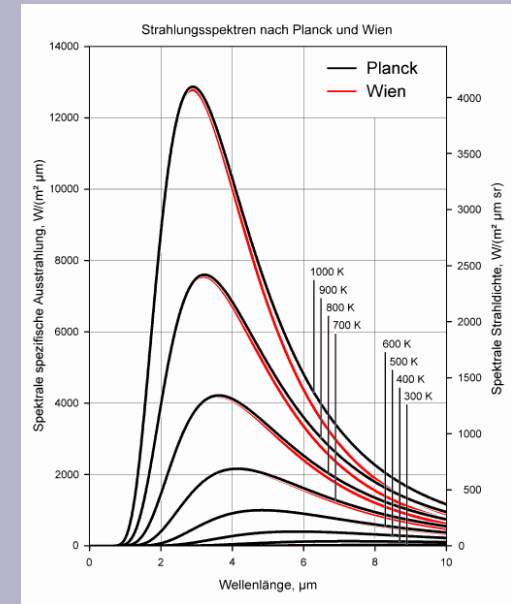
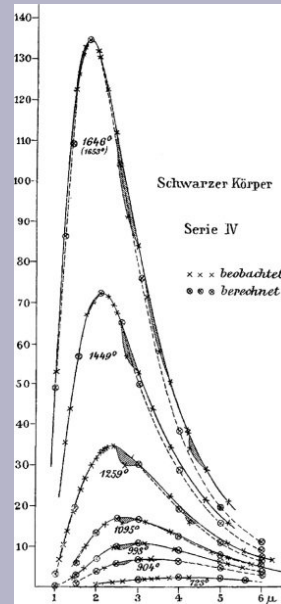
Von 1895 an Forschung zur **Wärmestrahlungstheorie**.
 Ausgangsvorstellung nach 1896: **Schwarzer Strahler** wie Wien.

$$\text{Wien: } \varphi_{\lambda} = \frac{c}{\lambda^5} e^{-\frac{c}{\lambda\vartheta}}$$

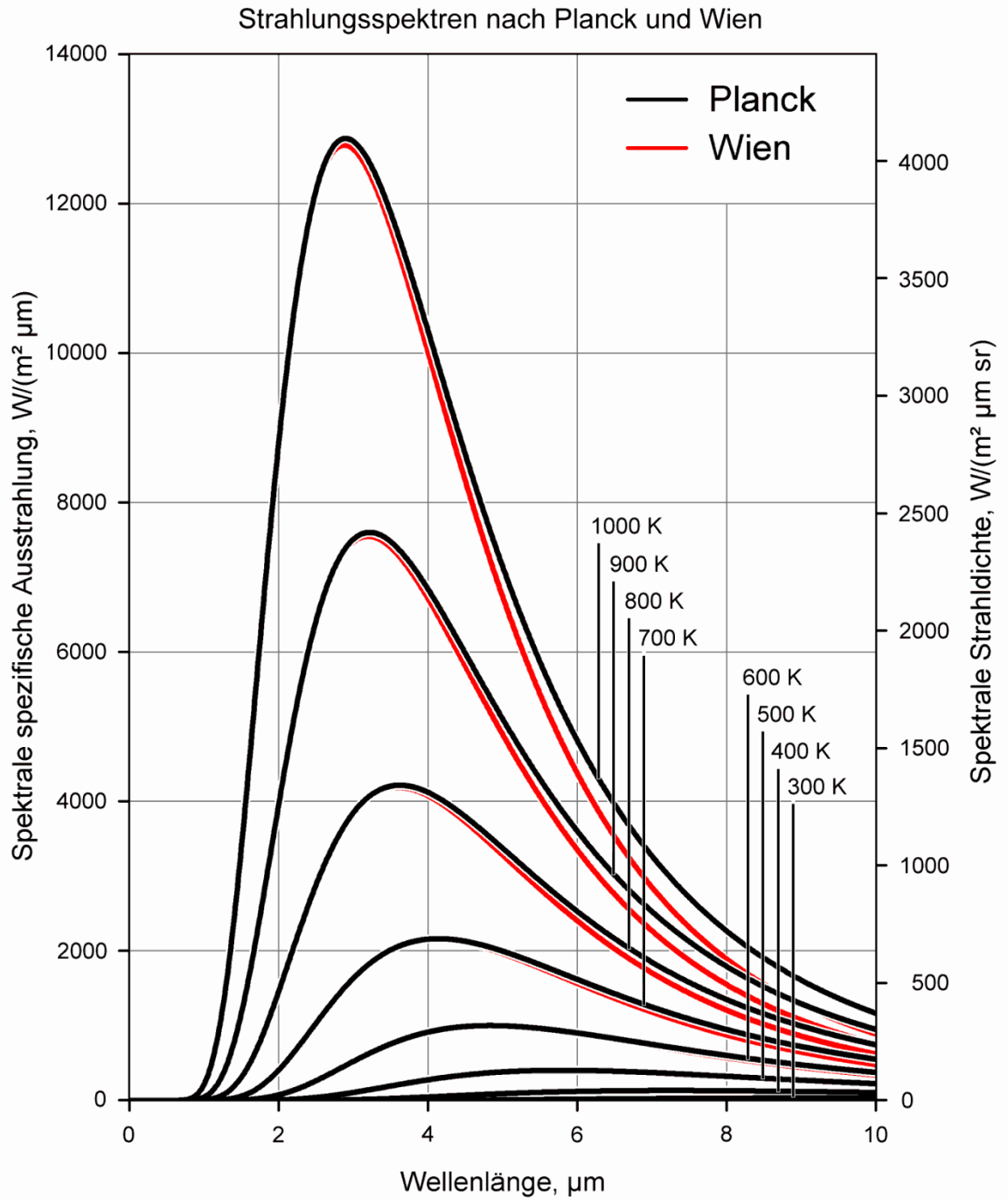
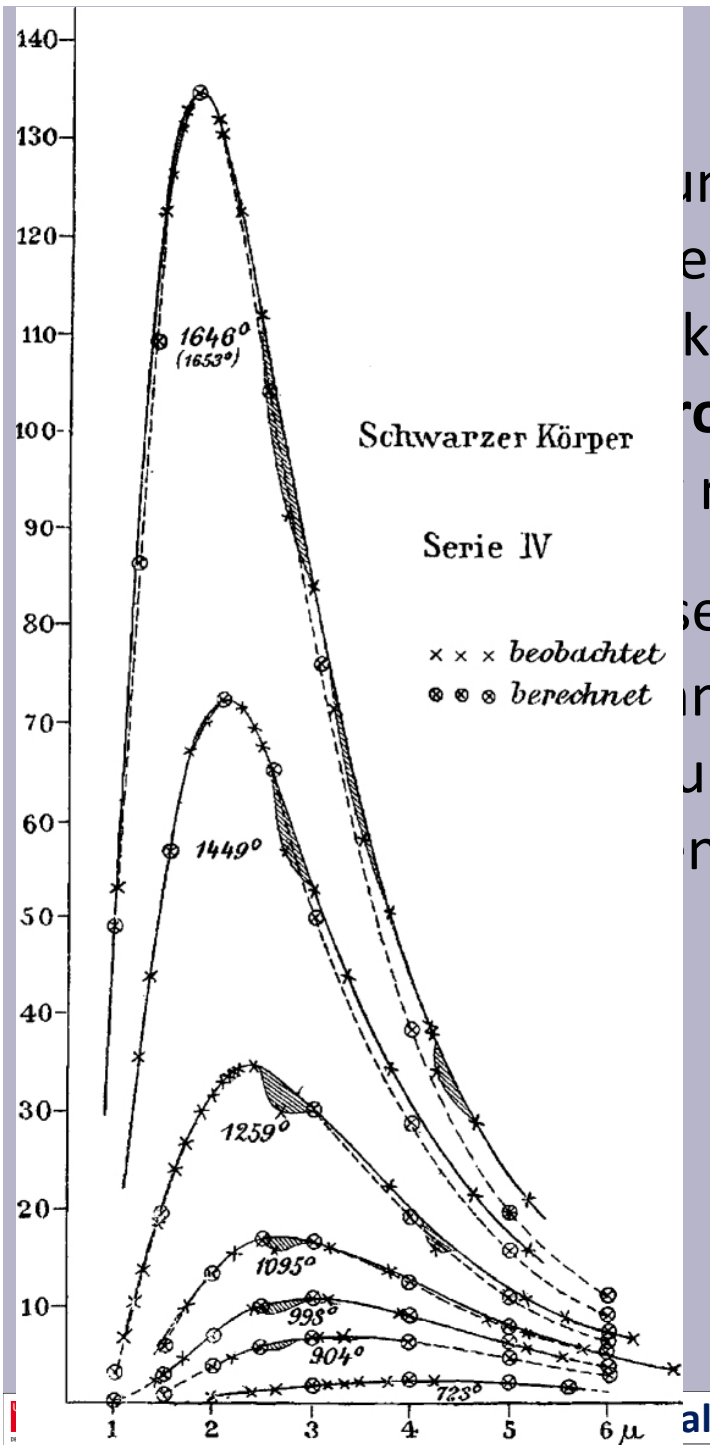
Plancks Basis: „absolute“
 Interpretation des **Zweiten Hauptsatzes**,
 der **Entropie** des Resonators
 und **irreversibler Prozesse**.

Planck „interpoliert“ zu neuem
 Gesetz:

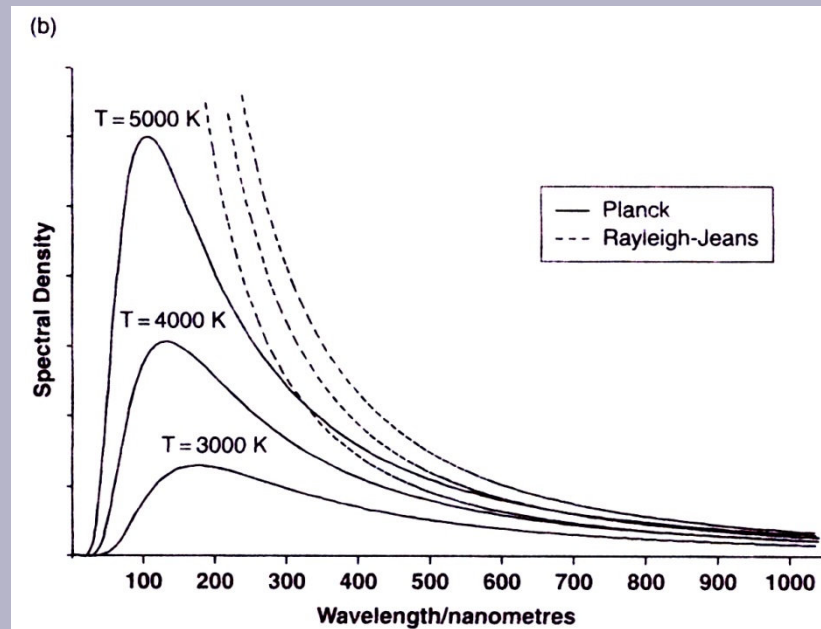
$$\text{Planck: } E = \frac{c\lambda^{-5}}{e^{\frac{c}{\lambda T}} - 1}$$



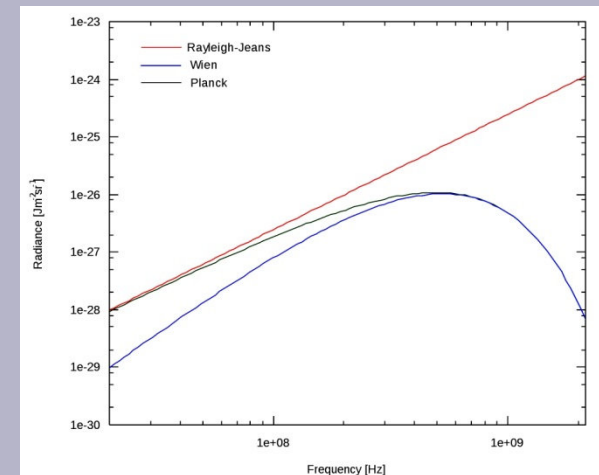
Vergleich Wien – Planck
 Li: Messungen von Lummer und Pringsheim vs. Berechnungen nach Wien
 Re: Berechnungen nach Wien (rot) und Planck (schwarz).



Zu Max Planck



Rayleigh's Gesetz vor dem 19.10.1890
durch Rubens Planck mitgeteilt.



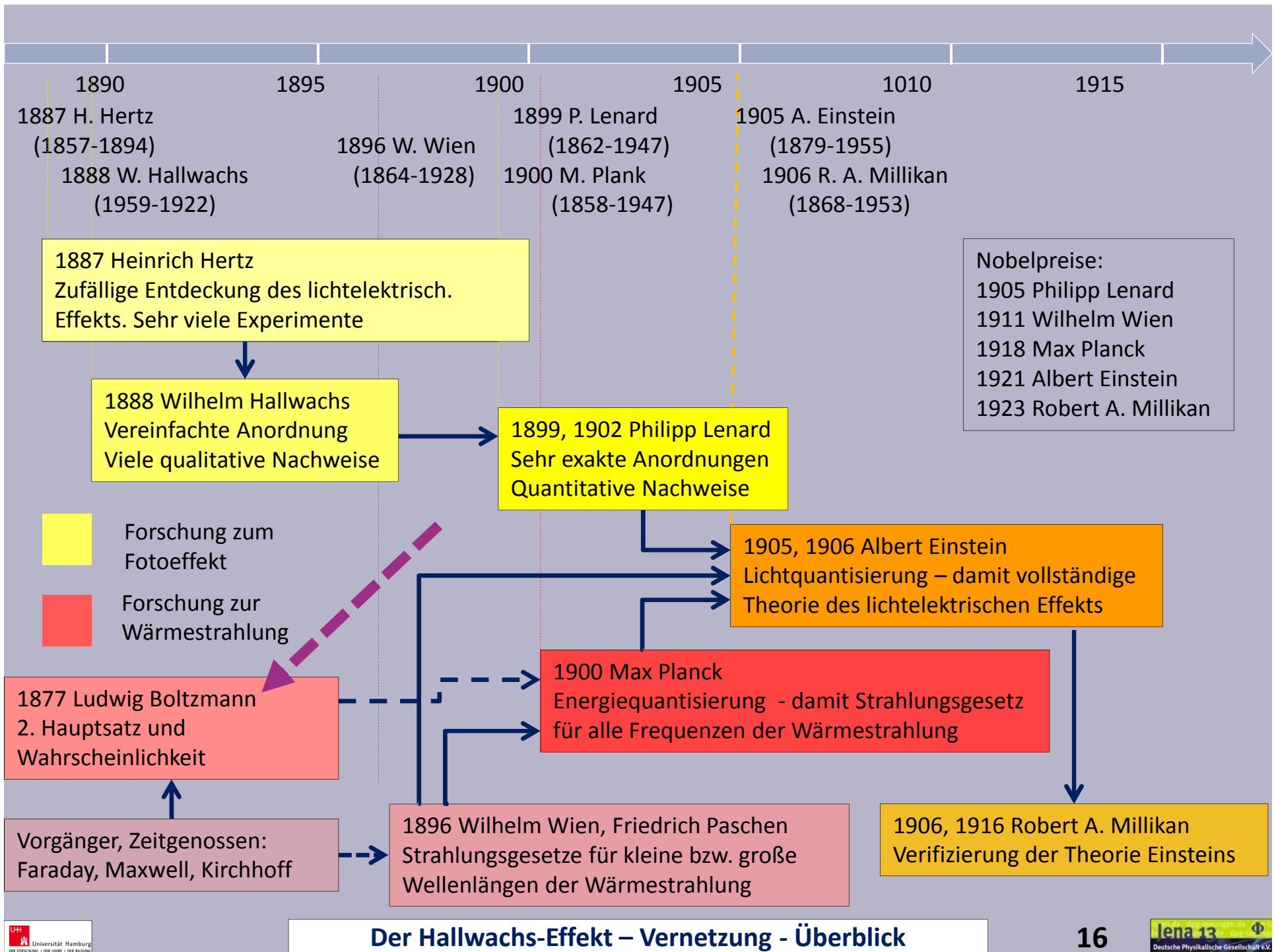
$$\text{Rayleigh: } u = \frac{8\pi\nu^2}{c^3} kT$$

$$\text{Wien: } \varphi_\lambda = \frac{C}{\lambda^5} e^{-\frac{c}{\lambda\vartheta}}$$

$$\text{Planck: } E = \frac{c\lambda^{-5}}{e^{kT}-1}$$

Planck: „Interpretationsformel mit beschränktem Wert“
Also: „**Methode Boltzmann**“: theoretische Herleitung seines
Strahlungsgesetzes mit Energiequanten $\varepsilon = h \cdot \nu$. (14.12.1900)

Quelle: Wikipedia



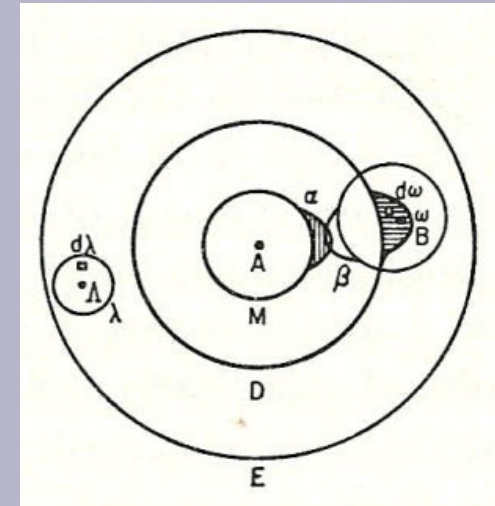
Der Hallwachs-Effekt – Vernetzung - Überblick



Titelbild: BoltzmannBroda.1979

Ludwig Boltzmann (1844-1906)

1869 Professor in Graz für
mathematische Physik,
aber auch ausgezeichneter
Experimentator (Broda)



Quelle: http://en.wikipedia.org/wiki/Ludwig_Boltzmann

Anschauliche Deutung des zweiten Hauptsatzes der Thermodynamik durch Rückführung auf statistische Betrachtungen an Gasen (1872).

Planck lehnte Boltzmanns „atomistische Theorie“ (Planck) ab.
Das Prinzip der Energieerhaltung sei kein Wahrscheinlichkeitsgesetz.

Dabei Einführung diskreter Energiezustände der Gasmoleküle.



Einstein 1904

Albert Einstein

(1879-1955)

Gilt als Inbegriff des theoretischen Forschers und Genies

1921 Physik-Nobelpreis
(Erklärung des Fotoeffekts)

6. *Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt;*
von A. Einstein.

Zwischen den theoretischen Vorstellungen, welche sich die Physiker über die Gase und andere ponderable Körper gebildet haben, und der Maxwell'schen Theorie der elektromagnetischen Prozesse im sogenannten leeren Raume besteht ein tiefgreifender formaler Unterschied. Während wir uns nämlich den Zustand eines Körpers durch die Lagen und Geschwindigkeiten einer zwar sehr großen, jedoch endlichen Anzahl von Atomen und Elektronen für vollkommen bestimmt ansehen, bedienen wir uns zur Bestimmung des elektromagnetischen Zustandes eines Raumes kontinuierlicher räumlicher Funktionen, so daß also eine endliche Anzahl von Größen nicht als genügend anzusehen ist zur vollständigen Festlegung des elektromagnetischen Zustandes eines Raumes. Nach der Maxwell'schen Theorie ist bei allen rein elektromagnetischen Erscheinungen, also auch beim Licht, die Energie als kontinuierliche Raumfunktion aufzufassen, während die Energie eines ponderablen Körpers nach der gegenwärtigen Auffassung der Physiker als eine über die Atome und Elektronen erstreckte Summe darzustellen ist. Die Energie eines ponderablen Körpers kann nicht in beliebig viele, beliebig kleine Teile zerfallen, während sich die Energie eines von einer punktförmigen Lichtquelle ausgesandten Lichtstrahles nach der Maxwell'schen Theorie (oder Allgemeiner nach jeder Undulationstheorie) des Lichtes auf ein stets wachsendes Volumen sich kontinuierlich verteilt.

Die mit kontinuierlichen Raumfunktionen operierende Undulationstheorie des Lichtes hat sich zur Darstellung der rein optischen Phänomene vortrefflich bewährt und wird wohl nie durch eine andere Theorie ersetzt werden. Es ist jedoch im Auge zu behalten, daß sich die optischen Beobachtungen auf zeitliche Mittelwerte, nicht aber auf Momentanwerte beziehen, und es ist trotz der vollständigen Bestätigung der Theorie der Beugung, Reflexion, Brechung, Dispersion etc. durch das

Die erste von vier bahnbrechenden wissenschaftlichen Arbeiten in Einsteins „annus mirabilis“ 1905 trägt die Überschrift: ***Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt***

§ 1 Theorie der „schwarzen Strahlung“

§ 2 Plancksche Elementarquanta

§ 3 Entropie der Strahlung

§ 4 Grenzgesetz für die Entropie

§ 5 Entropie in Gasen und verdünnten Lösungen

§ 6 Boltzmannsches Prinzip

§ 7 Stokessche Regel

§ 8 Lichtelektrischer Effekt

§ 9 Ionisierung von Gasen

Zu Albert Einstein

$$\Pi \varepsilon = \frac{R}{N} \beta v - P,$$

Einsteins Ergebnis seiner Herleitung von 1905.

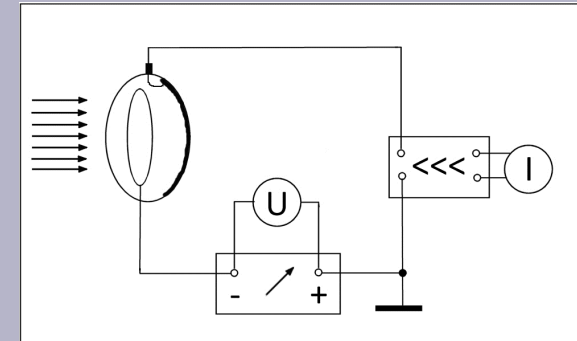
$\Pi \varepsilon$ entspricht dem modernen eU bei $I = 0$.

$\beta = h/kT$; $R\beta/N = h$: Plancksches Wirkungsquantum.

P gibt die Austrittsarbeit W_A der Elektronen aus der Metalloberfläche wieder.

In der modernen Form lautet die Gleichung:

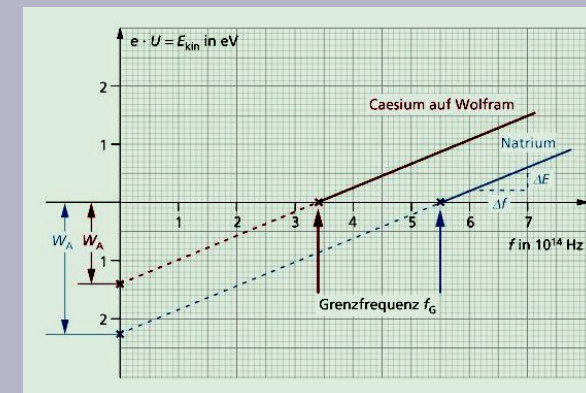
$$eU = h\nu - W_A.$$



Schaltskizze (Autor)



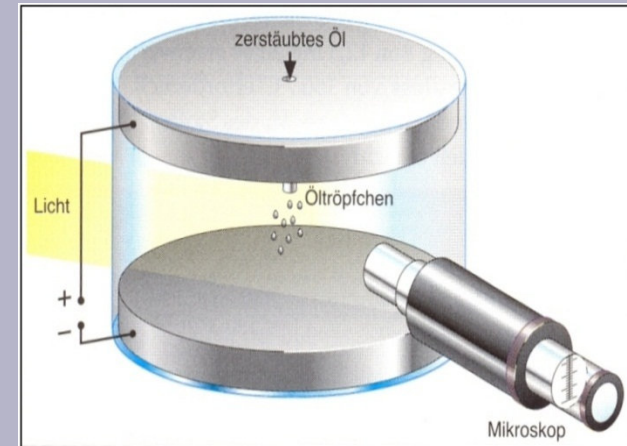
Versuchsaufbau (PhysLab FU)



Einsteingerade (PhysLab FU)



Robert Andrews Millikan
(1868-1953)
1923 Physik-Nobelpreis
(Öltröpfchen-Versuche)



10 Jahre lang beschäftigt mit der experimentellen Bestätigung von Einsteins Theorie des Fotoeffekts.

Ergebnis: Einsteins Gleichung gibt die Energie der Elektronenemission bei Lichtbestrahlung exakt wieder.

„Nichtsdestoweniger erscheint mir die physikalische Theorie, auf der sich die Gleichung aufbaut, gänzlich unhaltbar.“

(Physikalische Zeitschrift 17 (11), 1916; 220.)

Bedingungen für funktionierenden Wissenstransfer

Tatsachenwissen:

- Reproduzierbarkeit
- Dokumentation:
 - Verständliche, zeitgemäße Sprache:
 - Mehrsprachigkeit, Internationalität
 - für das Fachkollegium Fachsprache
 - aus dem Fachkollegium hinaus weitgehender Verzicht auf exklusiv wirkende Fachsprache
 - Rücksichtnahme auf Mehrfachdefinitionen
 - Bildhafte Sprache

Bedingungen für funktionierenden Wissenstransfer

Methodenwissen:

- Theorie: siehe Dokumentation Tatsachenwissen
- Experiment:
 - Klare, übersichtliche Geräteanordnung
 - Dokumentation in Text, Bild und Video
 - Demonstration
- Außerhalb des Fachkollegiums:
 - Aktives Training
 - mit vorgefertigter Versuchsanordnung
 - in genetisch-dialogischer Arbeit

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

harald.goldbeck@physik.uni-hamburg.de

Diese Präsentation und der Vortragstext können in Kürze unter hgoldbeck.de abgerufen werden.