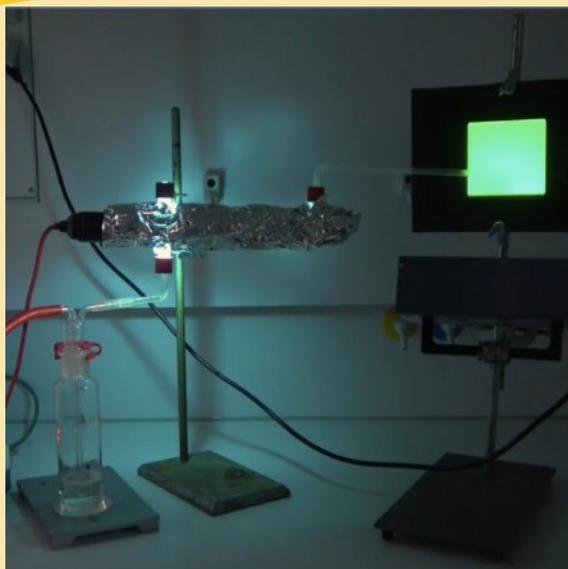




Bergische Science Labs Chemie-Labor



Photochemie

In Kooperation mit:



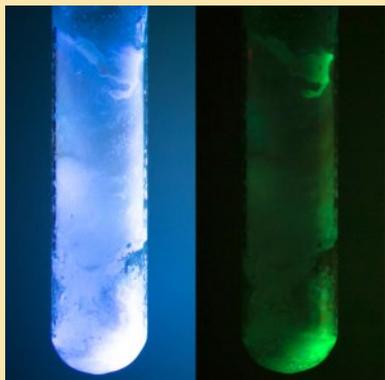
Gefördert durch:



DIDAKTIK
DER
CHEMIE



BERGISCHE
UNIVERSITÄT
WUPPERTAL



Photochemie

Block 1

Fluoreszenz und Phosphoreszenz,
Echtfarbenemissionsspektren (EFES)



DIDAKTIK
DER
CHEMIE



BERGISCHE
UNIVERSITÄT
WUPPERTAL

Fluoreszenz und Phosphoreszenz

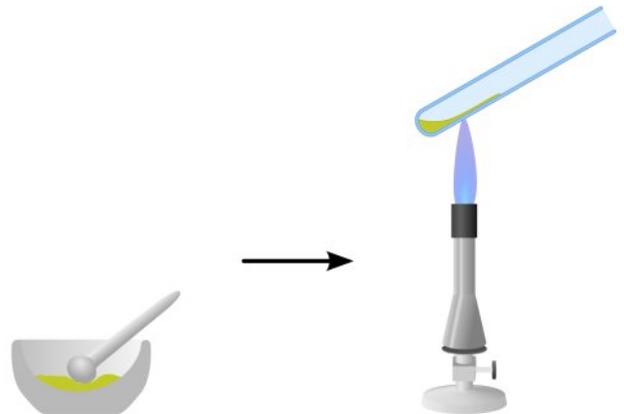
Arbeitsmaterialien

Waage, Mörser mit Pistill, Porzellanschale, Gasbrenner, UV-Handlampe, 7 Reagenzgläser mit passender Klammer, Styroporbox mit Eis, Thermometer, 600-mL-Becherglas, Heizplatte für Wasserbad

Chemikalien

Borsäure, Fluoreszein-Natriumsalz, 4-Amino-5-hydroxynaphthalin-2,7-disulfonsäure-Mononatriumsalz („H-Säure“)

Versuchsskizze



Versuchsdurchführung – Herstellung der Proben

V 1.1 Lösen Sie in einem mit Wasser gefüllten Reagenzglas drei Tropfen der bereitgestellten Fluoreszein-Natriumsalz-Lösung.



ABZUG

V 1.2 IM ABZUG!!!

Verreiben Sie ca. 0,025 g Fluoreszein-Natriumsalz und ca. 10 g Borsäure gut in einem Mörser. Befüllen Sie drei Reagenzgläser ca. 1 – 2 cm hoch mit dem Gemisch und erhitzen Sie jeweils vorsichtig in der Brennerflamme. Beim Erhitzen dreht man das Reagenzglas so hin und her, dass die Schmelze möglichst die ganze Innenwand auskleidet.



ABZUG

V 1.3 IM ABZUG!!!

Verreiben Sie ca. 0,02 g H-Säure und 10 g Borsäure in einem Mörser und verfahren Sie mit dem erhaltenen Gemisch wie in V 1.2. Erhitzen Sie hier sehr vorsichtig.

V 1.4 Stellen Sie ein Wasserbad her, indem Sie im 600-mL-Becherglas ca. 400 mL Wasser bis auf 70 °C erhitzen und bei dieser Temperatur halten. Stellen Sie je eine Probe aus V 1.2 und V 1.3 in das Wasserbad.

V 1.5 Nutzen Sie die Styroporbox mit Eis als Kältebad und stellen Sie in dieses je eine Probe aus V 1.2 und V 1.3.

V 1.6 Halten Sie die jeweils übrige Probe bei Raumtemperatur.

Fluoreszenz und Phosphoreszenz

Untersuchung der Fluoreszeinproben (im Dunkellabor)

- V 1.7 Bestrahlen Sie das Reagenzglas aus V 1.1 im Dunkeln mit einer UV-Lampe (LW, $\lambda = 366 \text{ nm}$). Beobachten Sie während und nach der Bestrahlung.
- V 1.8 Halten Sie im Dunkeln das Reagenzglas mit der Fluoreszein-Probe aus V 1.6 (Raumtemperatur), vor die UV-Handlampe und schalten Sie das Licht mehrmals an und aus.
- V 1.9 Halten Sie jeweils zwei unterschiedlich temperierte Reagenzgläser mit Fluoreszein-Borsäure-Proben gleichzeitig in das Licht der UV-Handlampe und notieren Sie die Gemeinsamkeiten und Unterschiede beim Bestrahlen mit UV-Licht und beim Abschalten der Lampe. Die heiße Probe wird nochmals kurz von allen Seiten in der Flamme des Bunsenbrenners erhitzt.

	Probe bei 0 °C	Probe bei ca. 25 °C	Probe bei 70 °C
Farbe des Leuchtens im UV-Licht			
Dauer des Nachleuchtens (in s)			

Untersuchung der H-Säure-Proben (im Dunkellabor)

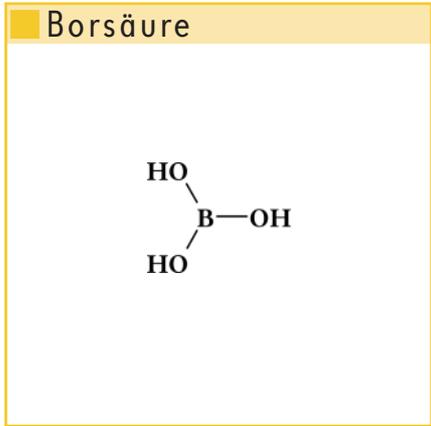
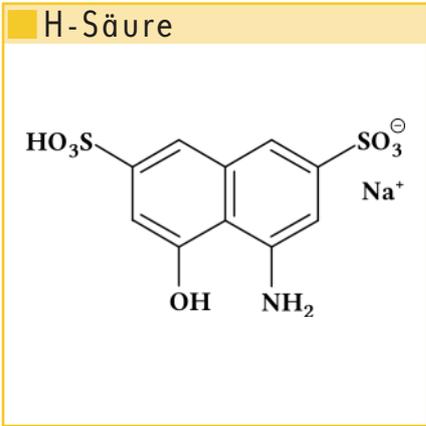
- V 1.10 Halten Sie im Dunkeln das Reagenzglas mit der H-Säure-Probe aus V 1.6 (Raumtemperatur), vor die UV-Handlampe und schalten Sie das Licht mehrmals an und aus. Beschreiben Sie, was Sie während der Bestrahlung mit der UV-Lampe und was Sie nachdem die Lampe ausgeschaltet ist beobachten können.
- V 1.11 Halten Sie jeweils zwei unterschiedlich temperierte Reagenzgläser mit H-Säure-Borsäure-Proben gleichzeitig in das Licht der UV-Handlampe und notieren Sie die Gemeinsamkeiten und Unterschiede beim Bestrahlen mit UV-Licht und beim Abschalten der Lampe. Die heiße Probe wird unmittelbar vor der Untersuchung in der Flamme des Bunsenbrenners stark erhitzt.

	Probe bei 0 °C	Probe bei ca. 25 °C	Probe bei 70 °C
Farbe des Leuchtens im UV-Licht			
Farbe des Nachleuchtens			
Dauer des Nachleuchtens (in s)			

Fluoreszenz und Phosphoreszenz

Auswertung

A 1.1 Betrachten Sie die Molekülstrukturen der in VI verwendeten Chemikalien. Begründen Sie mithilfe dieser Strukturen, welche Substanzen für das Leuchten verantwortlich sind.



A 1.2 Betrachten Sie die Abbildung und versuchen Sie, Ihre Beobachtung aus V 1.1 damit zu

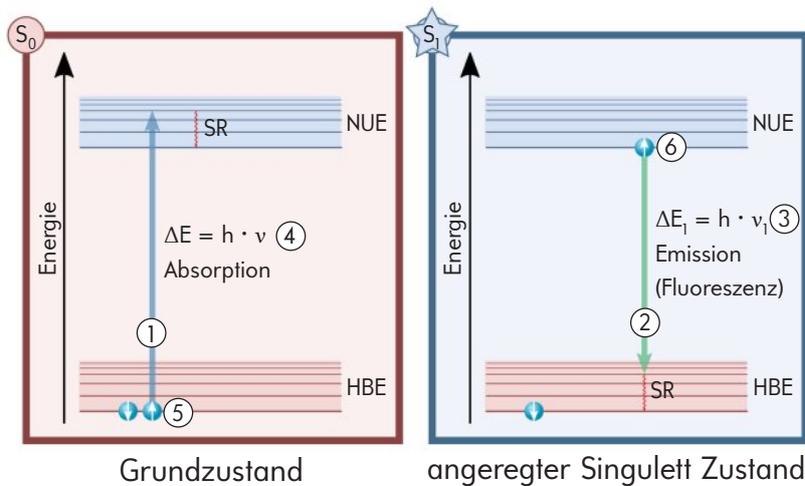


Abbildung 1: Das Energiestufen-Modell: Die Erzeugung von Fluoreszenz.

Die kleinen Pfeile in den Kugeln stellen Elektronen dar. Die abgebildete unterschiedliche Ausrichtung der Pfeile kennzeichnet den Elektronenspin. Der Spin (to spin, engl. = rotieren) ist eine Eigenschaft des Elektrons, die man als die Eigendrehung um die eigene Achse, in die eine oder die andere Richtung, veranschaulichen kann.

- NUE: Niedrigste Unbesetzte Energiestufe
- HBE: Höchste Besetzte Energiestufe
- SR: Schwingungsrelaxationen

A 1.3 Ordnen Sie die folgenden Begriffe den mit Zahlen beschrifteten Elementen Abbildung 1 zu.

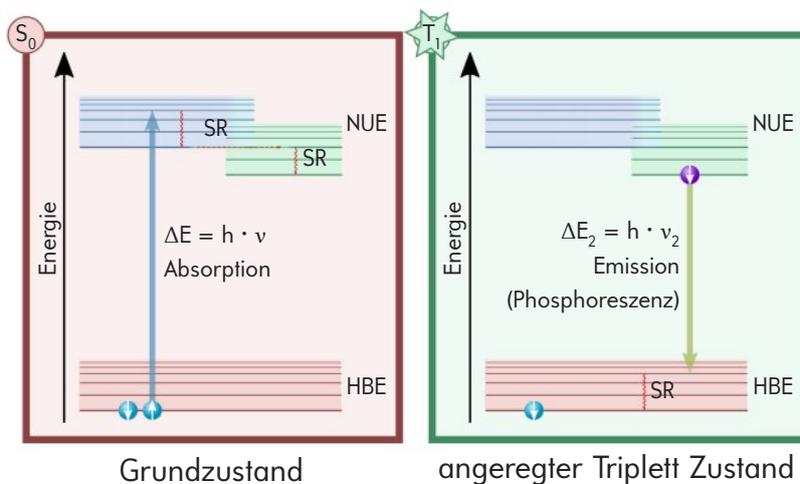
- Elektronenanordnung in der *unbestrahlten* Probe
- Elektronenanordnung in der *bestrahlten* Probe
- Energieaufnahme bei Bestrahlung mit der UV-Lampe
- Leuchten der Probe
- Anregungsenergie
- Energie des ausgestrahlten Lichts

Fluoreszenz und Phosphoreszenz

A 1.4 Vergleichen Sie Ihre Beobachtungen aus V 1.7 mit denen aus V 1.8. Diskutieren Sie die gefundenen Unterschiede mit ihrem Betreuer und lassen Sie sich die Funktion der Borsäure erklären.

Hinweis: Beim Erhitzen der Borsäure bildet sich unter Wasserabspaltung eine käfigähnliche Borsäure-Matrix.

A 1.5 Vergleichen Sie Abbildung 2 mit Abbildung 1. Beschreiben Sie Gemeinsamkeiten und Unterschiede.



■ **Abbildung 2:** Das Energiestufen-Modell: Die Erzeugung von Phosphoreszenz. Phosphoreszenz kann beobachtet werden, wenn es nach der Anregung zu einer Umkehr des Elektronenspins kommt. Da eine Energiestufe nicht von zwei Elektronen mit demselben Spin besetzt werden darf (*Hinweis für Fortgeschrittene:* Die Elektronen müssen sich in mindestens einer Quantenzahl unterscheiden), muss sich der Spin vor der Rückkehr in die ehemals höchste besetzte Energiestufe des Grundzustands erneut umkehren. Dies ist aber „verboten“, d.h. stark erschwert. Deshalb kann die Verweilzeit im angeregten Triplett-Zustand bis zu 10 s dauern. Die Probe leuchtet lange nach.

A 1.6 Markieren Sie die Punkte 1 – 6 aus der Tabelle in A 1.3 an den zugehörigen Stellen in Abbildung 2.

A 1.7 Vergleichen Sie die Farben des beobachteten Leuchtens der Fluoreszein-Borsäure Probe bei Raumtemperatur mit denen der H-Säure-Borsäure-Probe bei Raumtemperatur. Charakterisieren Sie die jeweils sichtbaren Farben während und nach der Bestrahlung.

A 1.8 Bei den H-Säure-Proben erkennt man deutlich eine Überlagerung von Fluoreszenz und Phosphoreszenz. (Diese ist umso sichtbarer, je kälter die Probe ist.) Beschreiben Sie in welcher Farbe die Probe fluoresziert und in welcher sie phosphoresziert und arbeiten Sie heraus, welche Farbe die Überlagerung der beiden Strahlungsarten zeigen müsste. Nutzen Sie dazu auch die Abbildungen 1 und 2, in denen Wellenlänge und Energiegehalt der Fluoreszenz und der Phosphoreszenz angedeutet sind.

A 1.9 Ergänzen Sie den folgenden Satz anhand Ihrer Beobachtungen:

Je die Temperatur, desto das Nachleuchten.

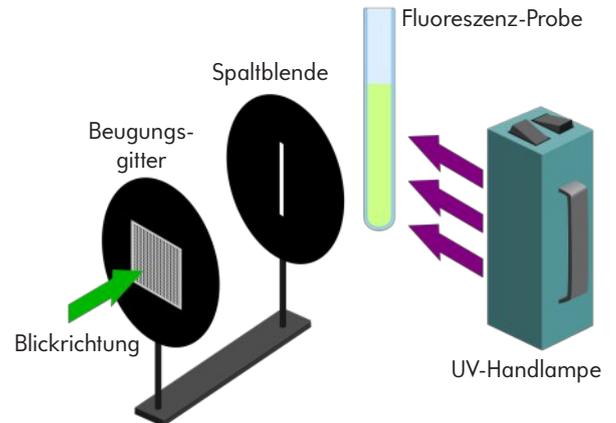
Echtfarbenemissionsspektren (EFES)



Arbeitsmaterialien

UV-Handlampe,
 Taschenlampe (aus EC – Block 3 entleihen),
 ggf. Stativmaterial zum Einspannen der Lampe
 und der Proben, optische Bank mit Reitern,
 Blende, Beugungsgitter $d = 600 \text{ nm}^{-1}$,
 Fluoreszein-Proben (0 °C, 70 °C),
 H-Säure-Proben (0 °C, 70 °C)

Versuchsskizze

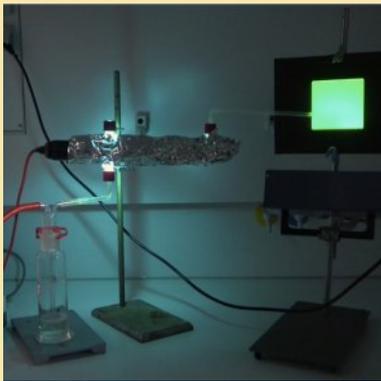


Versuchsdurchführung

- V 2.1** Bauen Sie die Versuchsanordnung gemäß der Versuchsskizze auf. Strahlen Sie zunächst mit der Taschenlampe in den Spalt, während ihr Partner auf das optische Gitter blickt. Regulieren Sie den Spalt und den Abstand zum Gitter, bis Sie das gesamte Farbspektrum der Weißlicht-Taschenlampe deutlich sehen können.
- V 2.2** Schalten Sie nun die UV-Lampe ein und untersuchen Sie zunächst die heiße und dann die kalte Fluoreszein-Probe. Beobachten Sie genau, wie sich das Spektrum verändert, sobald Sie die UV-Lampe ausschalten.
- V 2.3** Verfahren Sie analog zu V 2.2 mit der heißen und kalten H-Säure-Probe. Notieren Sie die Farbe und Anzahl der beobachteten Banden.

Auswertung

- A 2.1** Nennen Sie Gemeinsamkeiten und Unterschiede der Leuchtspektren (bei Bestrahlung) der heißen und kalten H-Säure/Borsäure-Probe bzw. heißen und kalten Fluoreszein/Borsäure-Probe.
- A 2.2** Nennen Sie Gemeinsamkeiten und Unterschiede bei der kalten H-Säure/Borsäure-Probe zwischen ihrem Leuchtspektrum (bei Bestrahlung) und ihrem Nachleucht-Spektrum (unmittelbar nach dem Ausschalten der UV-Lampe).
- A 2.3** Beschreiben Sie mit eigenen Worten, welchen zusätzlichen Informationsgehalt die EFES-Messung bietet, der dem bloßen Auge verborgen bleibt.



Photochemie

Block 2

Ozon und
Photosmog

Ozon und Photosmog

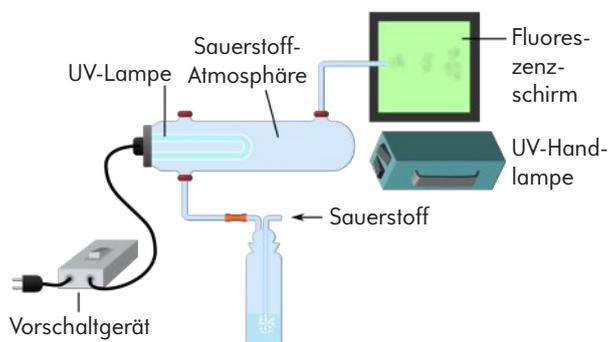
Arbeitsmaterialien

Photoreaktor mit UV-Lampe und Vorschaltgerät, Gaswaschflasche, Glasrohre, Schlauchstücke, Fluoreszenzschirm, UV-Handlampe, Gaseinleitungsrohr, 50-mL-Becherglas, Spritze mit Kanüle, Schlauchstück, Schlauchklemme, Luftballons

Chemikalien

Sauerstoff (Stahlflasche), Safranin T, Propan-2-ol, Natriumhydroxid, Dichlordifluormethan (Druckdose), Ethen (Druckdose)

Versuchsskizze



Versuchsdurchführung



ABZUG

V 1.1 IM ABZUG!!!

Lassen Sie für einige Sekunden vorsichtig Sauerstoff durch den Photoreaktor strömen. Umwickeln Sie den Photoreaktor vollständig mit Alufolie (Die sehr harte UV-Strahlung schädigt unsere Augen).

Pulsen Sie vorsichtig den Sauerstoffgasstrom durch die Apparatur und beobachten Sie den Fluoreszenzschirm, der mit der UV-Handlampe (KW , $\lambda = 254 \text{ nm}$) angestrahlt wird.

Schalten Sie nun die UV-Lampe des Reaktors an und bestrahlen Sie die Sauerstoff-Atmosphäre ca. 3 min. lang.

V 2.1 Pulsen Sie über die Waschflasche frischen Sauerstoff in die Apparatur. Leiten Sie das austretende Gasgemisch über den Fluoreszenzschirm. Vergleichen Sie die Beobachtungen mit denen bevor die UV-Lampe eingeschaltet wurde (V 1.1).

V 2.2 Erzeugen Sie erneut wie in V 1.1 beschrieben Ozon in der Apparatur.

Stellen Sie eine frische Safranin T Lösung her: Dazu wird eine Spatelspitze Safranin T in 20 mL Propan-2-ol gelöst. Zu dieser Lösung gibt man ein Natriumhydroxid-Plättchen.

Befestigen Sie den Schlauch mit dem Gaseinleitungsrohr am Glasstück des Photoreaktors, über welches das Gas auf den Fluoreszenzschirm geleitet wird. Tauchen Sie das Gaseinleitungsrohrchen in ein mit Safranin T gefülltes Becherglas. Pulsen Sie Sauerstoff durch die Apparatur und beobachten Sie die Safranin T-Lösung in absoluter Dunkelheit. Schalten Sie ggf. die UV-Lampe aus.

Ozon und Photosmog

- V 3.1 Stellen Sie in der Apparatur erneut Ozon her. Leiten Sie das Gasgemisch über das gebogene Glasrohr dicht auf einen Punkt der Oberfläche eines prall aufgepusteten Luftballons. Beobachten Sie die Stelle, an der das Gasgemisch auf die Gummihülle trifft, genau.
- V 4.1 Erzeugen Sie in der Apparatur Ozon und schalten Sie die UV-Lampe aus. Entnehmen Sie mit der Kanüle einer Spritze ca. 5 mL *Dichlormethan* aus dem Gasraum eines Dichlormethan-Gefäßes und injizieren Sie das Gas durch die Gummidichtung in die Ozon-Sauerstoff-Atmosphäre des Reaktors. Lassen Sie das Gasgemisch in Pulsen auf den leuchtenden Fluoreszenzschirm strömen und beobachten Sie.
- V 4.2 Erzeugen Sie in der Apparatur erneut Ozon und lassen Sie die Lampe dieses Mal eingeschaltet. Entnehmen Sie mit der Kanüle einer Spritze ca. 5 mL *Dichlormethan* aus dem Gasraum eines Dichlormethan-Gefäßes und injizieren Sie das Gas durch die Gummidichtung in die Ozon-Sauerstoff-Atmosphäre des Reaktors. Lassen Sie das Gasgemisch erneut in Pulsen auf den leuchtenden Fluoreszenzschirm strömen und beobachten Sie.

Auswertung

A 1.1 Formulieren Sie die Reaktionsgleichung für die Bildung von Ozon aus Sauerstoff.

A 1.2 „Mit UV-Licht kann man Ozon erzeugen, aber auch abbauen.“ Kommentieren Sie unter Bezugnahme auf V 1.1 und Abbildung 1 diese Aussage ausführlich.

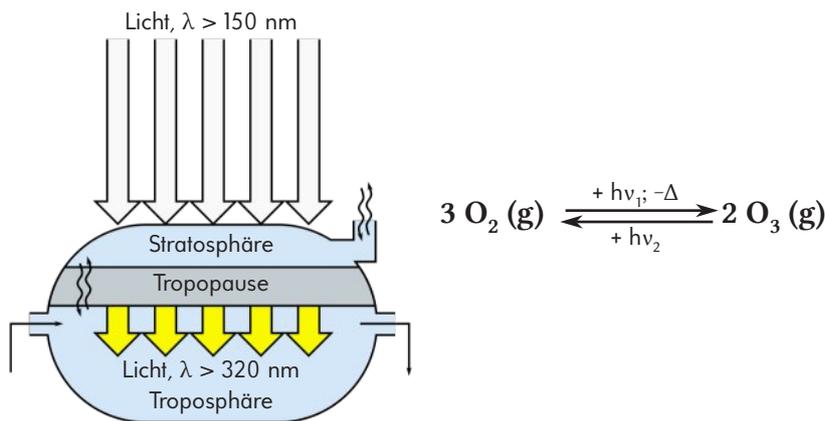


Abbildung 1: Das Zweikammer-Photoreaktor-Modell der Atmosphäre und photostationäres Gleichgewicht zwischen Sauerstoff und Ozon in der Stratosphäre.

A 2.1 Erklären Sie Ihre Beobachtung aus V 2.1.

A 2.2 Erläutern Sie, in welchem Bereich der Atmosphäre Prozesse analog zu denen im Reaktor aus V 1.1 ablaufen.

Ozon und Photosmog

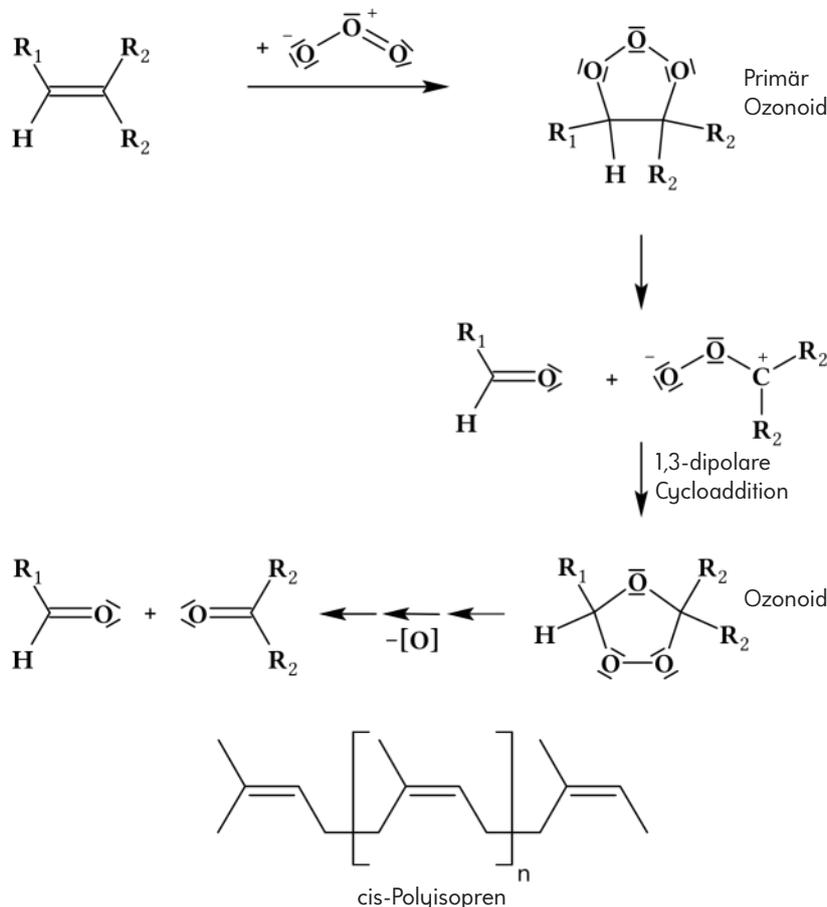
A 2.3 Analysieren Sie, ob in der Atmosphäre ebenfalls Prozesse ablaufen, die analog zu Ihren Beobachtungen in V 2.1 sind.

A 2.4 In V 1 haben Sie auch Ozon nachgewiesen. Tabelle 1 gibt eine Aufstellung verschiedener Stoffe mit einigen Nachweisreagenzien und -methoden wieder. Kennzeichnen Sie die für Ozon spezifischen und unspezifischen Nachweise.

	KI/Stärke-Lösung	Safranin T-Lösung	Absorption von UV-Strahlung (254 nm)
Sauerstoff	keine Verfärbung	keine Lumineszenz	nein
Ozon	Blaufärbung	rote Lumineszenz	ja
Bromwasser	Blaufärbung	keine Lumineszenz	nein

■ **Tabelle 1:** Reaktionen von Sauerstoff, Ozon und Bromwasser auf verschiedene Nachweisreagenzien und Bestrahlung mit UV-Licht.

A 3.1 Abbildung 2 gibt allgemein eine Reaktion wieder, die als "Ozonolyse" ("lyein" (griech.) = lösen) bezeichnet wird. Erklären Sie in eigenen Worten, was allgemein bei einer Ozonolyse geschieht.



■ **Abbildung 2:** Allgemeine Darstellung einer Ozonolyse

■ R: organische Restgruppen.

■ **Abbildung 3:** cis-Polyisopren Moleküle wie das cis-Polyisopren sind die Hauptbestandteile von Gummi.

Ozon und Photosmog

A 3.2 Die Gummihülle des Luftballons in V 3.1 kann als Modell für die menschliche Schleimhaut angesehen werden. Erläutern Sie die Einwirkung von Ozon auf die Gummihülle. Beziehen Sie in Ihre Erläuterung auch die Informationen aus den Abbildungen 2 und 3 mit ein.

Leiten Sie dann aus Ihren Überlegungen die Konsequenzen der Einwirkung von Ozon auf die menschliche Schleimhaut ab.

A 4.1 Erklären Sie den Einfluss des eingespritzten Dichlormethans (ein CKW) auf das Ozon. Leiten Sie daraus Konsequenzen der Emission von (F)CKW in die Atmosphäre ab.

A 4.2 Erläutern Sie, was man unter dem "Ozonloch" versteht und welche Konsequenzen sich daraus für das Leben auf der Erde ergeben.

A 4.3 Besonders im Sommer kommt es zur Bildung von „Photosmog“. Erläutern Sie diesen Begriff anhand Ihrer Versuchsbeobachtungen und Antworten zu den Aufgaben A 1.1, A 1.2, A 3.1 und A 4.2.

Einfluss von Ethen auf Ozon



■ Versuchsdurchführung (Optional)



ABZUG

V 5.1 IM ABZUG!!!

Erzeugen Sie in der Apparatur Ozon und schalten Sie die UV-Lampe aus. Entnehmen Sie mit der Kanüle einer Spritze ca. 10 mL *Ethen* und injizieren Sie das Gas durch die Gummidichtung in die Ozon-Sauerstoff-Atmosphäre des Reaktors. Lassen Sie das Gasgemisch in Pulsen auf den leuchtenden Fluoreszenzschirm strömen und beobachten Sie.

■ Auswertung

A 5.1 Erklären Sie den Einfluss des Ozons auf das eingespritzte Ethen. Stellen Sie Bezüge zu vorhergehenden Versuchen her.



Photochemie

Block 3

Photochemischer Abbau von Blattpigmenten

Photochemischer Abbau von Blattpigmenten

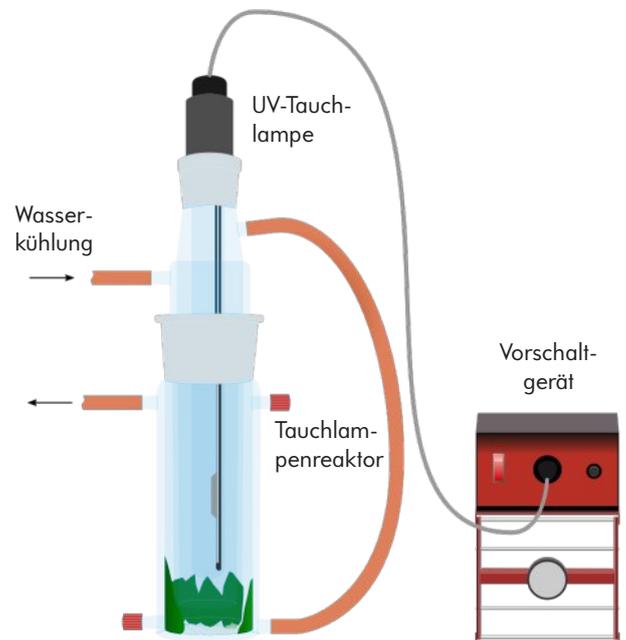
Arbeitsmaterialien

wassergekühlter UV-Tauchlampenreaktor, Alufolie (zum Abdecken des UV-Reaktors), Raschig-Ringe, Mörser mit Pistill, Quarzsand, Schere, Messer, Filterpapier, 50-mL- und 100-mL-Bechergläser, Dünnschichtchromatographie-Alufolien mit Kieselgel beschichtet, Kapillarröhrchen, DC-Kammer mit Deckel, Blattgrün (frisches Gras, Efeublätter, Eichenblätter, o.ä.), Messzylinder (10 mL), UV-Taschenlampe

Chemikalien

Tetrachlorethen, Aceton, Laufmittel-Gemisch (Petrolether (Siedebereich 30 – 50 °C), Petroleumbenzin (Siedebereich 100 – 140 °C), 2-Propanol)

Versuchsskizze



Versuchsdurchführung



ABZUG

V 1.1 IM ABZUG!!!

Beschicken Sie den Tauchlampenreaktor mit 2 mL Tetrachlorethen, Raschig-Ringen (ca. 2 cm hoch) und Blättern. Setzen Sie nun die Lampe ein. Schalten Sie bei eingestellter Wasserkühlung (zwischendurch kontrollieren!) die Lampe ein. Decken Sie den Reaktor mit Alu-Folie ab und bestrahlen Sie 20 – 30 Minuten lang mit der Tauchlampe.

- V 1.2 Während die Bestrahlung durchgeführt wird, extrahieren Sie das Blattgrün aus unbestrahlten Grashalmen bzw. Blättern (gleiche Sorte wie im Tauchlampenreaktor). Verreiben Sie dazu kleingeschnittene Blätter im Mörser mit etwas reinem Quarzsand und wenig Aceton. Verwenden Sie möglichst wenig Aceton, so dass eine tiefgrüne Lösung entsteht. Dekantieren Sie diese Blattgrün-Lösung vom Sand ab und bewahren Sie die Lösung im Dunkeln auf bis die Bestrahlung der Blätter (V 1.1) abgeschlossen ist.

Hinweis: Führen Sie, während Sie auf das Ende der Bestrahlung warten, die Versuche, die zu V 2 gehören, durch.

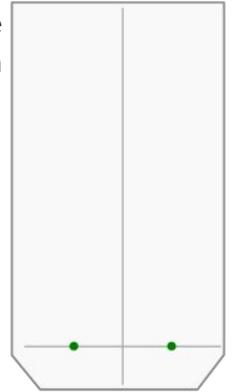
- V 1.3 Entnehmen Sie nach der Bestrahlungsdauer die Blätter aus dem Reaktor und extrahieren Sie das Blattgrün, wie in Versuchsteil V 1.2 beschrieben, aus den bestrahlten Blättern.

Photochemischer Abbau von Blattpigmenten

- V 1.4 Teilen Sie für das Dünnschichtchromatogramm eine kieselgelbeschichtete DC-Folie in zwei Bahnen und zeichnen Sie auf diese mit einem weichen Bleistift eine Startlinie (ca. 1,5 cm vom unteren Rand).

Geben Sie mit einer Kapillare die Blattgrün-Lösung aus V 1.2 als Startfleck auf die Startlinie der ersten Bahn. Verfahren Sie mit der Blattgrün-Lösung der bestrahlten Blätter analog (vgl Skizze rechts).

Stellen Sie anschließend die DC-Folie in eine DC-Kammer mit einem Laufmittel aus Petrolether, Petroleumbenzin und 2-Propanol im Volumenverhältnis 5:5:1.



- V 1.5 Betrachten Sie Ihre Chromatogramme im Dunkelraum unter einer UV-Handlampe. Beschreiben Sie Ihre Beobachtungen bezüglich der Chlorophylle. Beobachten Sie auch die Blattgrünlösung im UV-Licht und beziehen Sie Ihre Beobachtungen aus V 2 mit ein.

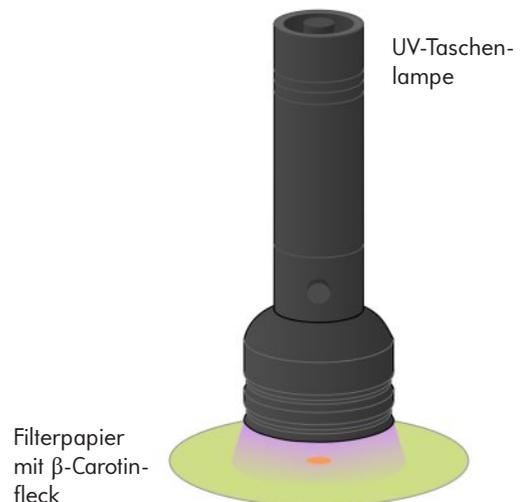
Arbeitsmaterialien

UV-Taschenlampe, Rundfilter, zwei Pipetten

Chemikalien

Kürbiskernöl, Aceton, Lösung aus β -Carotin in Heptan

Versuchsskizze



Versuchsdurchführung

- V 2.1 Geben Sie in ein Schnappdeckelglas etwa 1 mL Kürbiskernöl und geben Sie das gleiche Volumen Aceton hinzu. Verschließen Sie das Schnappdeckelglas und schütteln Sie das Gemisch, bis sich ein homogenes Gemisch ergibt.

Tränken Sie einen Rundfilter mit der so hergestellten Lösung indem Sie mit einer Pipette Tropfen der Lösung auf das Filterpapier geben, bis dieses grün gefärbt ist und legen Sie das Filterpapier anschließend zwischen zwei Zellstofftücher.

Photochemischer Abbau von Blattpigmenten

- V 2.2 Betrachten Sie das Filterpapier im Dunkeln im Licht der UV-Taschenlampe.
- V 2.3 Geben Sie einen Tropfen der vorbereiteten β -Carotin-Lösung (in Heptan) mithilfe einer Pipette auf die Mitte des Filterpapiers. Lassen Sie es kurz trocknen und betrachten Sie das Filterpapier erneut im UV-Licht der Taschenlampe.
- V 2.4 Stellen Sie die UV-Taschenlampe eingeschaltet auf das Filterpapier und bestrahlen Sie den Fleck sowie einen Teil des umliegenden Gebiets für 15 Minuten. Betrachten Sie das Filterpapier abermals im Licht der UV-Taschenlampe. Vergleichen Sie ihre Beobachtungen vor und nach dem Bestrahlen.

Auswertung

- A 1.1 Vergleichen Sie die bestrahlten und die unbestrahlten Blätter.
- A 1.2 Vergleichen Sie die Dünnschichtchromatogramme der Extrakte, die aus den bestrahlten und den unbestrahlten Blättern gewonnen wurden.
- A 1.3 Ordnen Sie mithilfe von Abb. 1 den Banden Ihrer Chromatogramme die Bestandteile der chromatographierten Bestandteile zu.

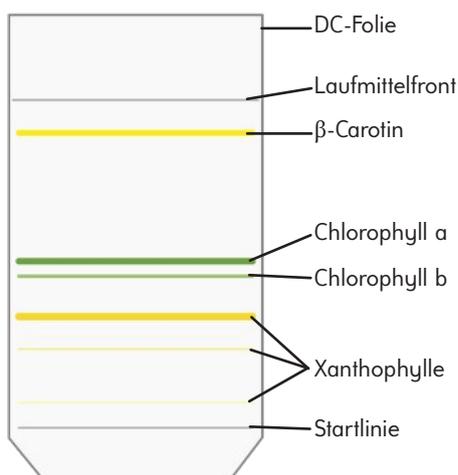


Abbildung 1: Banden im Chromatogramm eines Blattgrün-Extrakts.

- A 1.4 Erklären Sie kurz die Methode der Chromatographie. Verwenden Sie dabei die folgenden Fachbegriffe: *mobile Phase*, *stationäre Phase*, *Laufmittel*, *polar*, *unpolar*, *Trennverfahren*.

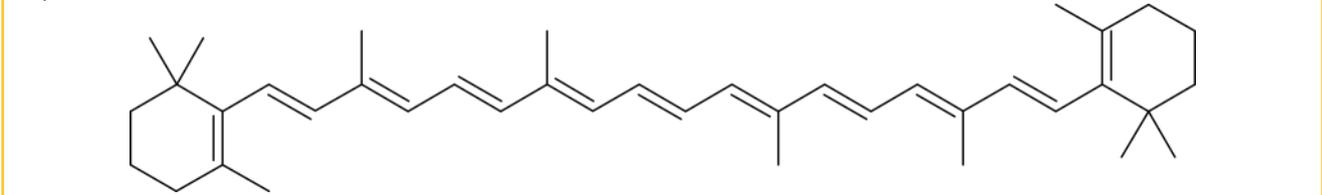
Photochemischer Abbau von Blattpigmenten

- A 1.6 Erläutern Sie, warum die Bande von β -Carotin am weitesten von der Startlinie entfernt ist (vgl. auch die Strukturformel). *Hinweis:* Das Laufmittel ist überwiegend unpolar.
- A 1.7 Beurteilen Sie anhand Ihrer Ergebnisse den Einfluss des Zusammenwirkens von UV-Strahlung und Chlorkohlenwasserstoffen (Tetrachlorethen ist ein Vertreter dieser Stoffklasse) auf Pflanzen.
- A 1.8 Zeichnen Sie die Valenzstrichformel von Tetrachlorethen. Stellen Sie Vermutungen an, welche chemische Reaktion während der Bestrahlung im Tauchlampenreaktor abläuft. Nehmen Sie Tab. 1 zu Hilfe.

Bindung	Bindungsenthalpie (kJ · mol ⁻¹)
C – C	348
C = C	611
C – H	435
C – Cl	352

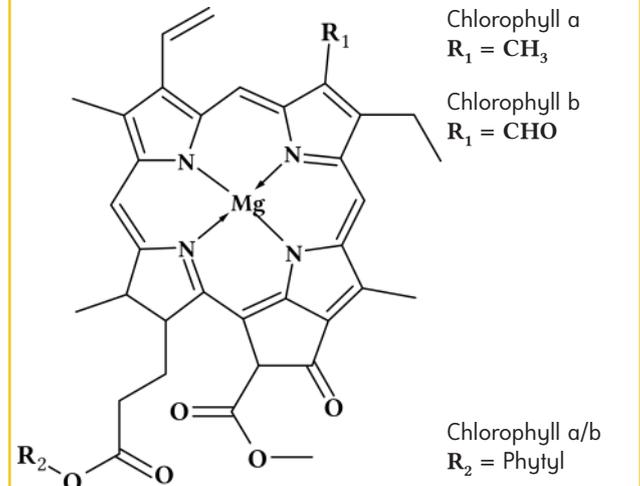
■ **Tabelle 1:** Bindungsenthalpien verschiedener kovalenter Bindungen.

■ **β -Carotin**



- A 2.1 Schließen Sie aus Ihren Beobachtungen in beiden Versuchen, welche Rolle das β -Carotin in den Blättern der Pflanzen unter anderem einnehmen könnte.
- A 2.2 Erklären Sie, warum die Zerstörung von β -Carotin und Chlorophyll besonders dramatische Folgen für die Umwelt hat.

■ **Chlorophyll**



Photochemischer Abbau von Blattpigmenten



- A 3.1 Vergleichen Sie die Molekülstrukturen von β -Carotin und Chlorophyll.
- A 3.2 Stellen Sie einen Zusammenhang zwischen der Molekülstruktur von β -Carotin und Chlorophyll und den Beobachtungen bei der Chromatographie her.
- A 3.3 Durch chemische Reaktionen der Farbstoffe wird die Molekülstruktur von β -Carotin und Chlorophyll verändert. Erklären Sie den Zusammenhang zwischen der veränderten Molekülstruktur und dem Verschwinden/Verblässen der Banden im Chromatogramm der bestrahlten Blätter.
- A 3.4 Die Bestrahlung im Tauchlampenreaktor soll die Bedingungen in der Atmosphäre simulieren. In einem solchen Modellversuch werden nicht alle Parameter wie in der Realität berücksichtigt. Vergleichen Sie die Reaktionsbedingungen im Tauchlampenreaktor mit den Bedingungen in der Atmosphäre.



Photochemie

Block 4

Optische Datenspeicher auf Basis molekularer Schalter

Optische Datenspeicher auf Basis molekularer Schalter

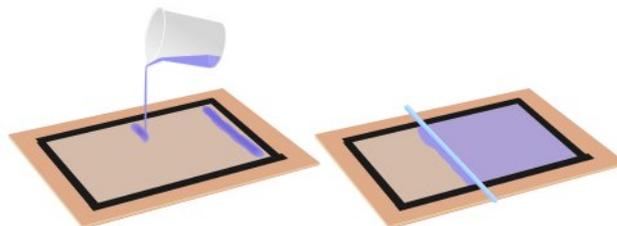
Arbeitsmaterialien

hitzebeständige Kopierfolie, Gewebeklebeband, Unterlage, Spatel, Pipette, Plastikbecher, Glasstäbe, Schere, Laminierfolie, Laminiergerät

Chemikalien

Xylol, Spiropyran, Styropor

Versuchsskizze



Versuchsdurchführung

- V 1.1 In einem Plastikbecher werden 15 mL Xylol vorgelegt, darin werden ca. 3,5 – 4 g Styropor und 50 mg Spiropyran gelöst. Die zähflüssige Masse wird während des nächsten Schritts im Dunkeln aufbewahrt, so dass möglichst viele Gasblasen entweichen können.

Eine Kopierfolie der Größe Din A5 wird mit Gewebeklebeband so auf eine Pappunterlage geklebt, dass alle Seiten mit Gewebeklebeband abgeschlossen sind. Eine zweite Folie wird ebenfalls auf diese Art und Weise hergestellt.

Etwa ein Viertel der Masse wird als fingerbreiter Strich an das obere Ende der einen Folie gegossen, das zweite Viertel als Strich parallel dazu in der Mitte.

Ein Glasstab wird oberhalb der Masse auf das Klebeband gelegt und die Masse wird durch gleichmäßiges Ziehen nach unten großflächig über die Folie verteilt, so dass möglichst alle Bereiche der Folie mit der Masse bedeckt sind.

Die so hergestellte Folie wird unter den Abzug zum Trocknen gelegt.

Mit dem Rest der Masse und der zweiten Folie wird analog verfahren.

Nach etwa 30 Minuten, wenn die Folien getrocknet sind, wird mit V 1.2 fortgefahren.

Hinweis: Führen Sie während der Wartezeit die Versuche, die zu V 2 gehören, durch.

- V 1.2 Nachdem die Folie gut durchgetrocknet ist (dies kann durch Eindrücken mit einem Glasstab an den dickeren Stellen getestet werden), wird die Folie von der Unterlage entfernt. Die Kleberänder werden mit einer Schere abgeschnitten, und die Folie kann halbiert werden.

Die Folie wird zusammen mit der zweiten, die genau so hergestellt und bearbeitet wurde, in eine Din-A4-Laminieretasche gelegt und einlaminiert. Mit den Folien werden die unter V 3 aufgeführten Versuche durchgeführt.



ABZUG

Optische Datenspeicher auf Basis molekularer Schalter

Arbeitsmaterialien

verschraubbare Reagenzgläser, Reagenzglasständer, Spatel, 2 Bechergläser, Eiswasser, heißes Wasser, Thermometer, Alufolie, 3 Mehrfarben-LED-Taschenlampen

Chemikalien

Xylol, Spiropyran

Versuchsskizze



Versuchsdurchführung

- V 2.1 Vorbereitung: Ca. 30 mg Spiropyran werden in 5 mL Xylol gelöst. Die Lösung wird anschließend auf drei verschließbare Reagenzgläser verteilt.
- V 2.2 Die LED-Taschenlampe wird auf UV-Licht eingestellt. Ein Reagenzglas mit der farblosen bis schwachgelben Lösung wird fünf Sekunden lang direkt vor die eingeschaltete LED-Taschenlampe gehalten. Die Farbe der Lösung wird beobachtet. Anschließend wird das Reagenzglas mit der Lösung ins Halbdunkel gestellt (keiner direkten Lichteinstrahlung ausgesetzt) und die Farbveränderungen innerhalb weniger Minuten werden beobachtet. Die Arbeitszyklen werden mehrmals wiederholt.
- V 2.3 Die LED-Taschenlampe wird auf verschiedene Farben eingestellt und die Spiropyran-Lösung wird mit diesen bestrahlt. Dabei wird festgestellt, welche Lichtfarben die Lösung ver- bzw. entfärben.
- V 2.4 Eine Spiropyran-Lösung wird in einem Eis-Wasser-Bad auf ca. 0° C abgekühlt, eine weitere in heißem Wasser erwärmt. Die temperierten Lösungen werden parallel 5 s lang mit dem UV-Licht der LED-Taschenlampen bestrahlt. Die Lösungen werden anschließend sofort ins Dunkel gestellt (die gekühlte Probe im Eis-Wasser, die warme Probe im heißen Wasser) und nach 20 s, 40 s usw. werden die Farben der Lösungen verglichen.

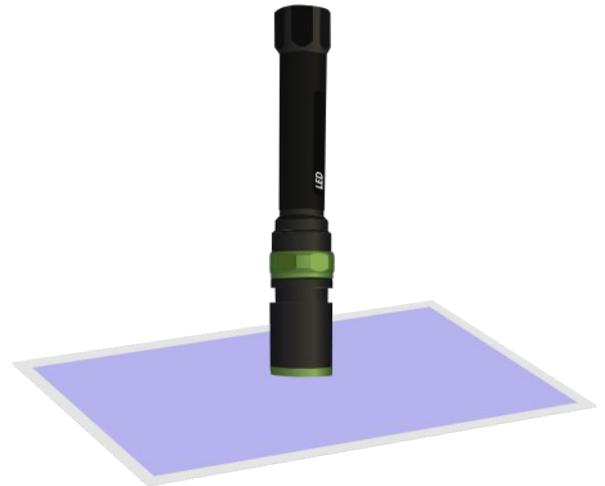
	Probe bei ca. 0 °C	Probe bei ca. 20 °C	Probe bei ca. 60 °C
Farbe nach 5s Bestrahlung mit UV-Licht			
Dauer bis zur Entfärbung			

Optische Datenspeicher auf Basis molekularer Schalter

Arbeitsmaterialien

Mehrfarben-LED-Taschenlampe, 250-mL-Becherglas, 400-mL-Bechergläser, Eiswasser, heißes Wasser, Spiropyran-Polystyrol-Folie (aus VI)

Versuchsskizze



Versuchsdurchführung

- V 3.1 Die Mehrfarben-LED-Taschenlampe wird auf UV-Licht (395 – 405 nm) eingestellt. Die farblose Folie wird mit dem Licht der UV-LED bestrahlt. Anschließend wird die Folie im Dunkeln gehalten und die Farbänderungen werden über die Zeit beobachtet.
- V 3.2 Zwei farblose Folien werden mit Sonnenlicht bestrahlt oder mithilfe der UV-Taschenlampen „mit Informationen beschrieben“. Eine Folie wird in heißes Wasser, die andere in Eis-Wasser getaucht. Die Bechergläser sollen dabei möglichst im Halbdunkel (nicht direkter Lichteinstrahlung ausgesetzt) stehen. Die Farbänderungen werden über die Zeit verfolgt.

	Probe bei ca. 0 °C	Probe bei ca. 20 °C	Probe bei ca. 60 °C
Farbe nach 5s Bestrahlung mit UV-Licht			
Dauer bis zur Entfärbung			

- V 3.3 Eine farblose Folie wird mit dem Licht der kaltweißen LED der Mehrfach-LED-Taschenlampe betrachtet. Anschließend wird eine Fläche von 5 cm x 5 cm intensiv mit der UV-LED bestrahlt. Ein Teil dieser Fläche wird dann für ca. 10 Sekunden mit der kaltweißen LED bestrahlt.

Optische Datenspeicher auf Basis molekularer Schalter

Auswertung

A 1.1 Ordnen Sie die beobachteten Färbungen der Lösung aus V 2 vor und nach der Bestrahlung mit Licht den beiden Isomeren des Spiropyran-Farbstoffes (siehe Abb. 1) zu und notieren Sie die Farben in dem von Ihnen untersuchten Experiment.

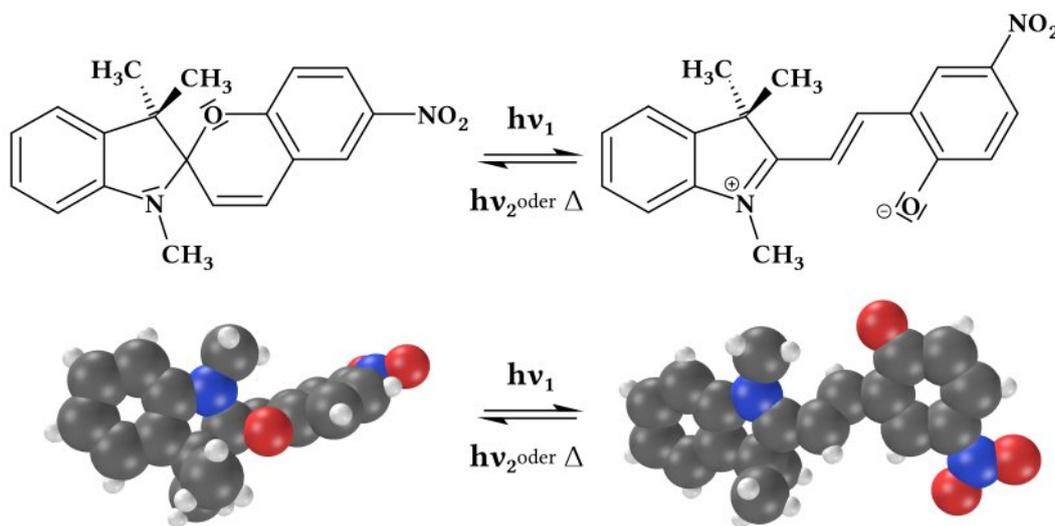


Abbildung 1: Gleichgewicht von Spiropyran und Merocyan in Struktursymbolen (oben) und im Kalottenmodell (unten).

A 1.2 Erläutern Sie, wodurch sich die Strukturen von Merocyanin und Spiropyran unterscheiden. Überprüfen Sie mithilfe des Elektronenpaar-Abstoßungs-Modells (oder des Orbital-Modells), welches der Moleküle planar ist. Identifizieren Sie gegebenenfalls die Atome, an denen die Substituenten nicht in einer Ebene liegen und begründen Sie, warum das der Fall ist. (Hinweis: Nutzen Sie zur Veranschaulichung auch die Einheit zu den Molekülmodellen in der Flash-Animation).

A 1.3 Geben Sie die Summenformeln von Spiropyran und Merocyanin an und benennen Sie anschließend die Beziehung zwischen den Molekülen Spiropyran und Merocyanin.

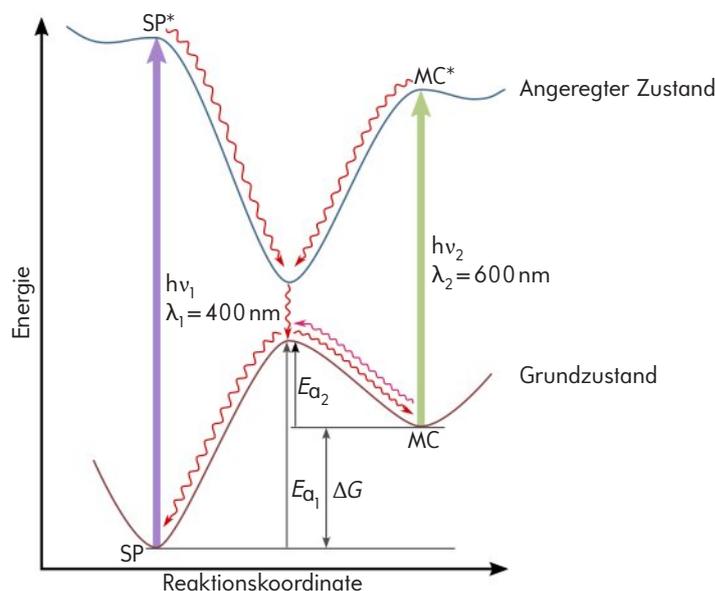


Abbildung 2: Energiediagramm zu dem System von Spiropyran SP und Merocyanin MC (beides in Xylol gelöst).

Optische Datenspeicher auf Basis molekularer Schalter

A 2.1 In dem Energiediagramm in Abb. 2 sind die Reaktionswege für die photochemische Reaktion und die thermische Reaktion zwischen Spiropyran und Merocyanin dargestellt. Ordnen Sie in der nachfolgenden Tabelle zu, welche Reaktionswege bei den verschiedenen Versuchsschritten ablaufen.

Versuchsschritt	Reaktionsweg(e) der photochemischen Reaktion	Reaktionsweg(e) der thermischen Reaktion

A 2.2 Thermische Reaktionen haben eine positive Aktivierungsenergie, ihre Geschwindigkeit steigt mit der Temperatur. Gilt dies auch für photochemische Reaktionen? Begründen Sie Ihre Antwort mithilfe der Ergebnisse aus Ihren Versuchen.

A 2.3 Vergleichen Sie das photochrome und thermochrome Verhalten von Spiropyran in Xylol und in der Polystyrol-Matrix.

A 3.1 Zeigen Sie zu den Teilversuchen auf, welche Anforderung an optische Datenspeicher mit dem Versuch gezeigt werden können bzw. wo die Grenzen der Verwendbarkeit als optischer Datenspeicher erreicht werden.

Kontext „Optischer Datenspeicher“	Experiment
Schreiben in binärer Codierung	
Langzeitstabilität der gespeicherten Daten	
Löschen einzelner Daten	
Überschreiben einzelner Daten	
Formatieren des gesamten Datenspeichers	

A 3.2 Bewerten Sie die Verwendbarkeit des molekularen Schalters Spiropyran in der Polystyrol-Matrix als optischen Datenspeicher und begründen Sie Ihre Bewertung.