**Der Lichtelektrische Effekt – Phänomene, Widersprüche, Deutung**

**Hinweis:** Die folgenden Überlegungen sind nicht leicht nachzuvollziehen, sie sind allerdings auch **nicht** für das Verständnis des weiteren Unterrichtsstoffes notwendig und somit eher für besonders interessierte KursteilnehmerInnen gedacht.
Zudem werden hier einige grundlegende physikalische Begriffe (elektrisches Feld, elektrische Feldstärke, Spannung sowie elektromagnetische Welle) benutzt, obwohl Sie diese noch nicht im Unterricht kennen gelernt haben. Diese Begriffe müssen Sie sich z. B. mit Hilfe Ihres Physikbuchs selbstständig erarbeiten bzw. zumindest „plausibel machen“. Eine genauere Behandlung dieser Begriffe erfolgt aber auch noch zu einem späteren Zeitpunkt im Unterricht.

Die kinetische Energie eines geladenen Teilchens (hier eines Elektrons) kann mit Hilfe eines sogenannten ***elektrischen Feldes*** (🡪 Buch) verändert werden. Somit müsste einem Elektron auch mit einer ***elektro***magnetischen Welle (🡪 Buch) Energie zugeführt werden können, denn eine ***elektro***magnetische Welle liefert unter anderem ein zeitlich und räumlich veränderliches ***elektrisches Feld***. Ist die von einer solchen Welle auf das Elektron übertragene Energie groß genug, müsste sich das Elektron aus einem Metall heraus lösen lassen. Eine entsprechende Modellrechnungen führen aber zu Widersprüchen zu unseren bisherigen Beobachtungen beim Hallwachsversuch.

Zur Vereinfachung soll im Folgenden die Wechselwirkung eines einzelnen Elektrons mit dem zeitabhängigen elektrischen Feld einer elektromagnetischen Welle betrachtet werden. Das Elektron soll, wie in der folgenden Abbildung dargestellt, zunächst an der Stelle genau auf der x - Achse ruhen. Zum Zeitpunkt erreicht die in x - Richtung laufende Welle das Elektron. Somit befindet sich das Elektron für in einem (zeitlich veränderlichen) elektrischen Feld mit der ***elektrischen Feldstärke***
(🡪 Buch) (Der Einfluss des magnetischen Feldes wird vernachlässigt.)

Abbildung: Die Welle erreicht das zunächst noch ruhende Elektron.

Elektron

an der Stelle **x0**

**x**

*E*

***c***

„Momentaufnahme zum Zeitpunkt t = 0 s

**Aufgaben:**

1. *Leiten Sie (ausgehend von sowie der Newton’schen Grundgleichung) einen Term für die zeitabhängige Beschleunigung her, die das Elektron in dem sich zeitlich verändernden elektromagnetischen Feld der Welle erfährt.*
2. *Prüfen Sie (z. B. durch Bildung der Ableitung), dass die sich für das Elektron ergebende Geschwindigkeits - Zeit - Funktion sein kann.*
3. Für die kinetische Energie des Elektrons ergibt sich aus 2. somit der Term *Leiten Sie daraus den Term*  *her, der die maximale kinetische Energie angibt, die das Elektron durch die Wechselwirkung mit der elektromagnetischen Welle (also mit dem elektromagnetischen Feld der Welle) erreicht.*

**Daraus folgt aber ein Widerspruch zu den experimentellen Befunden beim Photoeffekt:**

Mit  folgt aus dem hergeleiteten Term  für die maximale kinetische Energie, die ein (anfänglich ruhendes) Elektron durch Wechselwirkung mit einer elektromagnetischen Welle erreichen kann: 

1. *Analysieren Sie, inwiefern diese nach der klassischen Theorie gewonnene Formel im Widerspruch zu den wesentlichen experimentellen Befunden beim Photoeffekt steht.*Hinweis: Das Quadrat der Amplitude der elektrischen Feldstärke (also ) ist propor- tional zur sogenannten Intensität (also der Energie pro Zeit und Fläche) der
 elektromagnetischen Welle.

**Lösungen:**

zu 1. Auf das Elektron wirkt die Kraft mit
also folgt: .
Mit folgt:

zu 2. Um zu überprüfen, ob sich die gegebene Geschwindigkeits - Zeit - Funktion aus der Beschleunigungs - Zeit - Funktion ergibt, könnte integriert werden, es ist aber einfacher abzuleiten und zu zeigen, dass diese Ableitung gerade gleich der Beschleunigungs - Zeit - Funktion ist:
Vereinfachen liefert:

zu 3. Die kinetische Energie beträgt damit:
Die maximale kinetische Energie besitzt das Elektron gemäß der Formel genau dann, wenn der Term maximal ist. Dies ist genau dann der Fall, wenn der Term gleich „+1“ ist. Dies ist gerade bei der Fall, denn dann ist der -Term gerade gleich „ -1 “. Damit gilt:

zu 4. Gemäß der angegebenen Beziehung ist die maximale Energie , die auf das Elektron übertragen werden kann proportional zu und damit zur Intensität der einfallenden Welle und umgekehrt proportional zum Quadrat der Frequenz. Somit sollte die (maximale) Energie der ausgelösten Elektronen (nach dieser klassischen Theorie) mit der Intensität ansteigen. Das Experiment zeigt jedoch, dass die maximale Energie der Elektronen von der Intensität überhaupt nicht abhängt.
Weiterhin müsste die Energie der ausgelösten Elektronen mit zunehmender Frequenz abnehmen; das Experiment zeigt jedoch, dass die Energie (gemäß ) mit der Frequenz zunimmt. [Umgekehrt ist die Energie bei kleinen Frequenzen nicht etwa größer, sondern es werden unterhalb der Grenzfrequenz sogar überhaupt keine Elektronen ausgelöst, selbst wenn man die Intensität stark erhöht.]