

23. Photoeffekt

Der photoelektrische Effekt wurde 1887/88 von Hertz und Haalwachs entdeckt. Sie beobachteten, dass bei Lichteinfall auf ein Metall oberhalb einer bestimmten Frequenz, der Grenzfrequenz, ein Stromfluss nachgewiesen werden kann. Aus dem Metall müssen also Elektronen ausgetreten sein. Bei genaueren Untersuchungen wurde eine Gegenspannung zum fließenden Strom angelegt und solange erhöht wurde, bis kein Strom mehr zu messen war. Auf diese Weise liess sich nach folgender Gleichung die kinetische Energie der Elektronen bestimmen:

$$e_0U = \frac{1}{2}mv^2$$

Es wurde festgestellt, dass nicht nur eine Grenzfrequenz existiert, sondern auch, dass die Stromspannung unabhängig von der Intensität des eingestrahnten Lichtes ist. Das musste bedeuten, dass die Energie der Elektronen, proportional zur gemessenen Spannung, unabhängig von der Wellenlänge des Lichtes ist. Wird die Intensität erhöht so ändert sich nur die Stromstärke, also die Menge der in einer bestimmten Zeit fließenden Elektronen.

Abhängigkeiten bestanden nur zur Wellenlänge des Lichtes sowie der Art des verwendeten Metalls, letztendlich also einer Materialeigenschaft. Gedeutet wurde dieser Versuch erst später von Einstein im Rahmen der Quantentheorie. Die vorliegenden Ergebnisse konnten nämlich mit der reinen Welleneigenschaft des Lichtes nicht mehr erklärt werden. Erst wenn man dem Licht Teilchencharakter zuweist, man also von Photonen, Lichtteilchen, ausgeht ist eine Erklärung möglich. Das Photon hat dann eine, der Frequenz proportionale, Energie. Unterhalb einer bestimmten Energie, und somit auch Frequenz, kann es das Valenzelektron des Metalls nicht von dem Atom ablösen da die erforderliche Ablösearbeit grösser ist als die Energie, die dem Photon zur Verfügung steht. Das erklärt das Vorliegen einer Grenzfrequenz ($E=h\nu$). Dadurch, dass das Photon stets eine von der Frequenz bestimmte Energie hat kann es in Wechselwirkung mit dem Valenzelektron des Metalls natürlich auch immer nur freie Elektronen mit einer bestimmten kinetischen Energie erzeugen. Erhöht man die Strahlungsintensität, so treffen mehr Photonen auf das Metall. Demnach werden auch mehr Elektronen frei, der fließende Strom erhöht sich, aber immer noch hat jedes frei Elektron die gleiche kinetische Energie. Die Spannung bleibt also konstant. Ändert man hingegen die Frequenz, so ändert man die Energie des Photons, die des freien Elektrons. Die Spannung muss sich demnach auch ändern. Diese Zusammenhänge lassen sich in folgendem linearen Zusammenhang darstellen:

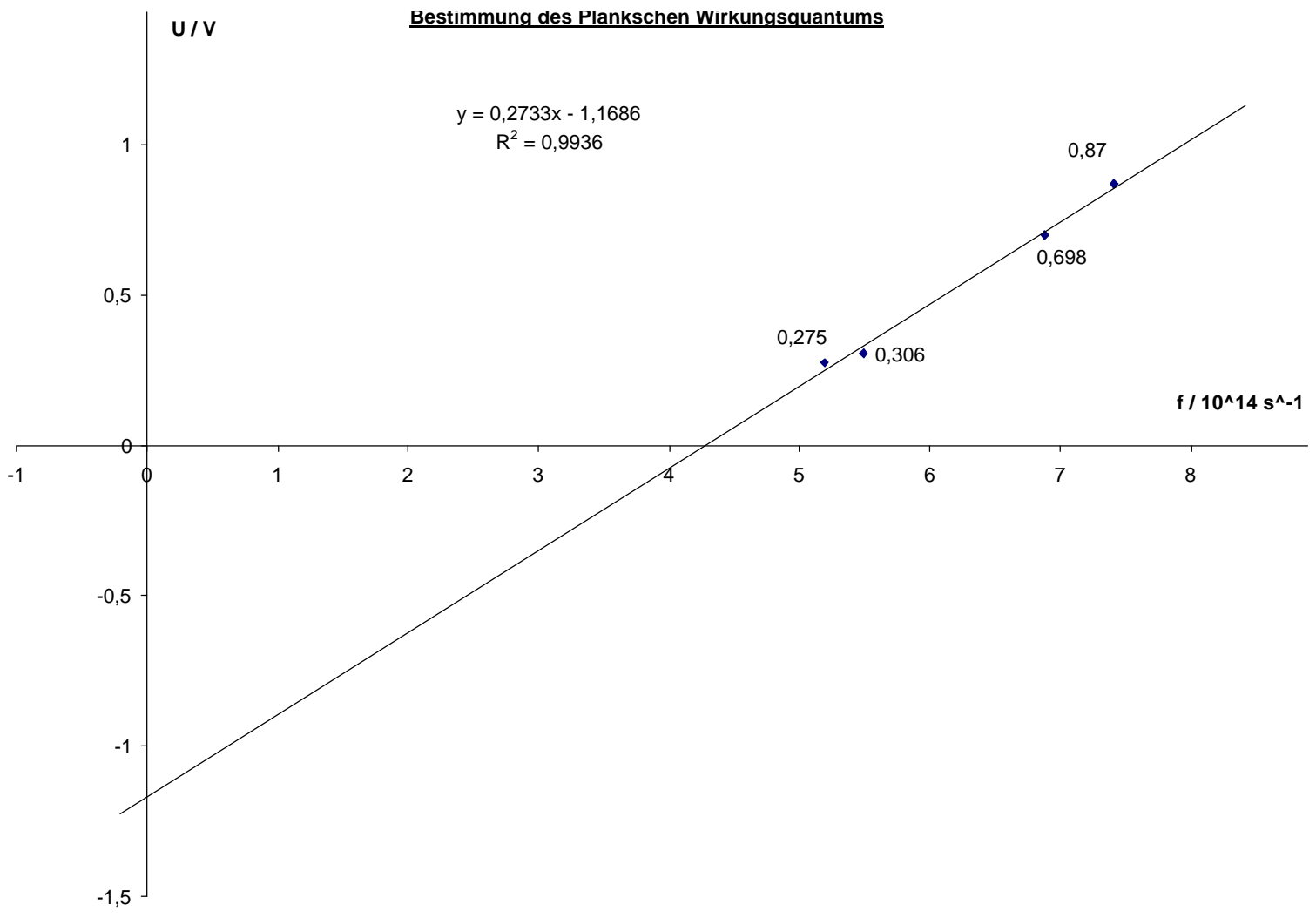
$$U = \frac{h}{e} \nu - \frac{A}{e}$$

Mit diesem Versuch ist also die Möglichkeit gegeben die elementarste Naturkonstante der Quantenmechanik zu bestimmen, das Planksche Wirkungsquantum h . Eben diese Bestimmung wurde im Versuch durchgeführt und wird im Folgenden beschrieben:

Aufgrund der Praktikabilität wird als Metall in dem Versuch Kalium verwendet, da die zur Stromerzeugung benötigten Wellenlängen im UV-VIS-Bereich liegen (leichte Ablösbarkeit des Valenzelektrons).

Es wird verschieden farbiges Licht, mittels Interferenzfilter aus dem Spektrum einer Hg-Lampe herausgefiltert, auf die Kaliumkathode gelenkt und die zur Stromlosigkeit führende Gegenspannung gemessen. Die so erhaltenen Werte werden dann in einem Diagramm gegen die entsprechenden Frequenzen aufgetragen und mittels linearer Regression der y - Achsen - Abschnitt und die Geradensteigung ermittelt. Aus diesen Werten lassen sich sowohl die Ablösearbeit für das Elektron, also die erste Ionisierungsenergie für Kalium, als auch das Wirkungsquantum errechnen:

Farbe	Wellenlänge λ / nm	Frequenz ν / s ⁻¹	U_g / V
gelb	578	$5,19 \cdot 10^{14}$	0,275
grün	546	$5,49 \cdot 10^{14}$	0,306
blau	436	$6,88 \cdot 10^{14}$	0,698
violett	405	$7,41 \cdot 10^{14}$	0,87



Für die Ablösearbeit A ergibt sich so:

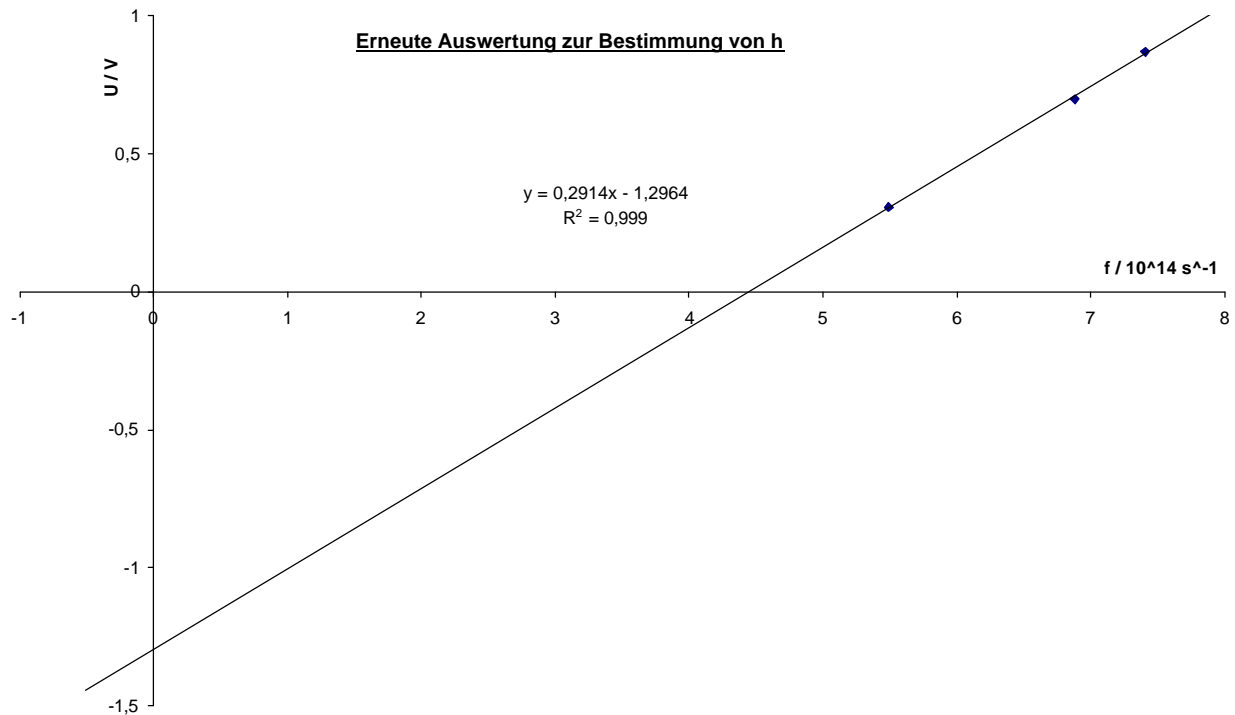
$$\begin{aligned}
 -1,1686 \text{ V} &= -A/e_0 \\
 A &= 1,1686 \text{ V} * 1,602177 * 10^{-19} \text{ As} \\
 \underline{\underline{A}} &= \underline{\underline{1,8723 * 10^{-19} \text{ J}}}
 \end{aligned}$$

Das Wirkungsquantum errechnet sich zu:

$$\begin{aligned}
 0,2733 \text{ V} / 10^{14} \text{ s}^{-1} &= h / e_0 \\
 h &= 0,2733 * 1,602177 * 10^{-33} \text{ Js} \\
 \underline{\underline{h}} &= \underline{\underline{4,3788 * 10^{-34} \text{ Js}}}
 \end{aligned}$$

Dieser Wert ist nur 66,08% der bekannten Konstante, so dass in der Apparatur oder im Experiment ein sehr grosser Fehler vorhanden gewesen sein muss.

Bei kritischer Betrachtung der Messwerte erkennt man, dass es sich bei dem kleinsten Wert um einen Ausreisser handeln könnte. Er wird aus der Auswertung herausgenommen und der Versuch erneut ausgewertet:



Für die Ablösearbeit A ergibt sich so:

$$\begin{aligned} -1,2964 \text{ V} &= -A/e_0 \\ A &= 1,2964 \text{ V} * 1,602177 * 10^{-19} \text{ As} \\ \underline{\underline{A}} &= \underline{\underline{2,0771 * 10^{-19} \text{ J}}} \end{aligned}$$

Das Wirkungsquantum errechnet sich zu:

$$\begin{aligned} 0,2914 \text{ V} / 10^{14} \text{ s}^{-1} &= h / e_0 \\ h &= 0,2914 * 1,602177 * 10^{-33} \text{ Js} \\ \underline{\underline{h}} &= \underline{\underline{4,6687 * 10^{-34} \text{ Js}}} \end{aligned}$$

Trotz der wesentlich besser angepassten Geraden weicht der Wert für h immer noch stark ab. Es lässt sich also sagen, dass man für eine genauere Bestimmung das Experiment wiederholen und systematisch auf Fehlerquellen untersuchen müsste.