

Fluoreszenzkollektoren

M. W. Tausch und F. Gärtner



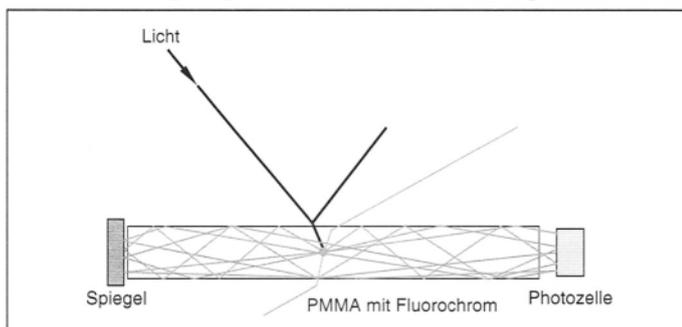
1 Fluoreszenzkollektoren: Lichtwandler und -verstärker zugleich

Der Fluoreszenzkollektor-Effekt ist im Alltag beispielsweise von einigen handelsüblichen Klarsichtfolien bekannt, die mit Fluoreszenzfarbstoffen angefärbt wurden. Bei diesen Folien leuchten die Kanten stärker als die großen Flächen. Auch einige Spielzeuge, CD-Hüllen und Modeaccessoires zeigen diesen Effekt. Technische Anwendungen von Fluoreszenzkollektoren hat es bereits in den 80er Jahren in Form von Wanduhren gegeben, in denen das Licht um einen Faktor von bis zu 200 konzentriert und auf eine kleine Photozelle geleitet wurde. Diese Uhren haben sich nicht durchgesetzt, weil sie nicht dem Modetrend entsprachen. Der Durchbruch von Fluoreszenzkollektoren in der Technik, etwa als Dachplatten mit photovoltaischen Zellen, lässt noch auf sich warten.

Ein Fluoreszenzkollektor besteht aus einem transparenten Material mit hohem Brechungsindex, beispielsweise Plexiglas, in dem ein Fluoreszenzfarbstoff in hoher Verdünnung enthalten ist. Die Moleküle des Farbstoffs werden durch sichtbares Licht, das in den Kollektor eindringt, zur Fluoreszenz angeregt.

Die Lichtquanten des emittierten Fluoreszenzlichts sind etwas energieärmer als die des absorbierten Lichts und haben in der Regel auch eine andere Farbe (*Stokes Verschiebung*) [1]. Da die emittierenden Teilchen im Material eingebettet sind, gelangen die Quanten des Fluoreszenzlichts von innen an die glatten Flächen des Kollektors. Dort erleiden ca. 74% dieser Quanten im Plexiglas Totalreflexion, d. h. sie werden immer wieder in das Innere des Kollektors zurückgeworfen. Beim Austritt aus dem optisch dichteren Plexiglas in das optisch weniger dichte Medium Luft werden sie vom Lot weg gebrochen, d. h. bei flachem Einfallswinkel, wie er für die meisten auf die großen Flächen der Platte auftretenden Quanten gegeben ist, tritt das Licht gar nicht aus, sondern bleibt im Plexiglas. Auch der Spiegel auf der linken Seite in Abb. 1 reflektiert alle Fluoreszenzquanten ins Platteninnere. Erst wenn die Fluoreszenzquanten auf die rauhe Kante des Fluoreszenzkollektors auftreffen, hinter der in Abb. 1 eine Photozelle platziert ist, kommt es wegen der stei-

Abb. 1: Funktionsprinzip eines Fluoreszenzkollektors (vgl. Text)



len Einfallswinkel der Grenzfläche nicht mehr zur Totalreflexion und die Quanten verlassen die Plexiglasplatte. Die in der Kollektorplatte erzeugte Fluoreszenzstrahlung wird also zum größten Teil auf eine kleine Fläche, in der Regel auf eine Kante der Kollektorplatte, konzentriert. Als Ergebnis leuchtet diese Kante des Kollektors selbst bei diffusem Tageslicht in einer bestimmten Farbe so hell, als würde die Sonne darauf scheinen. Dieses farbige Licht kommt jedoch nicht direkt von der Sonne, es wird vielmehr im Kollektor durch Umwandlung des solaren Lichts erzeugt.

2 Schulexperimente: Kollektoren aus PLEXIGLAS® und Textmarkern

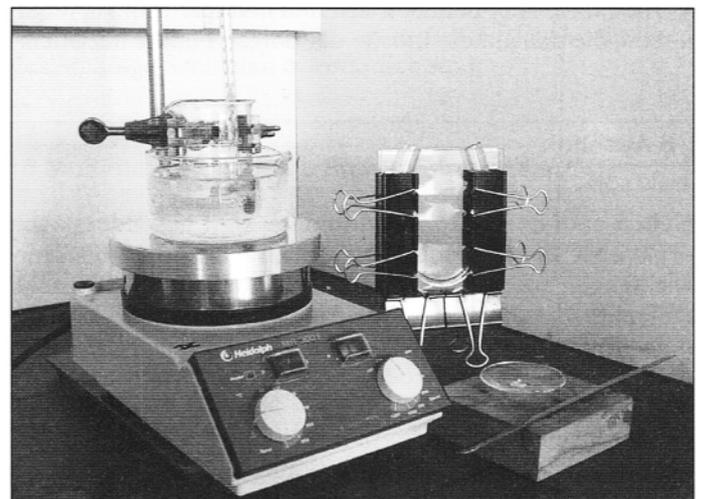
Ausgehend von einem bereits 1988 von *H. Brandl* und *S. Kabuß* beschriebenen Experiment [3] wurden unter Berücksichtigung der Labormöglichkeiten an Schulen, der verfügbaren Zeit im Unterricht und der Einbettung in einen Lehrgang neue Varianten des Experiments sowie zusätzliche Experimente mit Fluoreszenzkollektoren entwickelt.

Sicherheitshinweise und Zeitbedarf: Die Polymerisation von Methylmethacrylat MMA wird jeweils **Abzug** durchgeführt. Die Herstellung eines Satzes von Fluoreszenzkollektoren mit verschiedenen Farbstoffen in Gruppen mit Arbeitsteilung gelingt in einer Doppelstunde. Die weiteren Versuche mit erhaltenen Proben erfolgen in der folgenden Doppelstunde. *Geräte (je Arbeitsgruppe):* Heizplatte mit Rührer, Rührkern, 2 Kristallisationsschalen (als Wasser- bzw. Eisbad), hohes 100 ml-Becherglas, Rührkern, Thermometer, Spatel, Waage, Stativ, Muffen, Klemmen, Uhr, Klammern (z. B. große Foldbackklammern von Staples), 2 Glasscheiben, PVC-Schlauch (0,5 bis 1 cm Durchmesser)

Chemikalien: Monomer: Methylmethacrylat (MMA), **Xi, F**. Starter: Azodiisobutyronitril (AIBN), **Xn, E**, Fluoreszenzfarbstoffe aus Textmarkern z. B. Faber Castell Textliner Inkjet (rot, grün), Enré Highlighter (blau, violett, orange, gelb); alternativer Fluoreszenzfarbstoff: Rubren (Tetraphenylanthracen, Aldrich R 220-6)

Flachkammer zur Herstellung von Platten aus Plexiglas (Abb. 2): Als Glasplatten eignen sich randlose Bildhalter, für weniger als 1 € in Baumärkten

Abb. 2: Herstellung eines Fluoreszenzkollektors



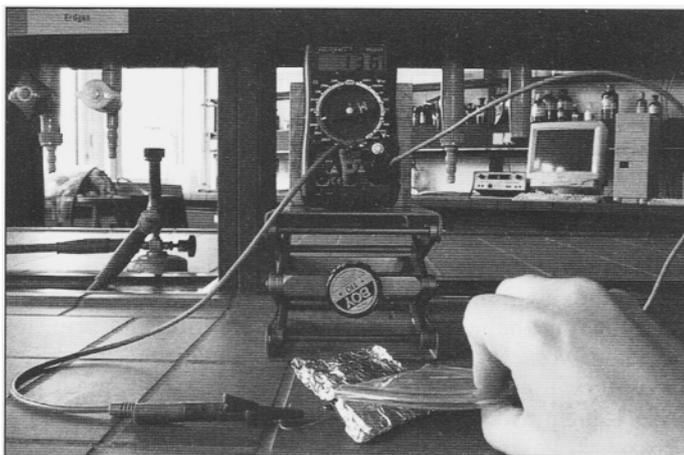


Abb. 7: Test eines Fluoreszenzkollektors mit einer Solarzelle

erhältlich. Ein einfacher PVC-Schlauch, der als U geformt wird, dient als Abstandhalter zwischen den Platten. Zur Klammerung haben sich Riesenfoldbackklammern von Staples sehr gut bewährt. Die aus diesen Teilen wie in Abb. 2 zusammengebaute Flachkammer ist stabil und kann senkrecht in das Wasserbad (vgl. 2. Schritt der Polymerisation) aufgestellt werden.

Durchführung (Polymerisation von MMA in zwei Schritten): Zunächst wird die Filzspitze des Textmarkers (beispielsweise Enré Highlighter, orange) mit der Pinzette entnommen und für 10 min in 33 mL MMA gelegt. Der Filz zerfällt zum Teil, das MMA färbt sich. Die Lösung wird in ein 100 mL Becherglas dekantiert. Dann werden genau 0,010 g AIBN zugefügt und gelöst. Im Wasserbad wird die Lösung 20 min lang unter Rühren auf 93–97 °C erhitzt, wobei mit der Zeitmessung erst begonnen wird, wenn die Lösung 93 °C erreicht hat. In dieser Zeit können bereits ein Eisbad und die Flachkammer (vgl. Abb. 2) vorbereitet werden. Anschließend wird das heiße Wasserbad durch das Eisbad ersetzt, wobei weiter gerührt wird. Sobald die Temperatur des entstandenen Präpolymers auf unter 40 °C gefallen ist, werden erneut 0,010 g AIBN hinzugegeben. Nachdem dieses vollständig gelöst ist, wird das zähflüssige Präpolymer in die Flachkammer gegossen und im Abzug etwa 60 min lang im Wasserbad auf 70 °C zur Nachpolymerisation erhitzt. Alternativ kann über Nacht (bzw. bis zur nächsten Chemiestunde) im Trockenschrank bei 50 bis 55 °C nachpolymerisiert werden.

Nach der Kühlung im Eisbad oder unter laufendem Wasser können die Glasscheiben von der fertigen PMMA-Scheibe mit dem einpolymerisierten Farbstoff gelöst werden. Wenn das nicht gelingen sollte, kann man die Vorrichtung noch einmal kurz erhitzen und abkühlen, bis sich die Glasscheiben von der PMMA-Scheibe lösen. Der PVC-Schlauch kann mit einem Teppichmesser von dem Acrylglas abgetrennt werden. Man erhält einen klaren Fluoreszenzkollektor aus Plexiglas mit wenigen oder keinen Luftblasen und weitgehend ohne optische Verzerrungen.

Das entstandene Polymer riecht noch stark nach MMA. Die fertige Scheibe kann daher für einige Stunden im Trockenschrank bei 80 °C nachgetempert werden. (Bei höheren Temperaturen kann sich die Kunststoffscheibe etwas verformen, sie muss beim Nachtempern auf einer glatten Unterlage, z. B. auf einer Glasscheibe, liegen.)

In den Abb. 3 bis 5 auf der 2. Umschlagseite dieses Hefts sind auf diese Weise erhaltene Fluoreszenzkollektoren mit verschiedenen Farbstoffen dargestellt.

Echtfarben-Emissionsspektren EFES: Die abgebildeten Echtfarben-Emissionsspektren EFES geben Auskunft über die Zusammensetzung der Fluoreszenzstrahlung der eingesetz-

ten Farbstoffe. Die Versuchsvorrichtung zur Erzeugung solcher Spektren wurde bereits beschrieben [2]. Sie ist sehr einfach und kann mit einigen Geräten aus der Physik- und aus der Chemie- oder Biologiesammlung (Spaltblende, Beugungsgitter, UV-Handlampe $\lambda = 366 \text{ nm}$ und Stativmaterial) zusammengebaut werden.

Wirksamkeit eines Fluoreszenzkollektors – Solarzellentest: Eine übliche Solarzelle aus Silicium wird so in Aluminiumfolie eingewickelt, dass ein Spalt offen bleibt, der genau der Fläche entspricht, aus der das Licht des Fluoreszenzkollektors austritt (Abb. 7).

Es wird die Stromstärke gemessen, die von der Solarzelle durch den offen gelassenen Spalt mit dem gerade vorhandenen Tageslicht erzeugt wird und anschließend die Stromstärke mit dem Licht aus dem Fluoreszenzkollektor bei gleichem Tageslicht. Je nach Fluoreszenzfarbstoff kommt es zu unterschiedlichen Stromstärken. Beim orangefarbenen Kollektor mit Textmarker-Farbstoff aus Abb. 5 (vgl. 2. Umschlagseite) wurde eine Erhöhung der Stromstärke von 74 mA auf bis zu 112 mA gemessen. (*Hinweis:* Es können je nach Tageslicht und geometrischer Anordnung auch bessere Werte erzielt werden – sie hängen aber in jedem Fall stark von der spektralen Zusammensetzung des emittierten Fluoreszenzlichts ab, weil der Wirkungsgrad der Solarzelle u. a. von der Wellenlänge des Lichts abhängt.)

3 Didaktische Hinweise: Einbau in Chemie 2000+

Chemie 2000+ ist ein modularisiertes Kerncurriculum für den Chemieunterricht in der Sekundarstufe II. Das Basisexperiment, die Polymerisation von Methylmethacrylat MMA, eignet sich für den abschließenden Baustein einer als Lernmodul konzipierten Unterrichtsreihe zum Kontext „Vom Erdöl zum PLEXIGLAS®“. Diese neu entwickelte Reihe beginnt beim Propan oder Propen und endet beim PLEXIGLAS® [6]. Sie enthält alle schulrelevanten Grundreaktionen der organischen Chemie, eng verflochten mit dem genannten Kontext, in dessen Brennpunkt ein hochwertiger Kunststoff mit vielfältigen Anwendungen steht.

Nun ist es gar nicht so einfach, ein klares, blasenfreies Stück aus Polymethylmethacrylat (PLEXIGLAS®) herzustellen wenn man vom Monomer ausgeht und dieses in einem Arbeitsgang polymerisiert. Man erhält bei der Polymerisation mit einem thermisch spaltenden Radikalkettenstarter in der Regel eine ziemlich unansehnliche Masse aus PMMA, die durchsetzt ist von Bläschen und durch die man nicht hindurchschauen kann. Dieses enttäuschende Ergebnis bei den ersten Polymerisationsversuchen ist jedoch in doppelter Hinsicht didaktisch wertvoll. Erstens wird dabei deutlich, dass die Polymerisation exotherm verläuft. Durch lokale Erhitzungen innerhalb der immer zäher werdenden Polymerisationsmasse kommt es zur partiellen Verdampfung des Monomers, die zu den Bläschen im Endprodukt führt. Zweitens kann dieses unerwünschte Ergebnis anregen, nach einer technischen Lösung für die Herstellung einer klaren, flachen, blasenfreien Scheibe aus PLEXIGLAS® zu suchen. Diese Problemlösung kann unterrichtsmethodisch sehr unterschiedlich gestaltet werden (frontal, gruppenweise etc. bzw. recherchieren, diskutieren, experimentieren etc.) und mündet schließlich in dem oben beschriebenen Basisexperiment. Es sollte von mindestens einer Gruppe ohne Zusatz von Fluoreszenzfarbstoff durchgeführt werden –

gegebenenfalls können die Menge des zugesetzten Starters und die Temperatur variiert werden um optimale Versuchsbedingungen herauszufinden. Jedenfalls aber ist die Teilung der MMA-Polymerisation in zwei Arbeitsschritte der entscheidende technische Trick. Wichtig dabei ist auch, dass der zweite Schritt, die Aushärtung des Präpolymers direkt in der formgebenden Matrix durchgeführt wird.

Bei der oben genannten Unterrichtsreihe können die Herstellung von gefärbtem Plexiglas mit Fluoreszenzkollektor-Effekt und die Herstellung von Plexiglas mit UV-Absorbieren [4, 5] interessante Erweiterungen sein, in denen wiederum chemisches Grundlagewissen, technisches Know-how und interessante Anwendungen vermittelt werden.

Zentrale Bedeutung erlangt die Fluoreszenz als ein Typ von Lumineszenz, d. h. Farbigeit durch Lichtemission, im Modul „Vom Blattgrün zum Farbmonitor“. Darin geht es nicht nur um herkömmliche Farbstoffe, sondern auch um neue Materialien mit speziellen optischen und elektronischen Eigenschaften. Eine entsprechende Unterrichtsreihe ist für den dritten Band des Unterrichtswerks *Chemie 2000+* in Vorbereitung.

Die Erklärung aller Phänomene, bei denen es auf die Wechselwirkung von Licht mit Stoffen ankommt, basiert auf dem *Konzept vom elektronischen Grundzustand und dem angeregten Zustand* von Molekülen und anderen Teilchenverbänden. Damit können nicht nur alle Arten von Lumineszenz (vgl. Tab. 1 auf S. 23 in diesem Heft), sondern auch die Farbigeit durch Lichtabsorption und auch alle photochemischen Reaktionen in einer ersten, für die Schule in der Regel ausreichenden Näherung beschrieben und erklärt werden [1]. Da Phänomene mit Lichtbeteiligung in Alltag, Technik, Umwelt und in der aktuellen wissenschaftlichen Forschung von erstrangiger Bedeutung sind, sollte diesem Konzept im Schulunterricht ein ähnlicher Stellenwert eingeräumt werden wie dem Donator-Akzeptor Konzept und anderen *Basiskonzepten* [7], zu denen es semantisch disjunkt ist. Für den Einstieg in dieses

Theoriekonzept stellen die Versuche zur Fluoreszenz, Phosphoreszenz und anderen Lumineszenzen Schlüsselexperimente dar, weil sie Fakten liefern, deren Erklärung die Einführung des Energiestufen-Modells für Moleküle und des zugrunde liegenden Konzepts vom elektronischen Grundzustand und dem angeregten Zustand erzwingt [1].

Schließlich regen Experimente zur Herstellung von Leuchtgravuren in Fluoreszenzkollektoren (vgl. Abb. 6, 2. Umschlagseite) die Fantasie von jenen Schülerinnen und Schülern an, die über den Unterricht hinaus „eine Ader“ für Kunst und/oder Chemie haben. Für sie könnte es anregend sein, im Rahmen von Projekten oder Jugend forscht Arbeiten Leuchtgravuren in Fluoreszenzkollektoren (ggf. auch mit zwei Leuchtfarben) und Photovoltaik-Einheiten mit Fluoreszenzkollektoren herzustellen und zu untersuchen.

Literatur

- [1] M. W. Tausch, M. v. Wachtendonk (Hrsg.), Stoff-Formel-Umwelt, Chemie S II, S. 297f., C. C. Buchner, Bamberg 1993
- [2] M. Tausch, A. Grolmuss, B. Piwek, „Echtfarben-Emissionsspektren EFES – Ein Beitrag zum Verständnis von Licht und Farbe“ in PdN-Chemie, **47** (2), 10, (1998)
- [3] H. Brandl, S. Kabuß, Herstellung eines Fluoreszenzsolarkollektors, PdN-Chemie, **37** (6), 24 (1988)
- [4] F. Gärtner, Online-Ergänzungen zu diesem Artikel unter www.aulis.de und unter www.theochem.uni-duisburg.de/DC. Portal *Chemie 2000+* Online > Bücher > *Chemie 2000+*, Band 2 > S. 144f. Polymerisation von MMA
- [5] F. Gärtner, Entwicklung von Schulversuchen zur Herstellung von UV-Absorbieren und Fluoreszenzkollektoren aus Polymethylmethacrylat durch Anwendung thermischer und photochemischer Verfahren, Examensarbeit, Duisburg (2003)
- [6] M. W. Tausch, M. v. Wachtendonk (Hrsg.), *Chemie 2000+*, Bd. 1, Bd. 2, C. C. Buchner, Bamberg 2001, 2003
- [7] I. Parchmann, R. Demuth, B. Ralle, A. Paschmann, H. Huntemann, Chemie im Kontext, PdN-ChiS, **50** (1), 2 (2001)

Anschrift der Verfasser:

Prof. Dr. Michael W. Tausch und Florian Gärtner, Institut für Chemie, Universität Duisburg-Essen, Campus Duisburg, Lotharstr. 1, 47057-Duisburg, e-mail: M.Tausch@uni-duisburg.de
