

I. Physikalisches Institut der Universität zu Köln

Physikalisches Praktikum B

Versuch 1.4

Photoeffekt: Bestimmung von h/e

(Stand: 25.07.2008)

1 Versuchsziel:

In diesem Versuch soll der äußere photoelektrische Effekt, im Weiteren einfach Photoeffekt genannt, dazu benutzt werden, das Plancksche Wirkungsquantum zu bestimmen. Genauer gesagt wird hier der Quotient aus dem Planckschem Wirkungsquantum h und der Ladung des Elektrons e bestimmt. Hierbei wird eine Photozelle verwendet. Photozellen sind Vakuumröhren, die eine Anode und eine Kathode mit niedriger Austrittsarbeit enthalten. Bei Bestrahlung der Photozelle mit Licht werden wegen des Photoeffekts Elektronen von der Kathode emittiert. Die kinetische Energie der emittierten Elektronen ist dabei nicht von der Intensität des Lichts abhängig, sondern von seiner Frequenz. Diese Beobachtung sorgte nach der Entdeckung des Photoeffekts im 19. Jahrhundert für Verwunderung, da doch die Energie einer Welle von ihrer Amplitude und damit von ihrer Intensität abhängig ist. Erst 1905 erklärte Albert Einstein den Photoeffekt durch seine Lichtquantenhypothese, nach der die Energie des Lichts einer Frequenz ν aus Portionen von $h\nu$ besteht. Daher kann das Licht seine Energie nur in Portionen von $h\nu$ abgeben. Die Intensität des Lichts hat dabei nur einen Einfluss auf die Anzahl der pro Zeit emittierten Elektronen, was in diesem Versuch auch gezeigt werden soll.

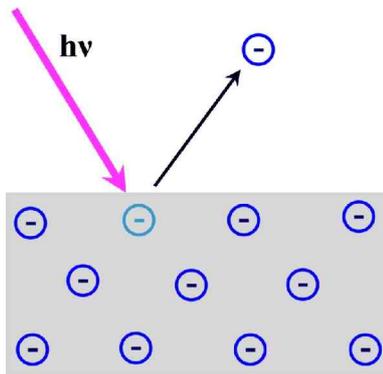
2 Voraussetzungen:

Folgende Punkte sind Voraussetzungen für den Versuch und sollen als Stichworte für die Vorbereitung des Versuchs dienen:

- Austrittsarbeit
- Kontaktspannung
- (äußerer) Photoeffekt, kinetische Energie der emittierten Elektronen
- Elektrisches Feld und Spannung
- Funktionsweise einer Photozelle
- stromfreie Spannungsmessung
- Transmissionsgrad, Farbfilter, Graufilter

3 Zusammenfassung:

Diese Zusammenfassung ist kein Ersatz für ein selbständiges Studium geeigneter Literatur, wie für eine solide Vorbereitung erforderlich. Hier soll nur ein kurzer Überblick über die Grundlagen des Versuchs gegeben werden. Eine Empfehlung geeigneter Literatur finden Sie unter Punkt 5.

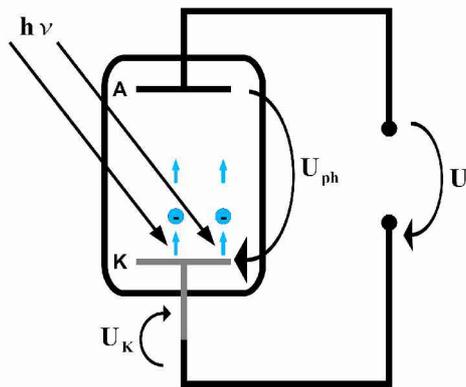


Beim Photoeffekt werden Elektronen durch Licht einer ausreichend hohen Frequenz ν aus der Oberfläche eines Metalls befreit. Wenn W_A die Austrittsarbeit der Elektronen ist, die am nächsten an der Oberfläche sind, dann gilt für die kinetische Energie der schnellsten emittierten Elektronen die so genannte Einstein-Gleichung:

$$E_{\text{kin}}^{\text{max}} = h\nu - W_A$$

Eine Photozelle wird nun mit Licht der Frequenz $\nu \geq W_A(\text{K}) / h$ bestrahlt, so dass es zur Emission von Elektronen an der Kathode kommt. Hierbei sei $W_A(\text{K})$ die Austrittsarbeit der Kathode der Photozelle und $W_A(\text{A})$ die Austrittsarbeit der Anode. Es kann hierbei von $W_A(\text{A}) \geq W_A(\text{K})$ ausgegangen werden. An der Photokathode kommt es also zur Emission von Photoelektronen. Dann werden einige der emittierten Photoelektronen auf die Anode treffen und die Photozelle lädt sich bis zu einem gewissen Punkt auf. Besteht zwischen Anode und Kathode eine elektrische Spannung U_{ph} , bei der die Kathode der Pluspol und die Anode der Minuspol ist, dann werden die Photoelektronen durch das elektrische Feld abgebremst. Die Spannung, bei der selbst die schnellsten Elektronen die Anode nicht mehr erreichen können, kann man als Stoppspannung $U_{\text{ph},0}$ bezeichnen. Sie ist die kleinste Spannung, bei der der Strom von Photoelektronen von der Kathode zur Anode Null ist. Hierbei gilt also:

$$eU_{\text{ph},0} = E_{\text{kin}}^{\text{max}}(\text{Elektron}) = h\nu - W_A(\text{K})$$



Wegen der niedrigen Austrittsarbeit der Photokathode kommt es zu einer Kontaktspannung U_K , um die die äußere Spannung U an den Anschlüssen der Photozelle gegenüber der Spannung U_{ph} zwischen Anode und Kathode in der Photozelle verschoben wird. Aber gerade diese Spannung wird im Versuch gemessen. Für die Kontaktspannung gilt:

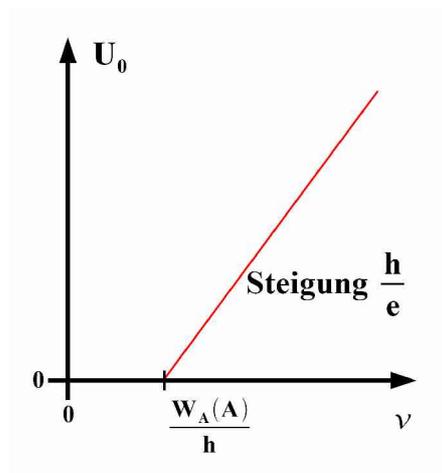
$$U_K = \frac{W_A(A) - W_A(K)}{e}$$

Beachten Sie, dass die obige Abbildung eine Vereinfachung für den Fall ist, dass die Leitung die selbe Austrittsarbeit wie die Anode hat. Wenn dies nicht der Fall ist, so ist die Kontaktspannung zwischen Kathode und Leitung etwas anders und zwischen Anode und Leitung gibt es eine weitere Kontaktspannung. In der Summe der Kontaktspannungen fällt der Einfluss der Leitung aber weg, so dass weiterhin die obige Formel für die gesamte Kontaktspannung gilt.

Für die äußere Stoppspannung U_0 an den Anschlüssen der Photozelle folgt damit:

$$U_0 = U_{ph,0} - U_K = \frac{h}{e} \nu - \frac{W_A(A)}{e}$$

Dies ist die Stoppspannung, die Sie messen werden. In diesem Versuch kann für die Messwerte der Stoppspannung bei verschiedenen Frequenzen eine Geradenanpassung durchgeführt. Die Steigung der Geraden ist h/e .



4 Versuchsdurchführung und Auswertung:

4.1 Teil 1: Bestimmung von h/e

In diesem Teil wird das Spektrum einer Quecksilberdampf Lampe nacheinander durch 5 verschiedene Interferenzfilter gefiltert. Schalten Sie die Quecksilberdampf Lampe mindestens 10 Minuten vor Beginn der Messungen ein. Für die jeweilige Wellenlänge wird die Stoppspannung gemessen. Für die Wellenlängen bei Verwendung der einzelnen Filter gilt:

Filter	λ [nm]	$\Delta\lambda$ [nm]
1	366	7
2	405	7
3	436	7
4	546	7
5	578	7

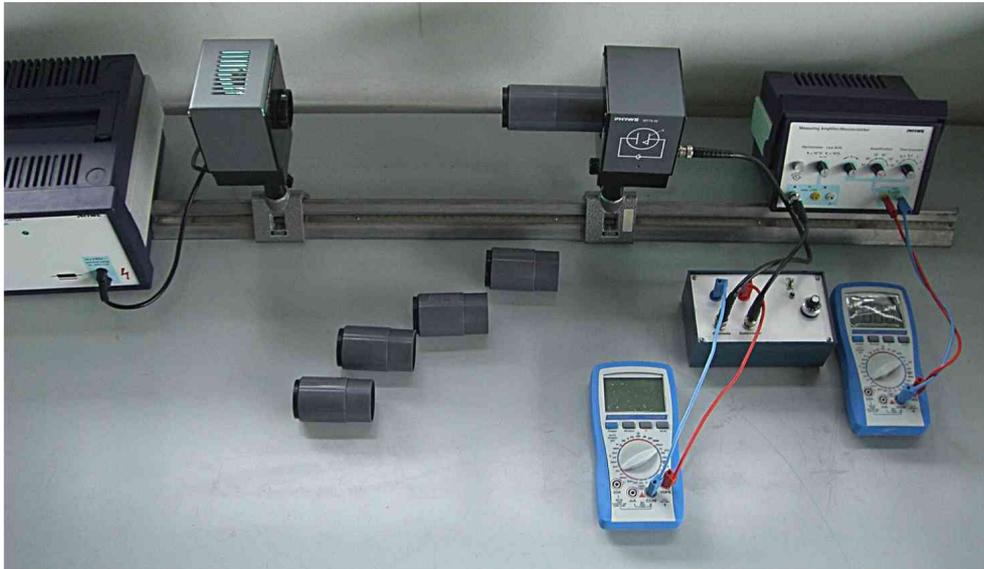
Durchführung:

- 1.) Messen Sie die Stoppspannungen bei den 5 unterschiedlichen Wellenlängen nach der in 4.1.1 beschriebenen Gegenspannungsmethode.
- 2.) Messen Sie die Stoppspannungen bei den 5 unterschiedlichen Wellenlängen nach der in 4.1.2 beschriebenen direkten Messmethode.

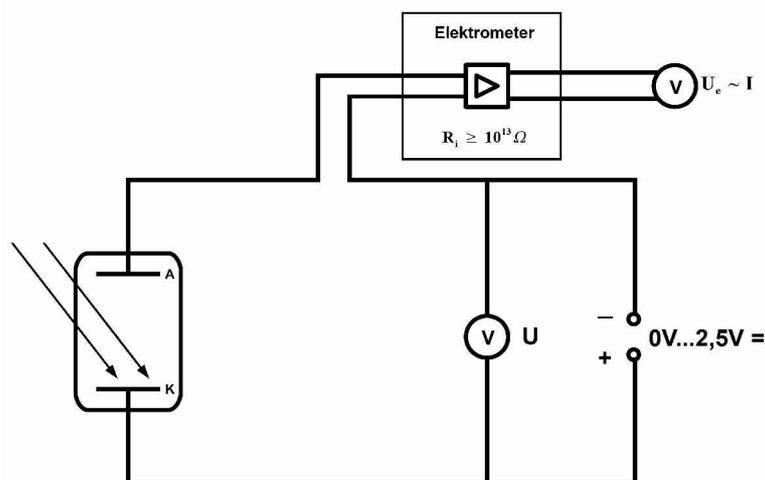
Auswertung:

- 1.) Bestimmen Sie aus den nach 4.1.1 (Gegenspannungsmethode) gemessenen Werten für die Stoppspannung h/e und die Austrittsarbeit der Anode. Vergleichen Sie h/e mit Literaturwerten.
- 2.) Bestimmen Sie aus den nach 4.1.2 (direkte Messmethode) gemessenen Werten für die Stoppspannung h/e und die Austrittsarbeit der Anode. Vergleichen Sie h/e mit Literaturwerten.
- 3.) Vergleichen Sie die Messwerte für die Stoppspannungen und die Ergebnisse der Auswertungen der beiden Messmethoden miteinander. Begründen Sie eventuelle Unterschiede beziehungsweise das Fehlen solcher. Wo liegen die grundsätzlichen Vorteile der Gegenspannungsmethode?

4.1.1 Bestimmung nach der Gegenspannungsmethode

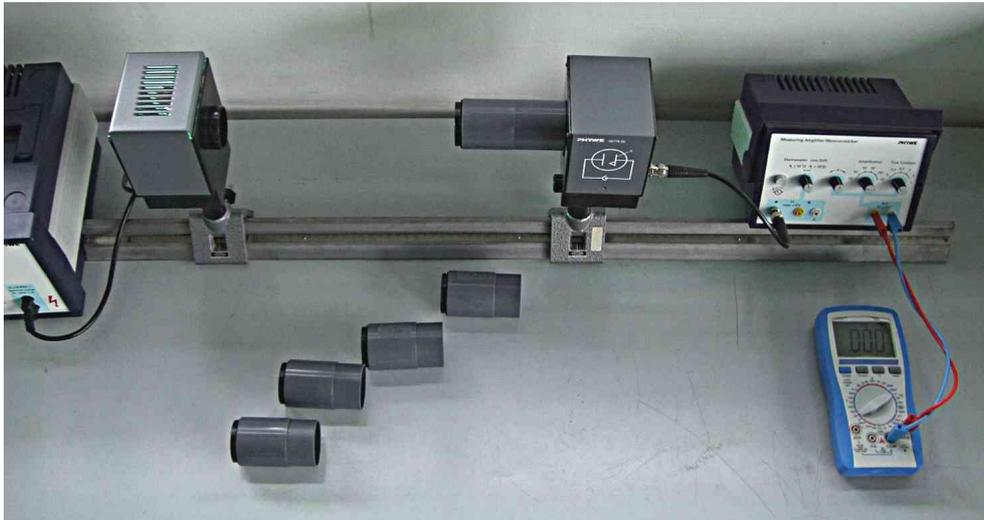


Wählen Sie am Messverstärker die Betriebsart Elektrometer aus. Achten Sie darauf, dass der Nullpunkt des Messverstärkers korrekt eingestellt ist. Notieren Sie sich die Angabe des Innenwiderstands des Elektrometers. Neben den beiden Messgeräten benötigen Sie noch das Gegenspannungsmodul. Nehmen Sie die Verkabelung nach dem folgenden Schaltbild vor. Steigern Sie die Gegenspannung von 0V an langsam nur solange, bis jeweils gerade kein Spannungsabfall am Elektrometer mehr angezeigt wird, denn genau dann fließt gerade kein Strom mehr. Der am Voltmeter angezeigte Wert für die Gegenspannung entspricht dann genau der Stoppspannung U_0 . Führen Sie dies für alle 5 Interferenzfilter durch.

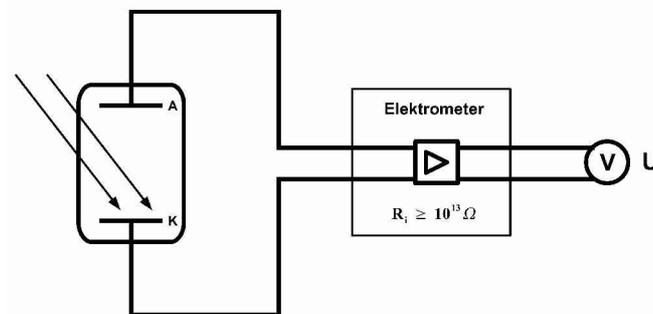


Schaltung für 4.1.1

4.1.2 Bestimmung nach der direkten Messmethode



Lassen Sie die Einstellungen des Messverstärkers so wie in 4.1.1. Verbinden Sie die Photozelle nun direkt mit dem Elektrometereingang und ermitteln Sie die 5 Stoppspannungen erneut. Betätigen Sie unbedingt vor jeder neuen Messung den Kurzschlusschalter des Elektrometers, damit die Photozelle entladen wird. Falls Sie den Nullpunkt des Elektrometers überprüfen und justieren möchten, verdunkeln Sie die Photozelle mit dem vorgesehenen Einsatz.



Schaltung für 4.1.2

4.2 Teil 2: Intensität und Photostrom

In diesem Teil wird die Abhängigkeit des Photostroms von der Intensität des Lichts bei zwei unterschiedlichen Wellenlängen aus 4.1 untersucht (435nm und 546nm). Dazu wird die Intensität durch die Verwendung von 6 verschiedenen Graufiltern variiert. Für die Transmissionsgrade der einzelnen Graufilter bei den beiden Wellenlängen gilt:

		Graufilter					
		1	2	3	4	5	6
$\lambda = 436 \text{ nm}$	T [%]	68	48	33	28	20	14
	ΔT [%]	1	1	1	1	1	1
$\lambda = 546 \text{ nm}$	T [%]	67	46	31	23	16	11
	ΔT [%]	1	1	1	1	1	1

Durchführung:

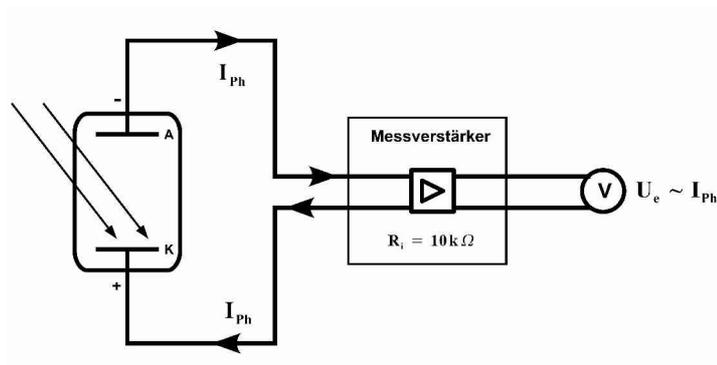
- 1.) Bestimmen Sie den Photostrom bei den 6 Graufiltern und einer Wellenlänge von 436nm wie unten beschrieben.
- 2.) Bestimmen Sie den Photostrom bei den 6 Graufiltern und einer Wellenlänge von 546nm wie unten beschrieben.
- 3.) Stellen Sie den Versuchszustand aus 4.1.2 wieder her. Denken Sie daran, den Nullpunkt des Elektrometers wieder zu justieren, wie in 4.1.2 beschrieben. Setzen Sie den Interferenzfilter für 546nm wieder ein und betrachten Sie den Wert für die Stoppspannung. Halten Sie nun den Graufilter 1 einfach vor den Interferenzfilter und betrachten Sie wieder den Wert für die Stoppspannung. Notieren Sie beide Werte.

Auswertung:

- 1.) Stellen Sie zu den ersten beiden Punkten der Durchführung jeweils die Ergebnisse für den Photostrom bei den verschiedenen Transmissionsgraden graphisch dar. Tragen Sie dazu den Photostrom in Abhängigkeit von der relativen Intensität auf. Interpretieren Sie die Ergebnisse.
- 2.) Vergleichen Sie unter Beachtung des Transmissionsgrads von Graufilter 1 die beiden Werte für die Stoppspannung bei dem Filter für 546nm. Welche Schlussfolgerungen ziehen sie aus diesem Vergleich für den Zusammenhang zwischen Lichtintensität und kinetischer Energie der beim Photoeffekt emittierten Elektronen?



Wählen Sie am Messverstärker die Betriebsart "Low Drift" und notieren Sie sich den zugehörigen Innenwiderstand. Verkabeln Sie die Geräte nach dem unten stehenden Schaltbild unter Verwendung der BNC-Kupplung. Schalten Sie die Messverstärkung auf 10^4 . Beachten Sie, dass der Photostrom proportional zu dem Spannungsabfall über den $10\text{ k}\Omega$ Innenwiderstand ist, den Sie messen werden. Bestimmen Sie so den Photostrom bei den 6 verschiedenen Graufiltern. Die Graufilter werden einfach zwischen Interferenzfilter und Photozellegehäuse gesteckt. Benutzen Sie vor der Messung die vorgesehene Kappe zur Abdunkelung der Photozelle und versuchen Sie den Nullpunkt des Messverstärkers korrekt einzustellen, der für jede Betriebsart und jeden Verstärkungsfaktor anders ist. Falls die Justierung des Nullpunkts bei dieser Verstärkung nicht gelingt, notieren Sie sich den Wert, um ihn bei der Auswertung von den Messwerten abzuziehen.



Schaltung für 4.2

4.3 Teil 3: Untersuchung von LEDs mit der Photozelle

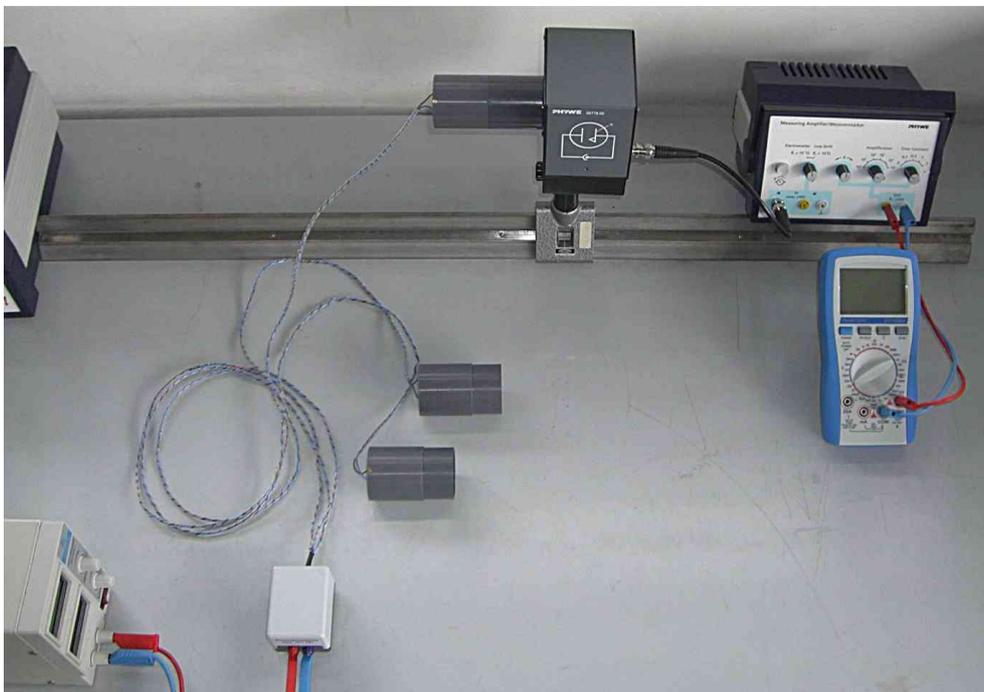
In diesem Teil werden die Wellenlängen von drei verschiedenen Leuchtdioden mit der Photozelle bestimmt. Hierbei ist allerdings zu beachten, dass die spektrale Verteilung der verwendeten Leuchtdioden eine Halbwertsbreite von ungefähr bis zu 30 nm aufweist. Die ermittelten Wellenlängen stellen also nur eine grobe Charakterisierung der Leuchtdioden dar.

Durchführung:

Messen Sie die Stoppspannungen bei den 3 verschiedenen Leuchtdioden wie unten beschrieben.

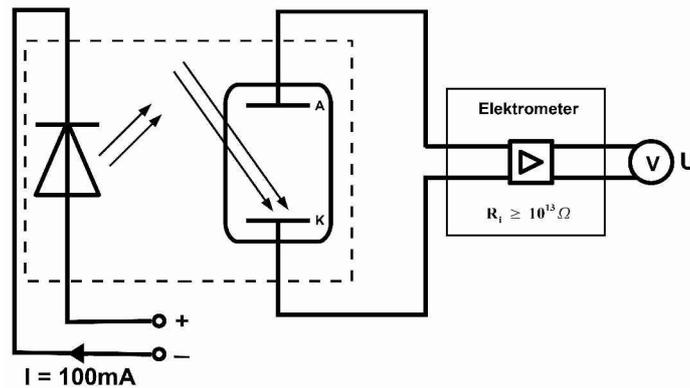
Auswertung:

Verwenden Sie die im ersten Versuchsteil (siehe 4.1) gewonnenen Daten, um aus den hier gemessenen Stoppspannungen die Wellenlängen der Leuchtdioden zu bestimmen. Sie können hierbei wählen, ob Sie die nach 4.1.1 oder nach 4.1.2 ermittelten Daten verwenden.



Die Leuchtdioden können, wie zuvor die Filter, einfach auf das Photozellengehäuse aufgesteckt werden. Über das Labornetzteil des Versuchs werden die Leuchtdioden mit einem Strom von etwa 100 mA

betrieben. Die Leuchtdioden sind dabei in Reihe geschaltet, so dass dieser Strom nur einmal eingestellt werden muss. Die Festlegung auf eine bestimmte Stromstärke findet hier deshalb statt, damit eine Vergleichbarkeit der Messwerte vorliegt. Es gibt nämlich bei den Leuchtdioden eine leichte Abhängigkeit der Wellenlänge vom Strom, mit dem diese betrieben werden. Messen Sie die Stoppspannungen der drei Leuchtdioden direkt mit dem Elektrometer nach der in 4.1.2 beschriebenen Methode. Alternativ können Sie auch die in 4.1.1 beschriebene Methode zur Messung der Stoppspannung verwenden.



Schaltung für 4.3

5 Literaturempfehlungen:

- 1.) Gerthsen Physik. Springer-Verlag
- 2.) Tipler, P.: Physik. Spektrum Akademischer Verlag
- 3.) Walcher, W.: Praktikum der Physik. Teubner Verlag
- 4.) Bergmann-Schäfer: Experimentalphysik Band 3 (Optik). de Gruyter
- 5.) Bergmann-Schäfer: Experimentalphysik Band 6 (Festkörper). de Gruyter
- 6.) Bergmann-Schäfer: Experimentalphysik Band 4 (Atome, ...). de Gruyter