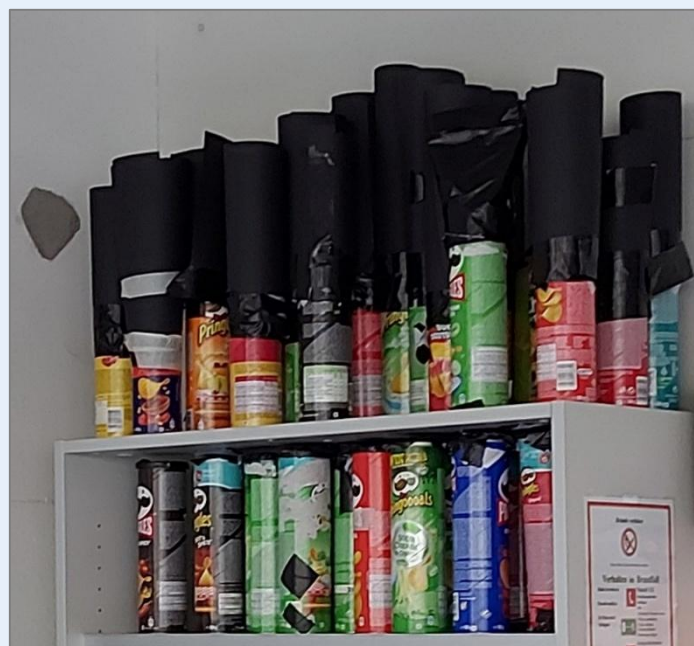


Dr. Kerstin Reinecke, Marina Radewagen, Wilhelm-Gymnasium Braunschweig

Kaffee als Foto-Entwickler – Ein Beispiel für die Redoxchemie

Dieses Unterrichtsprojekt von Dr. Kerstin Reinecke und Marina Radewagen wurde beim Nationalen Science on Stage Festival 2023 in Bayreuth vorgestellt. Mit dem Bau ihrer eigenen Lochkamera werden die Schüler*innen in die Fotografie eingeführt. Durch einfache Experimente mit selbst hergestelltem Entwickler auf Kaffeebasis entwickeln sie ein Verständnis für die Fotochemie.

- **Schlüsselwörter:** Lochkamera, Redoxchemie, Fotografie
- **Unterrichtsfächer:** Chemie, Physik, Technik, Kunst
- **Weitere Fachbereiche:** Projektwoche
- **Altersstufe:** Klasse 9-13
- **Zeitraumen:** 4 Wochen mit 2 Stunden pro Woche oder Projektwoche
- **Anbindung an das Curriculum:** Optik, Bildentstehung Lochkamera (Kl. 5/6 Niedersachsen), Redoxreaktionen (Kl. 9/10 Niedersachsen), organische Chemie (Kl. 12/13 Niedersachsen)
- **Kompetenzförderung:** Durchführung von Experimenten



Inhalt

Zusammenfassung	2
Überblick.....	2
Konzeptionelle Einführung.....	3
Teil 1 – Die Bildentstehung bei der Lochkamera	3
Teil 2 – Fotografieren mit der Lochkamera	5
Teil 3 – Die Fotochemie als Beispiel für Redoxreaktionen	8
Ausblick	10
Literatur	10
Über die Autorin.....	11
Bildquellen und Lizenz	11
Impressum	11

Zusammenfassung

Ein Bild auf Papier bannen. Irgendwie altmodisch in der Zeit der digitalen Fotografie mit ihren ungeahnten Möglichkeiten zur Manipulation des Bildes, aber auch ständigen Verfügbarkeit. „Klick“, ein Bild ist so nebenbei gemacht. Dieses Projekt führt die Schüler*innen in die klassische analoge Fotografie ein. Von der Bildentstehung bei der Lochkamera bis zum Festhalten des Bildes auf Schwarz-Weiß-Film. Einfache Experimente begleiten das Verständnis für die Fotochemie. Der Clou dabei sind die simplen Mittel, die eingesetzt werden. Eine Chipsdose, Schwarz-Weiß-Fotopapier und selbst hergestellter Entwickler auf Kaffeebasis bilden die Grundlage für die Entstehung des Bildes.

Überblick

Im optionalen ersten Teil wird die Bildentstehung bei der Lochkamera behandelt. Dieser Teil ist der physikalische Schwerpunkt. Nach dem Bau der Lochkamera aus einer Chips-Dose wird das Bild auf dem Schirm untersucht und Versuche zur Bildentstehung mit Blenden durchgeführt.

Im zweiten Teil wird das Bild mit der Lochkamera aufgenommen und mit Hilfe der drei Lösungen entwickelt. Dieser Teil wird im Chemieunterricht behandelt.

Im dritten Teil werden Experimente durchgeführt, die die Reduktion von Silberionen durch die Entwicklersubstanzen zeigen. Dieser Teil wird im Chemieunterricht behandelt.

In diesem Projektvideo vom Nationalen Science on Stage Festival erhalten Sie einen kurzen Überblick über das Projekt.

Hier finden Sie das Projektposter vom Nationalen Science on Stage Festival.

Das gesamte Material online: www.science-on-stage.de/kaffee-fotoentwickler



Konzeptionelle Einführung

Das Projekt lässt sich auf zwei Gebiete teilen. Der physikalische Schwerpunkt ist die Bildentstehung bei der Lochkamera. Dazu wird zum Einstieg eine Lochkamera aus einer Chipsdose gebaut und das Bild untersucht. In Schülerexperimenten mit verschiedenen Blenden kann dann die Entstehung des Bildes verstanden werden. Dieser physikalische Teil ist optional.

Der chemische Teil des Projektes beschäftigt sich mit dem Festhalten des Bildes und der dahintersteckende Redoxchemie. Hierzu ist aus dem physikalischen Teil lediglich der Bau der Lochkamera aus der Chipsdose nötig. Die Lernenden können zunächst eng angeleitet, die Entwicklung in dem Caffenol-Entwickler durchführen und mit Hilfe einiger Experimente auf der Tüpfelplatte die Reduktion von Silberionen mit den Entwicklersubstanzen nachvollziehen. Hier besteht die Möglichkeit Redoxreaktionen einzuführen oder zu vertiefen. Im folgenden Schritt können die Lernenden die reduzierenden Substanzen im Kaffee ermitteln und andere Naturstoffe zur Entwicklung einsetzen, bei denen sie diese reduzierenden Bestandteile auch vermuten oder aufgrund von Recherchen finden.

Teil 1 – Die Bildentstehung bei der Lochkamera

Unterrichtsfach: Physik

Thema: Im ersten Teil wird die Bildentstehung bei der Lochkamera behandelt. Nach dem Bau der Lochkamera aus einer Chipsdose wird das Bild auf dem Schirm untersucht und Versuche zur Bildentstehung mit Blenden durchgeführt.

Materialien

- Chipsdose
- Transparentpapier
- schwarzes Tonpapier bzw. dünner schwarzer Fotokarton
- Schere, Klebeband
- Pin oder kleiner Schraubendreher
- leuchtender Gegenstand, z.B. eine Weihnachtsdekoration wie ein leuchtendes Rentier (Rudolph)
- Mobiltelefon oder Tablet

Aufgaben für die Schüler*innen

1. Baut aus der Chipsdose eine Lochkamera.
2. Beschreibt, wie das Bild aussieht.

Die Bildentstehung kann mit Hilfe einzelner Versuche erklärt werden. Das Arbeitsblatt 1 "Bildentstehung" gibt es zum Herunterladen.

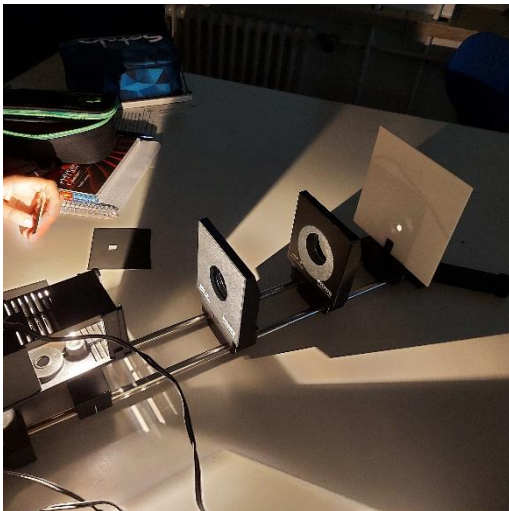
→ **AB 1 "Bildentstehung" als [docx](#) und als [pdf](#)**



Lochkameras



Blick durch die Lochkamera



Versuchsaufbau: Entstehung eines Bildes



Bunte Lichtflecken auf dem Schirm



Das Leuchttier Rudolph

Teil 2 – Fotografieren mit der Lochkamera

Unterrichtsfach: Chemie

Thema: Im zweiten Teil wird das Bild mit der Lochkamera aufgenommen und mit Hilfe der drei Lösungen entwickelt.

Materialien

- Lochkamera aus Teil 1 mit Deckel (Transparentpapier und äußere Verdunklung aus Tonpapier entfernt)
- Pappe, Bleistift, Schere
- Mobiltelefon oder Tablet mit der App "Lampe" bzw. rote LEDs
- Einmalhandschuhe Latex- oder Nitrilhandschuhe)
- gummiüberzogene Pinzette oder Holzklammern
- Kunststoffkisten mit DIN A4 Grundfläche
- doppelseitiges Klebeband
- schwarzes Panzertape
- Fotopapier Schwarz-Weiß (z.B. Vintage Pearl von Rollei)
- Instant-Kaffee
- Waschsoda (Natriumcarbonat)
- Vitamin C (Ascorbinsäure)
- Essigsäure, 2%-Lösung
- Natriumthiosulfat
- Kaliumdisulfit
- nach Belieben: Rotwein, schwarzer Tee, Möhrensaft, Rote-Bete-Saft

Die Chipsdose

Zunächst wird eine Schablone zum Ausschneiden des Films angefertigt. Dazu wird die Dose auf ein Stück Pappe gestellt und mit Bleistift umrandet und diese Form dann etwas enger ausgeschnitten. Dies ist die Vorlage zum Ausschneiden des Fotopapiers. Auch der Einsatz eines großen Lochstanzers ist möglich. Die schwarze Tülle und das Transparentpapier an der Öffnung der Chipsdose wird entfernt. Der Deckel der Chipsdose wird mit schwarzem Panzertape lichtdicht abgeklebt. Das Innere der Chipsdose wird mit schwarzem Tonpapier ausgelegt. Auf das Loch wird ein Stück schwarzes Panzertape gelegt.

Das Fotopapier

Der Raum muss verdunkelt werden. Auch Notausleuchten müssen abgedunkelt werden. Das Fotopapier ist anders als Fotofilm nicht extrem lichtempfindlich. So wird Restlicht, dass am Rande von Rollläden noch zu erkennen ist, wenig Schaden anrichten. Als Beleuchtung werden rote LEDs aufgebaut. Alternativ kann eine App auf dem Smartphone genutzt werden, bei der

sich das Telefon als Lampe einsetzen lässt. Die Schülerinnen und Schüler erhalten ein Stück quadratisches Fotopapier. Es sollte beim Verteilen mit der lichtempfindlichen Seite auf den Tisch gelegt werden. Dieses Stück Fotopapier wird noch für die Lochkamera passend zugeschnitten und mit der lichtempfindlichen Seite ins Innere der Dose zeigend in den Deckel eingeklebt.

Die Belichtung

Der nächste Schritt kann bei Licht durchgeführt werden. Die bestückten Lochkameras werden auf einen stabilen Untergrund gelegt. Es ist Tageslicht zum Belichten nötig. Kunstlicht erzielt keine gut sichtbaren Ergebnisse. Der Tapestreifen wird zum Belichten abgezogen. Je nach Helligkeit dauert die Belichtung zwischen 30 Sekunden und drei Minuten. Bei einem wolkenlosen Sommermittag reichen 30 Sekunden. Ein eher trüber Wintertag benötigt bis zu drei Minuten. Nach der Belichtungszeit wird der Tapestreifen wieder auf das Loch geklebt.

Die Lösungen

Die drei Lösungen werden angesetzt und in Plastikwannen gefüllt. Die Wannen sollten so beschaffen sein, dass man während des Entwicklungsvorgangs das Foto durch vorsichtiges Anheben schwenken kann. Auch die Verwendung von Glaswannen ist möglich. Es dürfen keine Metallschüsseln eingesetzt werden. Die Fotos werden bei Verdunkelung aus den Kameras genommen und zunächst in die Entwicklerlösung gegeben. Es sollte zwischen zwei und fünf Minuten dauern, bis das Bild zu erkennen ist. Dann wird das Bild in die Stopperlösung gegeben und für zwei Minuten geschwenkt. Im Anschluss kommen die Fotos in die Fixierlösung. Zum Hantieren der Fotos sollten entweder Pinzetten mit Gummiüberzug eingesetzt werden oder die mit Nitrilhandschuhen geschützten Hände.

Entwicklerlösung

In einem Liter Wasser (Aqua dest., sehr weiches Leitungswasser (Härtegrad 1) hat auch funktioniert) werden 56 g Waschsoda gelöst. In dieser Lösung werden 16 g Vitamin C gelöst. Wenn die Lösung klar ist, werden nach und nach 40 g Instantkaffee zugefügt. Dabei kräftig rühren lassen. Der Entwickler ist gebrauchsfertig, wenn der Instantkaffee vollständig gelöst ist.

Die Entwicklung kann zwischen einer und fünf Minuten dauern. Die Fotos sollten unter Schwenken beobachtet werden.

Die 40 g Instantkaffee können auch durch andere Naturstoffe ersetzt werden. So kann das Wasser durch einen Liter Rote Bete-Saft ersetzt werden. Oder ein großer Esslöffel voll Rote Bete-Pulver wird in einem Liter Wasser gelöst. In beiden Fällen werden 56 g Waschsoda und 16 g Vitamin C zugesetzt.

Bei schwarzem Tee werden zehn Beutel schwarzer Tee mit 250 ml kochendem Wasser aufgegosson und dann zehn Minuten lang stehen gelassen. Die Teebeutel werden entfernt und die Lösung mit 750 mL kaltem Wasser aufgefüllt. Die Lösung muss Raumtemperatur haben, bevor Waschsoda (56 g) und Vitamin C (16 g) zugefügt werden.

Bei allen Versuchen gilt, dass auf einen Liter Saft, Lösung etc. 56 g Waschsoda und 16 g Vitamin C kommen sollten.

Stopperlösung

Essigsäure als 2%-Lösung

Die Stopperlösung und Fixierlösung bleiben bei Veränderung der Entwicklerlösung jeweils unverändert.

Die Fotos sollten zwei Minuten lang in der Stopperlösung geschwenkt werden.

Fixierlösung

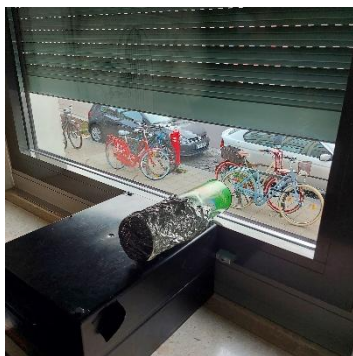
200 g Natriumthiosulfat ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) werden in einem Liter Wasser (Aqua dest., sehr weiches Leitungswasser (Härtegrad 1) hat auch funktioniert) gelöst. In dieser Lösung werden 20 g Kaliumdisulfit ($\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_5$) gelöst. Natriumthiosulfat lässt sich auch über den Aquariumbedarf beschaffen. Kaliumdisulfit, auch Kaliumpyrosulfit genannt, kann über Baumärkte beschafft werden, es ist ein Konservierungsmittel in der Weinherstellung.

Die Fotos sollten fünf Minuten in der Fixierlösung bleiben. Danach sollten die Bilder für mindestens zehn Minuten bis zu einer halben Stunde gewässert werden. Zwischendurch muss das Wasser erneuert werden. Zum Trocknen die Fotos an einer Wäscheleine mit Holzklammern aufhängen oder auf aufsaugendem Papier flach auflegen.

Alternativ kann man die Fixier- und Stopperlösung als fertiges Konzentrat kaufen (z.B. von Macofix und Macostop von macodirect). Diese Stocklösungen müssen nach Packungsangabe mit Wasser verdünnt werden.

Die Abbildungen geben einen Überblick über die nötigen Arbeitsschritte und die eingesetzten Materialien. Eine genaue Beschreibung findet sich auf Arbeitsblatt 2 "Bildentwicklung".

→ AB 2 "**Bildentwicklung**" als [docx](#) und als [pdf](#)



Aufnahme mit der
Lochkamera



Fotopapier



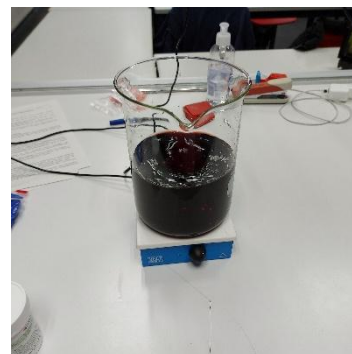
Kommerzielle Fotochemie



Wannen für die Fotochemie



Caffenol



Caffenol-Entwickler
ansetzen



Zutaten Caffenol

Teil 3 – Die Fotochemie als Beispiel für Redoxreaktionen

Unterrichtsfach: Chemie

Thema: Im dritten Teil werden Experimente durchgeführt, die die Reduktion von Silberionen durch die Entwicklersubstanzen zeigen.

Materialien

- Tüpfelplatte
- Pipette
- Erlenmeyerkolben oder Bechergläser
- Waschsoda (Natriumcarbonat)
- Instant-Kaffee
- Schwarzer Tee
- Vitamin C (Ascorbinsäure)
- Rote-Beete-Saft oder -pulver
- Möhrensaft oder -pulver
- Verschiede Obst- und Gemüsesäfte (Traubensaft, Apfelsaft)

Zubereitung der Lösungen

Aus den wird eine Lösung von 20 g Pulver auf 50 mL Wasser angesetzt. Diese 50 mL Lösung werden mit einem Teelöffel Waschsoda versetzt.

Ein Teebeutel (schwarzer Tee) wird mit 50 mL kochendem Wasser übergossen und so lange stehen gelassen, bis der Tee Raumtemperatur hat. Dann wird ein Teelöffel Waschsoda zugefügt.

Ein Teelöffel Instant-Kaffee wird in 50 mL Wasser aufgelöst und mit einem Teelöffel Waschsoda versetzt.

Ein Teelöffel Ascorbinsäure wird in 50 mL Wasser gelöst.

Die Säfte werden direkt eingesetzt. Jeder Saft wird einzeln genutzt. Es können beliebige Säfte ausgewählt werden. Liegen Gemüse- oder Obst-Pulver vor, so wird ein Teelöffel des jeweiligen Pulvers in 50 mL Wasser gelöst.

Reduktion von Silbernitrat mit den Lösungen

Auf eine Tüpfelplatte wird jeweils ein Tropfen jeder Lösung in eine einzelne Vertiefung gegeben. Zu jeder Lösung wird ein Tropfen der Silbernitratlösung gegeben.

Die Verwendung einer weißen Tüpfelplatte macht es leichter, die Veränderungen der Lösungen zu beobachten.

Das elementare Silber fällt schwarz aus.

→ AB 3 "Chemie der Fotografie" als [docx](#) und als [pdf](#)

→ Lösungsblatt als [docx](#) und als [pdf](#)

→ Bild "Entstehung des latenten Bildes" von AB 3 als [png](#)

→ Die Schaubilder aus der Bildergalerie als [pdf](#)



Das elementare Silber fällt schwarz aus

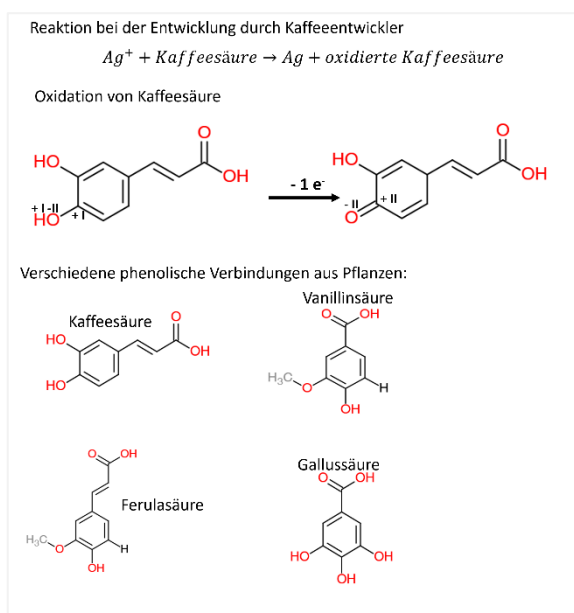
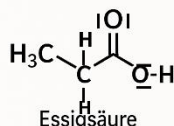


Schaubild: Reaktion bei der Entwicklung durch Kaffeeentwickler

Stoppbad

In der Regel eine Lösung von 2 % Essigsäure in Wasser. Die Entwicklung wird durch die Änderung des pH-Werts sofort gestoppt. Organische Entwickler arbeiten nur in alkalischer Lösung.



Citronensäure ist eine geruchsärmere Alternative.

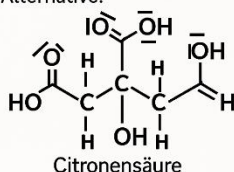


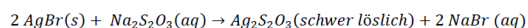
Schaubild: Stoppbad

Fixierung

Es ist immer noch nicht reagiertes Silberbromid im Fotopapier vorhanden. Dies wird im nächsten Schritt in Lösung gebracht und ausgewaschen.

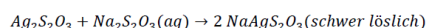
Erster Schritt:

Natriumthiosulfat und Silberbromid reagieren zu dem schwerlöslichen Silberthiosulfat und Natriumbromid



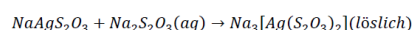
Zweiter Schritt:

Bildung eines Natrium-Silberthiosulfat-Komplexes, der weiterhin schwer löslich ist.



Dritter Schritt:

Weitere Reaktion mit Natriumthiosulfat führt zur Bildung eines löslichen Komplexes.



Vierter Schritt:

Weitere Reaktion mit Natriumthiosulfat führt zu einem auswaschbaren Dithiosulfatoargentat(II)-Komplex

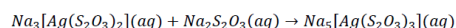


Schaubild: Fixierung

Die drei Schaubilder können Sie als pdf-Datei herunterladen.



Ausblick

Es bieten sich vielfältige Erweiterungen des Projektes an. Viele verschiedene Pflanzenextrakte lassen sich als Entwickler testen. Alles, was Polyphenole enthält, sollte zu Ergebnissen führen.

Ein weiterer Weg ist das Belichten von mit Pflanzenextrakten behandeltem Papier. Ein Beispiel ist hier der Einsatz von Kurkuma mit anschließender Natronbehandlung.

Literatur

- [Dr. Scott Williams and the Technical Photographic Chemistry 1995 Class: A Use for that Last Cup of Coffee: Film and Paper Development, 1995.](#)
- [Brady Wilks: Alternative Photographic Processes: Crafting Handmade Images, 2015.](#)

Über die Autorin



Seit 20 Jahren unterrichtet Kerstin Reinecke an verschiedenen niedersächsischen Gymnasien die Fächern Chemie und Physik. Besondere Freude bereitet ihr das Entwickeln neuer Unterrichtseinheiten mit ganz vielen Experimenten zum Mitmachen, um in allen Lernenden den Spaß an den Naturwissenschaften zu entfachen. Daher unterstützt sie auch Schülerinnen und Schüler, die an Wettbewerben wie Jugend forscht oder den Science Olympiaden teilnehmen möchten.

Bild: Science on Stage

Kerstin Reinecke (links) und Marina Radewagen (rechts) beim Nationalen Science on Stage Festival 2023 in Bayreuth

Bildquellen und Lizenz

Alle Bilder, sofern nicht anders angegeben: Kerstin Reinecke / Science on Stage



Dieses Werk ist lizenziert unter einer Creative Commons Namensnennung – Weitergabe unter gleichen Bedingungen 4.0 International Lizenz.



Das Material online: www.science-on-stage.de/kaffee-fotoentwickler

Impressum

Science on Stage Deutschland e.V.
Am Borsigturm 15
13507 Berlin
Telefon +49 30 400067-40
info@science-on-stage.de
www.science-on-stage.de

Unsere Social-Media-Angebote:

www.science-on-stage.de/social-media

Melden Sie sich für unseren Newsletter an unter

www.science-on-stage.de/newsletter