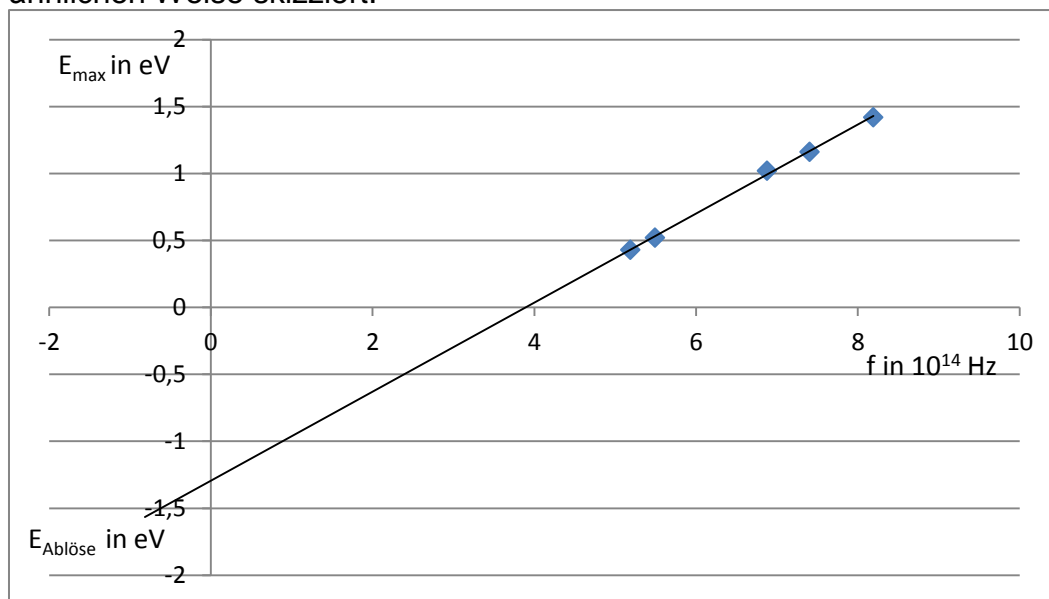


Liebe Kolleginnen und Kollegen,

mit dieser Information möchte ich Sie auf einen vermutlich von uns allen gemachten fachlichen Fehler bei der Auswertung der Versuchsdaten zur Bestimmung der Ablösearbeit bzw. der Planck'schen Konstanten h mit der Vakuumfotозelle hinweisen. Obwohl schon allein die Tatsache sehr interessant und bedenkenswert ist, dass sich ein derartiger Fehler so weit in der Fachwelt verbreiten konnte, unter anderem in allen alten Schulbuchausgaben, vielen aktuellen Applets/Simulationen, alten Praktikumsanleitungen der Universitäten (die Universitäten haben mittlerweile die Anleitungen geändert), erhält er eine besondere Bedeutung in Bezug auf künftig zu stellende Abiturarbeiten.

Ausführlich beschrieben wird der Fehler u.a. in einem in der Zeitschrift *Praxis der Naturwissenschaften Physik in der Schule* 6/58 Jg 2009 erschienen Artikel von Prof. Herrmann ⁽¹⁾, Universität Karlsruhe. Prof. Herrmann seinerseits verweist auf einen 1980 in der PdN Physik erschienen Artikel zum selben Thema sowie auf weitere Literatur, was aufzeigt, dass es offenbar schwierig ist, eingeschliffene Fehler zu beseitigen.

Die sogenannte Einsteingerade wird sehr oft in einer der gezeigten Darstellungsart ähnlichen Weise skizziert:



E_{\max} ergibt sich hier durch Multiplikation der Gegenspannung mit der Elementarladung, h aus der Geradensteigung. $E_{\text{Ablöse}}$ wird bei dieser Darstellung zumeist als Austrittsarbeit/Ablöseenergie der Elektronen aus der Kathode gedeutet, was aber falsch ist. Richtig ist: E_A ist die erforderliche Ablöseenergie für die Elektronen **aus der Anode!** Im beschriebenen Artikel wird dies ausführlich erklärt, ich verweise daher den interessierten Kollegen, die Kollegin hierauf bzw. auf die unter ⁽²⁾ aufgeführte Quelle, die den Vorteil hat, schnell und kostenfrei im Internet zugänglich zu sein.

Als alternative, vereinfachte, weitgehend synonyme Erklärung möchte ich folgende anführen (vgl. Quelle ⁽³⁾):

1. Ein auf die Kathode treffendes Photon löse ein Elektron aus. Zur Auslösung des Elektrons wird im Idealfall im Kathodenmaterial nur Auslöseenergie $E_{\text{Ablöse, Kathode}}$

benötigt. Den verbleibenden Energiebetrag trägt das Elektron in Form von kinetischer Energie E_{kin} . So weit ist die Erklärung geläufig und richtig.

$$h \cdot f = E_{Ablöse,Kathode} + E_{kin}$$

2. Beziehen wir uns versuchstechnisch auf die Gegenfeldmethode (wie fast alle Schulbücher und Praktikumsanleitungen), wird diese Energie E_{kin} nun nach geläufiger Erklärungsart (siehe Diagramm) mit der zum Durchlaufen des Gegenfeldes nötigen Energie $E_{pot} = e \cdot U_{max}$ gleichgesetzt. U_{max} ist die Gegenspannung, bei der der im Versuch gemessene Photostrom gerade gleich Null wird. Was bei dieser Erklärung aber unberücksichtigt bleibt, ist die Tatsache, dass nicht nur die Gegenspannung überwunden werden muss, sondern auch die Kontaktspannung $U_{Kontakt}$:
3. Bei der Verbindung von Kathoden- und Anodenmaterial über die Zuleitungen diffundieren nämlich spontan Elektronen des Kathodenmaterials (niedrigere Ablösearbeit) zum Anodenmaterial (höhere Ablösearbeit), womit sich auch ohne äußere Spannung ein Gegenfeld mit entsprechender Kontaktspannung $U_{Kontakt}$ aufbaut. Diese Spannung besteht damit auch in der Vakuumphotozelle zwischen Kathode und Anode. Der Wert von $U_{Kontakt}$ ergibt sich aus der Differenz der Austrittsarbeiten:

$$U_{Kontakt} \cdot e = E_{Ablöse,Anode} - E_{Ablöse,Kathode}$$

Daraus folgt nun:

$$\begin{aligned} h \cdot f &= E_{Ablöse,Kathode} + E_{kin} \\ &= E_{Ablöse,Kathode} + (U_{Gegenspannung} + U_{Kontakt}) \cdot e \\ &= E_{Ablöse,Kathode} + U_{max} \cdot e + E_{Ablöse,Anode} - E_{Ablöse,Kathode} \\ &= E_{Ablöse,Anode} + U_{Gegenspannung} \cdot e \end{aligned}$$

q.e.d.

Dass der Fehler bei Messungen nicht evident geworden ist, wird in den genannten Artikeln unter anderem mit der Verschmutzung der Anode mit Kathodenmaterial erklärt. Phywe spricht dies auch an ⁽⁴⁾, erwähnt darüber hinaus „unbekannte Störeffekte in den Fotozellen“. Leybold ⁽⁵⁾ führt in seiner Bedienungsanleitung eine mögliche inhomogene Kaliumbelegung der Kathodenfläche als Ursache für differierende Werte der Austrittsarbeit an und spricht etwas diffus und ohne weitere Erläuterungen von „verschiedenen Austrittspotentialen von Kathode und Anode“.

Schaut man sich die in den Anleitungen der Lehrmittelfirmen abgedruckten Versuchsdaten an, zeigt sich, dass sich die erwarteten Ablöseenergien niemals auch nur annähernd einstellen. ⁽⁶⁾ Für mich hochinteressant ist, dass es trotzdem viele Aufgaben gibt, bei denen aus vermutlich fiktiven Versuchsdaten u.a. die Ablösearbeit der Kathode bestimmt werden soll.

Nicht unerwähnt möchte ich die Bemerkung von Herrn Prof. Herrmann lassen, ob dieser Versuch, der für Physiker des Jahres 1910 oder 1920 eine Art Schlüsselexperiment war, mit dem Kenntnisstand des 21. Jahrhunderts überhaupt noch als so bedeutend für

einen Lernenden angesehen werden kann, dass er unbedingt unterrichtlich abgehandelt werden muss. Soll der quantenhafte Charakter des Lichtes gezeigt werden, empfehlen sich andere Versuche (Hallwachs, Taylor, Compton, ...), soll h bestimmt werden, bemerkt selbst Phywe: „Die Genauigkeit mit der die *Plancksche* Konstante aus dem Fotoeffekt bestimmt werden kann, ist geringer als mit anderen Verfahren (wie z.B. aus der kurzwelligen Grenze des Röntgenbremsspektrums).“ Weiter heißt es bei Phywe: „Aus historischen Gründen sollte jedoch gerade diese Methode zur h -Bestimmung vorrangig im Unterricht eingesetzt werden.“

Historie nur der Historie oder der Gewohnheit wegen, trotz versuchstechnischer Mängel und vorhandenen Alternativen?

Folgerungen:

- Die Durchführung des Experimentes im Unterricht darf kritisch überdacht werden.
- Wenn neben der Geradensteigung (der Hauptaspekt!) die Ablösearbeit thematisiert wird, sollte die Kontaktspannung berücksichtigt werden. Etwas offensichtlich Falsches wird niemand seinen SchülerInnen vermitteln wollen.
- Die fehlerbehafteten Schulbuchdarstellungen sind im Unterricht insbesondere bei beabsichtigter Verwendung in Abituraufgaben anzusprechen, um eine fehlerfreie Vorbereitung der Schüler zu gewährleisten.
- Diese Thematisierung kann darüber hinaus ein Anlass zu einer kritischen Betrachtung von Wissensbeständen in den Naturwissenschaften sein (Eisengehalt von Spinat, abschmelzende Himalaya-Gletscher im IPCC-Bericht,...) bzw. deren Darstellung in Simulationen (7). Ein kritischer Blick auf Nutzen und Risiken von Simulationen bringt evtl. manchem Jugendlichen die Unverzichtbarkeit des Realexperiments ins Bewusstsein.

Literaturangaben bzw. Anmerkungen

1. Altlasten der Physik 115: Der photoelektrische Effekt in Praxis der Naturwissenschaften Physik in der Schule 6/58 Jg 2009
2. Eine weitgehend gleiche, in einigen Teilen sogar ausführlichere Beschreibung findet sich in einer Praktikumsanleitung der TU Chemnitz unter <http://www.tu-chemnitz.de/physik/OFGF/pgp/versuche/pdf/atom/A7.pdf>
3. Diese Darstellung finden Sie unter anderen auch in der Anleitung zum Physikalischen, Anfängerpraktikum der Universität Konstanz, „ h -Bestimmung mit dem Photoeffekt“, <http://ap.physik.uni-konstanz.de/AP-public/Anleitungen/Photoeffekt.pdf>

bzw.

im milq: Münchener Internetprojekt zur Lehrerfortbildung in Quantenmechanik,
http://homepages.physik.uni-muenchen.de/~milq/kap1/iu_pages/austrittsarbeit.html

4. Phywe Betriebsanleitung, „Fotозelle zur h -Bestimmung“,
http://www.phywe.de/index.php/fuseaction/download/lrn_file/bedanl.pdf/06778.00/d/0677800d.pdf
5. Leybold, Gebrauchsanweisung Photozelle 558 77,
<http://www.leybold-didactic.de/ga/5/558/55877/55877d.pdf>
6. Wer den Versuch live ohne Aufbaumühen durchführen möchte bzw. seinen Schülern den entsprechenden Heimauftrag erteilen möchte, sei das Online-Experiment unter <http://rcl.physik.uni-kl.de/> empfohlen.
(Im Theorieteil findet sich derzeit noch der Fehler, der Gegenstand dieser Information ist!)
7. Eine Simulation ist immer nur genauso gut, wie die ihr zugrunde liegende Theorie. Entsprechend finden sich fehlerbehaftete Applets:
<http://www.walter-fendt.de/ph14d/photoeffekt.htm>
oder
http://www.schule-bw.de/unterricht/faecher/physik/online_material/atomphysik/experimente/fotoeffekt.htm#Applet
8. Aufgrund der thematischen Verwandtschaft der Kontaktspannungen mit den technisch bedeutsamen Thermospannungen (Seebeck-Effekt) möchte ich auf den Artikel
“Thermospannungen – Viel genutzt und fast immer falsch erklärt!“
von Pelster, Pieper und Hüttl, erreichbar unter folgendem Link
<http://www.phydid.de/index.php/phydid/article/view/28/28>
verweisen. Der Artikel ist in der empfehlenswerten, frei zugänglichen Internetzeitschrift „PhyDid A - Physik und Didaktik in Schule und Hochschule“ erschienen.

*Martin Buchhold, regionaler Fachberater Physik Koblenz-Nord
Juli 2013*