

HANDREICHUNG FÜR LEHRKRÄFTE ZUR VIDEOREIHE ZUM THEMA FOTOEFFEKT

Von Alda L. Arias Suarez, Matthias Hauck

EINLEITUNG

Der digitale Experimentierkoffer zum Fotoeffekt kann im naturwissenschaftlichen Unterricht, insbesondere im Physikunterricht der 12. Klasse, eingesetzt werden. Der Fotoeffekt gehört zu den zentralen Experimenten, die zu einer quantenphysikalischen Beschreibung des Lichts führten. Die Ideen zu den Experimenten entstanden im Rahmen des Seminars „Demonstrationsversuche für Lehramtskandidaten“ an der Physikalischen Fakultät der Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg (Löhken und Roedel, 2002). Alle vorgestellten Versuche wurden gemeinsam mit Lehramtsstudierenden durchgeführt.

Sie können die gesamte Videoreihe oder einzelne Videos in Ihren Unterricht integrieren. Zu jedem Video finden Sie thematische Erläuterungen sowie Unterrichtsvorschläge, wie zum Beispiel Konzeptfragen, um Hypothesenbildung anzuregen.

VIDEO 1: MOTIVATION: CCD-KAMERA UND FOTOEFFEKT

Dieses Video bildet den Auftakt unserer elfteiligen Videoreihe zum Thema Fotoeffekt. Als Motivation und Einstieg in das Thema möchten wir herausfinden, wie eine CCD-Kamera funktioniert. Um den Fotoeffekt – und damit auch die Funktionsweise der CCD-Kamera – zu verstehen, werden wir sechs Versuche durchführen.

Aktivierungsfrage:

Nach dem kurzen Video können Sie die folgende Frage zur Aktivierung stellen: „Wisst ihr, wie die Kamera in eurem Handy funktioniert?“

Die Schüler*innen dürfen Hypothesen aufstellen; alle Ideen sind willkommen. Sammeln Sie die Antworten, um diese am Ende der Videoreihe erneut zu besprechen. Weisen Sie auch darauf hin, dass analoge Kameras anders funktionieren als Handyskameras. Weitere Informationen finden Sie zum Beispiel hier: <https://de.wikipedia.org/wiki/Analogkamera#Funktionsweise>.

VIDEO 2: GRUNDLAGEN I: ELEKTROSKOP

Im zweiten Video unserer Reihe zum Thema Fotoeffekt erklären wir, wie ein Elektroskop funktioniert. Dies ist notwendig, um die physikalischen Zusammenhänge des Fotoeffekts zu verstehen.

Ein Elektroskop ist ein Instrument zum Nachweis elektrischer Ladungen. Wenn Ladungsträger (normalerweise Elektronen, falls die Schüler*innen diesen Begriff kennen) auf das Elektroskop übertragen werden, schlägt der Zeiger aus.

Konzeptfrage:

Nach dem Video können Sie die folgende Frage stellen, um zu überprüfen, wie gut die Funktionsweise des Elektroskops verstanden wurde:

Was erwarten wir, wenn die Zinkplatte statt negativ positiv geladen wird?

- a) Es passiert nichts
- b) Der Zeiger wird sich kurz bewegen, aber schnell zurück zur Mitte kommen
- c) Es passiert das Gleiche wie bei negativer Ladung
- d) Der Zeiger bewegt sich in die entgegengesetzte Richtung

Die richtige Antwort ist **c)**: Es passiert das Gleiche wie bei negativer Ladung. Die positiven Ladungsträger verteilen sich über das gesamte Elektroskop, einschließlich des Zeigers. Da zwischen gleichnamigen Ladungen abstoßende Kräfte wirken, wird der Zeiger von der Struktur des Elektroskops abgestoßen.

Erläuterungen zu den falschen Antwortmöglichkeiten:

- **a)**: Es passiert nur dann nichts, wenn das Elektroskop neutral geladen ist, also weder positiv noch negativ geladen.
- **b)**: Der Zeiger kann nicht zurück zur Mitte kommen, solange das Elektroskop positiv geladen ist. Erst wenn das Elektroskop entladen wird, kehrt der Zeiger zur Mitte zurück, wie im Video gezeigt.
- **d)**: Der Zeiger kann sich nicht in die entgegengesetzte Richtung bewegen, da zwischen gleichnamigen Ladungen keine Anziehungskräfte wirken.

VIDEO 3: GRUNDLAGEN II: SPEKTREN EINER GLÜHBIRNE UND EINER QUECKSILBERDAMPFLAMPE

In diesem Video zum Fotoeffekt wird erklärt, was ein Spektrum ist und wie sich die Spektren zweier Lampen unterscheiden. Diese Lampen werden in den nachfolgenden Experimenten zusammen mit dem Elektroskop verwendet.

Aktivierungsfrage:

Stellen Sie vor dem Video die folgende Frage an die Schüler*innen, um sie zu aktivieren:

Habt ihr schon einmal das Spektrum der Sonne gesehen?

Mit dieser Frage können Sie feststellen, ob die Schüler*innen das Konzept des Spektrums verstehen. Falls dies nicht der Fall ist, können Sie den Anfang des Videos nutzen, um das Konzept zu erläutern. Unter <https://www.leifiphysik.de/atomphysik/atomarer-energieaustausch/grundwissen/spektren> finden Sie Informationen über Spektralapparate sowie Absorptions- und Emissionsspektren.

Falls kein Schüler auf die Idee kommt, den Regenbogen als Spektrum der Sonne zu erkennen, können Sie dies thematisieren und kurz erklären, wie ein Regenbogen entsteht. Ein Beispiel dazu finden Sie unter <https://www.leifiphysik.de/optik/farben/ausblick/regenbogen>, wo die Entstehung von Haupt- und Nebenregenbögen sowie die Rolle der Dispersion bei der Aufspaltung des Sonnenlichts in verschiedene Farben erläutert wird.

Nach dem Anschauen des Videos:

Zeigen Sie den Schülerinnen die Spektren beider Lichtquellen, damit sie diese vergleichen können. Lassen Sie sie in kleinen Gruppen darüber diskutieren, was die Unterschiede sind und warum diese auftreten könnten. Falls sie Internetzugang haben, können die Schülerinnen recherchieren, wie eine Quecksilberdampfampe funktioniert und warum sie ein diskretes Spektrum aufweist.

VIDEO 4: VERSUCH I: ELEKTROSKOP UND QUECKSILBERDAMPFLAMPE

Im vierten Video zum Thema Fotoeffekt wird der erste qualitative Versuch durchgeführt: Wir beobachten, was passiert, wenn die negativ geladene Zinkplatte des Elektroskops mit der Quecksilberdampfampe beleuchtet wird.

Vor dem Video:

Lassen Sie die Schüler*innen Hypothesen darüber aufstellen, was passiert, wenn die negativ geladene Zinkplatte mit der Quecksilberdampfampe beleuchtet wird. Sammeln Sie die Antworten, um sie nach dem Video zu diskutieren.

Nach dem Video:

Lassen Sie die Schüler*innen in kleinen Gruppen die folgenden Fragen diskutieren:

- Was habt ihr beobachtet, als die Quecksilberdampflampe die geladene Zinkplatte beleuchtet hat?
- Was bedeutet es, dass der Zeiger des Elektroskops zur Mittelposition zurückgeht?
- Wohin sind die negativen Ladungen verschwunden?
- Welche Experimente könnte man durchführen, um die Hypothesen der Schüler*innen zu überprüfen?

VIDEO 5: VERSUCH II: ELEKTROSKOP UND GLÜHBIRNE

Im fünften Video verwenden wir anstelle der Quecksilberdampflampe eine Glühbirne, um das Elektroskop zu beleuchten. Ziel dieses Experiments ist es zu überprüfen, ob dasselbe Phänomen wie bei der Quecksilberdampflampe auftritt.

Vor dem Video:

Lassen Sie die Schüler*innen vorhersagen, was passieren wird, wenn die Glühbirne das Elektroskop beleuchtet.

Nach dem Video:

Die Schüler*innen können in Gruppen weiter darüber diskutieren, was sie im Video beobachtet haben, und die folgenden Fragen beantworten:

- Was habt ihr beobachtet, als die Glühbirne das geladene Elektroskop beleuchtet hat?
- Warum könnte es sein, dass eine Lampe das Elektroskop entlädt, während die andere dies nicht tut?
- Was könnte man am Experiment mit der Glühbirne ändern, um zu überprüfen, ob diese das Elektroskop entladen kann?

VIDEO 6: VERSUCH III: GLÜHBIRNE MIT HÖHERER LEISTUNG

Im sechsten Video der Videoreihe überprüfen wir, ob das Elektroskop entladen wird, wenn die Zinkplatte mit einer Glühbirne mit höherer Leistung bestrahlt wird.

Einige Schüler*innen könnten auf die Idee kommen, die Glühbirne näher an die Zinkplatte zu bringen, um zu prüfen, ob die Glühbirne das Elektroskop entladen kann. Falls dies nicht der Fall ist, können Sie diesen Vorschlag einbringen und die Konzepte von Leistung und Intensität erläutern.

Nach dem Video:

Die Schüler*innen können in Gruppen weiter diskutieren, was sie im Video beobachtet haben, und die folgenden Fragen beantworten:

- Hat sich etwas geändert, als die Glühbirne näher an die Zinkplatte gebracht wurde?
- Warum könnte es sein, dass eine Lampe das Elektroskop entlädt, während die andere dies nicht tut? Habt ihr nach diesem Experiment neue Hypothesen?

VIDEO 7: VERSUCH IV: QUECKSILBERDAMPFLAMPE UND GLASPLATTE

In Video 7 untersuchen wir den Einfluss von UV-Licht auf die Entladung des Elektroskops. Dazu wiederholen wir Versuch I mit der Quecksilberdampf Lampe und verwenden eine Plexiglasplatte, um den UV-Anteil des Lichts herauszufiltern.

Vor dem Video:

Als Lehrkraft können Sie eine kurze Zusammenfassung der bisherigen Beobachtungen anbieten, um das Verständnis der Schüler*innen zu festigen.

HG-LAMPE VS. GLÜHBIRNE

WAS WIR BIS JETZT GELERNT HABEN



- ✓ Die Quecksilberdampf Lampe entlädt das Elektroskop nach einigen Minuten
- ✓ Die Glühbirne entlädt das Elektroskop NICHT
- ✓ Durch die Reduktion des Abstands zwischen Glühbirne und Elektroskop wird die Leistung erhöht
- ✓ Trotzdem kommt es zu keiner Entladung

Die Schüler*innen können vor dem Video diskutieren, wie sich beide Lichtquellen unterscheiden. Sie sollten erkennen, dass die Spektren unterschiedlich sind. Falls das nicht der Fall ist, zeigen Sie ihnen beide Spektren noch einmal und weisen Sie darauf hin, dass die Glühbirne im Gegensatz zur Quecksilberdampf Lampe keinen UV-Anteil im Spektrum hat. Erklären Sie, dass im kommenden Experiment untersucht wird, was passiert, wenn der UV-Anteil der Quecksilberdampf Lampe blockiert wird. Nutzen Sie diese Gelegenheit, um zu erläutern, wie ein Filter funktioniert.

Nach dem Video:

Die Schüler*innen können die folgenden Fragen in einer Runde besprechen:

- Was habt ihr beobachtet, als der UV-Anteil der Lichtquelle herausgefiltert wurde?
- Was haben wir mit den Ergebnissen bewiesen?

Konzeptfrage:

Nach dem Video können Sie die folgende Frage stellen, um zu überprüfen, wie gut der Versuch verstanden wurde:

Was erwarten wir, wenn ein Filter verwendet wird, der nur rotes Licht zwischen der Quecksilberdampf Lampe und der Zinkplatte durchlässt?

- Das rote Licht wird die Elektronen aus der Zinkplatte freisetzen.
- Das rote Licht kann die Elektronen nicht aus der Zinkplatte freisetzen.
- Das UV-Licht wird die Elektronen aus der Zinkplatte freisetzen.
- Das grüne Licht wird die Elektronen aus der Zinkplatte freisetzen.

Die richtige Antwort ist **b)**: Da nur rotes Licht durch die Glasplatte dringt, können keine Elektronen freigesetzt werden. Nur UV-Licht setzt die Elektronen im Elektroskop frei.

Erläuterungen zu den falschen Antwortmöglichkeiten:

- **a)**: Wir haben bereits beobachtet, dass rotes Licht, ebenso wie anderes sichtbares Licht, das Elektroskop nicht entladen kann.
- **c)**: Das UV-Licht wird durch den Filter blockiert, daher wird das Elektroskop nicht mit UV-Licht beleuchtet und kann nicht entladen werden.
- **d)**: Der Filter lässt nur rotes Licht durch, sodass kein grünes Licht vorhanden ist, um Elektronen freizusetzen.

VIDEO 8: VERSUCH V: QUECKSILBERDAMPFLAMPE MIT HÖHERER LEISTUNG

In diesem Video klären wir, wie sich die Entladung des Elektroskops verändert, wenn die Leistung der Quecksilberdampf Lampe erhöht wird.

Vor dem Video:

Besprechen Sie mit den Schüler*innen, was die bisherigen Experimente bewiesen haben. Die Verwendung einer Glasplatte als Filter hat gezeigt, dass nur hochfrequentes UV-Licht die Zinkplatte entlädt. Was bisher noch nicht untersucht wurde, ist der Einfluss der Lichtleistung auf die Entladung des Elektroskops. Im kommenden Video wird untersucht, ob eine höhere Leistung der Quecksilberdampf Lampe den Entladungsprozess des Elektroskops beeinflusst.

Fragen Sie die Schüler*innen, wie man die Leistung der Lampe erhöhen könnte. Falls sie sich nicht erinnern, erklären Sie es erneut oder zeigen Sie Video 6, in dem dies erklärt wird. Anschließend

können die Schülerinnen Hypothesen aufstellen, was passieren könnte, wenn die Quecksilberdampflampe näher an die Zinkplatte herangeführt wird.

Nach dem Video:

Lassen Sie die Schüler*innen darüber diskutieren, ob ihre Beobachtungen mit ihren vorherigen Vermutungen übereinstimmen.

VIDEO 9: QUANTITATIVER VERSUCH: ZUSAMMENHANG ZWISCHEN LICHTFREQUENZ UND ENERGIE

Im neunten Video unserer Videoreihe zum Thema Fotoeffekt untersuchen wir, warum das Elektroskop nur entladen wird, wenn die Frequenz der Strahlung hoch genug ist. Mithilfe einer Fotozelle, einer Lampe und verschiedenen Filtern wird der Zusammenhang zwischen der Energie der ausgelösten Elektronen und der Frequenz des Lichts, mit dem sie bestrahlt wurden, untersucht.

Vor dem Video:

Wiederholen Sie mit den Schüler*innen die Hauptelemente der bisherigen Versuche.

ENTLADUNG EINES ELEKTROSKOPS

WAS WIR BIS JETZT GELERNT HABEN



- ✓ Die Quecksilberdampflampe entlädt das Elektroskop nach einigen Minuten.
- ✓ Die Glühbirne entlädt das Elektroskop nicht, selbst wenn der Abstand zwischen der Glühbirne und dem Elektroskop verringert wird und dadurch die Leistung erhöht wird.
- ✓ Die Verwendung einer Glasplatte als Filter zeigt, dass nur hochfrequentes UV-Licht die Zinkplatte entladen kann.
- ✓ Bei der Quecksilberdampflampe beobachten wir jedoch einen Unterschied in der Entladungszeit des Elektroskops bei verschiedenen Leistungen: Je höher die Leistung, desto schneller wird das Elektroskop entladen.

Diskutieren Sie mit den Schüler*innen:

- Was bedeutet es, dass Licht verschiedene Farben hat? Wie hängt das mit der Frequenz zusammen?

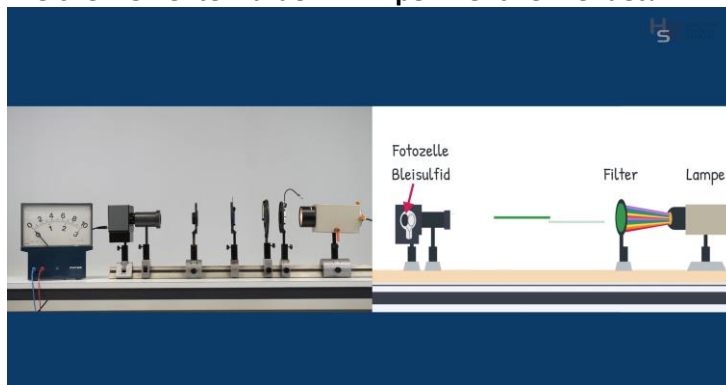
Nach dem Video:

Da in diesem Video verschiedene Elemente und Konzepte eingeführt wurden, sollten Sie die Hauptkonzepte noch einmal zusammenfassen, um Missverständnisse zu klären und das Wissen der Schüler*innen zu vertiefen. Diskutieren Sie dabei die folgenden Fragen:

- **Was wurde im Versuch gemessen?**

Die Energie der ausgelösten Elektronen in Abhängigkeit von der Lichtfrequenz, mit der sie bestrahlt wurden.

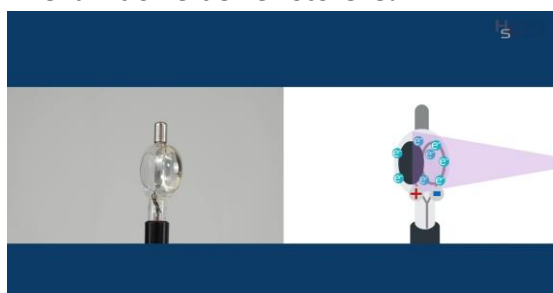
- **Welche Elemente wurden im Experiment verwendet?**



Es gibt drei Hauptelemente:

1. Die Fotozelle, deren metallische Oberfläche beleuchtet wird. Erklären Sie, dass die Fotozelle aus Bleisulfid besteht und nicht aus Zink, wie das Elektroskop. Daher erwarten wir, dass auch niedrigere Lichtfrequenzen Elektronen auslösen können.
2. Die Lampe mit einem breiten Spektrum, die die Fotozelle beleuchtet.
3. Filter, die nur Licht einer bestimmten Frequenz durchlassen.

- **Wie funktioniert eine Fotozelle?**



Nutzen Sie die Animation im Video erneut, um die Funktionsweise der Fotozelle zu verdeutlichen. Eine detaillierte Erklärung finden Sie auch unter folgendem Link:

<https://www.leifiphysik.de/quantenphysik/quantenobjekt-photon/aufgabe/rund-um-die-photozelle>

- Was können wir aus den Ergebnissen lernen?
Zeigen Sie die Messergebnisse noch einmal und lassen Sie die Schüler*innen Aussagen formulieren und Hypothesen aufstellen.

VIDEO 10: PHYSIKALISCHE ERKLÄRUNG: TEILCHEN-MODELL DES LICHTS

In diesem Video wird erläutert, warum die kinetische Energie eines ausgelösten Elektrons proportional zur Frequenz des Lichts ist. Dies führt uns zum Teilchen-Modell des Lichts.

Nach dem Video:

Diskutieren Sie mit den Schüler*innen die folgenden Fragen:

- **Warum können wir für diese Versuche nicht das Wellenmodell des Lichts verwenden?**
Was hätte das Wellenmodell in diesen Experimenten vorhergesagt?
- **Wovon hängt die Energie eines ausgelösten Elektrons ab?**
- **Wie lässt sich das Teilchenmodell des Lichts auf die vorherigen Versuche anwenden?**
Besprechen Sie, wie das Teilchenmodell die beobachteten Phänomene erklärt und warum es in diesen Experimenten dem Wellenmodell überlegen ist.

VIDEO 11: ZUSAMMENFASSUNG: CCD-KAMERA UND FOTOEFFEKT

Dieses Video bildet den Abschluss der Videoreihe zum Thema Fotoeffekt. In diesem Video fassen wir die wichtigsten Erkenntnisse aus den Experimenten zusammen und erklären, wie eine CCD-Kamera funktioniert.

Vor dem Video:

Diskutieren Sie mit den Schüler*innen die Hauptergebnisse der bisherigen Experimente. Lassen Sie sie nochmal Vermutungen anstellen, wie eine CCD-Kamera auf Basis dieser Erkenntnisse funktionieren könnte.

Nach dem Video:

Stellen Sie den Schüler*innen folgende Fragen, um die Funktionsweise einer CCD-Kamera genauer zu besprechen:

- **Was ist der Zusammenhang zwischen dem Fotoeffekt und der Funktion einer CCD-Kamera?**
- **Wie wird ein Bild mit Farben in einer CCD-Kamera erzeugt?**

Eine detaillierte Erklärung zur Funktionsweise und Ladungsübertragung in einer CCD-Kamera finden Sie unter folgendem Link: <https://www.astro.uni-jena.de/Teaching/Praktikum/pra2002/node242.html>