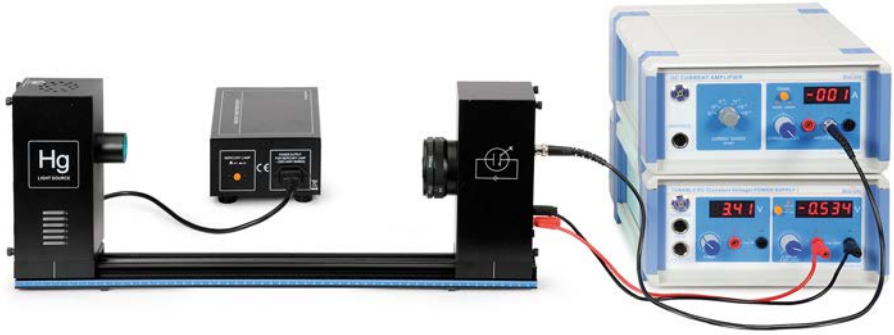
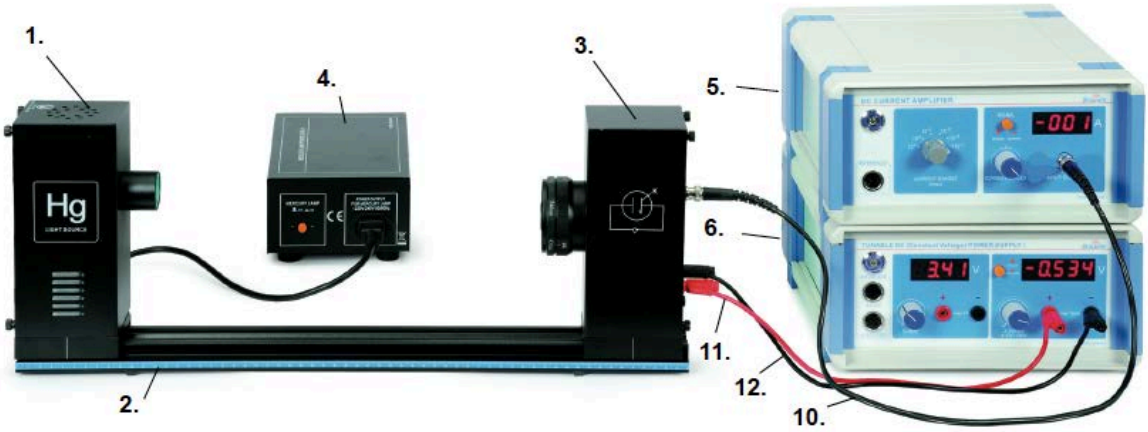
Experimentiergerät zum Photoelektrischen Effekt

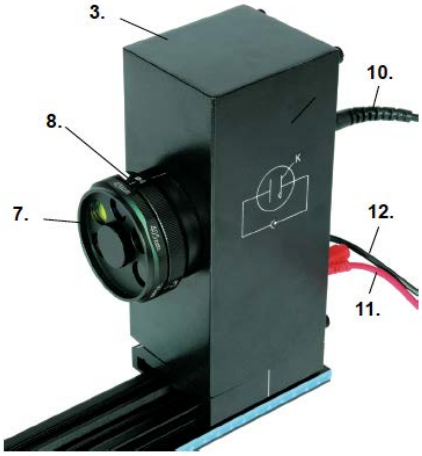
[BAD_1132042.docx]



Lieferumfang



1. Quecksilberdampflampe im Gehäuse
2. Schiene 60 cm
3. Photozelle im Gehäuse
4. Netzgerät für Quecksilberdampflampe
5. Gleichstrom-Verstärker
6. Stromversorgungsgerät DC
7. Filterrevolver (365, 405, 436, 546, 577 nm)
8. Blenden-Revolver (2, 4, 8 mm Durchmesser)
9. Netzkabel (3 Stk.)
10. BNC-Kabel
11. Messleitung mit 4 mm Bananenstecker (rot)
12. Messleitung mit 4 mm Bananenstecker (schwarz)
13. Interface-Kabel



CONATEX-DIDACTIC Lehrmittel GmbH – Im Forstgarten 1 - D-66459 Kirkel
Kundenservice (kostenfrei): 00800 0266 2839 (D, CH, A, L) oder 0049 (0) 6849 - 99 269 -0
www.conatex.com - email: didactic@conatex.com

Weitergabe und Vervielfältigung dieser Publikation oder von Teilen daraus sind ohne die ausdrückliche schriftliche Genehmigung durch die Conatex Didactic Lehrmittel GmbH nicht gestattet.

Erforderliches Zubehör zur Datenerfassung

850 Universal Interface, Bestell-Nr. 112.4080
PASCO Capstone (Einzellizenz), Bestell-Nr. 112.4079

Sicherheitshinweise

Zur Vermeidung von Schäden und Verletzung durch Stromschlag sind nachfolgende Hinweise unbedingt zu beachten:

- Reinigen Sie die Geräte nicht mit einem feuchten Tuch.
- Benutzen Sie das Gerät nicht, wenn es feucht geworden ist.
- Überprüfen Sie vor Gebrauch die Geräte und Kabel auf Beschädigung
- Ersetzen Sie bschädigte Teile umgehend.
- Betreiben Sie die Geräte an einer geerdeten Schutzkontakt-Steckdose.
- Verwenden Sie keine Teile und Zubehör, die nicht ausdrücklich vom Hersteller zur Verwendung freigegeben sind.
- Führen Sie keine Modifikationen an den Geräten durch.
- Verwenden Sie ausschließlich vom Hersteller freigegebene Ersatzteile.
- Sollten Sicherungen auszutauschen sein, ersetzen Sie diese nur durch Sicherungen desselben Typs.
- Trennen der Geräte vom Netz : Schalten Sie die Geräte aus und trennen das Netzkabel von der Steckdose. Entfernen Sie anschließend alle Kabel.
- Nur qualifiziertes oder autorisiertes Personal darf die Geräte öffnen. Auch nach Trennen vom Netz können Teile der Apparatur durch geladene Kondensatoren unter Spannung stehen.
- Verwenden Sie das Gerät nicht in explosionsgefährdeter Umgebung (gas- und staubbelasteter Umgebung).
- Verwenden Sie das Gerät nicht bei kondensierender Luftfeuchtigkeit.

Weitergabe und Vervielfältigung dieser Publikation oder von Teilen daraus sind ohne die ausdrückliche schriftliche Genehmigung durch die Conatex Didactic Lehrmittel GmbH nicht gestattet.

Verwendete Symbole

∿	Wechselspannung
⎓	Gleichspannung
⚠	Mögliche Gefahr. Wichtiger Hinweis.
⚠	Achtung, Gefahr durch elektrischen Strom
⏚	Erdpotential
⏚	Schutzleiter
⏚	Gehäuseerdung
CE	Konformität gemäß CE-Richtlinien
	Nicht mit dem Hausmüll entsorgen
	Sicherung
|	Ein (Gerätehauptschalter)
○	Aus (Gerätehauptschalter)
	Tastschalter (rastend - gedrückt)
	Tastschalter (rastend - nicht gedrückt)

Weitergabe und Vervielfältigung dieser Publikation oder von Teilen daraus sind ohne die ausdrückliche schriftliche Genehmigung durch die Conatex Didactic Lehrmittel GmbH nicht gestattet.

Einleitung

Beim Photoelektrischen Effekt werden Elektronen aus einer Metalloberfläche herausgelöst, wenn Strahlung (z.B. sichtbares oder ultraviolettes Licht) einer bestimmten Frequenz auf dessen Oberfläche trifft. Zur Zeit der Entdeckung entsprach dem klassischen Wellenmodell, dass sich die Energie der Elektronen proportional zur Erhöhung der Intensität der Strahlung verhält. Stattdessen stellte sich heraus, dass sich die Energie der Elektronen proportional zur Frequenz des einfallenden Lichtes verhält. Es werden auch keine Elektronen emittiert, wenn die Lichtfrequenz nicht über einer bestimmten Schwellfrequenz ist. Es wurden Elektronen niedriger Energie emittiert bei niedriger Frequenz und Elektronen höherer Energie bei einer höheren Frequenz des einfallenden Lichtes.

Hinweise zum Versuchsaufbau

Der Versuchsaufbau besteht aus einer Hg-Lichtquelle im Gehäuse, einem Vorschaltgerät zu deren Betrieb an 230 V, eine Photozelle in einem Gehäuse mit vorgeschalteten Filtern für 5 unterschiedliche Frequenzen (Wellenlängen) und einem Blendenrevolver zur Begrenzung der Lichtintensität, sowie einer Abdeckung der Photozelle. Über die im Lieferumfang enthaltenen Schiene lassen sich Hg-Leuchte und Photozelle einfach ausrichten. Desweiteren ist ein Gleichstrom-Verstärker und alle erforderlichen Kabel im Lieferumfang enthalten.

Die Geräte haben folgende Eigenschaften zur Erziehlung hochgenauer Ergebnisse:

- Der Gleichstromverstärker besitzt eine sehr hohe Empfindlichkeit und arbeitet sehr stabil.
- Die Photozelle bestitzt einen sehr geringen Dunkel- und Sperrstrom.
- Die Filter haben eine hohe Güte und sind sehr schmalbandig

Wird das Experimentiergerät zum Photoelektrischen Effekt mit einem PASPORT Datenerfassungsgerät eingesetzt, lassen sich die Strom- und Spannungswerte aufzeichnen und grafisch sehr komfortabel darstellen und auswerten.

Hintergrundinformationen

Zur Entdeckung und Erklärung des photoelektrischen Effektes trugen mehrere Personen bei. James Clerk Maxwell sagte 1865 die Existenz elektromagnetischer Wellen voraus und stellte fest, das Licht eine elektromagnetische Welle ist. Zahlreiche Experimentatoren versuchten elektromagnetische Wellen zu erzeugen und zu messen. Heinrich Hertz gelang erstmals deren Nachweis. Er erzeugte Funken und stellte fest, dass bei Bestrahlung mit ultraviolettem Licht der Funken stärker wurde. 1888 zeigte Wilhelm Hallwachs, dass ein Elektroskop, negativ geladen, sich schneller als normal entlädt, wenn es mit einer Zinkplatte verbunden ist, die mit ultraviolettem Licht bestrahlt wird. 1889 stellte Joseph John Thomson fest, dass die ultraviolette Bestrahlung für das Herauslösen der Elektronen verantwortlich ist.

Weitergabe und Vervielfältigung dieser Publikation oder von Teilen daraus sind ohne die ausdrückliche schriftliche Genehmigung durch die Conatex Didactic Lehrmittel GmbH nicht gestattet.

1902 verwendete Phillip Lenard, ein Assistent von Heinrich Hertz, eine Kohlebogen-Lampe, um eine Platte zu beleuchten (Emitter). Mit einer 2. Platte (Kollektor) und einem empfindlichen Ampèremeter zeigte er, dass ein Elektronenfluss von Platte 1 zu Platte 2 stattfand, wenn eine Platte beleuchtet wurde. Um die Energie der emittierten Elektronen zu messen, brachte er auf die Kollektorplatte eine negative Ladung derart auf, dass der Elektronenfluss gestoppt wurde. Er fand heraus, dass ein Mindestpotential notwendig ist, um die Elektronen von der Kollektorplatte abzuschirmen. Er war überrascht, dass dieses Potential (Stoppspannung) unabhängig von der Intensität der Lichtquelle ist. Er fand heraus, dass die max. Energie der emittierten Elektronen von der Farbe des Lichtes (= Frequenz) abhängt.
1902 verfasste Max Planck seine Theroie über die Strahlung. Er postulierte, dass der Energieaustausch zwischen Oszillatoren oder ähnlichen Systemen und dem elektromagnetischen Strahlungsfeld in kleinen Energiepaketen – also nicht kontinuierlich – stattfindet. Diese Energiepakete wurden später als Quanten bezeichnet. Max Plancks Strahlungssatz war die Geburtsstunde der Quantenphysik. Planck führte weiterhin aus, dass die Emission und Absorption von Strahlung mit diskreten Übergängen / Sprüngen zwischen Energieniveaus verbunden ist. Die Energiemenge ergibt sich aus der experimentell hergeleiteten Gleichung $E = h * v$, wobei E gleich der Strahlungsenergie, v die Frequenz der Strahlung und h eine Naturkonstante ist. h wurde später als *Planck'sches Wirkungsquant* oder als *Planck-Konstante* bezeichnet.

1905 gab Albert Einstein eine einfache Erklärung für Lenards Entdeckung mit Plancks Theorie. Das neue quantenbasierte Modell besagt, dass Licht höherer Frequenzen Elektronen höherer Energie emittiert, unabhängig von der Lichtintensität. Es wird lediglich die Anzahl der emittierten Elektronen (der photoelektrische Strom) erhöht. Einstein nahm an, dass das Licht auf den Emitter in Form von „gequantelter" Energie (Photonen) gemäß h*v (v= Frequenz des Lichtes) gilt. Bei dem photoelektrischen Effekt wir ein „Quantum" von Energie durch ein Elektron absorbiert. Wenn ein Elektron unter der Oberfläche des Emitters ist, wird ein Teil der Energie bei seinem Übergang durch die Oberfläche absorbiert (Austrittsarbeit oder Bindungsenergie W_0). Wenn das gequantelte Energiepaket höher als die Bindungsenergie ist, dann wird ein Elektron mit einer gewissen kinetischen Energie emittiert.

Einstein wendete Plancks Theorie in seiner Theorie an und erklärte den photoelektrischen Effekt in Bezug auf das Quantenmodell mit seiner berühmten Gleichung, für die er 1921 den Nobelpreis erhielt:

$$E = h\nu = KE_{max} + W_0$$

Wobei KE_{max} die maximale Energie der Photoelekronen ist. In Bezug auf die kinetische Energie gilt:

$$KE_{max} = h\nu - W_0$$

Wenn die Kollektor-Platte negativ geladen ist und zwar derart, dass die Elektronen vom Emitter die Kollektorplatte nicht erreichen (d.h. der Photostrom ist null), besitzen die

Weitergabe und Vervielfältigung dieser Publikation oder von Teilen daraus sind ohne die ausdrückliche schriftliche Genehmigung durch die Conatex Didactic Lehrmittel GmbH nicht gestattet.

Elektronen mit der höchsten kinetischen Energie die Energie *eV*, wobei *e* die Ladung eines Elektrons und *V* das Potential ist, bei dem der Elektronenfluss stoppt (Stopp-Potential).

$$eV = h\nu - W_0$$

$$V = \frac{h}{e}\nu - \frac{W_0}{e}$$

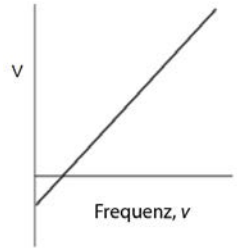
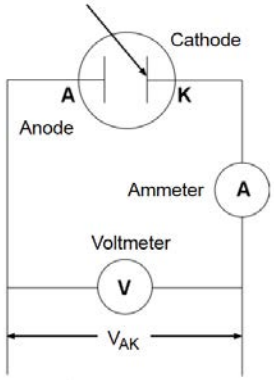


Abb. 1. Stopp-Potential V vs. Frequenz *v*

Einsteins Theorie zufolge beträgt die Steigung der Geraden in Abb. 1 *h/e.*

Grundprinzip des Versuches



Wenn Licht auf die Kathode der Fotozelle trifft, werden Photoelektronen emittiert, die zur Anode wandern (Photostrom). Durch Verändern der Spannung zwischen Anode und Kathode und Messung des Photostromes kann die Charakteristik der Strom-Spannungs-Kennlinie der photoelektrischen Röhre bestimmt werden.

Folgende Faktoren sind für den Versuch zum Photoelektrischen Effekt evident:

- Zu einer vorgegebenen Frequenz (Farbe) des Lichts ergibt sich der Photostrom zu null, genau dann, wenn die Spannung zwischen Kathode und Anode (V_{AK}) gleich dem Stopp-Potential *V* ist.
- Ist die Spannung zwischen Kathode und Anode größer als die Stoppspannung, erhöht sich der Photostrom schnell und erreicht anschließend den Sättigungsbereich. Der Sättigungsstrom ist proportional zur Intensität des einfallenden Lichtes (Abb. 2)
- Licht unterschiedlicher Frequenzen (Farben) haben unterschiedliche Stopp-Potentiale (vgl. Abb. 3)

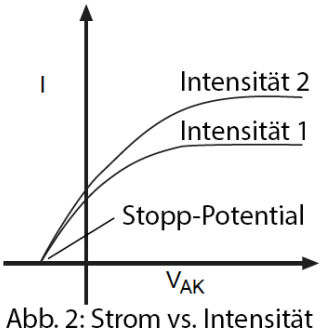


Abb. 2: Strom vs. Intensität

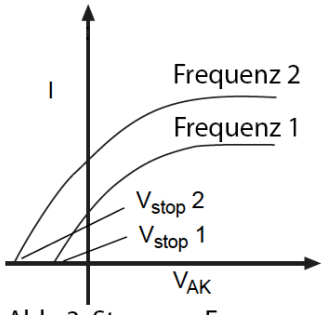


Abb. 3: Strom vs. Frequenz

Weitergabe und Vervielfältigung dieser Publikation oder von Teilen daraus sind ohne die ausdrückliche schriftliche Genehmigung durch die Conatex Didactic Lehrmittel GmbH nicht gestattet.

- Die Steigung der Geraden Stop-Potential vs. Frequenz beträgt *h/e* (siehe Abb. 1)
- Der Photoelektrische Effekt entsteht unmittelbar. Sobald Licht auf die Kathode fällt, werden Photoelektronen in weniger als einer Nanosekunde emittiert.

Aufbau und Wartung

Installation und Ersetzen der Hg-Leuchte

Die Hg-Leuchte muss vor Inbetriebnahme in das Lampengehäuse montiert werden.

Hinweis: Trennen Sie das Netzkabel vom Netzgerät der Leuchte bevor Sie die Lampe einschrauben.

Sie benötigen zum Öffnen des Lampengehäuses einen passenden Flachschlitz-Schraubendreher. Lösen Sie die Schrauben der rückwärtigen Abdeckung und nehmen sie ab (ggf. mit dem Schraubendreher die Platte abhebeln).

Hinweis : Berühren Sie die Lampe nicht direkt mit den Fingern, sondern verwenden Sie trockene saubere Handschuhe oder ein Tuch zum Festhalten der Birne. Hautfett würde beim Betrieb der Lampe im Glaskolben einbrennen.

Schrauben Sie die Birne vorsichtig in die Fassung und montieren anschließend die Abdeckung und befestigen die Schrauben.

Technische Daten der Hg-Leuchte

Die Spektrallampe liefert Spektrallinien der Wellenlänge 365, 405, 435, 546 und 577 nm

Ersetzen der Photozelle

Hinweis: Die Photozelle ist sehr empfindlich. Setzen Sie die Photozelle nicht längerer Zeit Licht aus, da dadurch die Lebensdauer beeinträchtigt wird. Lassen Sie die Photozelle nicht unbeaufsichtigt. Sollte ein Austausch notwendig sein, nehmen Sie den Austausch möglichst schnell vor, damit die Photozelle nicht länger als notwendig Licht ausgesetzt ist.

Weitergabe und Vervielfältigung dieser Publikation oder von Teilen daraus sind ohne die ausdrückliche schriftliche Genehmigung durch die Conatex Didactic Lehrmittel GmbH nicht gestattet.

- Entfernen Sie die vier Schrauben auf der Rückseite des Gehäuses mit einem Flachschlitzschraubendreher.
- Hebeln Sie die Rückwand vorsichtig ab.
- Entfernen Sie die beiden Schrauben, die die Photozelle auf der Rückwand fixieren.
- Ersetzen Sie die alte Photozelle durch eine neue.
- Setzen Sie die Rückwand mit der neuen Photozelle in das Gehäuse ein und verschrauben die Rückwand.

Technische Daten der Photozelle

Spektralbereich der Photozelle: 300-700 nm
Minimale Kathoden-Empfindlichkeit: ≥ 1 µA/Lm
Anode: Nickelring
Dunkelstrom: $\leq 20\times10^{-13}$ A ($-4{,}5V \leq V_{AK} \leq 0V$)

Ersetzen Sie die Photozelle immer durch ein Exemplar desselben Typs!

Verdrahtung der Geräte

Hinweis: Stellen Sie sicher, dass alle Geräte ausgeschaltet sind bevor Sie mit der Verdrahtung der Geräte beginnen.

Stellen Sie beim Netzgerät und dem Strom-Verstärker die korrekte Netzspannung (230 V) ein, bevor Sie die Geräte mit dem Netz verbinden.

Verbinden Sie zunächst die Hg-Leuchte mit dem Ausgang des Netzgerätes für die Leuchte. Der Ausgang ist mit *POWER OUTPUT FOR MERCURY LAMP 220 V* gekennzeichnet.

Mit den nächste drei Kabeln verbinden Sie die Photozellen-Einheit mit dem Gleichstromverstärker (BNC-Kabel) und dem Gleichspannungsnetzgerät (4 mm-Experimentierkabel rot / schwarz). Im Zuge der Kalibrierung müssen diese Kabel nochmals entfernt werden. Das Netzgerät und der Gleichstromverstärker brauchen NICHT ausgeschaltet werden, wenn die Kabel bei der Kalibrierung erneut gesteckt werden

- Schließen Sie zunächst das BNC-Kabel zwischen der Buchse *K* an der Photozelleneinheit und der Buchse *INPUT SIGNAL* am Gleichstromverstärker an. Verriegeln Sie beide Stecker mit dem Steckerbajonett.

Weitergabe und Vervielfältigung dieser Publikation oder von Teilen daraus sind ohne die ausdrückliche schriftliche Genehmigung durch die Conatex Didactic Lehrmittel GmbH nicht gestattet.

- Verbinden Sie nun die Buchse ***A*** der Photozelleneinheit und die rote Bananenbuchse am Netzgerät neben dem Drehknopf ***-4,5 V – 0 VA*** auf der rechten Seite des Gleichspannungsnetzgerätes mit dem roten Experimentierkabel.
- Verbinden Sie mit dem schwarzen Experimentierkabel die mit einem ***Pfeil nach unten*** (=Symbol für Masse) markierte Buchse an der Photozelleneinheit und der schwarzen Buchse am Gleichspannungsnetzgerät des Bereiches ***-4,5 V – 0 VA***.
- Schließen Sie nun die Netzanschlussleitungen für das Gleichspannungsnetzgerät, den Gleichstromverstärker und das Netzgerät für die Hg-Leuchte an die Geräte an und stecken die Stecker anschließend an eine 230 V Steckdose.

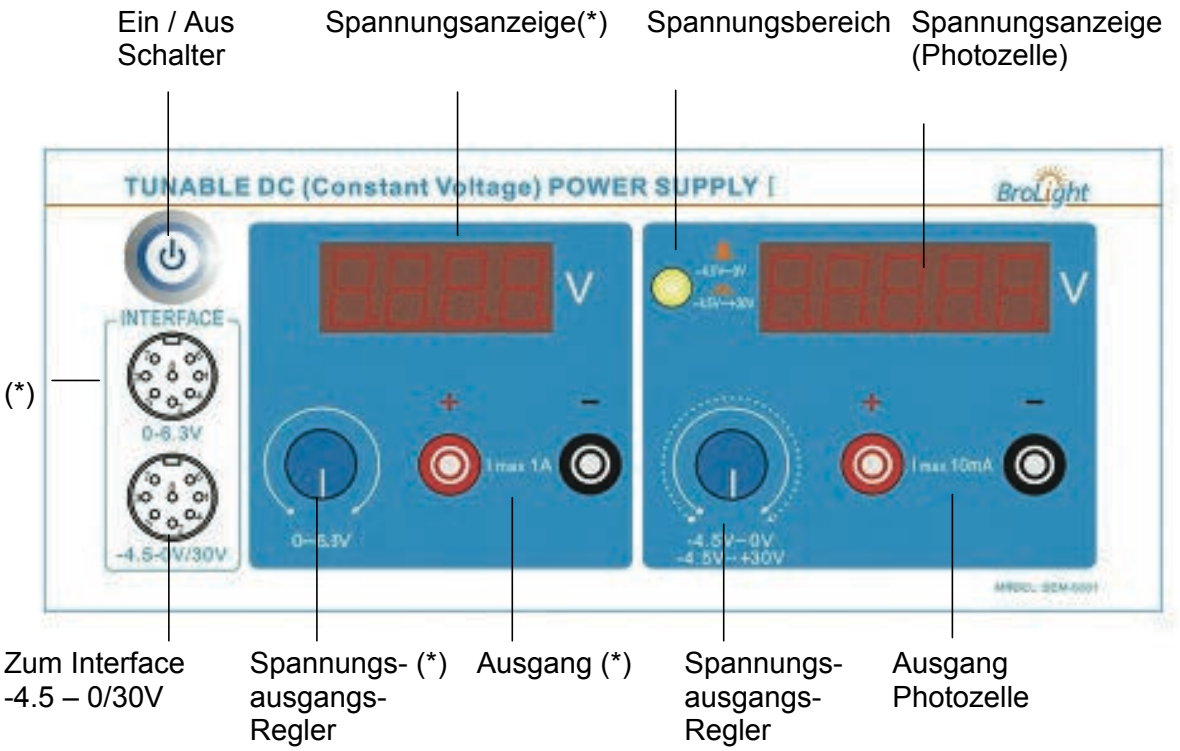
Ersetzen von Sicherungen

Hinweis: Trennen Sie das Netzkabel von der Stromquelle bevor Sie Sicherungen austauschen. Ersetzen Sie immer Sicherungen durch solche mit gleichen Daten und gleicher Charakteristik.

- Entfernen Sie das Netzkabel.
- Öffnen Sie die Abdeckung des Sicherungshalters und ziehen dies heraus.
- Ersetzen Sie die defekte Sicherung durch eine neue gleichen Typs.
- Schließen Sie die Abdeckung.
- Schließen Sie das Netzkabel an und schalten das Gerät ein.

Weitergabe und Vervielfältigung dieser Publikation oder von Teilen daraus sind ohne die ausdrückliche schriftliche Genehmigung durch die Conatex Didactic Lehrmittel GmbH nicht gestattet.

Gleichspannungsnetzgerät



(*) Diese Elemente werden für den Versuch nicht benötigt.

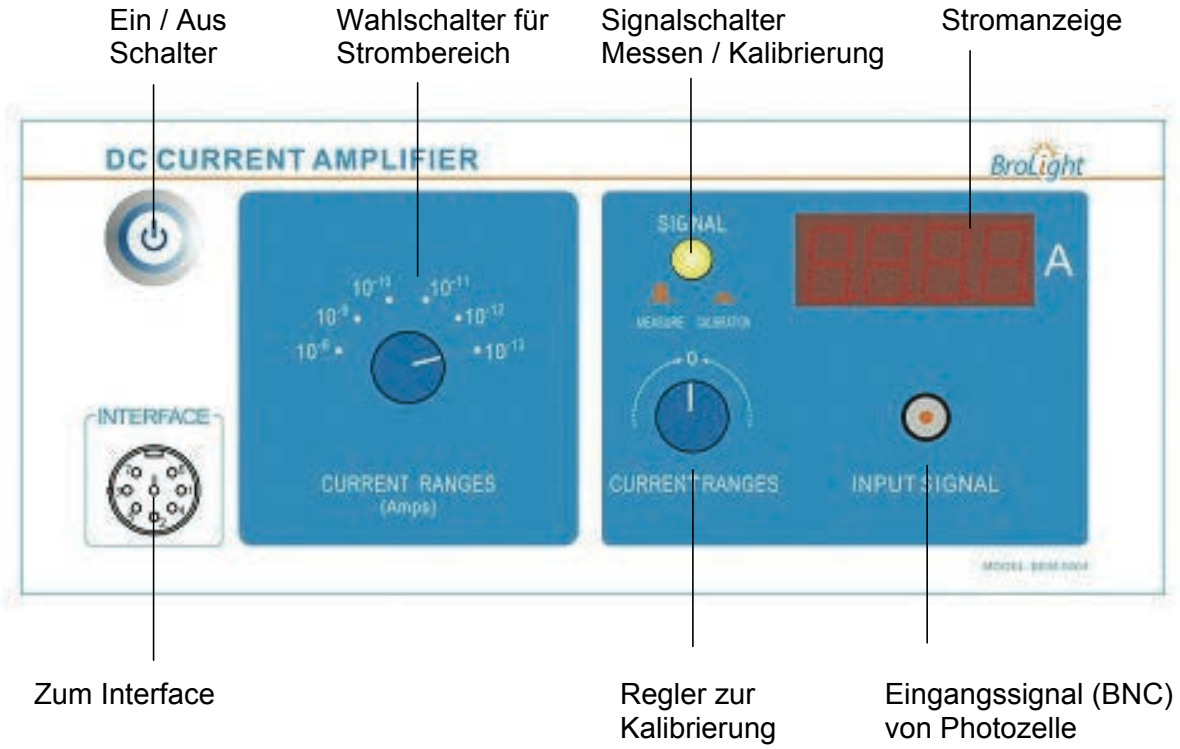
Mit dem Gleichspannungsnetzgerät wird ein Potential an die Photozelle angelegt. Der Wert wird in der rechten Anzeige angezeigt. Der Spannungsbereich kann mit Hilfe eines Umschalters zwischen -4,5 und 0 V (Schalter nicht gedrückt) und -4,5 bis 30 V (Schalter gedrückt) eingestellt werden. Die Feinregulierung erfolgt mit einem Drehregler. Die Ausgangsspannung wird über den Interface-Ausgang an das angeschlossene Interface ausgegeben (Analogausgang ± 10 V). Der linke Zweig des Netzgerätes ist für die Versorgung einer Röhrenheizspannung vorgesehen und wird in diesem Versuchsaufbau nicht benötigt.

- Ein / Aus – Schalter
- Auf der rechten Anzeige sehen Sie den Wert für das Potential an der Photozelle. Die linke Anzeige kann ignoriert werden, da der Ausgang nicht verwendet wird.
- Der Spannungsbereich wird wie folgt eingestellt: -4,5 bis 0 V (Stopp-Potential) oder -4,5 bis 30 V (Erstellung der Strom-Spannungs-Kennlinie).
- Die untere 8-polige DIN-Buchse dient zur Ausgabe der Spannung -4,5 bis 0/30 V und dient zur Übertragung der Werte an ein Datenerfassungsgerät. Über die obere DIN-Buchse kann die Spannung von 0-6,3 V an ein Interface ausgegeben werden (wird in diesem Versuch nicht benötigt)

Weitergabe und Vervielfältigung dieser Publikation oder von Teilen daraus sind ohne die ausdrückliche schriftliche Genehmigung durch die Conatex Didactic Lehrmittel GmbH nicht gestattet.

- Spannungsausgangsregler: mit den Reglern können die beiden Ausgangsspannungen getrennt eingestellt werden. Dabei ist eine präzise Feineinstellung durch mehrere Umdrehungen über den gesamten Spannungsbereich möglich. Es wird nur der rechte Zweig für das Potential an der Photozelle benutzt.

Gleichstromverstärker



- Ein / Aus – Schalter
- Die 8-polige DIN-Buchse dient zur Übertragung der Werte an ein Datenerfassungsgerät.
- Wahlschalter für Strombereich: (10^{-8} bis 10^{-13} A).
- Signalschalter: Messen (Schalter nicht gedrückt) / Kalibrieren (Schalter gedrückt)
- Regler zur Kalibrierung: Bei gedrücktem Signalschalter: Anzeigewert auf Null stellen.
- Stromanzeige: zeigt den Strom durch die Photozelle
- Eingangssignal (BNC): Anschluss der Photozelle erfolgt mit dem BNC-Kabel.

Aufbau der Einheiten Photozelle und Hg-Leuchte

Montieren Sie das Lampengehäuse und die Photozelleneinheit auf der mitgelieferten Schiene. Lösen Sie dazu die Rändelschrauben an Lampen- und Photozelleneinheit. Setzen Sie beide Geräte im Abstand von ca. 35 cm auf die Schiene und ziehen die Rändelschrauben handfest an.

Weitergabe und Vervielfältigung dieser Publikation oder von Teilen daraus sind ohne die ausdrückliche schriftliche Genehmigung durch die Conatex Didactic Lehrmittel GmbH nicht gestattet.

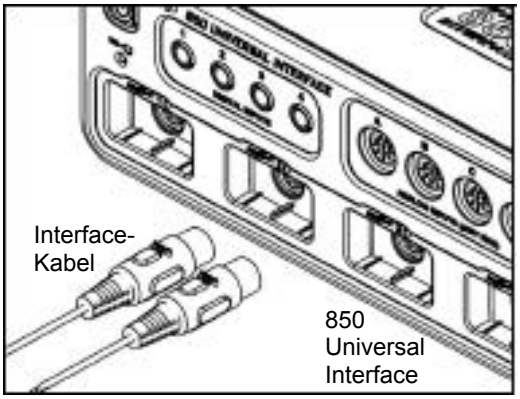
Messgenauigkeit

Zwei Faktoren beeinflussen die Genauigkeit: Zum einen ist der Photostrom extrem klein. Andererseits, wenn der Photostrom null ist, entspricht die Gegenspannung nicht exakt dem Stopp-Potential. Der Gleichstromverstärker arbeitet sehr stabil und ist sehr empfindlich. Die Photozellen-Röhre hat einen niedrigen Dunkelstrom und eine geringe Anoden-Sperrspannung. Zusätzlich ergibt, da die Gegenspannung vs. Frequenz für mehrere Linienspektren aufgenommen wird und das Stopp-Potential vs. Frequenz benutzt wird, um die Planck-Konstante zu berechnen, das Verfahren für die Berechnung der Steigung ein sehr genaues Ergebnis, auch wenn das Stopp-Potential nicht unbedingt genau stimmt.

Einsatz eines PASCO Interfaces zur Datenerfassung

Anschluss des Interfaces

Benutzen Sie zwei der 8-poligen Interfacekabel um das Ausgangssignal des Gleichstromverstärkers und die Ausgangsspannung des Gleichspannungsnetzteiles (-4,5 bis 0/ 30 V) mit einem Daterfassungssystem zu koppeln. Es eignen sich die Interfaces der Reihe 500 bzw. 750 und das 850-Universalinterface. Stecken Sie die beiden Kabel in jeweils einen Analogeingang des Interfaces.



PASCO Capstone Arbeitsmappe

Eine elektronische Arbeitsmappe für PASCO Capstone kann unter CONATEX.COM oder PASCO.COM heruntergeladen werden. Mit Ihr werden Sie Schritt für Schritt durch den Versuch geführt.

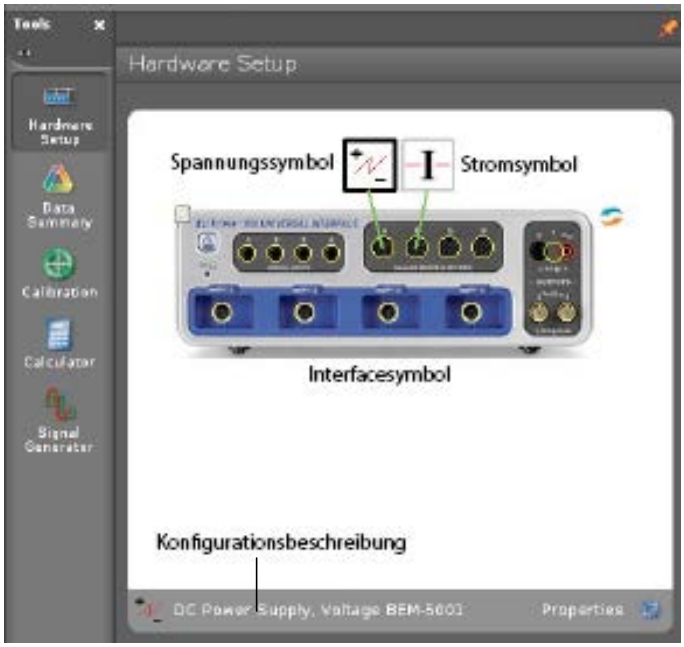
Konfiguration der Software Capstone

Starten Sie die Capstone-Software. Das 850 Universal Interface wird automatisch erkannt. Auch werden die angeschlossenen Geräte (Spannung / Strom) erkannt und an den entsprechenden Eingängen grafisch dargestellt.

Konfiguration der Sensoren

Klicken Sie im Capstone-Programm auf die Schaltfläche *Hardware Setup*. Es öffnet sich eine Anzeige des Interfaces mit den Sensor-Eingangsbelegungen (siehe Abb. unten).
Die Symbole für die Spannung des Gleichspannungsnetzgerätes und der Ausgang des Gleichstromverstärkers sind den entsprechenden Analogeingängen grafisch zugeordnet.
Durch erneutes Klicken auf das Symbol *Hardware Setup* schließen Sie das Fenster.

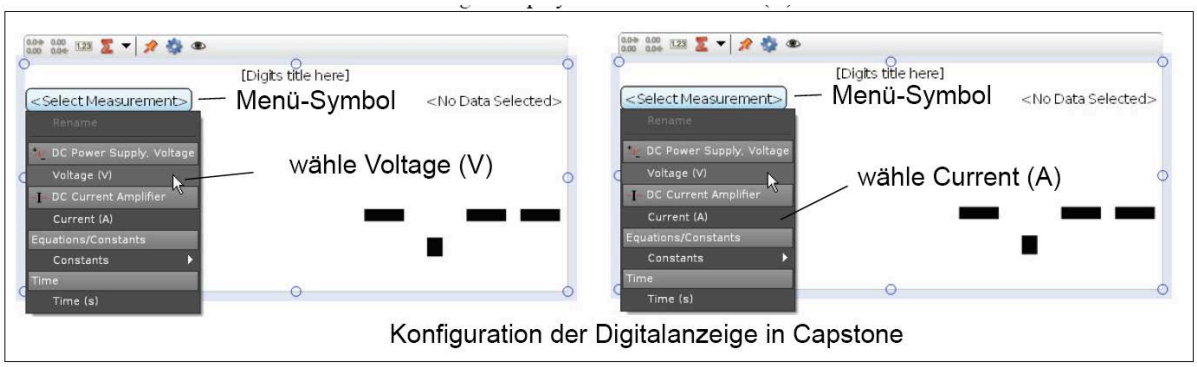
Weitergabe und Vervielfältigung dieser Publikation oder von Teilen daraus sind ohne die ausdrückliche schriftliche Genehmigung durch die Conatex Didactic Lehrmittel GmbH nicht gestattet.



Hardware Setup - Fenster

Konfiguration der Datenanzeige

Wählen Sie in der Arbeitsmappendarstellung eine der Anzeigeoptionen aus. Klicken Sie auf das Symbol oder ziehen Sie das entsprechende Symbol auf den Arbeitsbereich. Ziehen Sie beispielsweise zwei Fenster zur Anzeige der Messwerte in Form einer Digitalanzeige in das Arbeitsfenster (siehe nachfolgende Abbildung).



Konfiguration der Digitalanzeige in Capstone

Für die nachfolgenden Versuche wählen Sie bitte die grafische Auswertung *Table Graph* aus der Arbeitsmappendarstellung der Capstone-Software.

Weitergabe und Vervielfältigung dieser Publikation oder von Teilen daraus sind ohne die ausdrückliche schriftliche Genehmigung durch die Conatex Didactic Lehrmittel GmbH nicht gestattet.

Versuch 1 – Planck-Konstante h

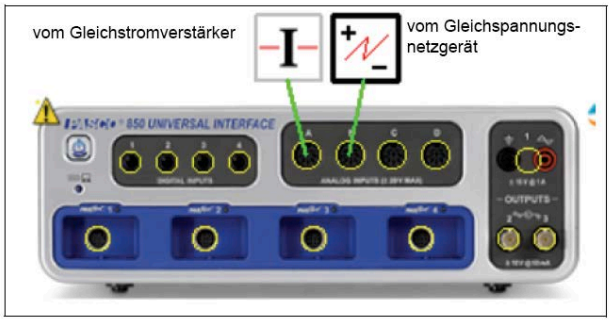
Messen und Berechnen der Planck-Konstante h

Vorbereitungen

1. Decken Sie das Fenster der Hg-Leuchte mit der beiliegenden Abdeckung ab. Decken Sie ebenfalls die Photozelle mit der beiliegenden Abdeckung ab.
2. Stellen Sie den Abstand zwischen Hg-Leuchte und Photozelle zwischen 30 und 40 cm ein (empfohlener Abstand: 35 cm).
3. Schalten Sie die Hg-Leuchte durch Betätigen des Ein-/Ausschalters am Netzgerät für die Leuchte ein. Schalten Sie nun die Spannungsversorgung und den Gleichstromverstärker ebenfalls ein.
4. Warten Sie nun 10 Minuten, bis die Hg-Leuchte ihre max. Helligkeit erreicht hat und die restliche Elektronik Betriebstemperatur erreicht hat.

HINWEIS
Diese Aufwärmphase ist sehr wichtig, um reproduzierbare und stabile Messwerte zu erhalten!

5. Stellen Sie an dem Gleichspannungsnetzgerät den Ausgangsspannungsbereich auf den Bereich **-4,5 bis 0 V** ein (Spannungsbereichs-Schalter nicht gedrückt). Auf dem Gleichspannungsverstärker wählen Sie den Bereich **10^{-13} A.**
6. Drücken Sie auf dem Messverstärker den Signalschalter in die Betriebsart *CALIBRATION* (Schalterstellung eingerastet).
7. Regulieren Sie mit dem Knopf *CURRENT ADJUST* die Anzeige auf den Wert 0 (Null).
8. Betätigen Sie erneut den Signalschalter in die Position *MEASURE* (Schalterstellung ausgerastet).
9. Verbinden Sie mit den beiden Experimentierleitungen (rot / schwarz) den Ausgang des Gleichspannungsnetzgerätes (-4,5 bis 0 V) mit den entsprechenden Buchsen (rot / schwarz) der Photozellen-Einheit.
10. Verbinden Sie nun die BNC-Buchse der Photozellen-Einheit mit dem Eingang des Gleichspannungsverstärkers. Verwenden Sie dazu das mitgelieferte BNC - Kabel.
11. Verbinden Sie mit einem 8-pol. Datenkabel den Ausgang *INTERFACE* des Gleichstromverstärkers mit dem Analogeingang *A* des 850 Universal Interfaces.
12. Verbinden Sie mit dem anderen 8-pol. Datenkabel den Ausgang *-4,5 V – 0 V INTERFACE* des Gleichspannungsnetzgerätes (untere Interface-Buchse des Netzgerätes) mit dem Analogeingang *B* des 850 Universal Interfaces.



Weitergabe und Vervielfältigung dieser Publikation oder von Teilen daraus sind ohne die ausdrückliche schriftliche Genehmigung durch die Conatex Didactic Lehrmittel GmbH nicht gestattet.

Konfiguration der Capstone Software

1. Wählen Sie in der Capstone Software die Mustervorlage für Tabelle und grafische Darstellung (*Table & Graph*).

2. Erstellen Sie in der ersten Spalte ein benutzerdefinierten Datensatz zur Eingabe der Wellenlänge (**Wavelength**) mit der Einheit **nm**. In den Einstellungen dieser Messreihe setzen Sie das Symbol auf λ (lambda). Geben Sie die Werte der Wellenlängen für die Quecksilber – Linien ein: 365, 405, 436, 546, und 577.

3. Öffnen Sie den Rechner in Capstone und erstellen Sie die Berechnungsformel für die Frequenz, f:

   $f = c/\lambda \times 10^{-5}$ mit Einheit *units* (x 10^{14} Hz)
   c = [Lichtgeschwindigkeit (m/s)]
   λ = [Wellenlänge (nm),▼]

4. Wählen Sie *Berechnung f* in der zweiten Spalte der Tabelle aus.

5. Wählen Sie in der dritten Spalte die Ausgangsspannung des Gleichspannungsnetzgerätes aus. Benennen Sie die Überschrift um in *Stopping Voltage.*

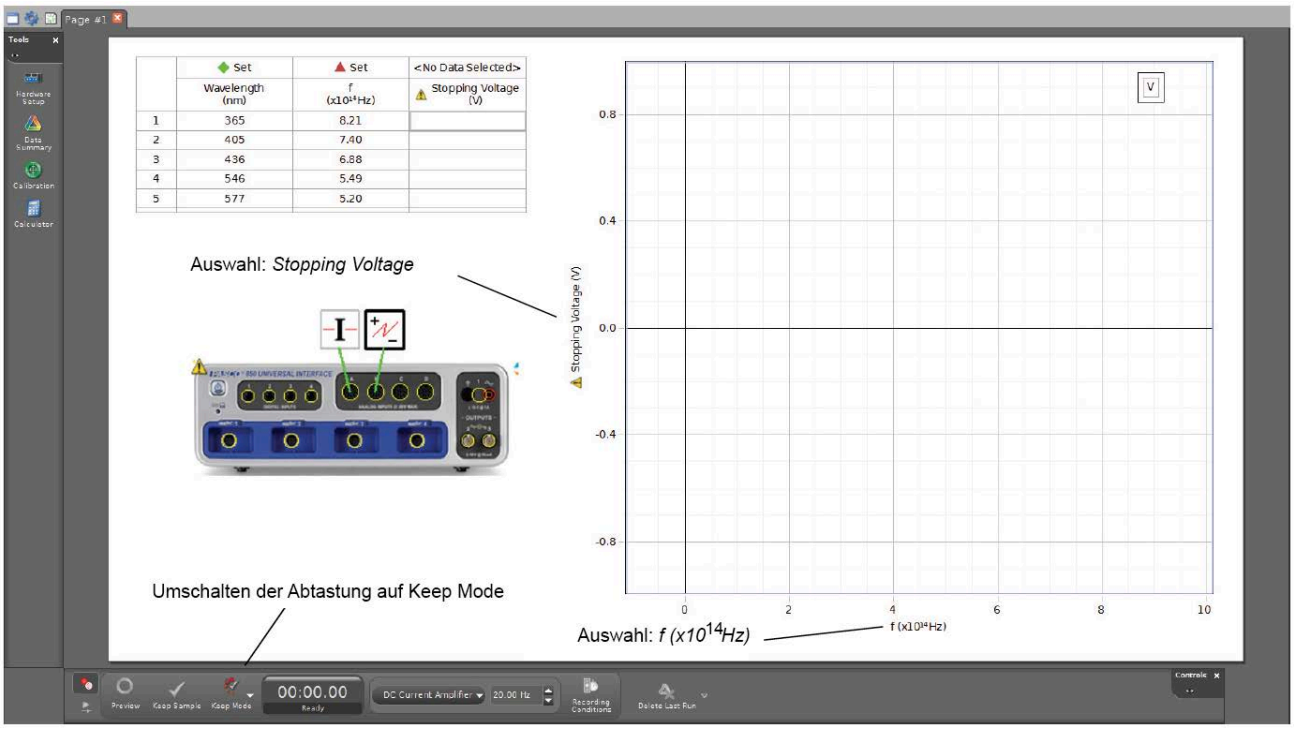
	◆ Set	▲ Set	<No Data Selected>
	Wavelength (nm)	f (x10¹⁴Hz)	⚠ Stopping Voltage (V)
1	365	8.21	
2	405	7.40	
3	436	6.88	
4	546	5.49	
5	577	5.20	

6. Ändern Sie den Abtastmodus (*sampling mode*) in der Einstellungsleiste zur Abtastrate von kontinuierlicher Abtastung (*Continuous Mode*) zu Einzelabtastung (*Keep Mode*).

Weitergabe und Vervielfältigung dieser Publikation oder von Teilen daraus sind ohne die ausdrückliche schriftliche Genehmigung durch die Conatex Didactic Lehrmittel GmbH nicht gestattet.

7. In der grafischen Darstellung beschriften Sie die Achsen des Koordinatensystems wie folgt:

   Stopping Voltage : x-Achse
   f (Frequenz) : y-Achse



Durchführung der Messung

1. Ziehen Sie das hintere Blendenrad leicht nach vorne und drehen das Rad soweit, bis die Markierung der 4 mm-Blende mit der Markierung auf dem Gehäuse fluchtet. Dann drehen Sie das Filterrad bis die der Schriftzug 365 nm mit der Markierung fluchtet. Entfernen Sie Abdeckkappe vom Blenden- und Filterrevolver.
2. Entfernen Sie die Abdeckung der Hg-Leuchte. Die Spektrallinie von 365 nm trifft nun auf die Kathode der Photozelle.

VORSICHT
Die Abdeckung der Lichtquelle ist sehr warm.

3. Starten Sie mit der *Preview* in der Einstellungsleiste und klicken auf die erste Zeile in der Tabelle.
4. Verstellen Sie dem Knopf *VOLTAGE ADJUST* des Netzgerätes die Spannung so lange, bis die Anzeige auf der Anzeige des Gleichstomverstärkers 0 (null) anzeigt.

Weitergabe und Vervielfältigung dieser Publikation oder von Teilen daraus sind ohne die ausdrückliche schriftliche Genehmigung durch die Conatex Didactic Lehrmittel GmbH nicht gestattet.

5. Drücken Sie auf die Schaltfläche *Keep Sample* in der unteren Einstellungsleiste, um den Betrag der Gegenspannung (Stopp-Potential) für die Wellenlänge 365 nm zu protokollieren.
6. Drehen Sie den Filterring anschließend auf die 405 nm - Position. Die Spektrallinie von 405 nm trifft nun auf die Kathode der Photozelle.
7. Verstellen Sie dem Knopf *VOLTAGE ADJUST* des Netzgerätes die Spannung so lange, bis die Anzeige auf dem Display des Gleichstomverstärkers 0 (null) anzeigt.
8. Klicken Sie auf die zweite Zeile der Tabelle. Drücken Sie erneut auf die Schaltfläche *Keep Sample* in der unteren Einstellungsleiste, um den Betrag der Gegenspannung (Stopp-Potential) für die Wellenlänge 405 nm in der zweiten Zeile zu protokollieren.
9. Wiederholen Sie die Schritte 7 und 8 mit den drei weiteren Filtereinstellungen (436, 546 und 577 nm)
10. Schalten Sie die Hg-Leuchte und die übrigen Komponenten aus. Drehen Sie das Filterrad solange, bis der 0 nm Filter (dadurch trifft kein Licht auf die Photozelle) mit der Markierung fluchtet. Bringen Sie die Abdeckungen auf den Tubus der Hg-Leuchte und den Filter-Revolver zum Schutz an.

<u>Auswertung der Messreihen</u>

1. Zeichnen Sie einen Graphen über die Messwerte Stopp-Potential (*V*) vs. Frequenz ($x\ 10^{14}$ *Hz*).
2. Berechnen Sie die Steigung der Ausgleichsgeraden durch die Messwerte Stopp-Potential (*V*) vs. Frequenz ($x\ 10^{14}$ *Hz*).

Hinweis: Die Steigung entspricht dem Verhältnis *h/e*. *h* ist das Planck'sche Wirkungsquantum und entspricht somit dem Produkt aus der Ladung eines Elektrons ($e = 1{,}602 \times 10^{-19}$ C) mit der Steigung der Ausgleichsgerade.

3. Ermitteln Sie die Steigung der Ausgleichsgerade und benutzen Sie das Ergebnis zur Berechnung des Planck'schen Wirkungsquants *h*.

   Steigung = _____ ± _____

   h = *e* x *Steigung* = _____ ± _____

4. Benutzen Sie die ±-Toleranz, die sich bei der Berechnung der Steigung ergeben hat und vergleichen Sie jeweils die berechneten Ergebnisse für h mit dem Nominalwert $h_0 = 6{,}626 \times 10^{-34}$ J s.

$$\textit{prozentuale Differenz} = \left| \frac{h - h_0}{h_0} \right| \times 100$$

5. Berechnen Sie die *prozentuale Differenz* : _____

Weitergabe und Vervielfältigung dieser Publikation oder von Teilen daraus sind ohne die ausdrückliche schriftliche Genehmigung durch die Conatex Didactic Lehrmittel GmbH nicht gestattet.

Fragestellungen

1. Vergleichen Sie den aus dem Versuch hergeleiteten Wert von h mit dem Nominalwert h_0. Wie groß ist die Differenz?

2. Worin ist der Unterschied für eine Differenz zwischen h und h_0 begründet?

3. Wie kann die Austrittsarbeit aus dem Graphen Stopp-Potential vs. Frequenz gefunden werden?

Erweiterte Fragestellungen

1. Wie verhalten sich die Werte für h bei unterschiedlichen Blendenöffnungen in Bezug auf den Nominalwert $h_0 = 6{,}626 \times 10^{-34}$ J s?

2. Welchen Einfluss hat die Intensität des Lichtes auf das Stopp-Potential?

Weitergabe und Vervielfältigung dieser Publikation oder von Teilen daraus sind ohne die ausdrückliche schriftliche Genehmigung durch die Conatex Didactic Lehrmittel GmbH nicht gestattet.

Versuch 2 – Messen der Strom – Spannungs - Charakteristik (1)

Messen der Strom – Spannungs – Charakteristik von Spektrallinien:
gleiche Wellenlänge / unterschiedlicher Intensität

In diesem Versuch wird bei einer festen Wellenlänge und drei unterschiedlichen Lichtintensitäten die Strom - Spannungs - Kennlinie aufgenommen.

Vorbereitungen

1. Decken Sie das Fenster der Hg-Leuchte mit der beiliegenden Abdeckung ab. Decken Sie ebenfalls die Photozelle mit der beiliegenden Abdeckung ab.
2. Stellen Sie den Abstand zwischen Hg-Leuchte und Photozelle zwischen 30 und 40 cm ein (empfohlener Abstand: 35 cm).
3. Schalten Sie die Hg-Leuchte durch Betätigen des Ein-/Ausschalters am Netzgerät für die Leuchte ein. Schalten Sie nun die Spannungsversorgung und den Gleichstromverstärker ebenfalls ein.
4. Warten Sie nun 10 Minuten, bis die Hg-Leuchte ihre max. Helligkeit erreicht hat und die restliche Elektronik Betriebstemperatur erreicht hat.

HINWEIS
Diese Aufwärmphase ist sehr wichtig, um reproduzierbare und stabile Messwerte zu erhalten!

5. Stellen Sie an dem Gleichspannungsnetzgerät den Ausgangsspannungsbereich auf den Bereich **-4,5 bis 30 V** ein (Spannungsbereichs-Schalter gedrückt). Auf dem Gleichspannungsverstärker wählen Sie den Bereich **10^{-11} A.** Sollte dies nicht genügen, wählen Sie den nächst größeren Messbereich **10^{-10} A**.
6. Drücken Sie auf dem Messverstärker den Signalschalter in die Betriebsart *CALIBRATION* (Schalterstellung eingerastet).
7. Regulieren Sie mit dem Knopf *CURRENT ADJUST* die Anzeige auf den Wert 0 (Null).
8. Betätigen Sie erneut den Signalschalter in die Position *MEASURE* (Schalterstellung ausgerastet).

Durchführung der Messung – Konstante Wellenlänge, unterschiedliche Intensitäten

(2 mm Blende)

1. Ziehen Sie das hintere Blendenrad leicht nach vorne und drehen das Rad soweit, bis die Markierung der 2 mm-Blende mit der Markierung auf dem Gehäuse fluchtet. Dann Drehen Sie das Filterrad bis die der Schriftzug 436 nm mit der Markierung fluchtet. Entfernen Sie Abdeckkappe vom Blenden- und Filterrevolver.
2. Entfernen Sie die Abdeckung der Hg-Leuchte. Die Spektrallinie von 436 nm trifft nun auf die Kathode der Photozelle.

Weitergabe und Vervielfältigung dieser Publikation oder von Teilen daraus sind ohne die ausdrückliche schriftliche Genehmigung durch die Conatex Didactic Lehrmittel GmbH nicht gestattet.

VORSICHT
Die Abdeckung der Lichtquelle ist sehr warm.

3. Verstellen Sie dem Knopf *VOLTAGE ADJUST* des Netzgerätes die Spannung so lange, bis die Anzeige auf dem Display des Gleichstomverstärkers 0 (null) anzeigt. Tragen Sie das Ergebnis in Tabelle 1 ein.
4. Erhöhen Sie die Spannung um einen kleinen Wert (z.B. 2 V) und tragen den Wert in die Tabelle 4 ein.
5. Wiederholen Sie Schritt 4 mehrfach hintereinander mit denselben Intervallen. Beenden Sie die Messreihe, wenn Sie den Spannungsbereich des Netzgerätes durchlaufen haben. Tragen Sie die Werte jeweils in Tabelle 1 ein.

(4 mm Blende)

1. Verschließen Sie die Hg-Leuchte und den Filterrevolver der Photozelle mit den entsprechenden Abdeckungen.
2. Ziehen Sie das hintere Blendenrad leicht nach vorne und drehen das Rad soweit, bis die Markierung der 4 mm-Blende mit der Markierung auf dem Gehäuse fluchtet. Dann Drehen Sie das Filterrad bis die der Schriftzug 436 nm mit der Markierung fluchtet. Entfernen Sie Abdeckkappe vom Blenden- und Filterrevolver.

VORSICHT
Die Abdeckung der Lichtquelle ist sehr warm.

3. Entfernen Sie die Abdeckung der Hg-Leuchte. Die Spektrallinie von 436 nm trifft nun auf die Kathode der Photozelle.
4. Verstellen Sie dem Knopf *VOLTAGE ADJUST* des Netzgerätes die Spannung so lange, bis die Anzeige auf dem Display des Gleichstomverstärkers 0 (null) anzeigt. Tragen Sie das Ergebnis in Tabelle 1 ein.
5. Erhöhen Sie die Spannung um einen kleinen Wert (z.B. 2 V) und tragen den Wert in die Tabelle 4 ein. Wiederholen Sie diesen mehrfach hintereinander mit denselben Intervallen. Beenden Sie die Messreihe, wenn Sie den Spannungsbereich des Netzgerätes durchlaufen haben. Tragen Sie die Werte jeweils in Tabelle 4 ein.

(8 mm Blende)

1. Verschließen Sie die Hg-Leuchte und den Filterrevolver der Photozelle mit den entsprechenden Abdeckungen.
2. Ziehen Sie das hintere Blendenrad leicht nach vorne und drehen das Rad soweit, bis die Markierung der 8 mm-Blende mit der Markierung auf dem Gehäuse fluchtet. Dann Drehen Sie das Filterrad bis die der Schriftzug 436 nm mit der Markierung fluchtet. Entfernen Sie Abdeckkappe vom Blenden- und Filterrevolver.

3. Entfernen Sie die Abdeckung der Hg-Leuchte. Die Spektrallinie von 436 nm trifft nun auf die Kathode der Photozelle.

Weitergabe und Vervielfältigung dieser Publikation oder von Teilen daraus sind ohne die ausdrückliche schriftliche Genehmigung durch die Conatex Didactic Lehrmittel GmbH nicht gestattet.

4. Verstellen Sie dem Knopf *VOLTAGE ADJUST* des Netzgerätes die Spannung so lange, bis die Anzeige auf dem Display des Gleichstomverstärkers 0 (null) anzeigt. Tragen Sie das Ergebnis in Tabelle 1 ein.
5. Erhöhen Sie die Spannung um einen kleinen Wert (z.B. 2 V) und tragen den Wert in die Tabelle 4 ein. Wiederholen Sie diesen mehrfach hintereinander mit denselben Intervallen. Beenden Sie die Messreihe, wenn Sie den Spannungsbereich des Netzgerätes durchlaufen haben. Tragen Sie die Werte jeweils in Tabelle 1 ein.
6. Schalten Sie die Hg-Leuchte und die übrigen Komponenten aus. Drehen Sie das Filterrad solange, bis der 0 nm Filter (dadurch trifft kein Licht auf die Photozelle) mit der Markierung fluchtet. Bringen Sie die Abdeckungen auf den Tubus der Hg-Leuchte und den Filter-Revolver zum Schutz an.

Tabelle 1 : Strom und Spannung (abhängigkeit von Spektrallinien)

λ = 436 nm 2 mm	V (V)												
	I (x 10^{-11} A)												
λ = 436 nm 4 mm	V (V)												
	I (x 10^{-11} A)												
λ = 436 nm 8 mm	V (V)												
	I (x 10^{-11} A)												

Auswertung der Messreihen

1. Zeichnen Sie einen Graphen von Strom (y-Achse) vs. Spannung (x-Achse) für eine Spektrallinie (436 nm) für alle drei Intensitäten.

Fragestellungen

1. Worin liegen die Gemeinsamkeiten der verschiedenen Kurven (gleiche Wellenlänge – drei verschiedene Intensitäten)?
2. Worin liegen die Unterschiede der verschiedenen Kurven (gleiche Wellenlänge – drei verschiedene Intensitäten)?

Weitergabe und Vervielfältigung dieser Publikation oder von Teilen daraus sind ohne die ausdrückliche schriftliche Genehmigung durch die Conatex Didactic Lehrmittel GmbH nicht gestattet.

Versuch 3 – Messen der Strom – Spannungs - Charakteristik (2)

Messen der Strom – Spannungs – Charakteristik von Spektrallinien: verschiedene Wellenlänge / konstante Intensität

In diesem Versuch wird bei einer festen Lichtintensität und drei unterschiedlichen Wellenlängen (365 nm, 405 nm und 436 nm) die Strom – Spannungs - Kennlinie aufgenommen.

Vorbereitungen

1. Decken Sie das Fenster der Hg-Leuchte mit der beiliegenden Abdeckung ab. Decken Sie ebenfalls die Photozelle mit der beiliegenden Abdeckung ab.
2. Stellen Sie den Abstand zwischen Hg-Leuchte und Photozelle zwischen 30 und 40 cm ein (empfohlener Abstand: 35 cm).
3. Schalten Sie die Hg-Leuchte durch Betätigen des Ein-/Ausschalters am Netzgerät für die Leuchte ein. Schalten Sie nun die Spannungsversorgung und den Gleichstromverstärker ebenfalls ein.
4. Warten Sie nun 10 Minuten, bis die Hg-Leuchte ihre max. Helligkeit erreicht hat und die restliche Elektronik Betriebstemperatur erreicht hat.

HINWEIS
Diese Aufwärmphase ist sehr wichtig, um reproduzierbare und stabile Messwerte zu erhalten!

5. Stellen Sie an dem Gleichspannungsnetzgerät den Ausgangsspannungsbereich auf den Bereich **-4,5 bis 30 V** ein (Spannungsbereichs-Schalter gedrückt). Auf dem Gleichspannungsverstärker wählen Sie den Bereich **10^{-11} A.** Sollte dies nicht genügen, wählen Sie den nächst größeren Messbereich **10^{-10} A**.
6. Drücken Sie auf dem Messverstärker den Signalschalter in die Betriebsart *CALIBRATION* (Schalterstellung eingerastet).
7. Regulieren Sie mit dem Knopf *CURRENT ADJUST* die Anzeige auf den Wert 0 (Null).
8. Betätigen Sie erneut den Signalschalter in die Position *MEASURE* (Schalterstellung ausgerastet).

Durchführung der Messung – Konstante Intensität, unterschiedliche Wellenlängen

(365 nm Wellenlänge)

1. Ziehen Sie das hintere Blendenrad leicht nach vorne und drehen das Rad soweit, bis die Markierung der 4 mm-Blende mit der Markierung auf dem Gehäuse fluchtet. Dann Drehen Sie das Filterrad bis die der Schriftzug 365 nm mit der Markierung fluchtet. Entfernen Sie Abdeckkappe vom Blenden- und Filterrevolver.
2. Entfernen Sie die Abdeckung der Hg-Leuchte. Die Spektrallinie von 365 nm trifft nun auf die Kathode der Photozelle.

Weitergabe und Vervielfältigung dieser Publikation oder von Teilen daraus sind ohne die ausdrückliche schriftliche Genehmigung durch die Conatex Didactic Lehrmittel GmbH nicht gestattet.

VORSICHT
Die Abdeckung der Lichtquelle ist sehr warm.

3. Verstellen Sie dem Knopf *VOLTAGE ADJUST* des Netzgerätes die Spannung so lange, bis die Anzeige auf dem Display des Gleichstomverstärkers 0 (null) anzeigt. Tragen Sie das Ergebnis in Tabelle 2 ein.
4. Erhöhen Sie die Spannung um einen kleinen Wert (z.B. 2 V) und tragen den Wert in die Tabelle 2 ein.
5. Wiederholen Sie Schritt 4 mehrfach hintereinander mit denselben Intervallen. Beenden Sie die Messreihe, wenn Sie den Spannungsbereich des Netzgerätes durchlaufen haben. Tragen Sie die Werte jeweils in Tabelle 2 ein.

(405 nm Wellenlänge)

1. Verschließen Sie die Hg-Leuchte und den Filterrevolver der Photozelle mit den entsprechenden Abdeckungen.
2. Drehen Sie das Filterrad bis die der Schriftzug 405 nm mit der Markierung fluchtet. Entfernen Sie Abdeckkappe vom Blenden- und Filterrevolver.
3. Entfernen Sie die Abdeckung der Hg-Leuchte. Die Spektrallinie von 405 nm trifft nun auf die Kathode der Photozelle.
4. Verstellen Sie dem Knopf *VOLTAGE ADJUST* des Netzgerätes die Spannung so lange, bis die Anzeige auf dem Display des Gleichstomverstärkers 0 (null) anzeigt. Tragen Sie das Ergebnis in Tabelle 2 ein.
5. Erhöhen Sie die Spannung um einen kleinen Wert (z.B. 2 V) und tragen den Wert in die Tabelle 2 ein.
6. Wiederholen Sie Schritt 5 mehrfach hintereinander mit denselben Intervallen. Beenden Sie die Messreihe, wenn Sie den Spannungsbereich des Netzgerätes durchlaufen haben. Tragen Sie die Werte jeweils in Tabelle 2 ein.

(436 nm Wellenlänge)

1. Verschließen Sie die Hg-Leuchte und den Filterrevolver der Photozelle mit den entsprechenden Abdeckungen.
2. Drehen Sie das Filterrad bis die der Schriftzug 436 nm mit der Markierung fluchtet. Entfernen Sie Abdeckkappe vom Blenden- und Filterrevolver.
3. Entfernen Sie die Abdeckung der Hg-Leuchte. Die Spektrallinie von 436 nm trifft nun auf die Kathode der Photozelle.
4. Verstellen Sie dem Knopf *VOLTAGE ADJUST* des Netzgerätes die Spannung so lange, bis die Anzeige auf dem Display des Gleichstomverstärkers 0 (null) anzeigt. Tragen Sie das Ergebnis in Tabelle 2 ein.
5. Erhöhen Sie die Spannung um einen kleinen Wert (z.B. 2 V) und tragen den Wert in die Tabelle 2 ein.
6. Wiederholen Sie Schritt 5 mehrfach hintereinander mit denselben Intervallen. Beenden Sie die Messreihe, wenn Sie den Spannungsbereich des Netzgerätes durchlaufen haben. Tragen Sie die Werte jeweils in Tabelle 2 ein.
7. Schalten Sie die Hg-Leuchte und die übrigen Komponenten aus. Drehen Sie das Filterrad solange, bis der 0 nm Filter (dadurch trifft kein Licht auf die Photozelle) mit

Weitergabe und Vervielfältigung dieser Publikation oder von Teilen daraus sind ohne die ausdrückliche schriftliche Genehmigung durch die Conatex Didactic Lehrmittel GmbH nicht gestattet.

der Markierung fluchtet. Bringen Sie die Abdeckungen auf den Tubus der Hg-Leuchte und den Filter-Revolver zum Schutz an.

Tabelle 2: Strom und Spannung (abhängig von Spektrallinien)

λ = 365 nm 4 mm	V (V)												
	I (x 10^{-11} A)												
λ = 405 nm 4 mm	V (V)												
	I (x 10^{-11} A)												
λ = 436 nm 4 mm	V (V)												
	I (x 10^{-11} A)												

Auswertung der Messreihen

1. Zeichnen Sie einen Graphen von Strom (y-Achse) vs. Spannung (x-Achse) für die drei Spektrallinien (365 nm, 405 nm und 436 nm) bei derselben Intensität (Blende 2 mm).

Fragestellungen

1. Worin liegen die Gemeinsamkeiten der verschiedenen Kurven (drei unterschiedliche Wellenlängen – konstante Intensität)?

2. Worin liegen die Unterschiede der verschiedenen Kurven (drei unterschiedliche Wellenlängen – konstante Intensität)?

Weitergabe und Vervielfältigung dieser Publikation oder von Teilen daraus sind ohne die ausdrückliche schriftliche Genehmigung durch die Conatex Didactic Lehrmittel GmbH nicht gestattet.

Anhang A : Technische Daten

Spannungsversorgung:	110-120 V~ / 220-240 V~ ±10 %, 50/60 Hz
Absicherung:	Feinsicherung 250 V T 2A
Anzeige:	Digitalanzeige 3-1/2 oder 4-1/2 stellige Anzeige
Umgebungsbedingungen:	nur für Gebrauch in trockenen Räumen
Betriebstemperatur:	0 °C bis 40 °C (Lagerung: -20 °C bis 50 °C)
Betriebshöhe:	0 bis 2000 m über N.N
Rel. Luftfeuchtigkeit:	nicht kondensierend < 10 °C, 90 % von 10 °C bis 30 °C, 75 % von 30 °C bis 40 °C
Lebensdauer der Hg-Lampe:	>2000 h
Geräteschutzklasse:	II
Berührungsschutz:	IP20

Das Gerät entspricht den Sicherheitsregularien IEC/EN 61010-1
Das gerät ist CE-konform

Gerät	Technische Daten
Gleichspannungs-quelle	0 – 6,3 VDC, I ≤1 A (Restwelligkeit < 1%), 3,5 stellige Anzeige; -4,5 – 0 VDC / -4,5 – 30 VDC (Restwelligkeit < 1 %) (zwei Bereiche), I ≤ 10 mA, 4.5 stellige Anzeige;
Gleichstromverstärker	Strombereich: 10^{-8} A to10^{-13} A in 6 Bereichen 3, 5 stellige Anzeige; Null-Drift: ≤ ±0.2 % vom Messbereich in 30 Minuten im Bereich 10^{-13} A (nach 20 min. Aufwärmzeit)
Optische Filter	Fünf Filter mit Durchlasswellenlänge von 365, 405, 436, 546 und 577 nm
Optische Blenden	2 mm, 4 mm und 8 mm Durchmesser
Hg-Lampe	Spektrallinien: 365, 405, 436, 546, and 577 nm
Photozelle	Spektraler Empfindlichkeitsbereich: 300 bis 700 nm Minimale Kathodenempfindlichkeit: ≥1 µA/Lm Anode: Nickelring Dunkelstrom: ≤ 20×10^{-13}A (-4,5 V ≤ V_{AK} ≤ 0 V)
Hg-Leuchten-Netzgerät	Eingang: 110–120 V/220 –240V, 50 Hz / 60 Hz; Ausgang: 220 V AC, 200 W
Schiene	Länge: 0,6 m

Weitergabe und Vervielfältigung dieser Publikation oder von Teilen daraus sind ohne die ausdrückliche schriftliche Genehmigung durch die Conatex Didactic Lehrmittel GmbH nicht gestattet.

Anhang B : Zusätzliche Informationen für die Lehrkraft

Beispieldaten

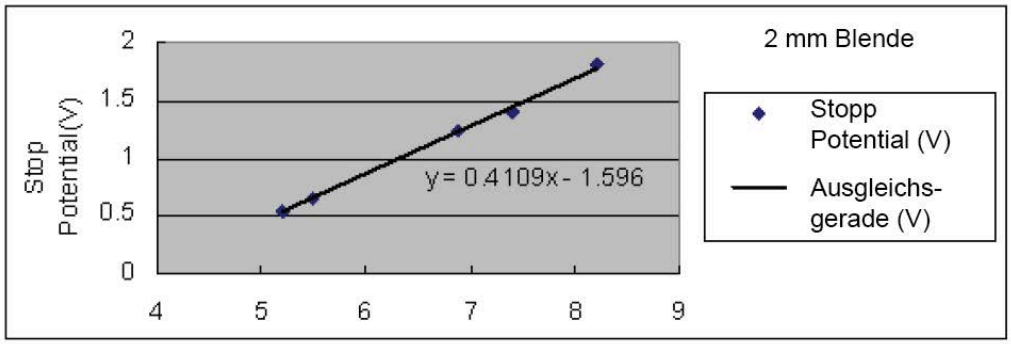
Versuch 1 : Messen und Berechnen der Planck-Konstante h

Die nachfolgende Tabelle zeigt typische Daten für Stoppspannungen für Wellenlängen bei Verwendung einer 2 mm-Blende.

Stopp-Potentiale bei verschiedenen Wellenlängen, Blende: 2 mm

Messreihe	1	2	3	4	5
Wellenlänge , λ (nm)	365	405	436	546	577
Frequenz, $\nu = c/\lambda$, (x 10^{14} Hz)	8.214	7.408	6.879	5.490	5.196
Stopp-Potential, V (V)	*-1.805*	*-1.408*	*-1.235*	*-0.661*	*-0.546*

Die Steigerung der Geraden 0,4109 V/10^{14} Hz dient zur Berechnung des Planck'schen Wirkungsquant von h = 6.582 x 10^{-34} J s.
Dieser Wert hat eine Abweichung von 0,66% vom Nominalwert h_0 = 6,626 x 10^{-34} J s.



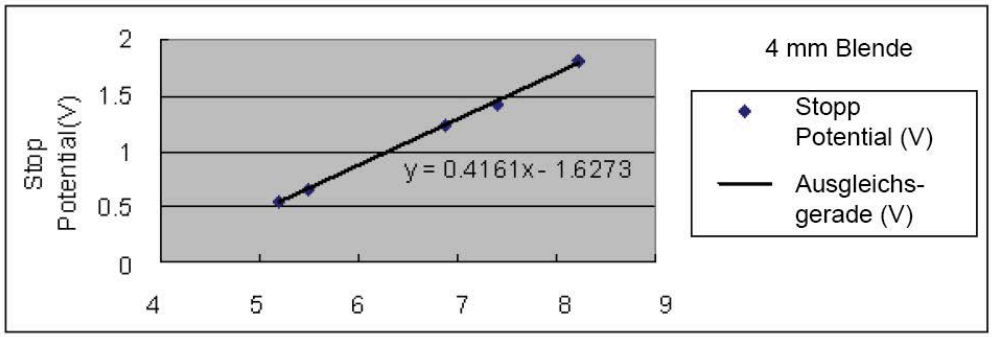
Die nachfolgende Tabelle zeigt typische Daten für Stoppspannungen für Wellenlängen bei Verwendung einer 4 mm-Blende.

Stopp-Potentiale bei verschiedenen Wellenlängen, Blende: 4 mm

Messreihe	1	2	3	4	5
Wellenlänge , λ (nm)	365	405	436	546	577
Frequenz, $\nu = c/\lambda$, (x 10^{14} Hz)	8.214	7.408	6.879	5.490	5.196
Stopp-Potential, V (V)	*-1.819*	*-1.414*	*-1.238*	*-0.660*	*-0.542*

Weitergabe und Vervielfältigung dieser Publikation oder von Teilen daraus sind ohne die ausdrückliche schriftliche Genehmigung durch die Conatex Didactic Lehrmittel GmbH nicht gestattet.

Die Steigerung der Geraden 0,4161 V/10^{14} Hz dient zur Berechnung des Planck'schen Wirkungsquant von h = 6,666 x 10^{-34} J s.
Dieser Wert hat eine Abweichung von 0,60% vom Nominalwert h_0 = 6,626 x 10^{-34} J s.

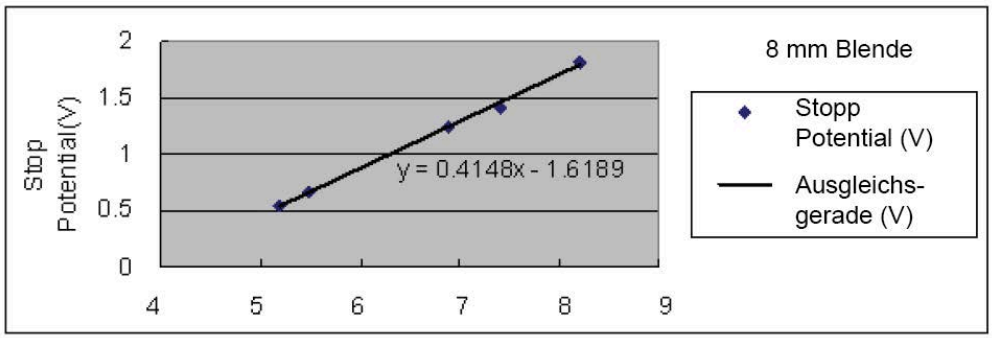


Die nachfolgende Tabelle zeigt typische Daten für Stoppspannungen für Wellenlängen bei Verwendung einer 8 mm-Blende.

Stopp-Potentiale bei verschiedenen Wellenlängen, Blende: 8 mm

Messreihe	1	2	3	4	5
Wellenlänge , λ (nm)	365	405	436	546	577
Frequenz, ν=c/λ, (x 10^{14} Hz)	8.214	7.408	6.879	5.490	5.196
Stopp-Potential, V (V)	*-1.817*	*-1.413*	*-1.237*	*-0.660*	*-0.545*

Die Steigerung der Geraden 0,4148 V/10^{14} Hz dient zur Berechnung des Planck'schen Wirkungsquant von h = 6,645 x 10^{-34} J s.
Dieser Wert hat eine Abweichung von 0,28% vom Nominalwert h_0 = 6,626 x 10^{-34} J s.



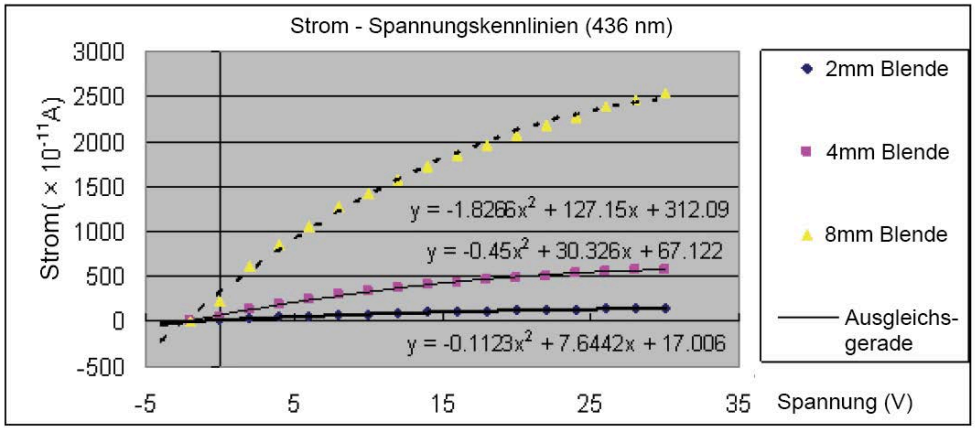
Weitergabe und Vervielfältigung dieser Publikation oder von Teilen daraus sind ohne die ausdrückliche schriftliche Genehmigung durch die Conatex Didactic Lehrmittel GmbH nicht gestattet.

Versuch 2 : Messen der Strom – Spannungs – Charakteristiken (1)

Messen der Strom – Spannungs – Charakteristik von Spektrallinien: gleiche Wellenlänge / unterschiedlicher Intensität

Die nachfolgende Tabelle zeigt typische Daten für Ströme und Stoppspannungen bei einer konstanten Wellenlänge (436 nm) und drei unterschiedlicher Intensitäten (Blendendurchmesser: 2mm, 4mm und 8 mm)

Spannung	Strom (436nm) $\times 10^{-11}$A		
	2 mm - Blende	4 mm - Blende	8 mm - Blende
-4			
-2	0	0	0
0	11	44	220
2	35	136	610
4	49	193	860
6	62	242	1060
8	73	292	1270
10	83	336	1430
12	92	362	1580
14	102	405	1730
16	109	431	1850
18	117	459	1960
20	122	483	2080
22	130	507	2180
24	134	534	2280
26	141	552	2390
28	144	568	2460
30	147	581	2540



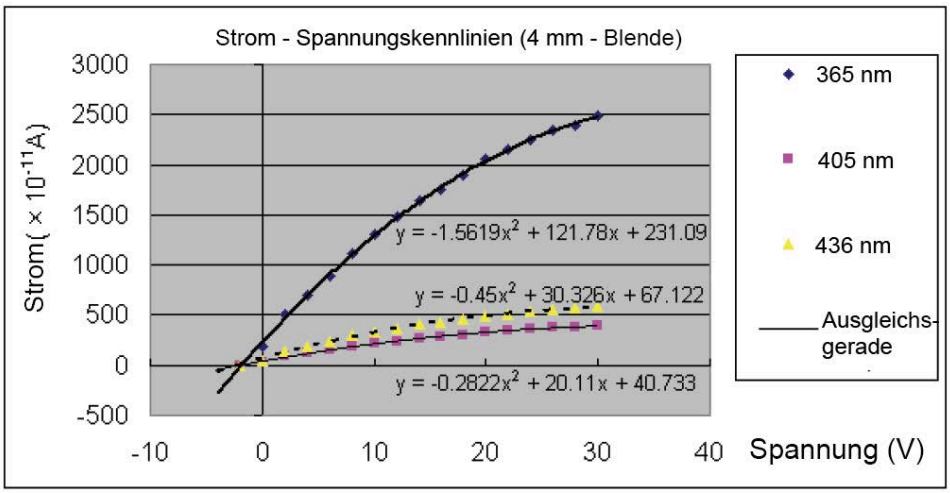
Weitergabe und Vervielfältigung dieser Publikation oder von Teilen daraus sind ohne die ausdrückliche schriftliche Genehmigung durch die Conatex Didactic Lehrmittel GmbH nicht gestattet.

Versuch 3 : Messen der Strom – Spannungs – Charakteristiken (2)

Messen der Strom – Spannungs – Charakteristik von Spektrallinien: unterschiedliche Wellenlängen / gleiche Intensität

Die nachfolgende Tabelle zeigt typische Daten für Ströme und Stoppspannungen bei einer unterschiedlichen Wellenlängen (365 nm, 405 nm und 436 nm) bei einer Intensität (Blendendurchmesser: 4mm)

4 mm-Blende	Strom ($\times 10^{-11}$A)		
Spannung (V)	365nm	405nm	436nm
-4			
-2	0	0	0
0	180	25	44
2	500	87	136
4	700	121	193
6	890	155	242
8	1110	189	292
10	1300	218	336
12	1480	243	362
14	1640	268	405
16	1760	288	431
18	1900	303	459
20	2050	324	483
22	2160	345	507
24	2250	360	534
26	2350	373	552
28	2400	385	568
30	2490	394	581



Weitergabe und Vervielfältigung dieser Publikation oder von Teilen daraus sind ohne die ausdrückliche schriftliche Genehmigung durch die Conatex Didactic Lehrmittel GmbH nicht gestattet.

Fragestellungen zu Experiment 1 – Planck'sches Wirkungsquant

1. Vergleichen Sie den aus dem Versuch hergeleiteten Wert von *h* mit dem Nominalwert h_0. Wie groß ist die Differenz?
   Antwort: *Der berechnete Wert von h bei der 4 mm-Blende weicht etwa 1,8 % vom Nominalwert ab. Schüler antworten und argumentieren hier unterschiedlich.*

2. Worin ist der Unterschied für eine Differenz zwischen *h* und h_0 begründet?
   Antwort: *Auch Hier gehen die Antworten der Schüler meist auseinander. Mögliche Gründe für die Differenz zwischen h und h_0 können sein: da der Photostrom sehr klein ist, kann es zu Ungenauigkeiten bei der Einstellung der Stoppspannung kommen. Zusätzlich können Einflüsse von Geräten, die sich in der Nähe des Versuchsaufbaues befinden einen Einfluss auf die hochempfindlichen Messgeräte haben (z.B. Monitore oder Computer).*

3. Wie kann die Austrittsarbeit aus dem Graphen Stopp-Potential vs. Frequenz gefunden werden?
   Antwort: *Die Austrittsarbeit – dividiert durch die Ladung eines Elektrons e – ist der y-Achsenabschnitt der Geraden. Multipliziert man den Wert des y-Achsenabschnittes mit der Ladung eines Elektrons e erhält man die Austrittsarbeit.*

<u>Erweiterte Fragestellungen</u>

1. Wie verhalten sich die Werte für h bei unterschiedlichen Blendenöffnungen in Bezug auf den Nominalwert $h_0 = 6{,}626 \times 10^{-34}$ J s?
   Antwort: *Die Antworten sind abhängig von den Messwerten.*

2. Welchen Einfluss hat die Intensität des Lichtes auf das Stopp-Potential?
   Antwort: *Die Intensität hat keinen signifikanten Einfluss auf die Höhe des Stopp-Potentials.*

Weitergabe und Vervielfältigung dieser Publikation oder von Teilen daraus sind ohne die ausdrückliche schriftliche Genehmigung durch die Conatex Didactic Lehrmittel GmbH nicht gestattet.

Fragestellungen zu Experiment 2 – Konstante Frequenz

1. Worin liegen die Gemeinsamkeiten der verschiedenen Kurven (gleiche Wellenlänge – drei verschiedene Intensitäten)?
   Antwort: *Die Strom-Spannungskennlinie für eine Wellenlänge und unterschiedlichen Intensitäten sind sehr ähnlich. Das Stopp-Potential ist bei allen drei Kurven annähernd gleich. Auch haben alle Kurven die gleiche Gesamtform.*

2. Worin liegen die Unterschiede der verschiedenen Kurven (gleiche Wellenlänge – drei verschiedene Intensitäten)?
   Antwort: *Die Strom-Spannungskennlinie für eine Wellenlänge und unterschiedlichen Intensitäten unterscheiden sich in folgendem Punkt: Der Photostrom nimmt zu, wenn die Blendenöffnung größer wird. Eine höhere Intensität bewirkt einen höheren Photostrom.*

Fragestellungen zu Experiment 2 – Konstante Intensität

1. Worin liegen die Gemeinsamkeiten der verschiedenen Kurven (drei unterschiedliche Wellenlängen – konstante Intensität)?
   Antwort: *Die Strom-Spannungskennlinien sind sehr ähnlich.*

2. Worin liegen die Unterschiede der verschiedenen Kurven (drei unterschiedliche Wellenlängen – konstante Intensität)?
   Antwort: *Die Strom-Spannungskennlinien unterscheiden sich derart, dass jede Kurve ein anderes Stopp-Potential besitzt. Je kürzer die Wellenlänge, desto höher das Stopp-Potential.*

Hinweis:
Das vorliegende Dokument ist aus dem Englischen übersetzt (CONATEX-DIDACTIC Lehrmittel GmbH 2014). Das Original stammt von PASCO scientific, 10101 Foothills Blvd., Roseville, California, 95747-7100 USA.

Weitergabe und Vervielfältigung dieser Publikation oder von Teilen daraus sind ohne die ausdrückliche schriftliche Genehmigung durch die Conatex Didactic Lehrmittel GmbH nicht gestattet.