

Photo-Mol  
Chemie-Didaktik

HEDINGER

### Photonen und Moleküle

# PHOTO-MOL

Fluoreszenz  
Phosphoreszenz  
Photochromie  
Solvatochromie

Chemisches Gleichgewicht  
Photostationärer Zustand  
Molekulare Schalter  
Intelligente Materialien

Photo-Mol  
Chemie-Didaktik

## Photo-Mol

Fluoreszenz, Phosphoreszenz  
Schwätschmied, Photochromie  
Photostationäre Gleichgewichte  
Molekulare Schalter

Herausgegeben von M. W. Tausch  
Bearbeitet von M. W. Tausch und N. Weiler  
Mit Beiträgen von N. Mauten, S. Kraus, S. Salmann,  
M. Gressen, R.-P. Schmitz und F. Gärtner

Entwicklungs-  
gefördert durch



Photo-Mol  
Chemie-Didaktik

## Experimente

in Überblick

**Photolumineszenz (Fluoreszenz und Phosphoreszenz)**  
E1: Herstellung einer Photolumineszenz-Probe aus Weinsäure und Esculin  
E2: Herstellung einer Photolumineszenz-Probe aus Weinsäure und Fluorescein  
E3: Einfluss der Temperatur auf die Fluoreszenz und Phosphoreszenz  
E4: Photolumineszenz von Alltagsprodukten (Farbstoffe aus Textilmarkern)

**Photochromie, Solvatochromie, Photostationarität**  
E5: Herstellung einer „intelligenten“ Folie aus Polystyrol und Spiropyran  
E6: Molekularer Schalter Spirocyanin/Merocyanin in der „intelligenten“ Folie  
E7: Solvatochromie und Photochromie von Spiropyran/Merocyanin in Lösung  
E8: Photostationarität vs. chemisches Gleichgewicht bei Spiropyran/Merocyanin

Photo-Mol  
Chemie-Didaktik

## Experimente

Photolumineszenz  
Fluoreszenz und Phosphoreszenz

Photo-Mol  
Chemie-Didaktik

## E1: Herstellung der Photolumineszenz-Probe

aus Weinsäure und Esculin



Photo-Mol  
Chemie-Didaktik

## E2: Herstellung der Photolumineszenz-Probe

aus Weinsäure und Fluorescein

Stellen Sie sich nach dem gleichen Verfahren wie in E1 eine Photolumineszenz-Probe aus Weinsäure und Fluorescein her. Der einzige Unterschied ist, dass Sie jetzt nur ca. 1 mg Fluorescein für die gleiche Menge von 5 g Weinsäure benötigen. Das nebenstehende Bild zeigt Ihnen, wie Sie das 2 mg Fluorescein abschätzen können, sodass es für den Versuch passt. Tester Sie die Fluoreszenz und die Phosphoreszenz der erhaltenen Probe bei Raumtemperatur.

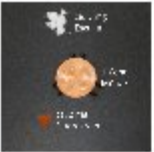


Photo-Mol  
Chemie-Didaktik

## E3: Einfluss der Temperatur

auf die Photolumineszenz der Probe aus Weinsäure und Esculin bzw. Weinsäure und Fluorescein

Untersuchen Sie, ob und wie sich die Farbe und die Dauer der Lichtemission verändern und zwar:

- während der Bestrahlung der Probe mit UV-Licht ( $\lambda = 365 \text{ nm}$ ) aus einer LED-Taschenlampe und
- danach, als unmittelbar nach dem Ausschalten der Lampe.

Vergleichen Sie dafür drei Proben:

- bei ca. 30 °C (Erwärmen in heißem Wasser)
- bei Raumtemperatur (nach Abschließen auf RT) und
- bei ca. 0 °C (weiter kühlen im kalten Wasserbad)

Führen Sie die Untersuchungen aus E3 auch mit der Probe aus Weinsäure und Fluorescein durch.



Photo-Mol  
Chemie-Didaktik

## E4: Fluoreszenz von Alltagsprodukten

Drei Filterpapiere wurden mit Textilmarkern gefärbt und bei Tageslicht sowie unter UV-Licht fotografiert. Danach wurde jedes der drei Papiere ca. 2 Minuten lang in Wasser eingetaucht, herausgenommen und vor das jeweilige Reineglas gelegt. Das Ergebnis wurde belichtet und unter UV-Licht jeweils in einem Fotoapparat abgebildet. Die gelben und das grüne Textilmarker enthalten das Fluoreszenzfarbstoff Pyranin, der orange-rot leuchtend ist. Fluorophor-Rubren. Geben Sie an, wodurch deutlich wird, dass die chemischen Fluorophore unterschiedlich gut in Wasser löslich sind und erklären Sie die unterschiedliche Löslichkeit mithilfe der Molekülstruktur der beiden Fluorophore.



Photo-Mol  
Chemie-Didaktik

## Theoretische Modelle

zur Photolumineszenz  
Fluoreszenz und Phosphoreszenz

Photo-Mol  
Chemie-Didaktik

## Das Energiestufenmodell

Ein Schlüsselkonzept in der Chemie

Paradigma: Atome und molekulare Systeme können außer im elektronischen Grundzustand in elektronisch angeregten Zuständen existieren.

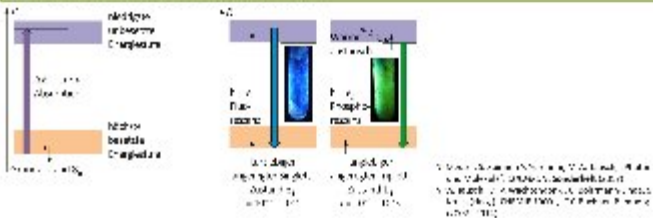
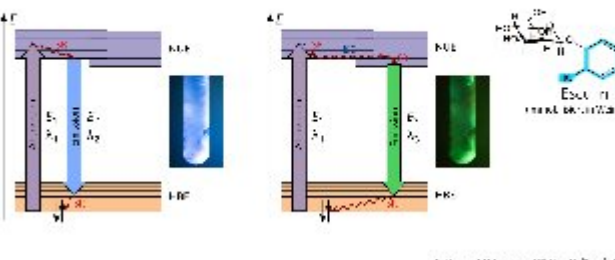


Photo-Mol  
Chemie-Didaktik

## Fluoreszenz und Phosphoreszenz



Esculin  
Weinsäure-Esculin-Konjugat

Photo-Mol  
Chemie-Didaktik

## Strukturelle Merkmale

für Photochromie

Chlorophyll: Fluoreszenz

$\beta$ -Carotin: keine Fluoreszenz

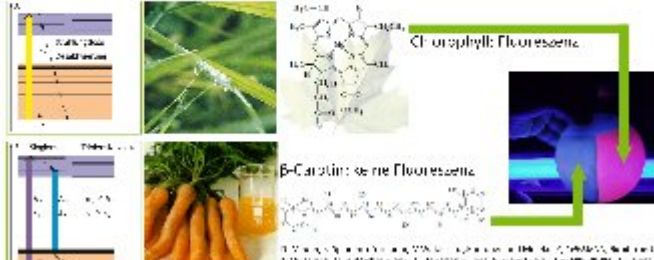


Photo-Mol  
Chemie-Didaktik

## Aufwärtskonvertierung von Photonen

Photostationarität: (EHPH) (H) Akzeptor: UVA

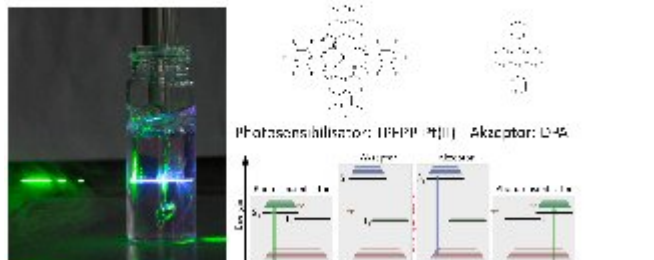


Photo-Mol  
Chemie-Didaktik

## Photolumineszenz

in Lehtminen

Photolumineszenz-Farbe durch Lichtemission

Unterground-Fauna: Ab- und Aufwärtskonvertierung von Photonen



Photo-Mol  
Chemie-Didaktik

## Experimente

Photochromie, Solvatochromie, Photostationarität  
Molekularer Schalter  
Photochromie  
Solvatochromie  
Photostationarität

Photo-Mol  
Chemie-Didaktik

## E5: Herstellung der „intelligenten“ Folie

Die „intelligenten“ Folie wird in 4 Schritten hergestellt:

- UV ( $\lambda = 365 \text{ nm}$ ), b) violett ( $\lambda = 400 \text{ nm}$ ), c) grün ( $\lambda = 530 \text{ nm}$ ) und d) rot ( $\lambda = 630 \text{ nm}$ ) Licht aus einer LED-Taschenlampe untersucht. Es werden jeweils die farblosen und die bereits blau gefärbten Flächen bestrahlt.



Photo-Mol  
Chemie-Didaktik

## E6: Molekularer Schalter

Spirocyanin/Merocyanin: „intelligente“ Folie




Photo-Mol  
Chemie-Didaktik

## E7: Solvatochromie und Photochromie

von Merocyanin in Lösungen

Flirge Körnchen-Spirocyanin werden in ca. 4 ml Toluol bzw. Aceton bzw. Ethanol gelöst. Durch Bestrahlung mit einer LED-Taschenlampe ( $\lambda = 365 \text{ nm}$ ) wird Merocyanin erzeugt. Es wird untersucht, ob wie schnell die Farbänderung bei:

- Raumtemperatur, b) bei 30 °C und c) bei ca. 0 °C wieder eintritt.

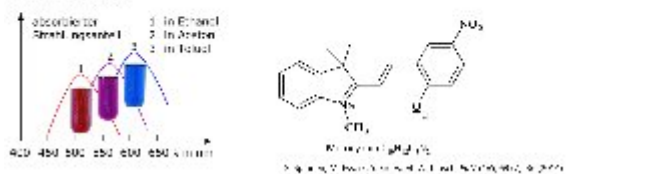


Photo-Mol  
Chemie-Didaktik

## E8: Photostationarität vs. chemisches Gleichgewicht

In Toluol (oder Xylol) gelöstes Spiropyran wird bei durch Bestrahlung mit einer LED-Taschenlampe ( $\lambda = 365 \text{ nm}$ ) bei unterschiedlichen Temperaturen (30 °C, 20 °C und 0 °C) in Merocyanin überführt. Die Dauern bei der Blaufärbung und bei der Rückfärbung ohne und bei Bestrahlung mit grünem Licht ( $\lambda = 530 \text{ nm}$ ) werden gemessen und verglichen.

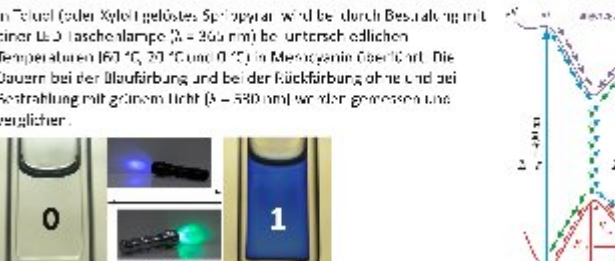


Photo-Mol  
Chemie-Didaktik

## Theoretische Modelle

Photochromie, Solvatochromie, Photostationarität  
Molekularer Schalter  
Photochromie  
Solvatochromie  
Photostationarität

### Spiropyran

ein diazisches Ionenpaar

1. Photochromie
2. Solvatochromie
3. Photo... vs. Thermo...
4. Photo... & Kation...
5. Gleichgewichte
6. Molekulare Schalter
7. Molekulare Logistik

### Solvatochromie

Die Nano-Umgebung macht's

... in Lösung

... in Feststoffe

Polare Nano-Umgebung (Kinnose-lose)

Unpolare Nano-Umgebung (Polystyrol)

### Aggregationsinduzierte Fluoreszenz

von Merocyanin - Die Nano-Umgebung macht's

### Solvatochromie

Einfluss der Nano-Umgebung auf die Lichtabsorption

### Photostationarität vs. chemisches Gleichgewicht

### Molekulare Schalter

in Wissenschaft & Didaktik

### Photoaktive Nanomaschinen

mit molekularen Schaltern

Photochemie

ein molekulares tragendes Pferd

### Nanoskopie

mit molekularen Schaltern

### Semantische Abgrenzung von Fachbegriffen

mit Photo-Mol (vgl. Didaktische Hinweise im Begleitheft)

- Wärme vs. Licht (Formen der Energiebeteiligung an Reaktionen)
- Lichtabsorption vs. Lichtemission (Ursachen von Farbgleich)
- Fluoreszenz vs. Phosphoreszenz (Leuchtarten)
- Solvatochromie vs. Photochromie (Farbunterschiede die ein Stoff in Abhängigkeit von äußeren Einflussern verursacht)
- Grundzustand vs. elektronisch angeregte Zustände (Energiezustände in Molekülen und Halbleitern)
- Elektronenzustände vs. Schwingungszustände (Energiezustände in Molekülen)
- chemisches Gleichgewicht vs. photostationäres Gleichgewicht (unterschiedliche Zustände in Stoffsystemen mit zeitlich konstanten Anteilen der Reaktionspartner)

### Photo-Mol

Curriculare Einbindung in der Chemieunterricht der Sek. I

### Curriculare Einbindung mit Photo-Mol

in der Sekundarstufe I

Teil 1: Photolumineszenz

Versuche und Arbeitsblätter für die Sek. I

- A51: Weinendes Kasperchen
- A22: Fluoreszenz in Lösung
- A49: Leuchtfarben in Alltagsgegenständen und Naturprodukten
- A24: Fluorescein bzw. Eosin in Weinsäure-Matrix

Teil 2: Photochromie

Versuch für die Sek. I und II

- Herstellung der „intelligenten Folie“ im Schülerversuch
- Versuche und Arbeitsblätter für die Sek. I
- A31: Die „intelligente Folie“ bei Sonnenlicht
- A32: Die „intelligente Folie“ im Licht aus LEDs
- A38: Die „intelligente Folie“ mit Licht fern

### Farben & Leuchtfarben

Im Anfangsunterricht (vgl. Arbeitsblätter 1-4)

Chemie, Sek. I

### Chemische Reaktion

als Stoff- & Energieumwandlung (vgl. Arbeitsblätter 1-3)

Chemie, Sek. I

### Unterrichtsdesign

mit dem Photo-Mol Koffer

Konstruktivistische Lernschleifen

### Konstruktivistische Lernschleife

Gliederung eines Unterrichtsbausteins in vier Segmente im Sinne forschend-entwickelnden Lernens

### „Von den Farben zu den Leuchtfarben“

Konstruktivistische Lernschleife für die Sekundarstufe I

### „Von den Farben zu den Leuchtfarben“

Konstruktivistische Lernschleife für die Sekundarstufe I

Versuche, Aufgaben, Inhalte im Photo-Mol Koffer

Referenzen im Begleitheft:

- M1, M2, M3, M4, M5, M6
- M7, M8, M9, M10
- M11, M12, M13, M14

2. zentrale Lerninhalte:

- Erbe als Stoffeigenschaften, abhängig vom Stoff und vom Licht
- Zusammenhang von der Sonne, Licht aus dem Spektrum (Farbe, Leuchtfarbe)
- unterschied: erbe vs. Leuchtfarbe

3. zentrale Lerninhalte:

- Leuchte bei Stoffen 2+
- Leuchte als Stoffeigenschaften
- Trennung von Stoffeigenschaften, erbe und unterschiedliche Leuchtefarben

### „Energiebeteiligung bei chemischen Reaktionen“

Konstruktivistische Lernschleife für die Sekundarstufe I

### „Energiebeteiligung bei chemischen Reaktionen“

Konstruktivistische Lernschleife für die Sekundarstufe I

Versuche, Aufgaben, Inhalte im Photo-Mol Koffer

Referenzen im Begleitheft:

- M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9, M10, M11, M12, M13, M14, M15, M16, M17, M18, M19, M20, M21, M22, M23, M24, M25, M26, M27, M28, M29, M30, M31, M32, M33, M34, M35, M36, M37, M38, M39, M40, M41, M42, M43, M44, M45, M46, M47, M48, M49, M50, M51, M52, M53, M54, M55, M56, M57, M58, M59, M60, M61, M62, M63, M64, M65, M66, M67, M68, M69, M70, M71, M72, M73, M74, M75, M76, M77, M78, M79, M80, M81, M82, M83, M84, M85, M86, M87, M88, M89, M90, M91, M92, M93, M94, M95, M96, M97, M98, M99, M100

2. zentrale Lerninhalte:

- Wärme, Licht, chemische Energie
- Leuchte als Stoffeigenschaften, abhängig vom Stoff und vom Licht
- Zusammenhang von der Sonne, Licht aus dem Spektrum (Farbe, Leuchte)
- unterschied: erbe vs. Leuchte

3. zentrale Lerninhalte:

- Leuchte bei Stoffen 2+
- Leuchte als Stoffeigenschaften
- Trennung von Stoffeigenschaften, erbe und unterschiedliche Leuchtefarben

### Photo-Mol

Curriculare Einbindung in der Chemieunterricht der Sek. II

**Curriculare Einbindung mit Photo-Mol**  
in die Sekundarstufe I

Teil 1: Photolumineszenz

Versuche und Arbeitsblätter für die Sek. II

- A95: Fluoreszenz - Vorkurs (Vorgang und bei Angabe von Anionen)
- A96: Fluoreszenz bzw. Esculin bei verschiedenen pH-Werten
- A97: Fluoreszenz bzw. Esculin in Wasser/NaOH-Mixtur
- A98: Schilddrüsen-Einstellungsspektren
- A99: Molekülstruktur - Photolumineszenz
- A100: Molekülstruktur - Photolumineszenz
- A101: Photolumineszenz-Anwendungen

**Curriculare Einbindung mit Photo-Mol**  
in die Sekundarstufe II

Teil 2: Photochromie

Versuche und Arbeitsblätter für die Sek. II

- A04: Licht - Farbe - Energie - Energiestufenmodell
- A95: Temperaturabhängigkeit der Reaktionsgeschwindigkeit bei photochemischen und chemischen Reaktionen
- A96: Photochemische Messungen - Absorptionsspektren
- A97: Photochemisches und chemisches Gleichgewicht I
- A06: Photoaktiver molekularer Schalter Spirapyran-Verzopyranin
- A99: Solvatochromie von Merocyanin
- A100: Molekulare Schalter - Anwendungen
- A411: Molekulare Schalter - Anwendungen
- A812: Ein Toss der Nano-Umgebung auf die Lichtabsorption und -emission

**Chemisches und photostationäres Gleichgewicht**  
vgl. Arbeitsblätter 7 - 8

Chemie, Sek. II

Photostationäres Gleichgewicht wird durch Lichteinstrahlung erzeugt und aufrecht erhalten  $c(D) = c(A)$

Chemisches Gleichgewicht  $c(D) \neq c(A)$

**Energetik & Kinetik chemischer Reaktionen**  
vgl. Arbeitsblätter 4 - 5

Chemie, Sek. II

Exotherme Reaktion

Endotherme Reaktion

**Photometrie Energiestufenmodell**  
vgl. Arbeitsblatt 6

Chemie, Sek. II

Energetik & Kinetik chemischer Reaktionen

**Solvatochromie, Molekulare Schalter**  
vgl. Arbeitsblätter 8 - 12

Chemie, Sek. II

Organische Chemie - Moleküle

Organische Chemie - Moleküle

**Farbe durch Lichtabsorption und -emission**  
Fragebogenmodell (vgl. Arbeitsblätter 4 - 8)

Chemie, Sek. II

Organische Chemie - Moleküle

Organische Chemie - Moleküle

**Relation: Struktur - Farbe - Lumineszenz**  
vgl. Arbeitsblätter 9 - 10

Chemie, Sek. II

Organische Chemie - Moleküle

Organische Chemie - Moleküle

**Unterrichtsdesign**  
mit dem Photo-Mol Koffer

Sekundarstufe II

**Stationenlernen**

**Stationen, Sekundarstufe II**

Mit dem Photo-Mol Koffer können die folgenden 6 Stationen tolls gemacht aufgebaut werden:

Station 1: 1 x 1  
Station 2: 4 x 2  
Station 3: 1 x 1  
Station 4: 4 x 1  
Station 5: 1 x 1  
Station 6: 1 x 2

**Stationen im Rotationsmodus**  
Sekundarstufe I

Alle Lernenden durchlaufen und bearbeiten alle Stationen

Station 1  
Station 2  
Station 3  
Station 4  
Station 5  
Station 6

**Stationen im Expertenmodus**  
Sekundarstufe I

Jeweils eine Gruppe Lernender bildet sich an einer Station zu „Experten“ aus und präsentiert anschließend ihre Experimente und Erkenntnisse der gesamten Lerngruppe

Station 1  
Station 2  
Station 3  
Station 4  
Station 5  
Station 6

**Lerninhalte an den Stationen**  
Sekundarstufe I

Station	Versuche, Aufgaben, Inhalte im Photo-Mol Koffer
Station 2	<p>Referenzen im Begleitheft:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• VL 5, 23-25 und 5, 15-22</li> <li>• VL 5, 33</li> </ul> <p>Zusätzliche Inhalte:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Herstellung eines intelligenten molekularen photochemischen molekularen Schalter</li> <li>• Photochemie und Anwendungen</li> <li>• Relation Struktur-Farbe</li> <li>• Relation Struktur-Lumineszenz</li> </ul>
Station 3	<p>Referenzen im Begleitheft:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• VL 6, 1, 2, 4, 5, 32-33 + VL 5, 24-35</li> <li>• 1. und 2. Ammonium - Photostationäres Gleichgewicht auf dem USB-Stück im Koffer</li> </ul> <p>Zusätzliche Inhalte:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Energetik und Kinetik chemischer und photochemischer Reaktionen</li> <li>• Chemisches und photostationäres Gleichgewicht</li> </ul>

**Lerninhalte an den Stationen**  
Sekundarstufe I

Station	Versuche, Aufgaben, Inhalte im Photo-Mol Koffer
Station 1	<p>Referenzen im Begleitheft:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• VL 5, 28-29</li> <li>• VL 5, 31</li> <li>• VL 5, 34, 35</li> </ul> <p>Zusätzliche Inhalte:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Energetik und Kinetik chemischer und photochemischer Reaktionen</li> <li>• Photochemie, Isomerisierungen</li> <li>• Energetik und Kinetik chemischer und photochemischer Reaktionen</li> <li>• Spektralanalyse und Quantifizierung von Energie, Emission, Energieaufnahme</li> </ul>
Station 6	<p>Referenzen im Begleitheft:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• alle Versuche und Aufgaben 4, 5, 4-16 und 5, 17-27</li> <li>• 1. und 2. Ammonium - Photostationäres Gleichgewicht auf dem USB-Stück im Koffer</li> </ul> <p>Zusätzliche Inhalte:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fotobleichung durch Lichtabsorption und -emission und ihre Anwendungen</li> <li>• Photochemie, Absorptionsspektren</li> <li>• Solvatochromie, Photochromie</li> <li>• Energiestufenmodell, Reaktionsschritte</li> <li>• Relation Struktur-Farbe</li> </ul>



## Photonen und Moleküle

# PHOTO – MOL

Fluoreszenz  
Phosphoreszenz  
Photochromie  
Solvatochromie

Chemisches Gleichgewicht  
Photostationärer Zustand  
Molekulare Schalter  
Intelligente Materialien

# Photo-Mol



Fluoreszenz, Phosphoreszenz  
Solvatochromie, Photochromie  
Photostationäre Gleichgewichte  
Molekulare Schalter

Herausgegeben von M. W. Tausch  
Bearbeitet von M. W. Tausch und N. Meuter  
Mit Beiträgen von N. Meuter, S. Krees, S. Spinnen,  
M. Driessen, R.-P. Schmitz und F. Gärtner

Entwicklung  
gefördert durch:



# Experimente

im Überblick

## **Photolumineszenz (Fluoreszenz und Phosphoreszenz)**

E1: Herstellung einer Photolumineszenz-Probe Weinsäure und Esculin

E2: Herstellung einer Photolumineszenz-Probe aus Weinsäure und Fluoreszein

E3: Einfluss der Temperatur auf die Fluoreszenz und Phosphoreszenz

E4: Photolumineszenz von Alltagsprodukten (Farbstoffe aus Textmarkern)

## **Photochromie, Solvatochromie, Photostationarität**

E5: Herstellung einer „intelligenten“ Folie aus Polystyrol und Spiropyran

E6: Molekularer Schalter Spiropyran/Merocyanin in der „intelligenten“ Folie

E7: Solvatochromie und Photochromie von Spiropyran/Merocyanin in Lösungen

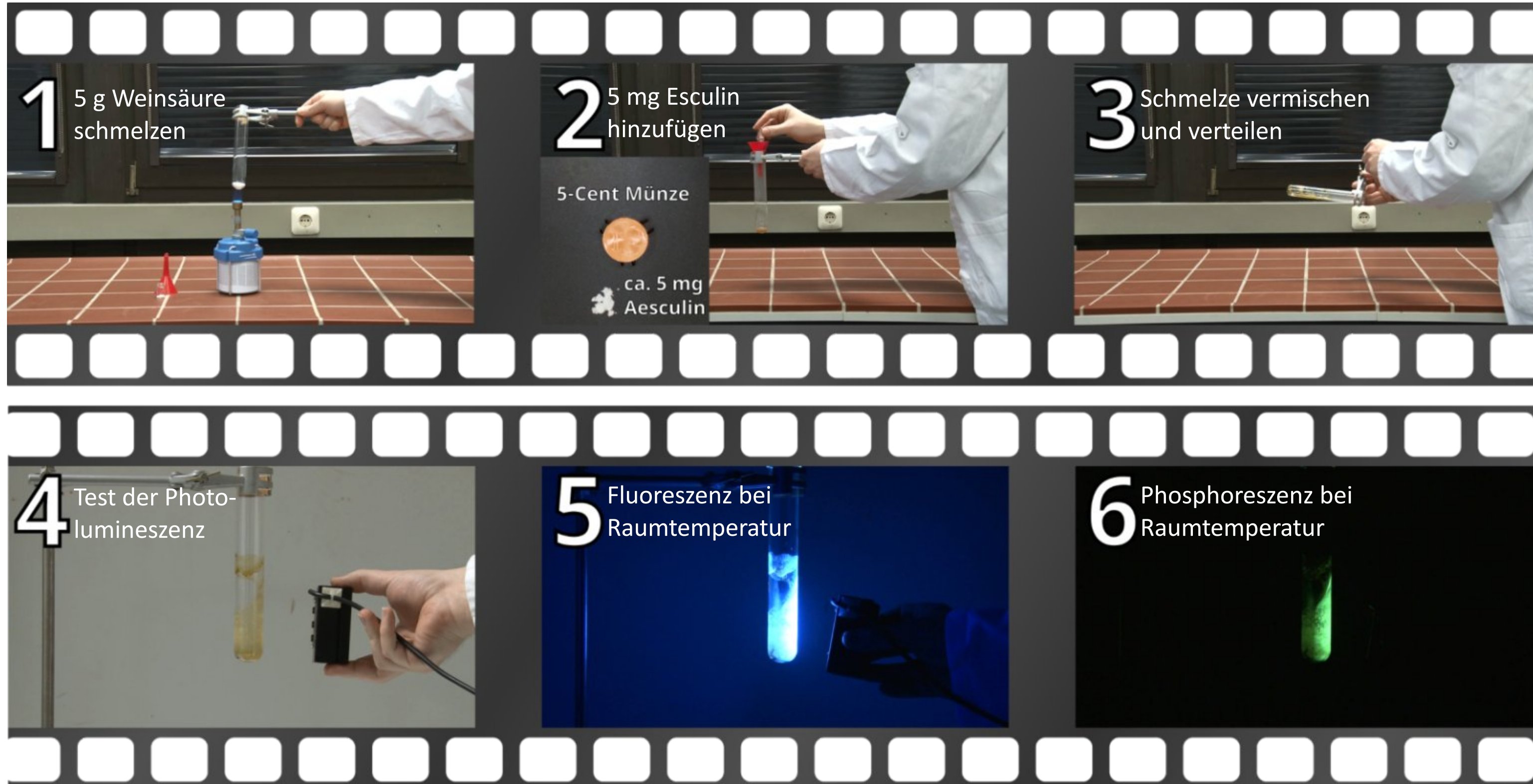
E8: Photostationarität vs. chemisches Gleichgewicht bei Spiropyran/Merocyanin

# Experimente

## Photolumineszenz

### Fluoreszenz und Phosphoreszenz

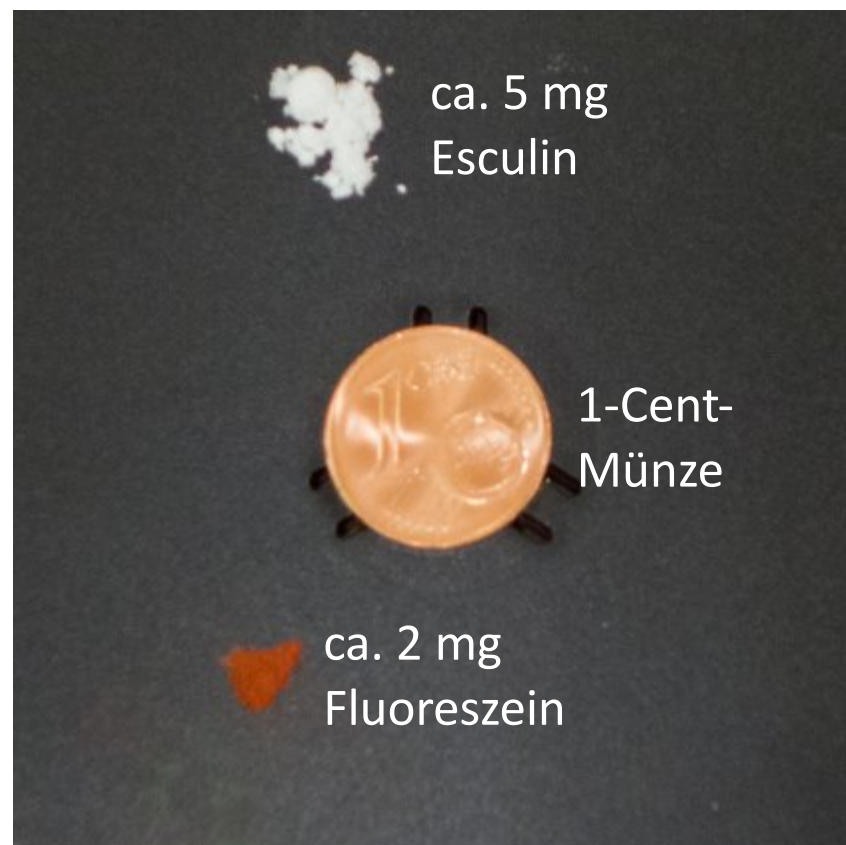
# E1: Herstellung der Photolumineszenz-Probe aus Weinsäure und Esculin





# E2: Herstellung der Photolumineszenz-Probe

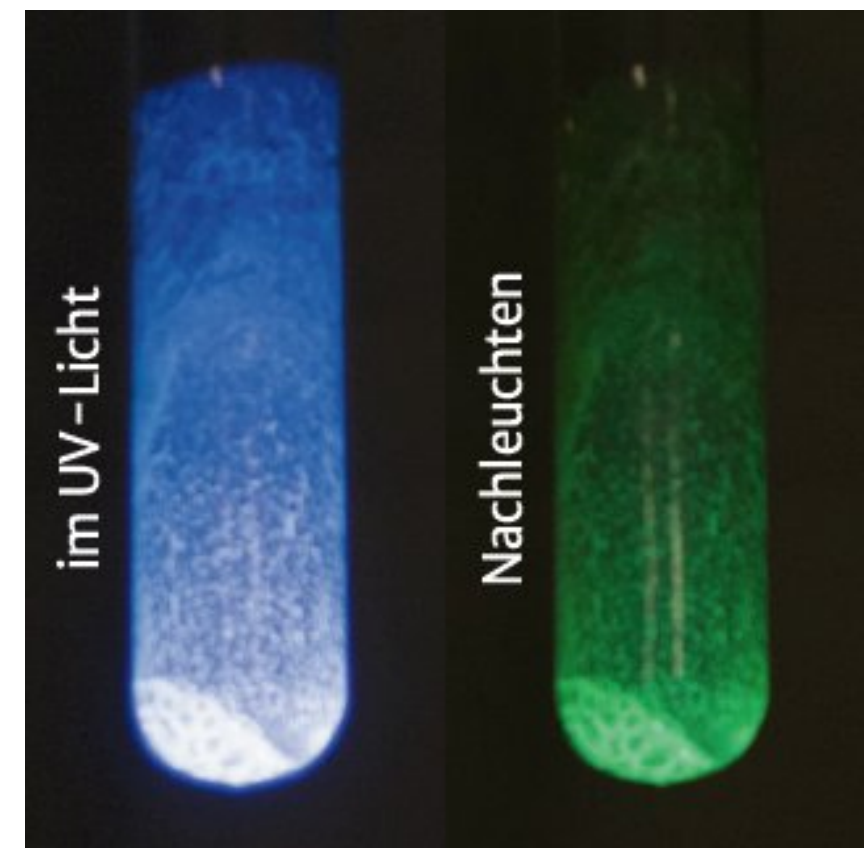
aus Weinsäure und Fluoreszein



Stellen Sie nach dem gleichen Verfahren wie in E1 eine Photolumineszenz-Probe aus Weinsäure und Fluoreszein her. Der einzige Unterschied ist, dass Sie jetzt nur ca. 2 mg Fluoreszein für die gleiche Menge von 5 g Weinsäure benötigen. Das nebenstehende Bild zeigt Ihnen, wie Sie ca. 2 mg Fluoreszein abschätzen können, sodass es für den Versuch passt. Testen Sie die Fluoreszenz und die Phosphoreszenz der erhaltenen Probe bei Raumtemperatur.

# E3: Einfluss der Temperatur

auf die Photolumineszenz der Probe aus Weinsäure und Esculin bzw. Weinsäure und Fluoreszein



Untersuchen Sie, ob und wie sich die Farbe und die Dauer der Lichtemission verändern und zwar:

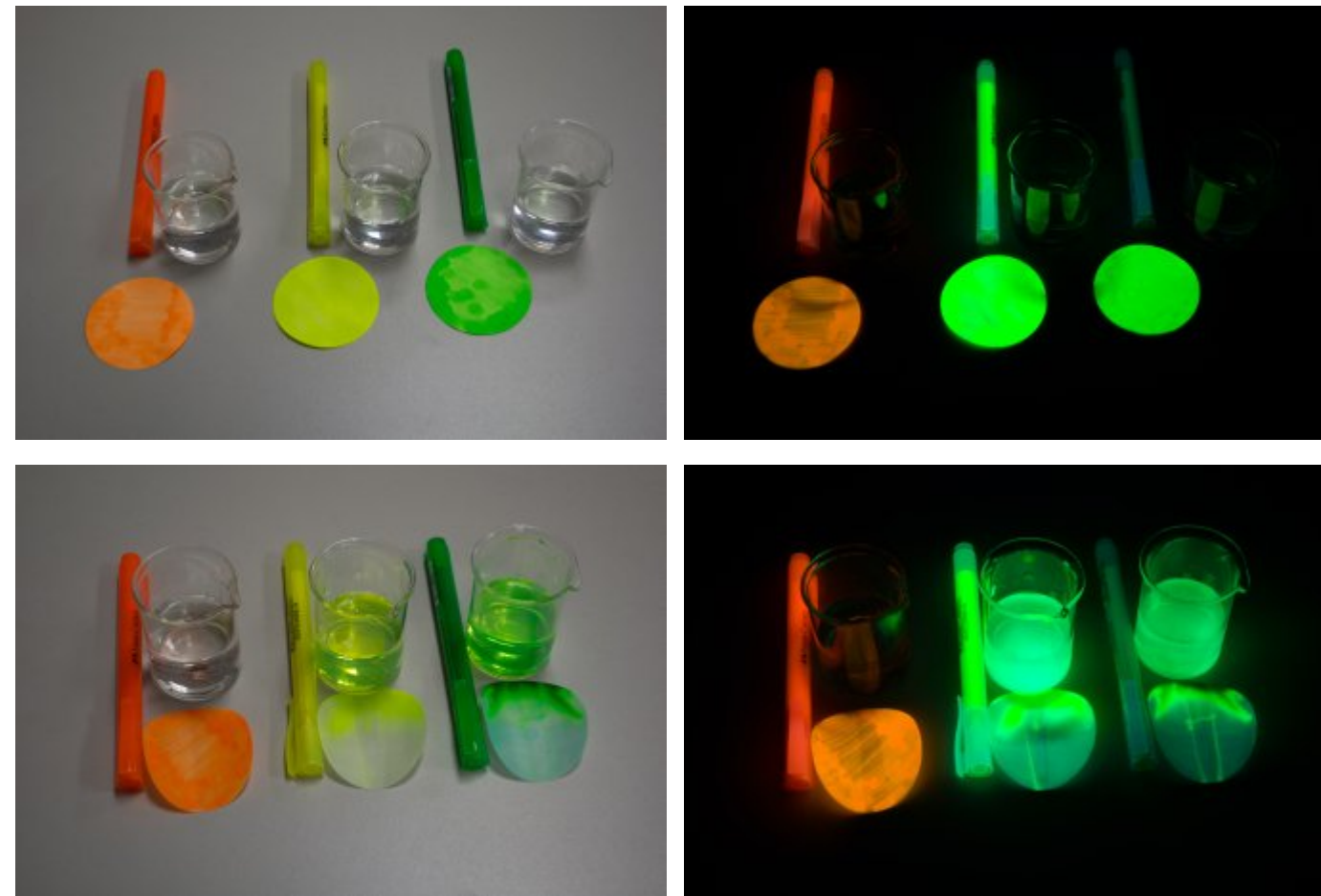
- während der Bestrahlung der Probe mit UV-Licht ( $\lambda = 365 \text{ nm}$ ) aus einer LED-Taschenlampe und
- danach, also unmittelbar nach dem Ausschalten der Lampe.

Vergleichen Sie dafür drei Proben:

- bei ca.  $90 \text{ }^\circ\text{C}$  (Erwärmen in heißem Wasser)
- bei Raumtemperatur (nach Abkühlen auf RT) und
- bei ca.  $0 \text{ }^\circ\text{C}$  (weiter Kühlen im Eis/Wasser Bad)

- Führen Sie die Untersuchungen aus E3 auch mit der Probe aus Weinsäure und Fluoreszein durch

# E4: Fluoreszenz von Alltagsprodukten



Drei Filterpapiere wurden mit Textmarkern gefärbt und bei Tageslicht sowie unter UV-Licht fotografiert. Danach wurde jedes der drei Papiere ca. 2 Minuten lang in Wasser eingetaucht, heraus genommen und vor das jeweilige Becherglas gelegt. Das Ergebnis wurde bei Tageslicht und unter UV-Licht jeweils in einem Foto festgehalten.

a) Der gelbe und der grüne Textmarker enthalten den Fluoreszenzfarbstoff Pyranin, der orange-rote enthält als Fluorophor Rubren. Geben Sie an, wodurch deutlich wird, dass sich die beiden Fluorophore unterschiedlich gut in Wasser lösen und erklären Sie die unterschiedliche Wasserlöslichkeit mithilfe der Molekülstrukturen der beiden Fluorophore.

# Theoretische Modelle

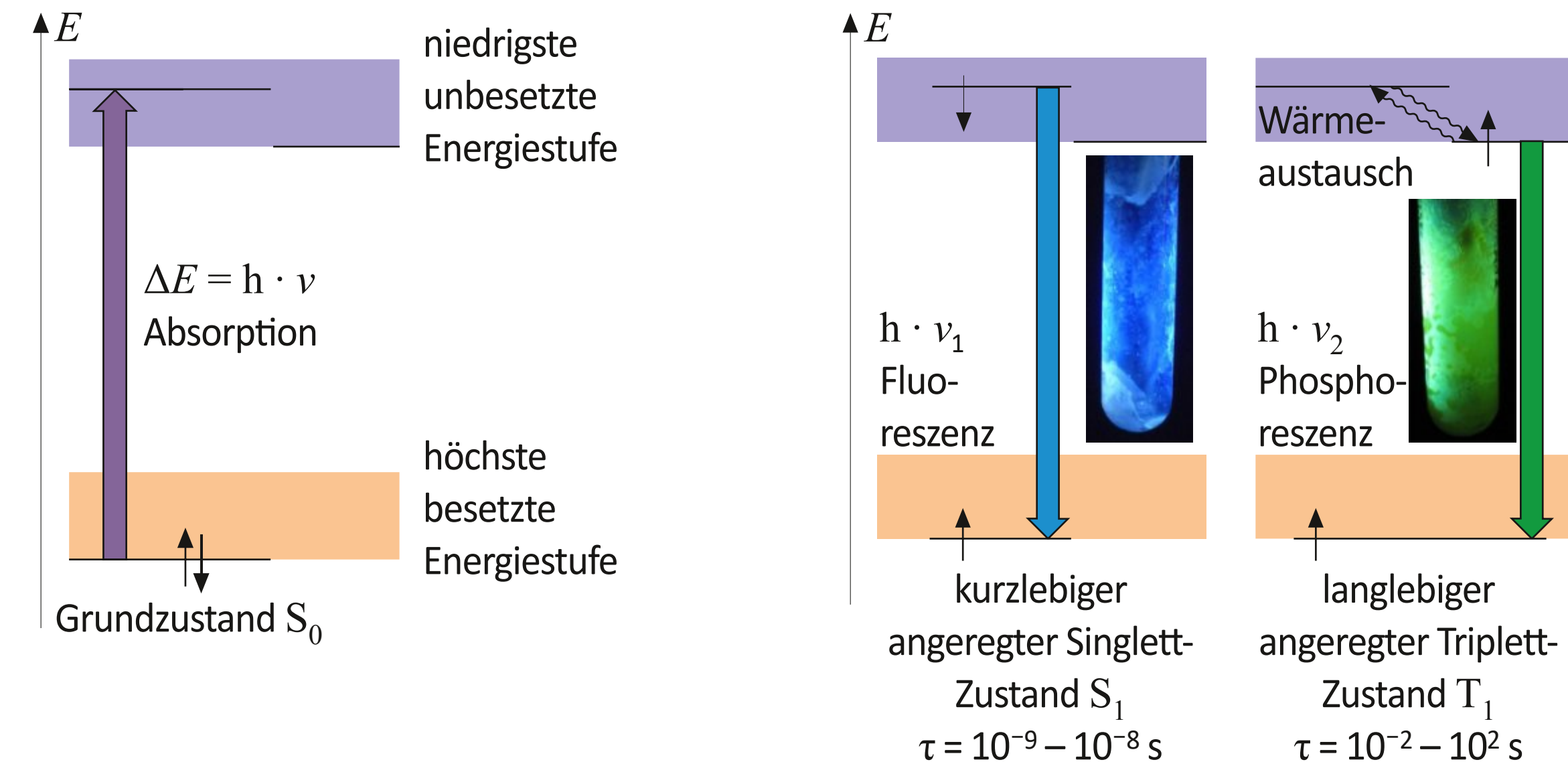
## zur Photolumineszenz

### Fluoreszenz und Phosphoreszenz

# Das Energiestufenmodell

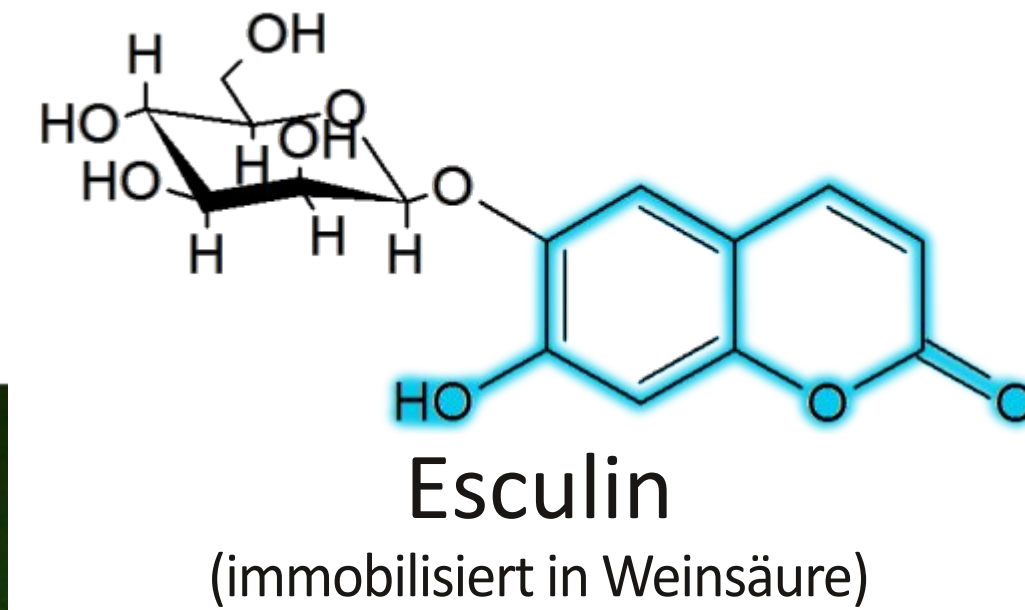
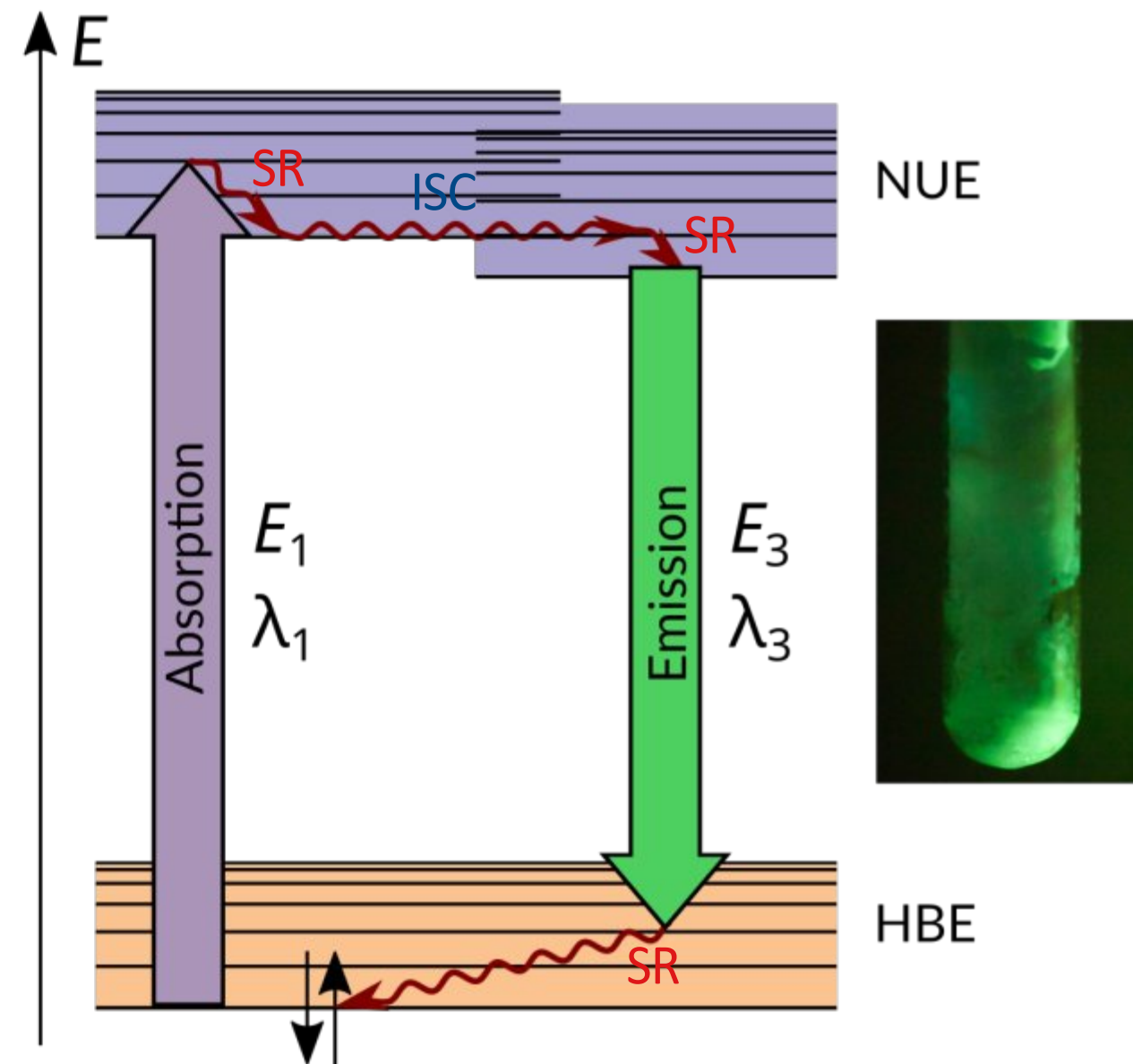
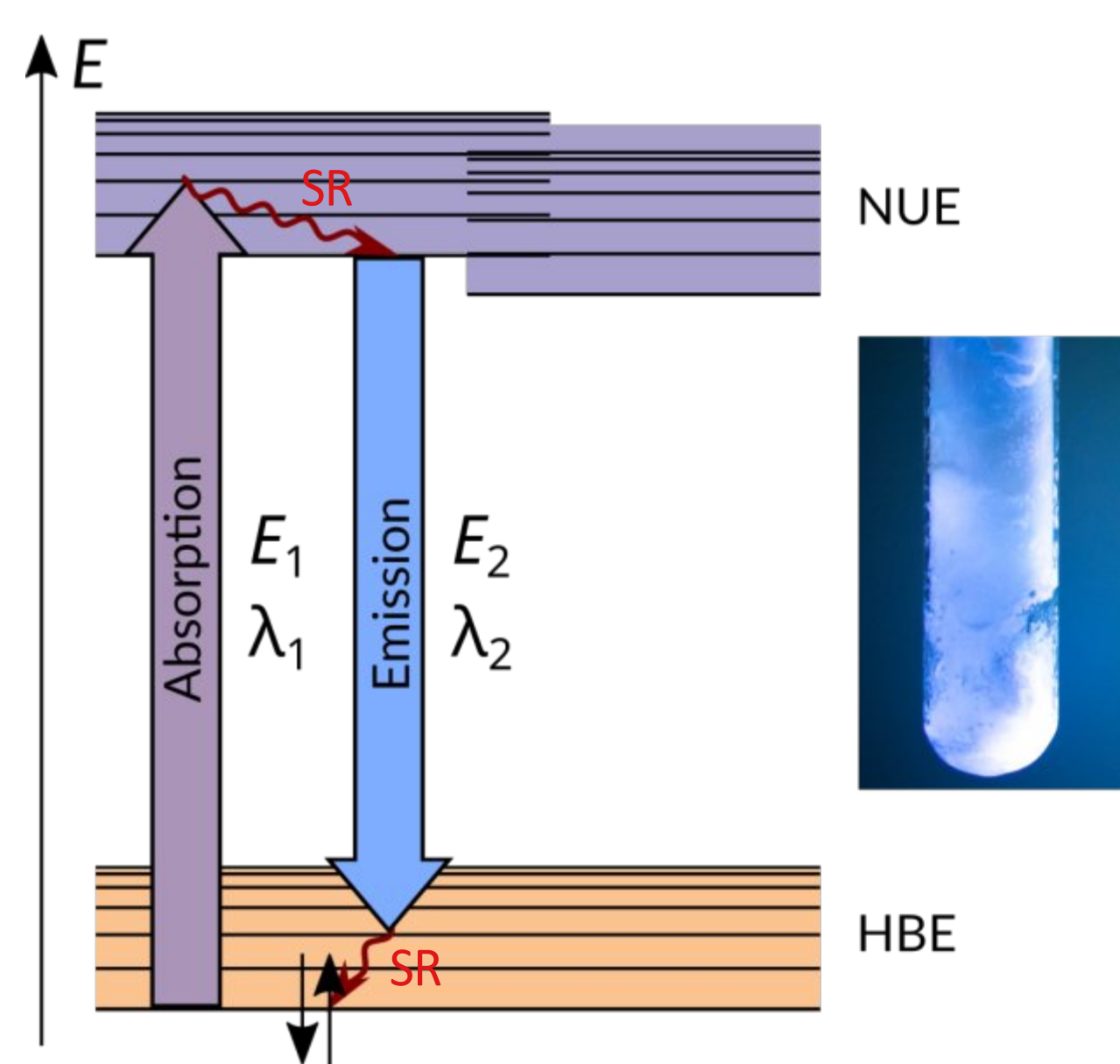
Ein Schlüsselkonzept in der Chemie

**Paradigma:** Atomare und molekulare Systeme können außer im elektronischen Grundzustand in elektronisch angeregten Zuständen existieren.

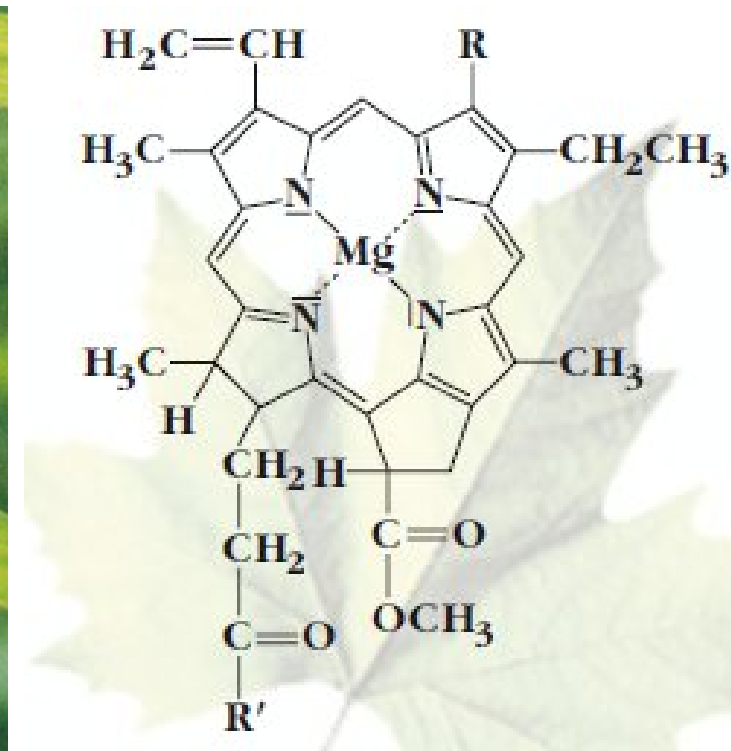
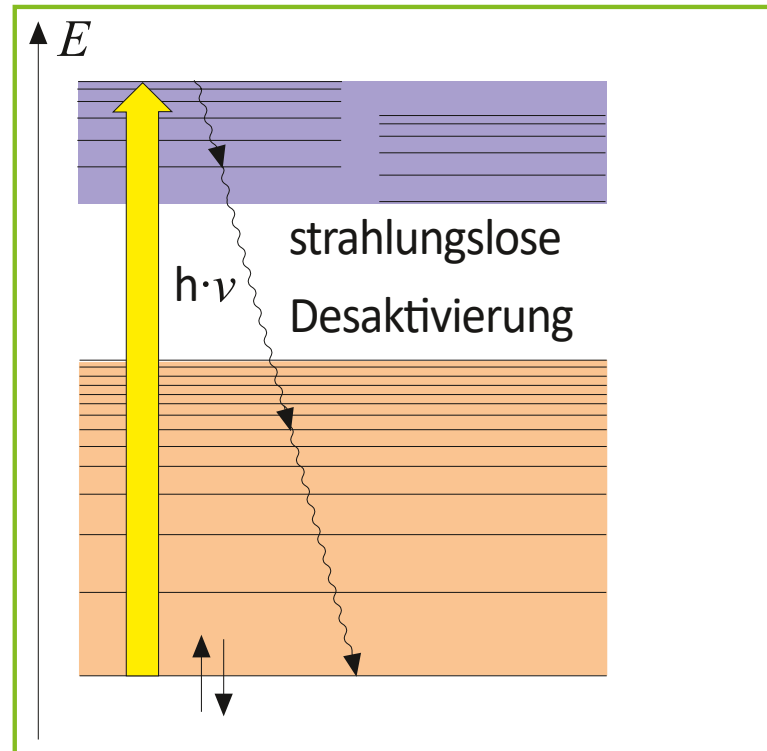


N. Meuter, S. Spinnen Y. Yurdanur, M.W. Tausch, „Photonen und Moleküle“, *CHEMKON, Sonderheft* (2017)  
M.W. Tausch, M. v. Wachtendonk, C. Bohrmann-Linde, S. Krees (Hrsg.), *CHEMIE 2000+*, C.C.Buchner, Bamberg (2007...2014)

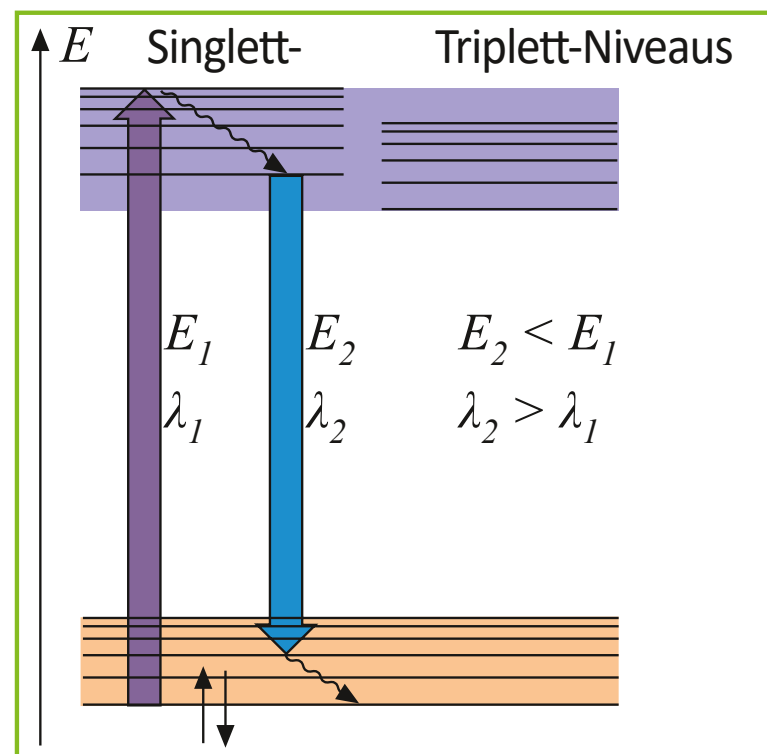
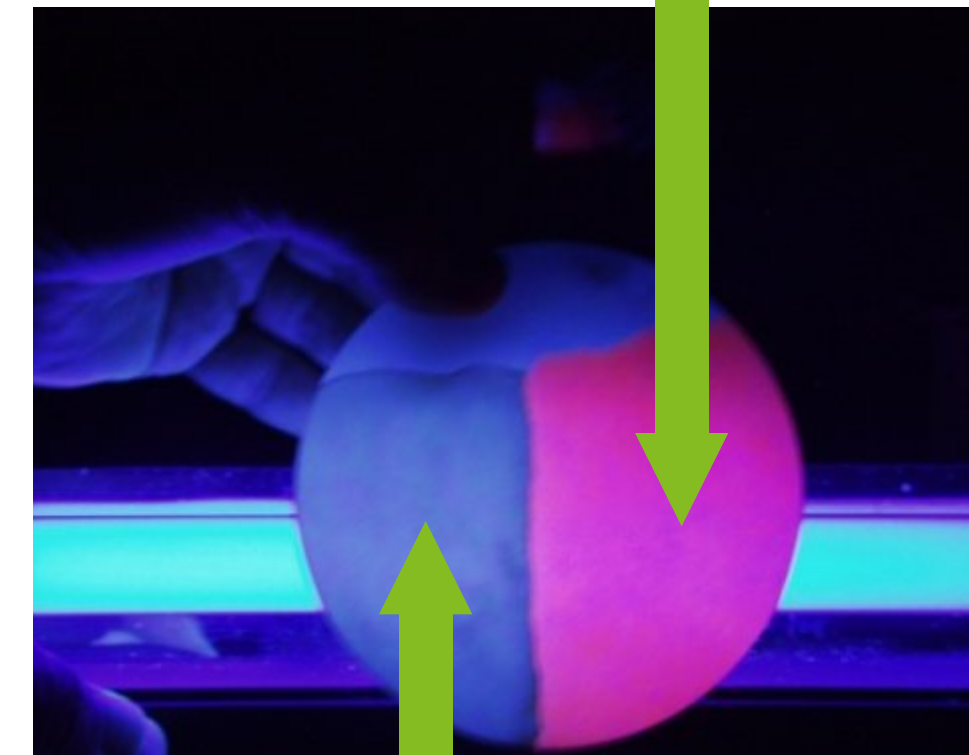
# Fluoreszenz und Phosphoreszenz



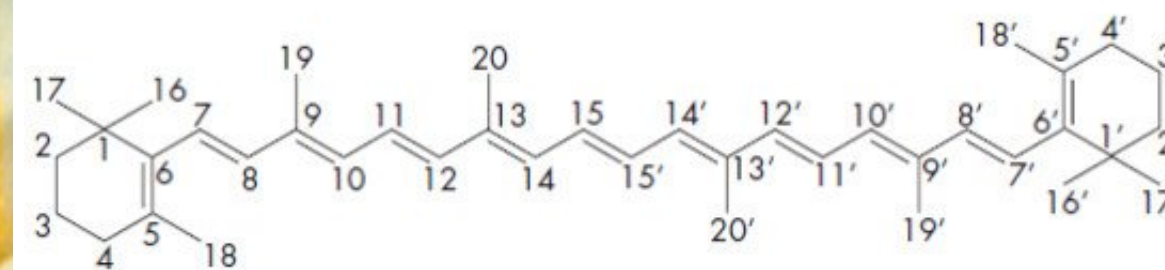
# Strukturelle Merkmale für Photolumineszenz



Chlorophyll: Fluoreszenz

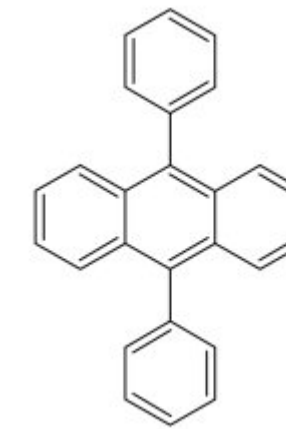
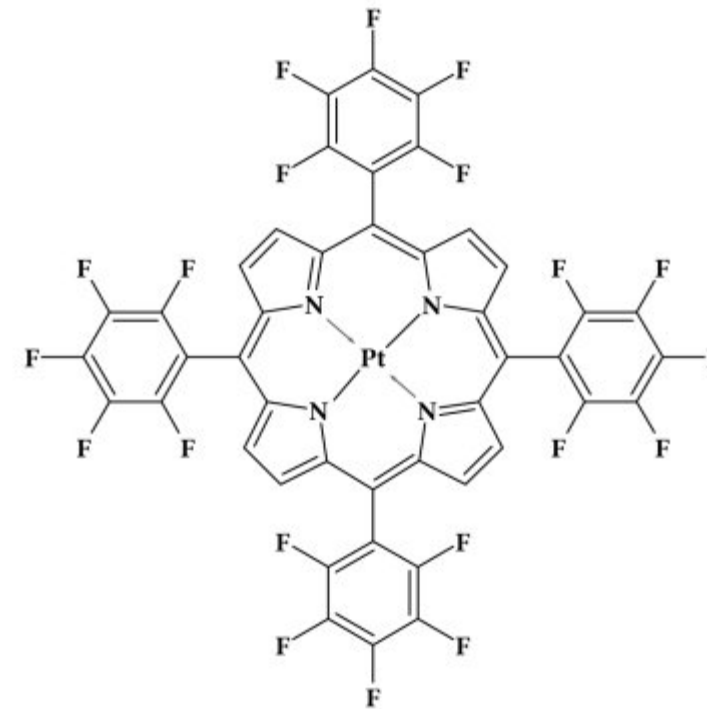


$\beta$ -Carotin: keine Fluoreszenz

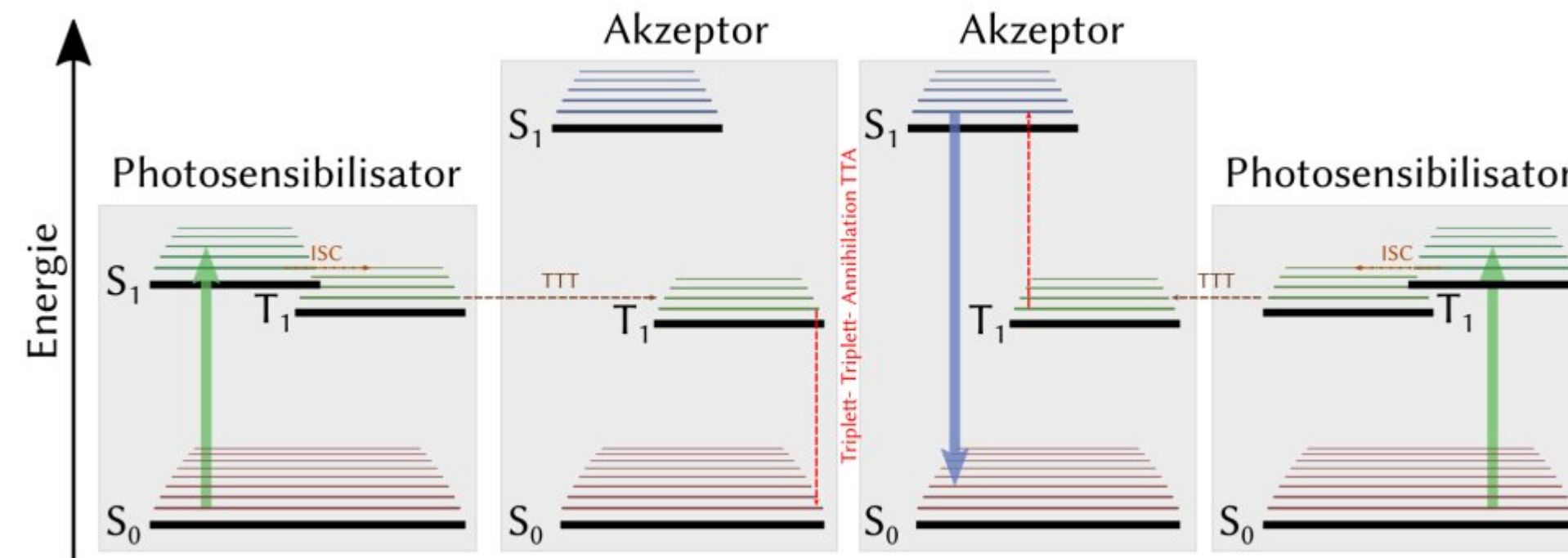


N. Meuter, S. Spinnen Y. Yurdanur, M.W. Tausch, „Photonen und Moleküle“, *CHEMKON*, Sonderheft (2017)  
M.W. Tausch, M. v. Wachtendonk, C. Bohrmann-Linde, S. Krees (Hrsg.), *CHEMIE 2000+*, C.C.Buchner, Bamberg (2007...2014)

# Aufwärtskonvertierung von Photonen



Photosensibilisator: TPFPP-Pt(II) Akzeptor: DPA





# Photolumineszenz

## in Lehrfilmen



Photolumineszenz  
Farbe durch Lichtemission



Underground Minigolf  
Ab- und Aufwärtskonvertierung von  
Photonen

# Experimente

**Photochromie, Solvatochromie, Photostationarität**

Molekulare Schalter

Photochromie

Solvatochromie

Photostationarität

# E5: Herstellung der „intelligenten“ Folie



Materialien für die „intelligente“ Folie

Inhalt der Lösung:  
50 mg Spiropyran  
15 mL Xylol  
ca. 4,0 g Polystyrol



Herstellen der Lösung



Auftragen der Lösung



Aufziehen der Lösung



Benötigte Menge Spiropyran (50 mg)



Zurechtschneiden nach Trocknen



Einlaminieren



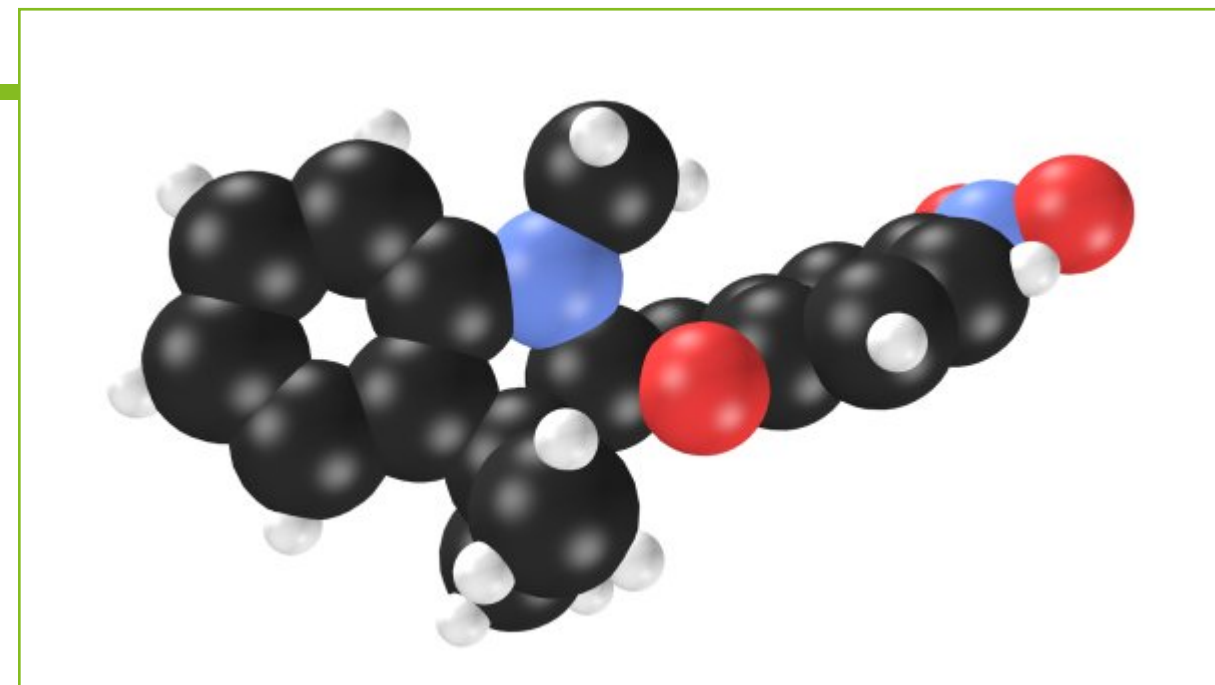
Testen

# E6: Molekularer Schalter

Spiropyran/Merocyanin; „intelligente“ Folie

Die „intelligente“ Folie wird mit

a) UV- ( $\lambda = 365 \text{ nm}$ ), b) violetter ( $\lambda = 400 \text{ nm}$ ), c) grünem ( $\lambda = 530 \text{ nm}$ ) und d) rotem ( $\lambda = 630 \text{ nm}$ ) Licht aus einer LED-Taschenlampe untersucht. Es werden jeweils die farblosen und die bereits blau gefärbten Flächen bestrahlt.



Spiropyran  $\text{C}_{19}\text{H}_{18}\text{O}_3\text{N}_2$



Licht (400 nm)  
← →  
Wärme, Licht (550 nm)

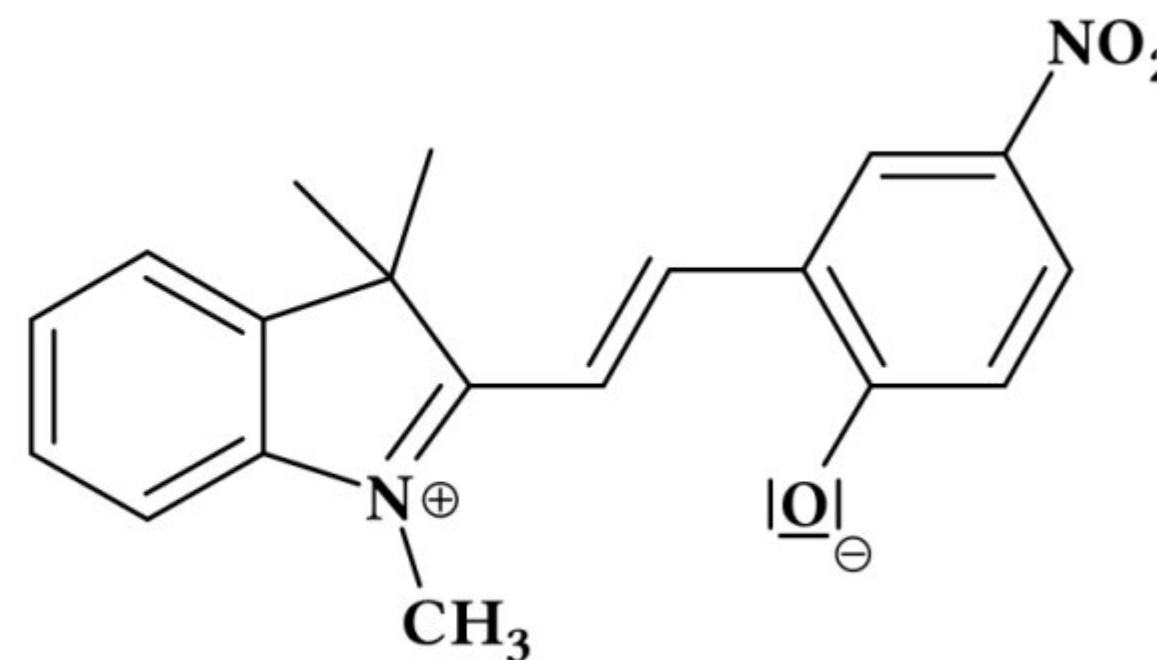
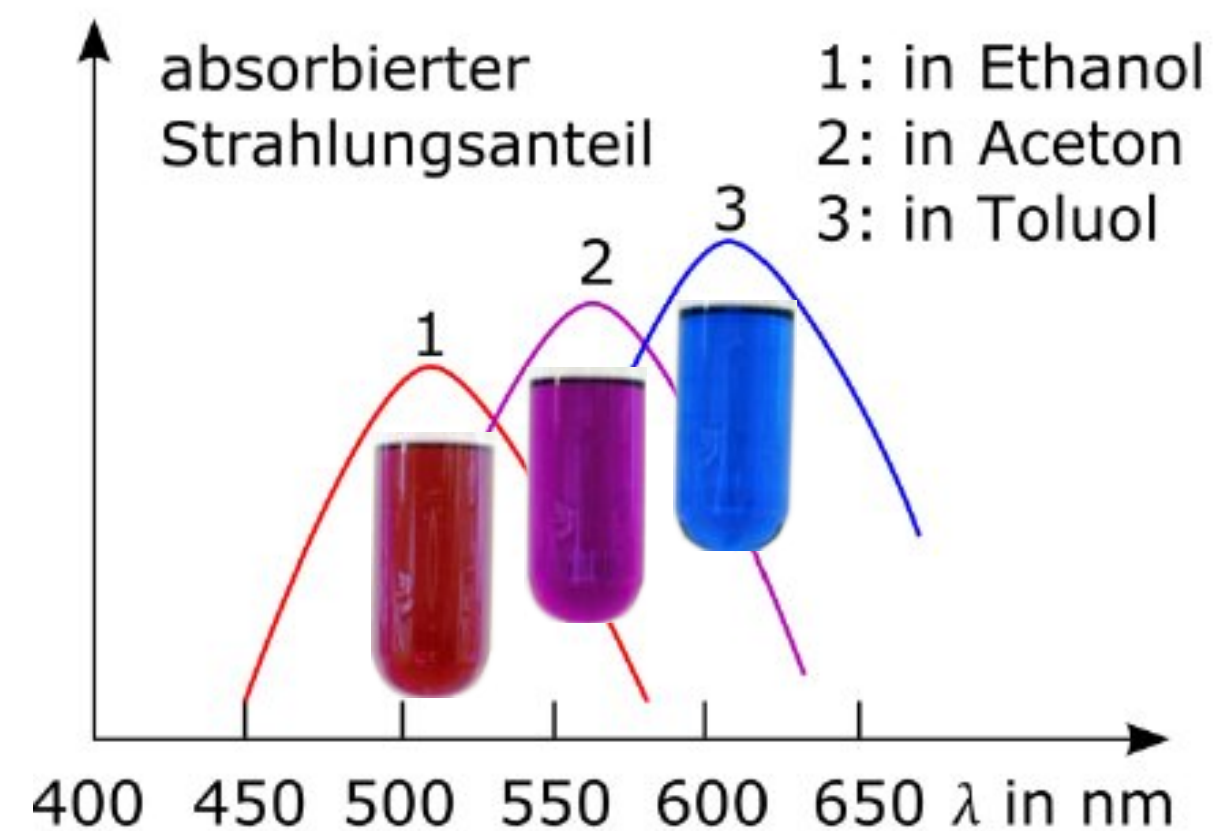


Merocyanin  $\text{C}_{19}\text{H}_{18}\text{O}_3\text{N}_2$

# E7: Solvatochromie und Photochromie

## von Merocyanin in Lösungen

Einige Körnchen Spiropyran werden in ca. 4 mL Toluol bzw. Aceton bzw. Ethanol gelöst. Durch Bestrahlung mit einer LED Taschenlampe ( $\lambda = 365 \text{ nm}$ ) wird Merocyanin erzeugt. Es wird untersucht, ob wie schnell sich die Lösung bei a) Raumtemperatur, b) bei  $60 \text{ }^\circ\text{C}$  und c) bei ca.  $0 \text{ }^\circ\text{C}$  wieder entfärbt.



Merocyanin  $\text{C}_{19}\text{H}_{18}\text{O}_3\text{N}_2$

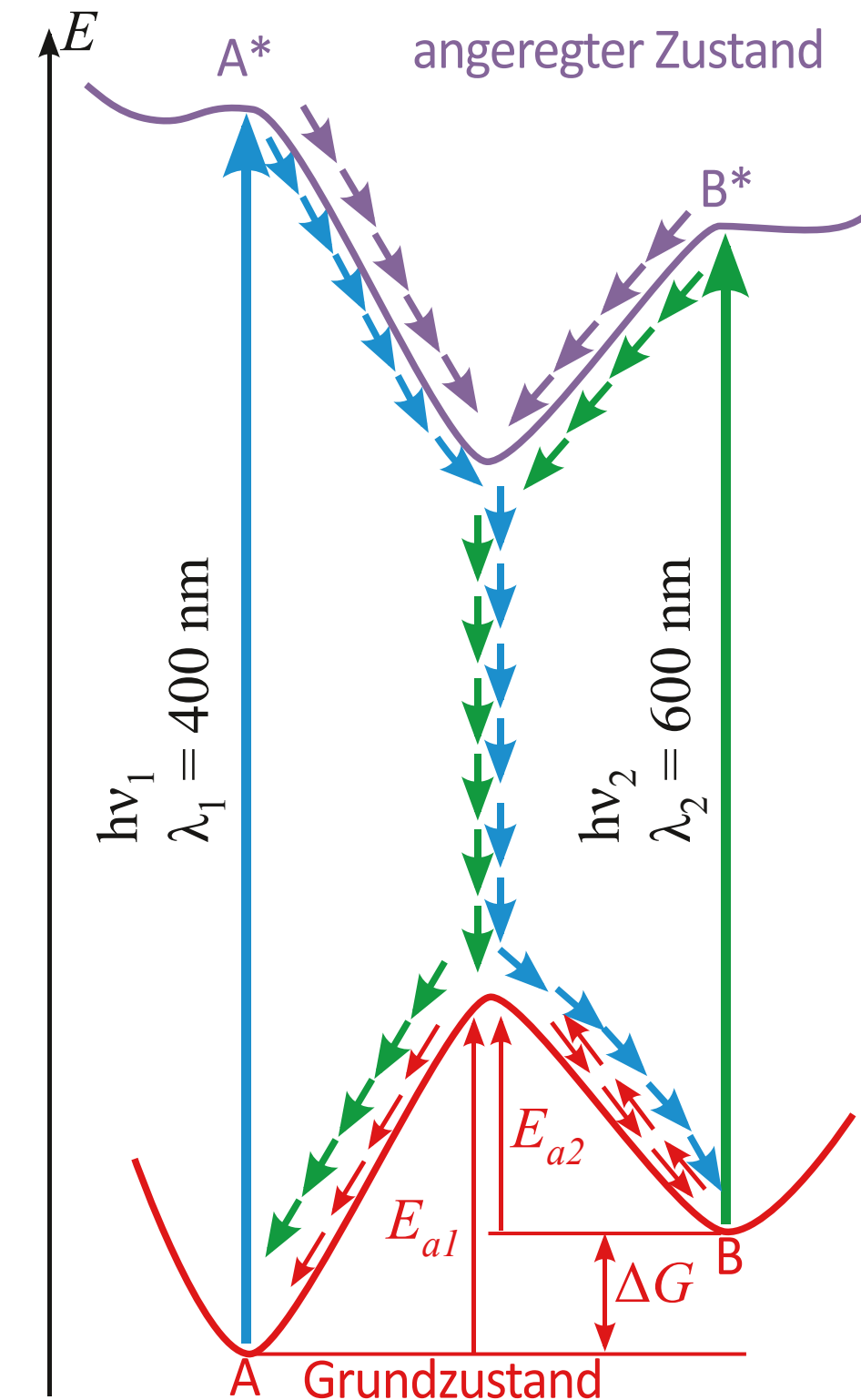
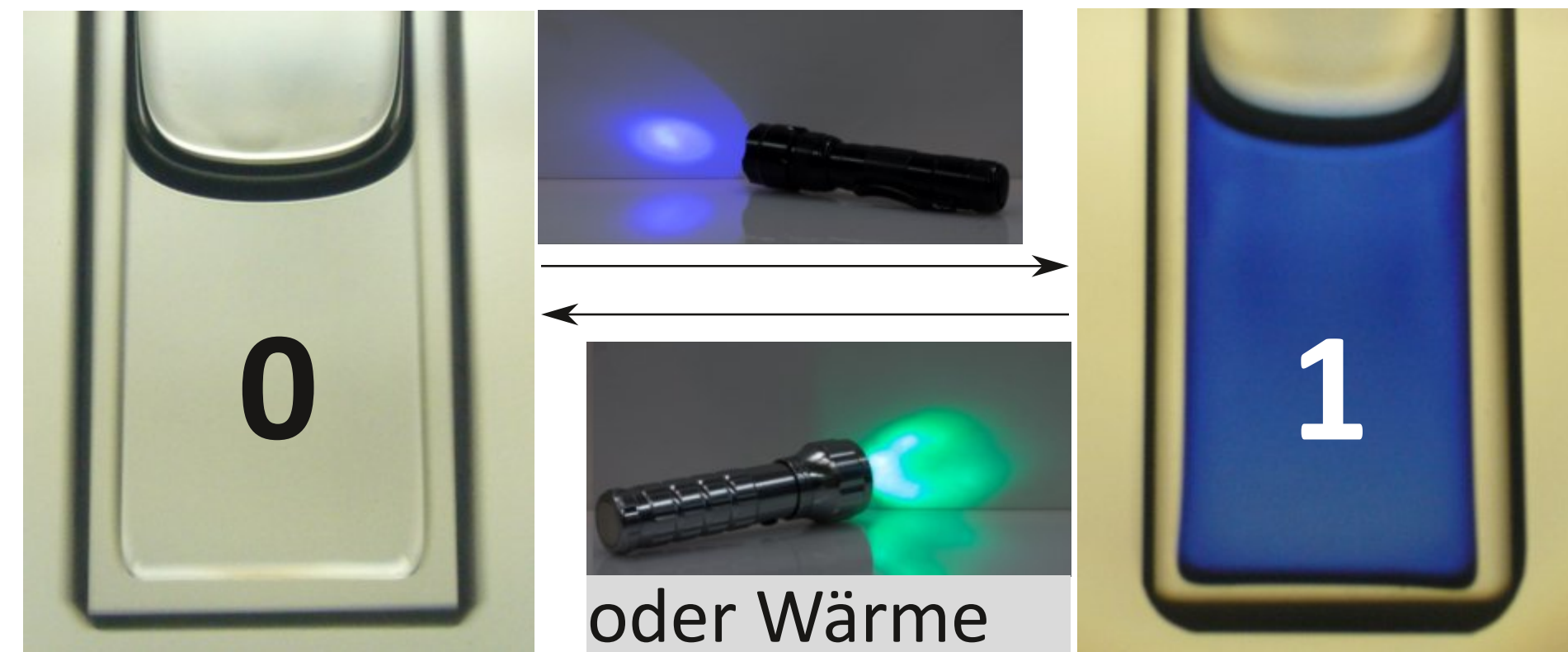
S. Spinnen, M. Essers, S. Krees, M. W. Tausch, *PdN-ChiS*, **63** (2), 36 (2014)

S. Spinnen, M. W. Tausch, *PdN-ChiS*, **64** (6), 46-49 (2015)

N. Meuter, S. Spinnen, Y. Yurdanur, M.W. Tausch, „Photonen und Moleküle“, *CHEMKON*, **Sonderheft** (2017)

# E8: Photostationarität vs. chemisches Gleichgewicht

In Toluol (oder Xylol) gelöstes Sprippyran wird bei durch Bestrahlung mit einer LED-Taschenlampe ( $\lambda = 365 \text{ nm}$ ) bei unterschiedlichen Temperaturen ( $60 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  und  $0 \text{ }^\circ\text{C}$ ) in Merocyanin überführt. Die Dauern bei der Blaufärbung und bei der Rückfärbung ohne und bei Bestrahlung mit grünem Licht ( $\lambda = 530 \text{ nm}$ ) werden gemessen und verglichen.



# Theoretische Modelle

**Photochromie, Solvatochromie, Photostationarität**

Molekulare Schalter

Photochromie

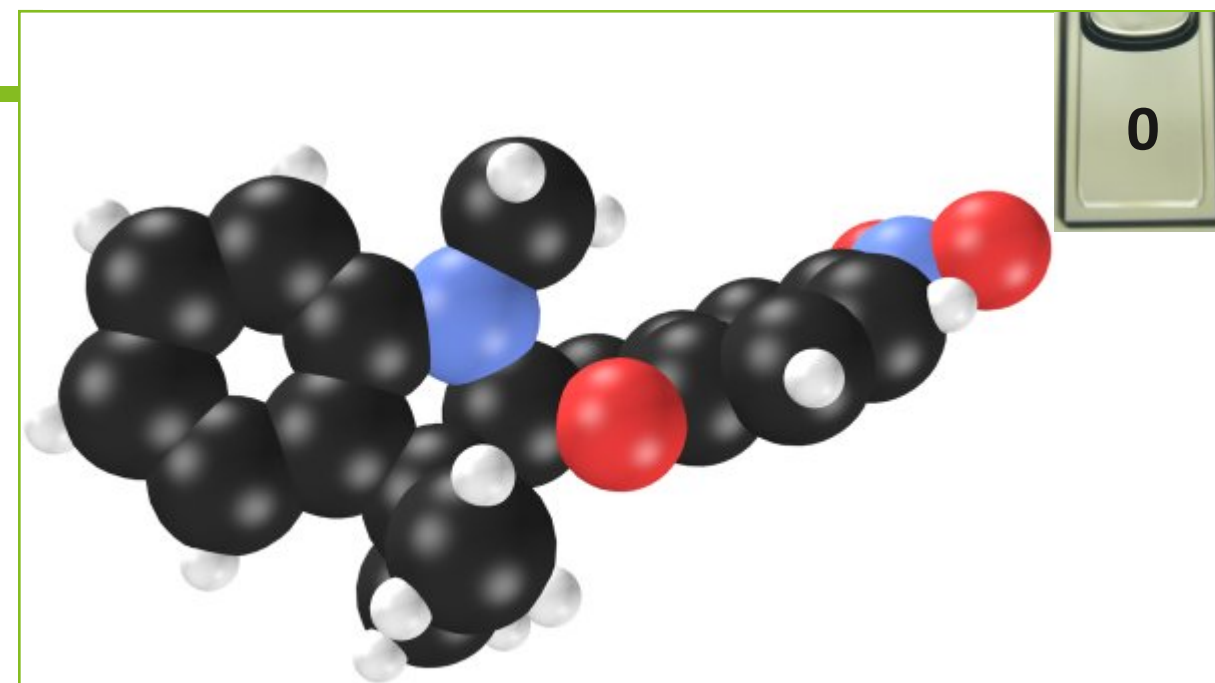
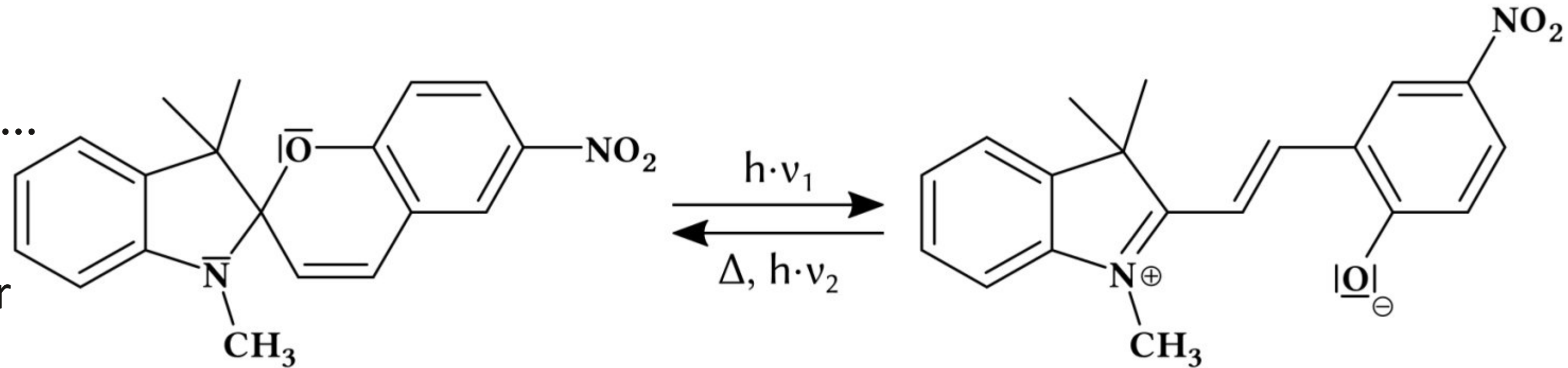
Solvatochromie

Photostationarität

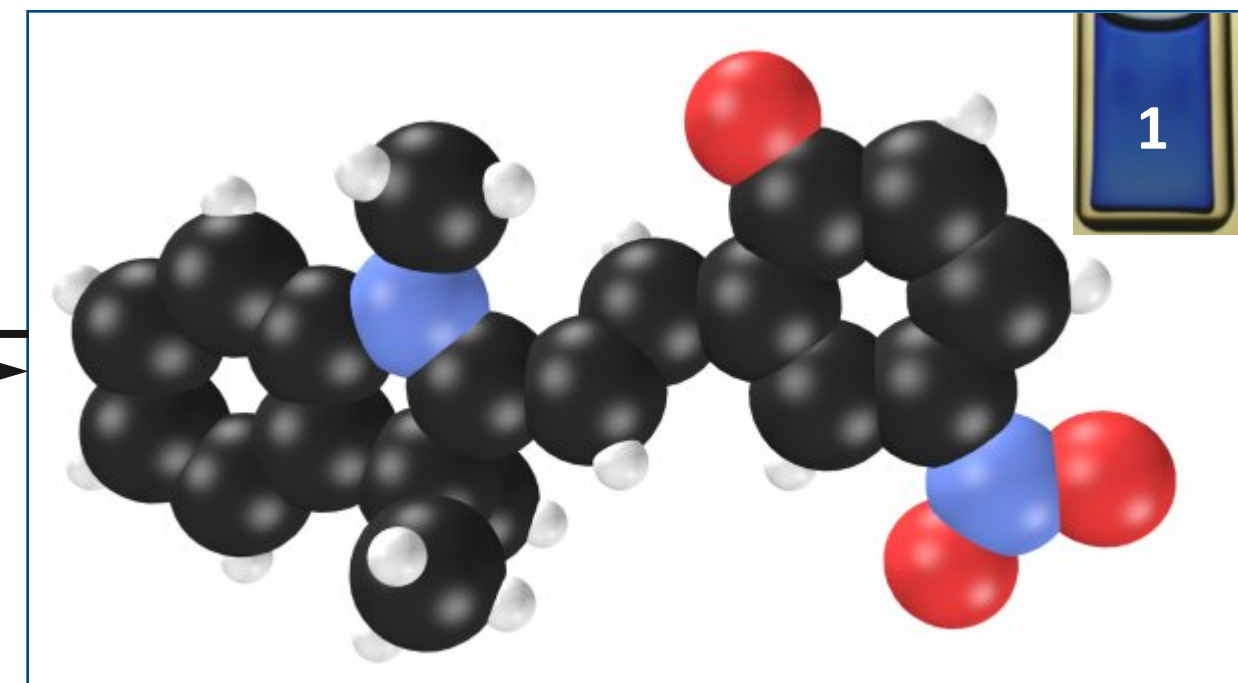
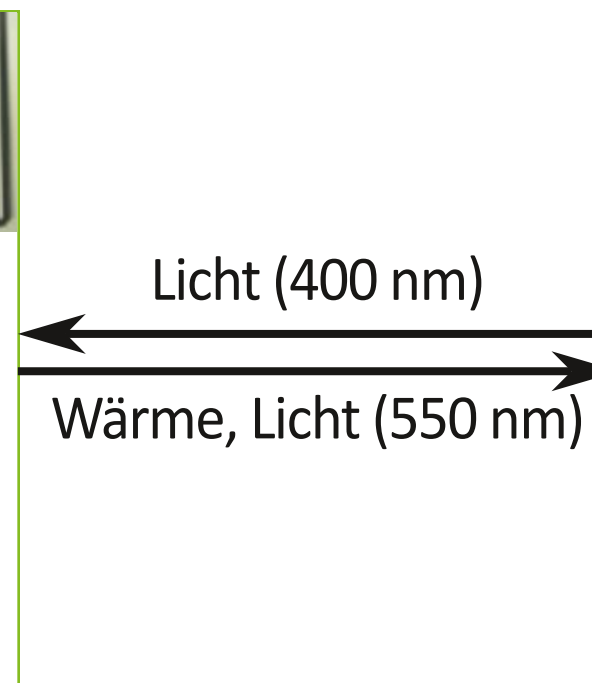
# Spiropyran

ein didaktisches Juwel

- 1 Photochromie
- 2 Solvatochromie
- 3 Photo... vs. Thermo...
- 4 Photo... & Nano...
- 5 Gleichgewichte
- 6 Molekulare Schalter
- 7 Molekulare Logik



Spiropyran  $\text{C}_{19}\text{H}_{18}\text{O}_3\text{N}_2$



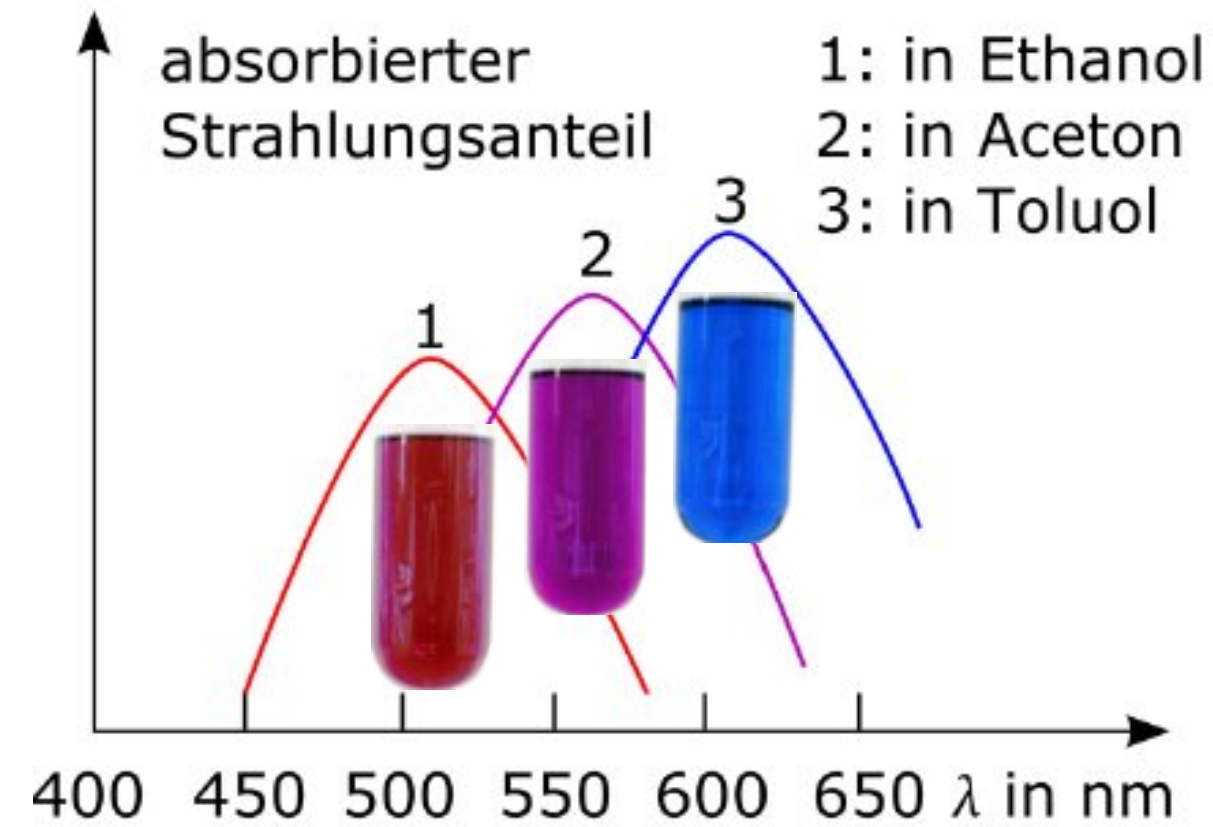
Merocyanin  $\text{C}_{19}\text{H}_{18}\text{O}_3\text{N}_2$



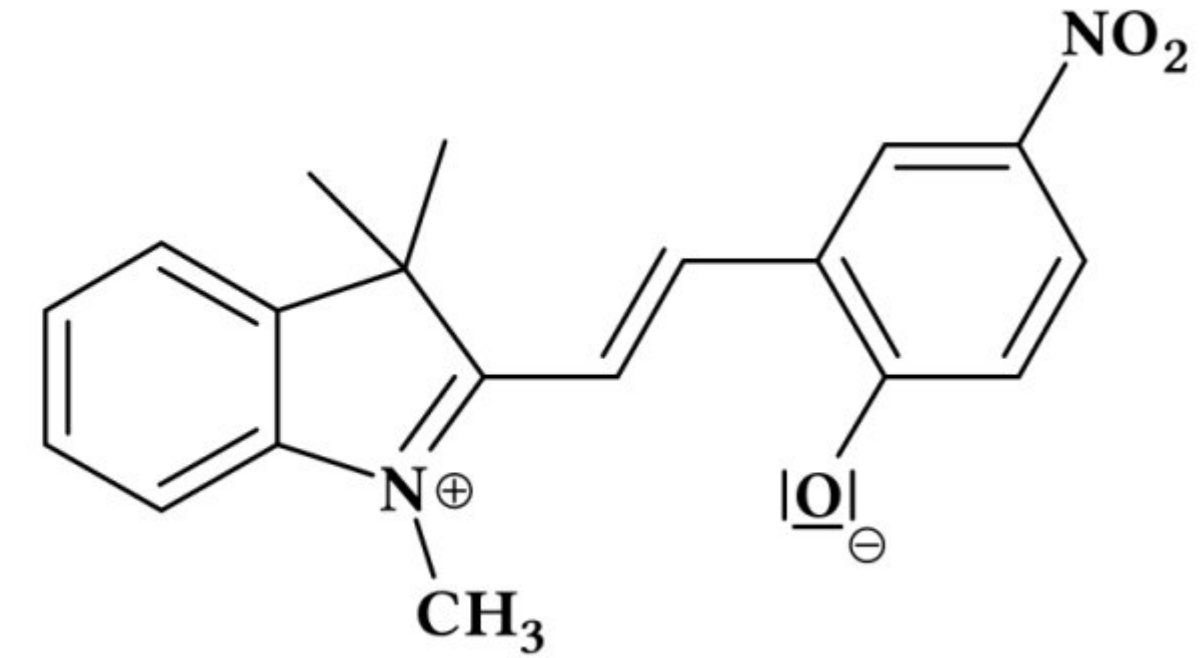
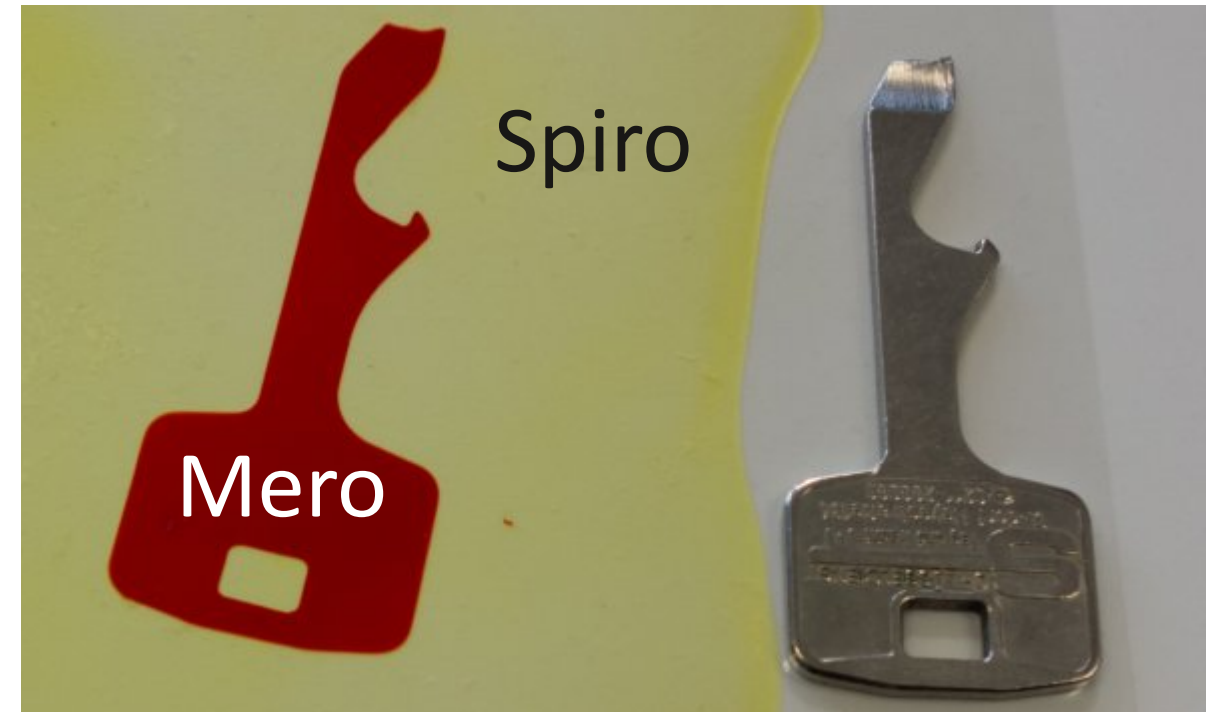
# Solvatochromie

Die Nano-Umgebung macht's

... in Lösung



... in Feststoff



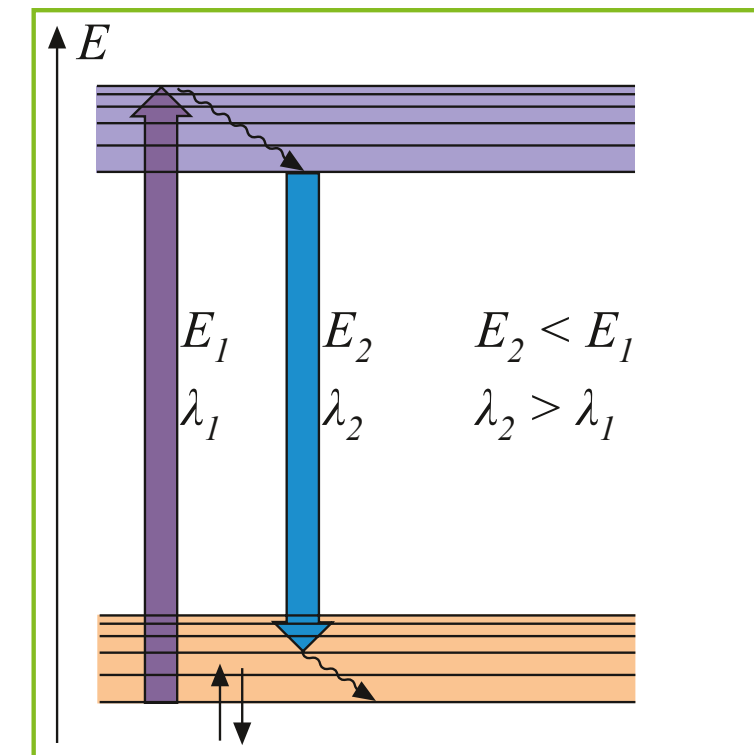
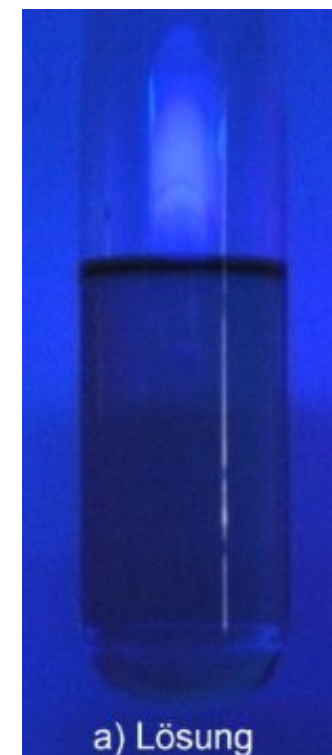
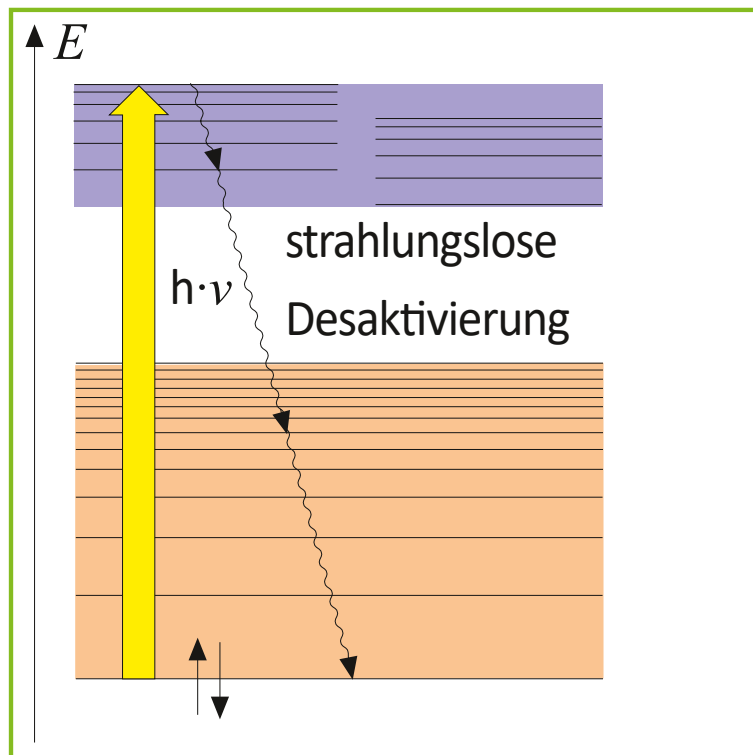
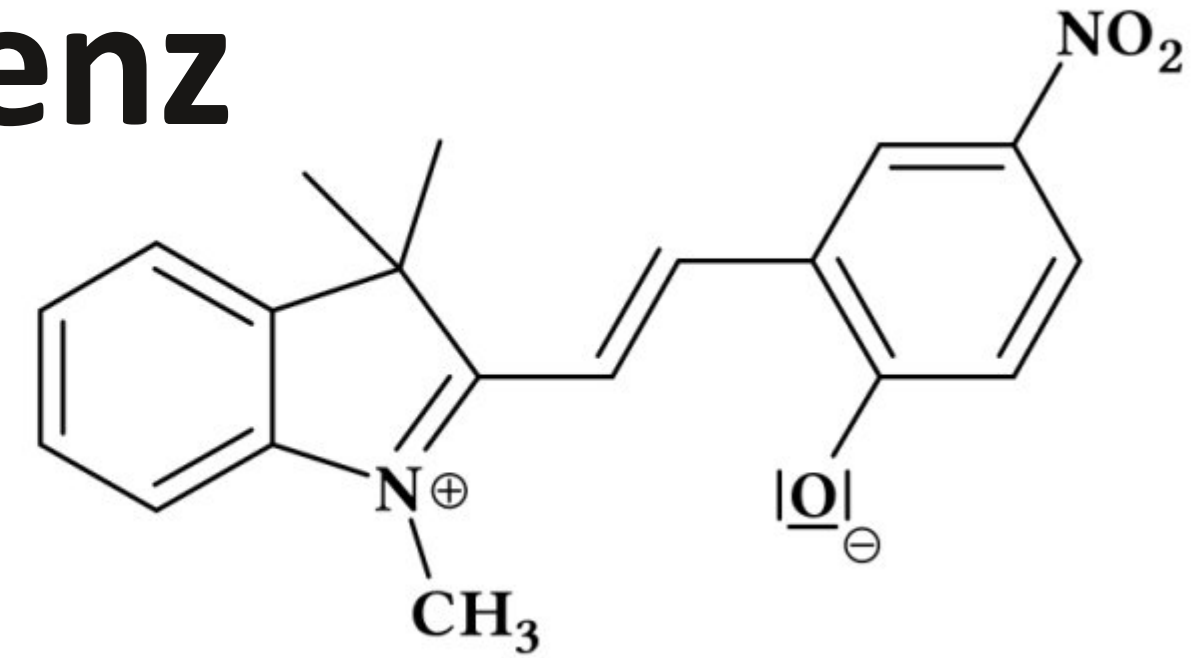
Polare Nano-Umgebung  
(Nitrocellulose)



Unpolare Nano-Umgebung  
(Polystyrol)

# Aggregationsinduzierte Fluoreszenz

von Merocyanin – Die Nano-Umgebung macht's



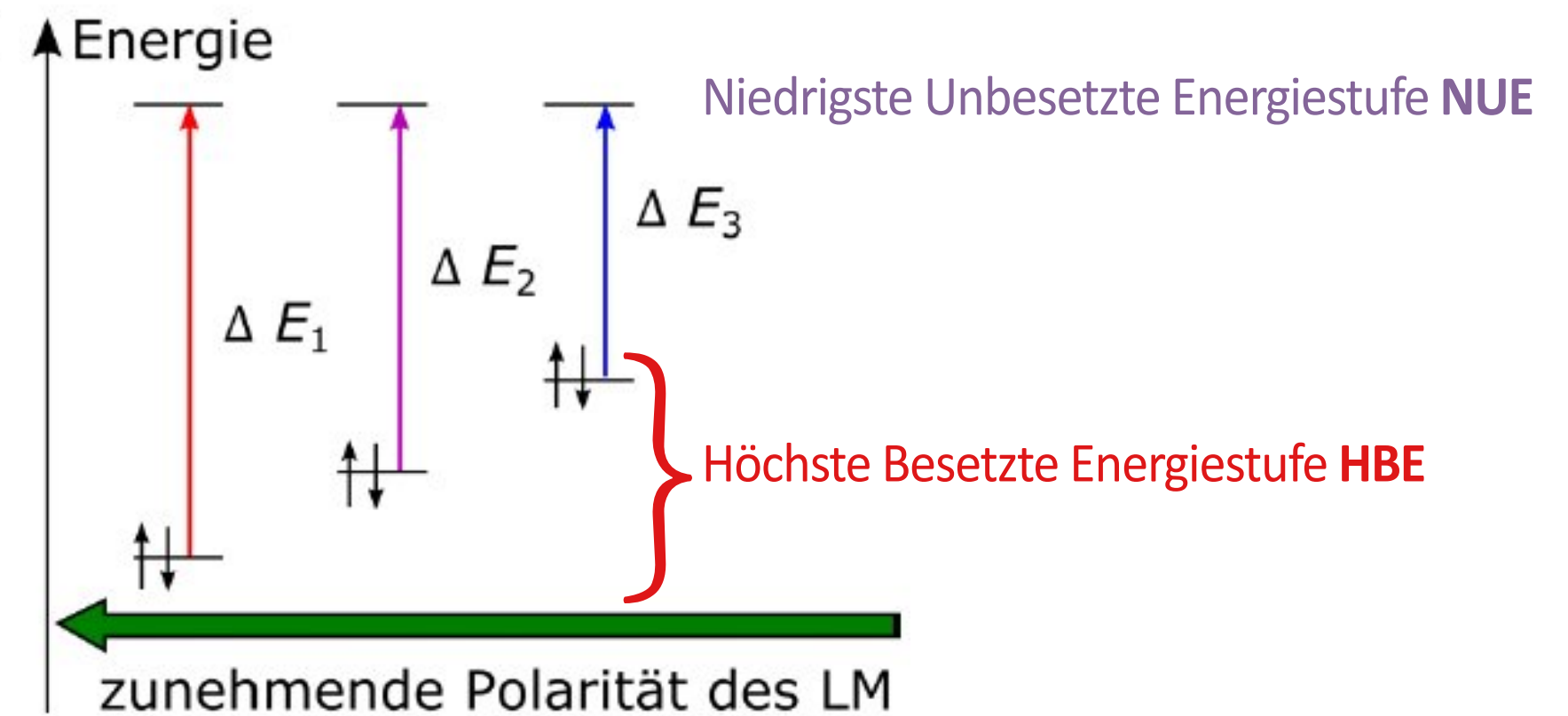
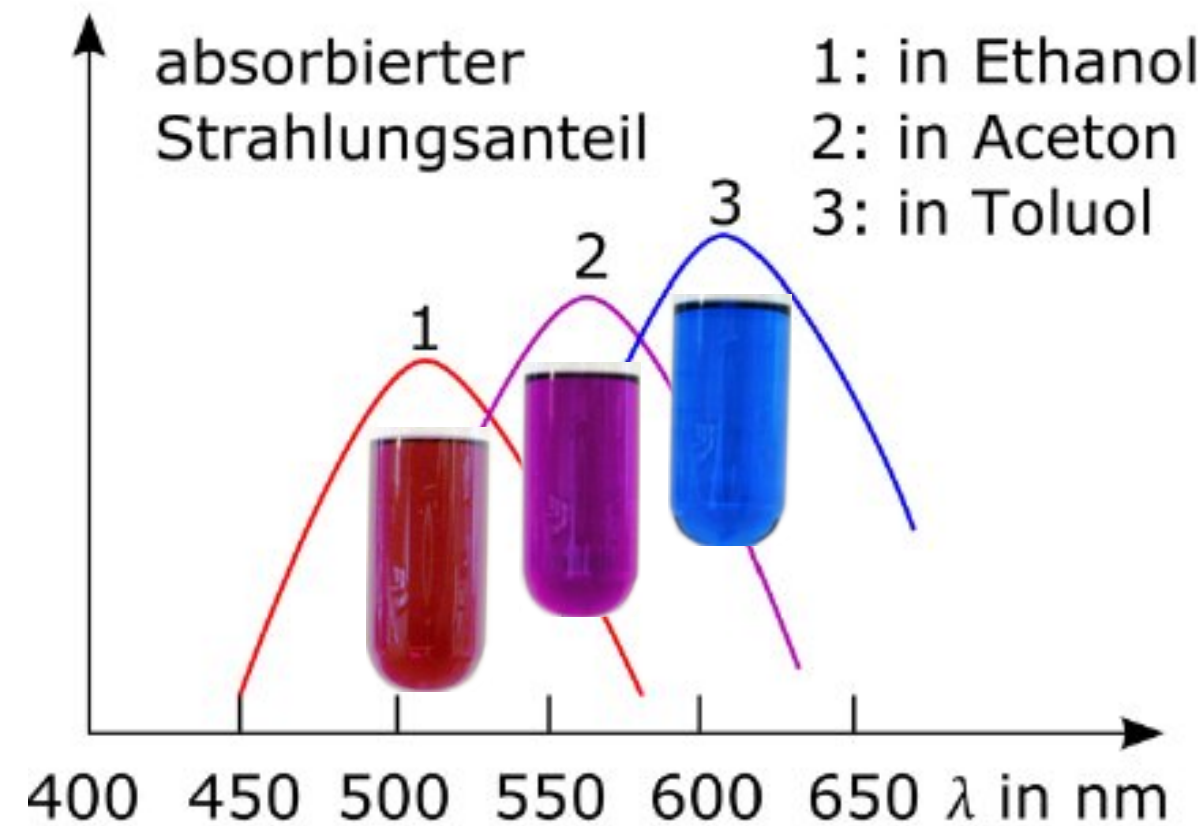
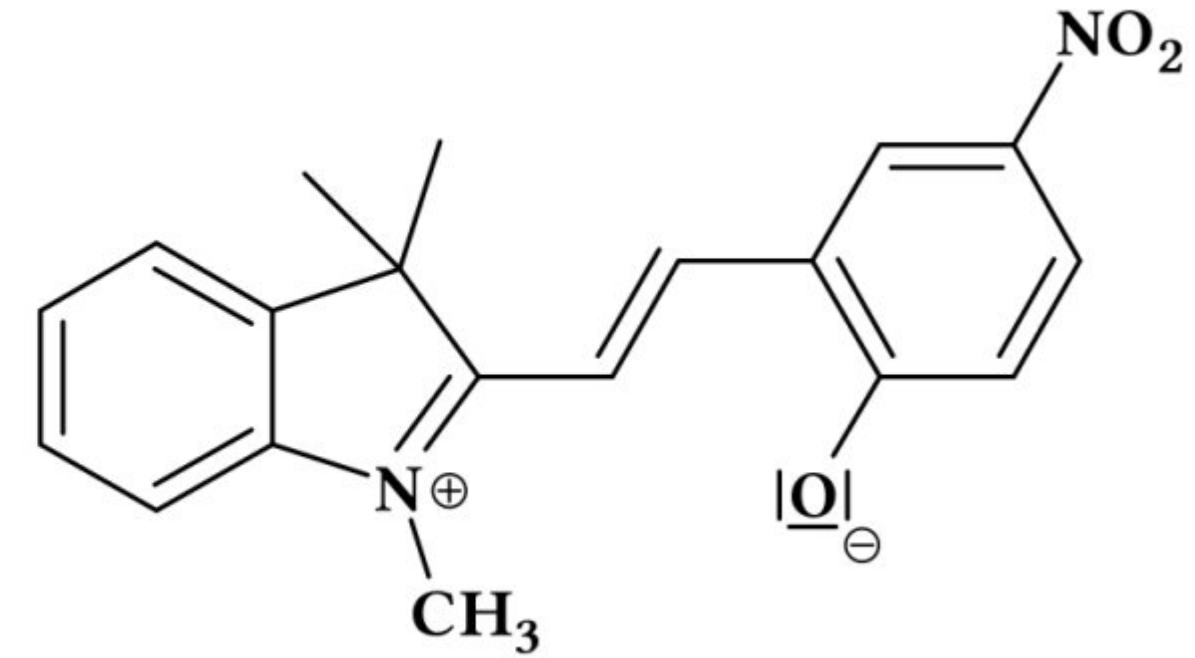
S. Spinnen, M. Essers, S. Krees, M. W. Tausch, *PdN-ChiS*, **63** (2), 36 (2014)

S. Spinnen, M. W. Tausch, *PdN-ChiS*, **64** (6), 46-49 (2015)

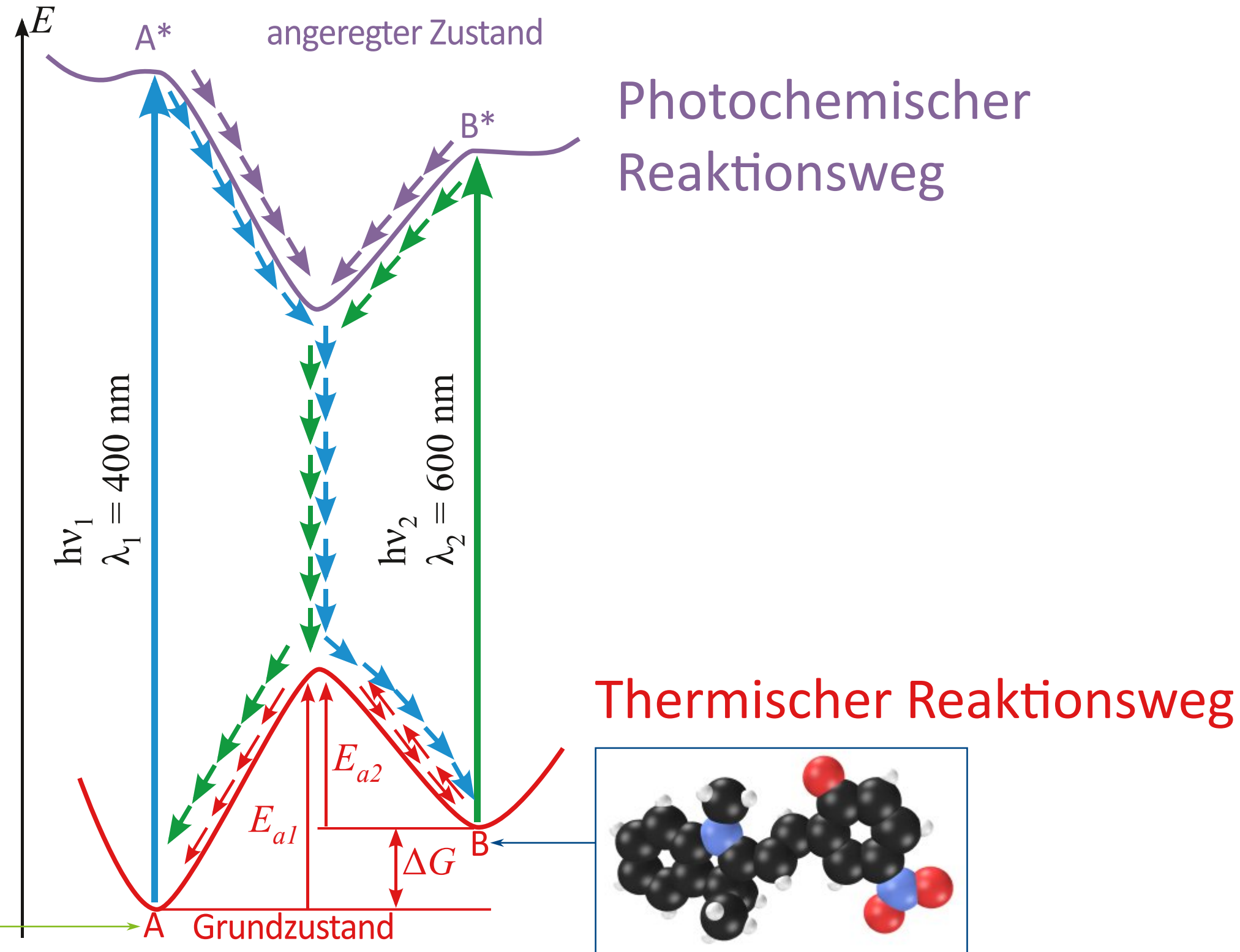
J. Mei, Y. Hong, J. W. Y. Lam et al.: „Aggregation-Induced Emission: The Whole Is More Brilliant than the Parts“, *Advanced Materials*, **26** (31), 5429 (2014)

# Solvatochromie

Einfluss der Nano-Umgebung auf die Lichtabsorption



# Photostationarität vs. chemisches Gleichgewicht



M. W. Tausch, *CHEMKON*, **3** (3), 123 (1996)  
S. Krees, *PdN-ChiS*, **61** (2), 18 (2012)  
M. W. Tausch, M. v. Wachtendonk, C. Bohrmann-Linde, S. Krees (Hrsg.), **CHEMIE 2000+**, C.C.Buchner, Bamberg (2007...2014)

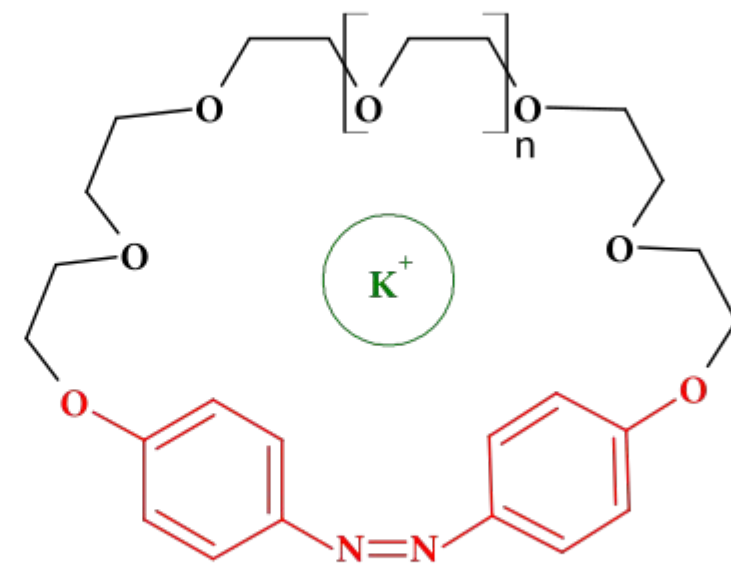
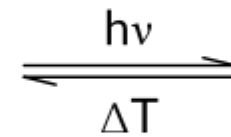
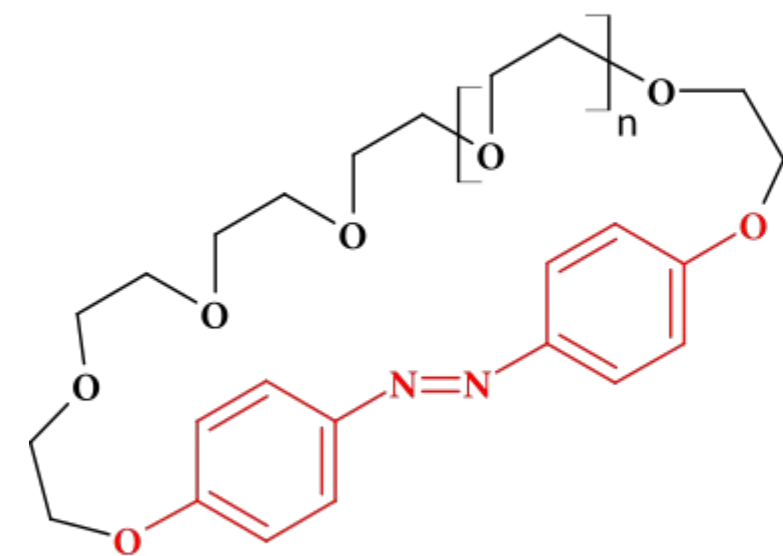
# **Molekulare Schalter**

in  
Wissenschaft & Didaktik

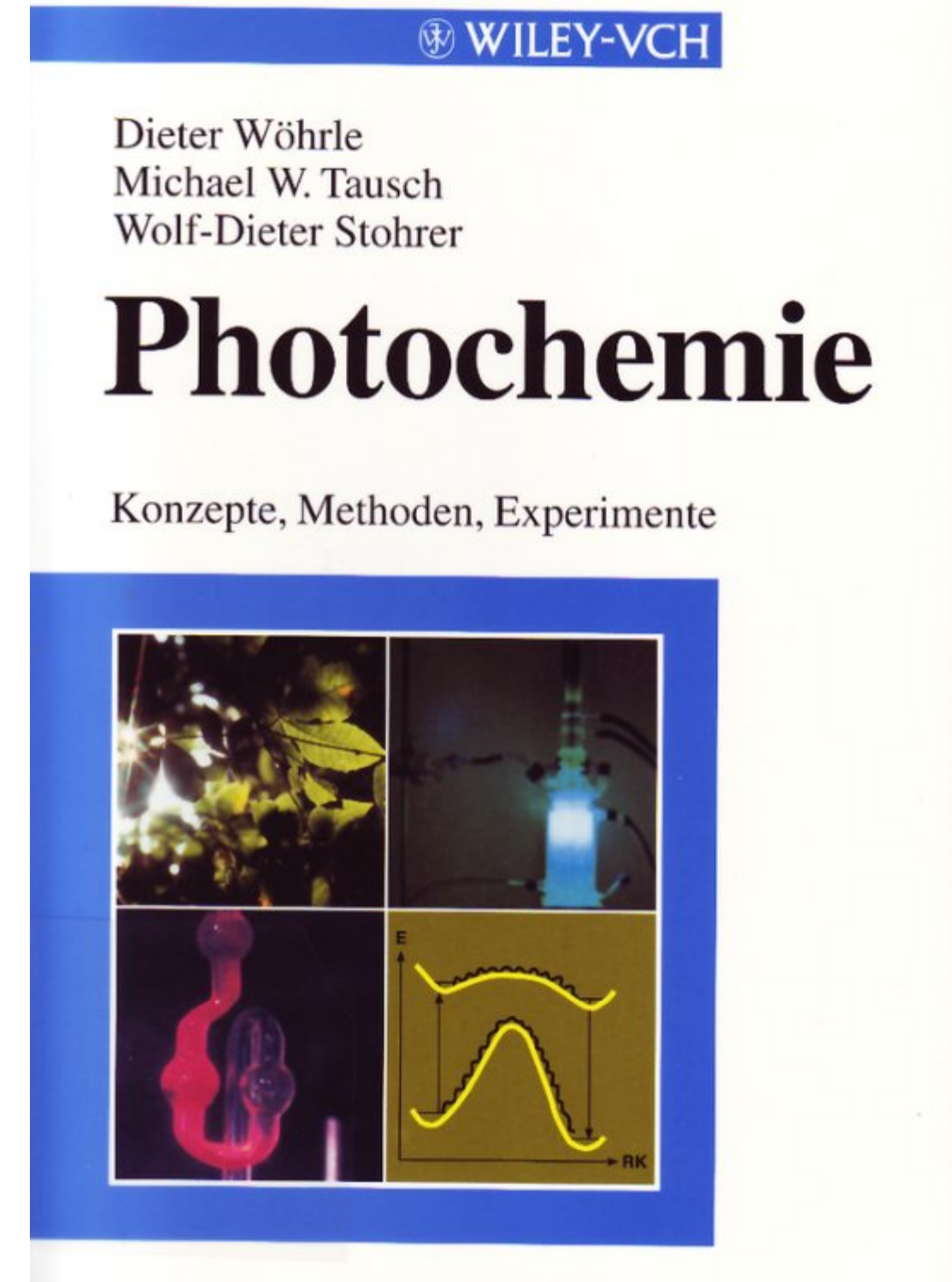
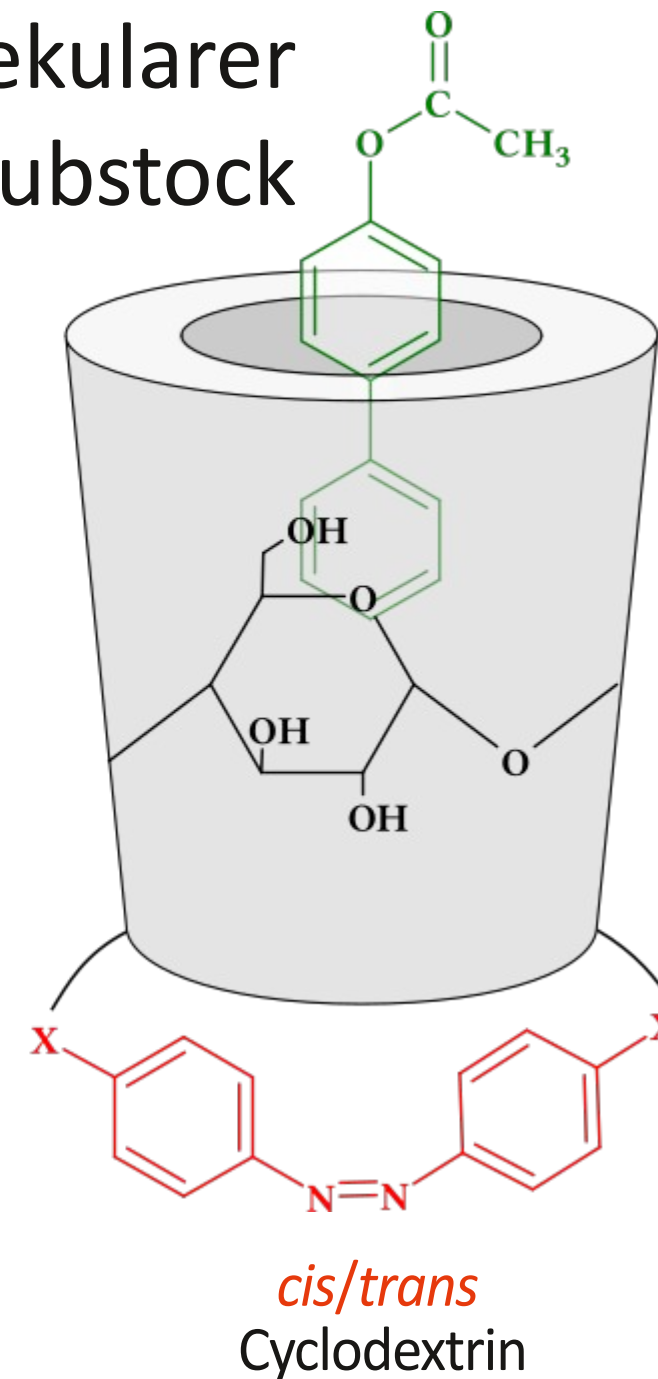
# Photoaktive Nanomaschinen

mit molekularen Schaltern

... ein molekularer  
Schraubstock



... ein molekulares trojanisches Pferd



S. Shinkai et al., *Bull. Chem. Soc. Jap.*, **60**, 1819 (1987)

V. Ramamurthy, **Photochemistry in Organized and Constrained Media**, VCH (1991)

D. Wöhrle, M.W. Tausch, W.-D. Stohrer, **Photochemie**, Wiley-VCH (1998)



# Semantische Abgrenzung von Fachbegriffen

mit Photo-Mol (vgl. Didaktische Hinweise im Begleitheft)

- **Wärme vs. Licht** (Formen der Energiebeteiligung an Reaktionen)
- **Lichtabsorption vs. Lichtemission** (Ursachen von Farbigkeit)
- **Fluoreszenz vs. Phosphoreszenz** (Leuchtfarben)
- **Solvatochromie vs. Photochromie** (Farbunterschiede die ein Stoff in Abhängigkeit von äußeren Einflüssen verursacht)

- **Grundzustand vs. elektronisch angeregte Zustände**  
(quantifizierte Energiezustände in Molekülen und Halbleitern)
- **Elektronenzustände vs. Schwingungszustände**  
(als Energiezustände in Molekülen)
- **chemisches Gleichgewicht vs. photostationäres Gleichgewicht**  
(unterschiedliche Zustände in Stoffsystemen mit zeitlich konstanten Anteilen der Reaktionsteilnehmer)

Sek. I

Sek. II





# Photo-Mol

## Curriculare Einbindung in den Chemieunterricht der Sek. I

# Curriculare Einbindung mit Photo-Mol

in die Sekundarstufe I

## Teil 1: Photolumineszenz

*Versuche und Arbeitsblätter für die Sek. I*

- AB1: Weinender Kastanienzweig
- AB2: Fluorescein in Lösung
- AB3: Leuchtfarben in Alltagsgegenständen und Naturprodukten
- AB4: Fluorescein bzw. Esculin in Weinsäure-Matrix

## Teil 2: Photochromie

*Versuch für die Sek. I und II*

- Herstellung der „intelligenten Folie“ im Schülerversuch

*Versuche und Arbeitsblätter für die Sek. I*

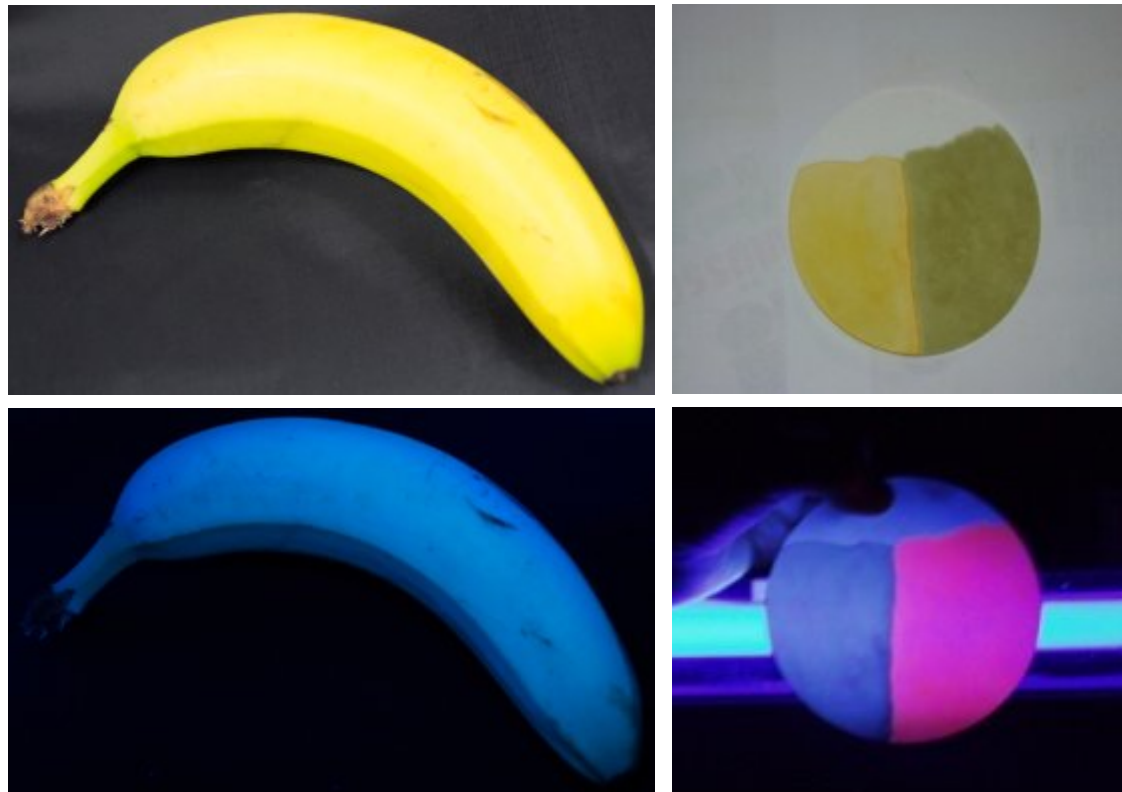
- AB1: Die „intelligente Folie“ bei Sonnenlicht
- AB2: Die „intelligente Folie“ im Licht aus LEDs
- AB3: Die „intelligente Folie“ mit Lichtfiltern

# Farben & Leuchtfarben

im Anfangsunterricht (vgl. Arbeitsblätter 1 – 4)

## Chemie, Sek. I

Stoffe  
Stoffeigenschaften  
Farben, Leuchtfarben,  
Löslichkeit ...



### Weinender Kastanienzweig

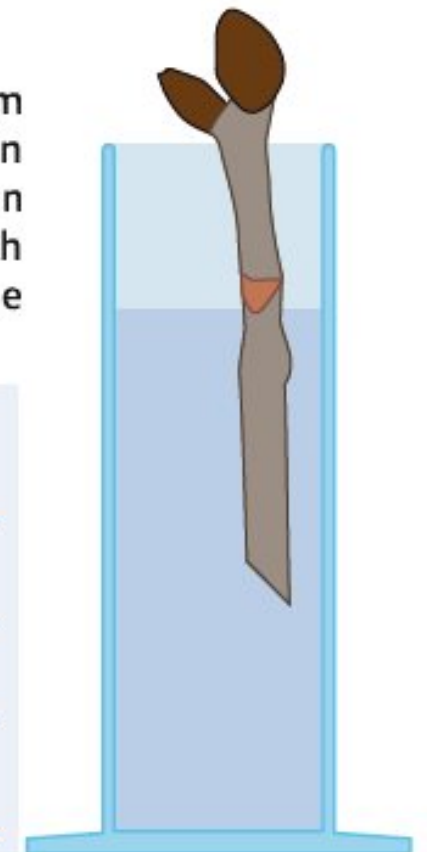
**V1** Schneide einen Kastanienzweig schräg an und tauche ihn im abgedunkelten Raum und im Licht der violetten LED-Taschenlampe in einen mit Wasser gefüllten Glaszylinder ein. Beobachte das Geschehen an der Schnittstelle und in der Flüssigkeit. Betrachte dann das Ganze auch bei Tageslicht ohne eingeschaltete LED-Taschenlampe. Notiere deine Beobachtungen.

.....

.....

.....

.....



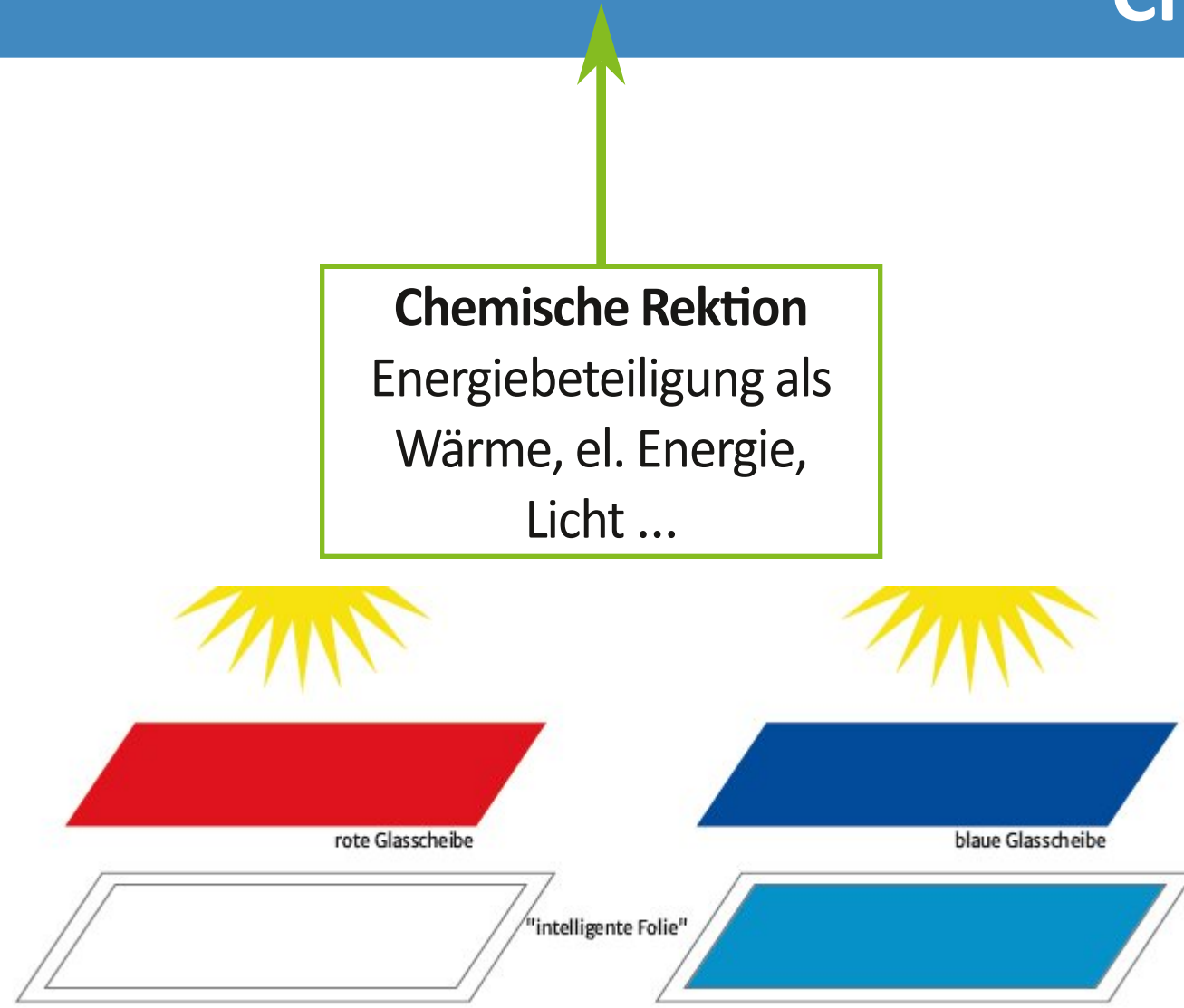
**A1** In V1 wird ein im Kastanienzweig enthaltener Stoff, das Esculin, sichtbar. Kreuze jeweils so an, dass die Aussage mit den Beobachtungen aus dem Versuch übereinstimmt.

Esculin ist	<input type="checkbox"/> wasserlöslich	<input type="checkbox"/> nicht wasserlöslich
Esculin ist bei Tageslicht	<input type="checkbox"/> sichtbar	<input type="checkbox"/> nicht sichtbar
Esculin hat	<input type="checkbox"/> eine weiß-blaue Farbe	<input type="checkbox"/> keine Farbe

# Chemische Reaktion

als Stoff- & Energieumwandlung (vgl. Arbeitsblätter 1 – 3)

## Chemie, Sek. I



**A2** Auf der "intelligenten Folie" findet bei Bestrahlung mit Licht eine chemische Reaktion statt, bei der der farblose Stoff **Spiropyran** in einen anderen Stoff, das blaue **Merocyanin**, umgewandelt wird. Im Dunkeln reagiert Merocyanin spontan zu Spiropyran zurück. Gib die Reaktionsschemata mit den Namen der beiden Stoffe an und ordne den beiden Stoffen im Energiediagramm die richtigen Stellen zu, indem du die Namen der Stoffe in die Kästen einträgst.

# Unterrichtsdesign

mit dem Photo-Mol Koffer

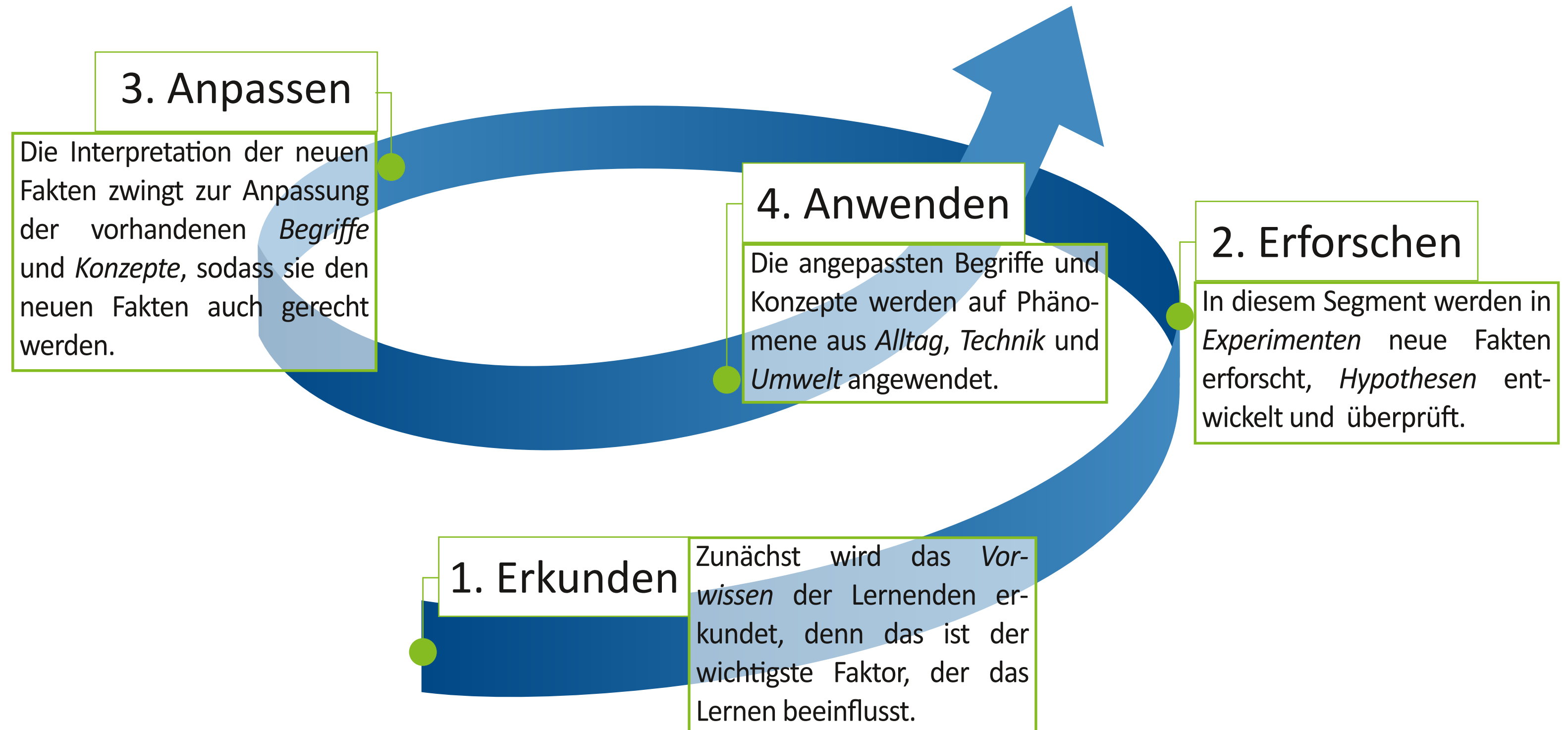


Sekundarstufe I

# Konstruktivistische Lernschleifen

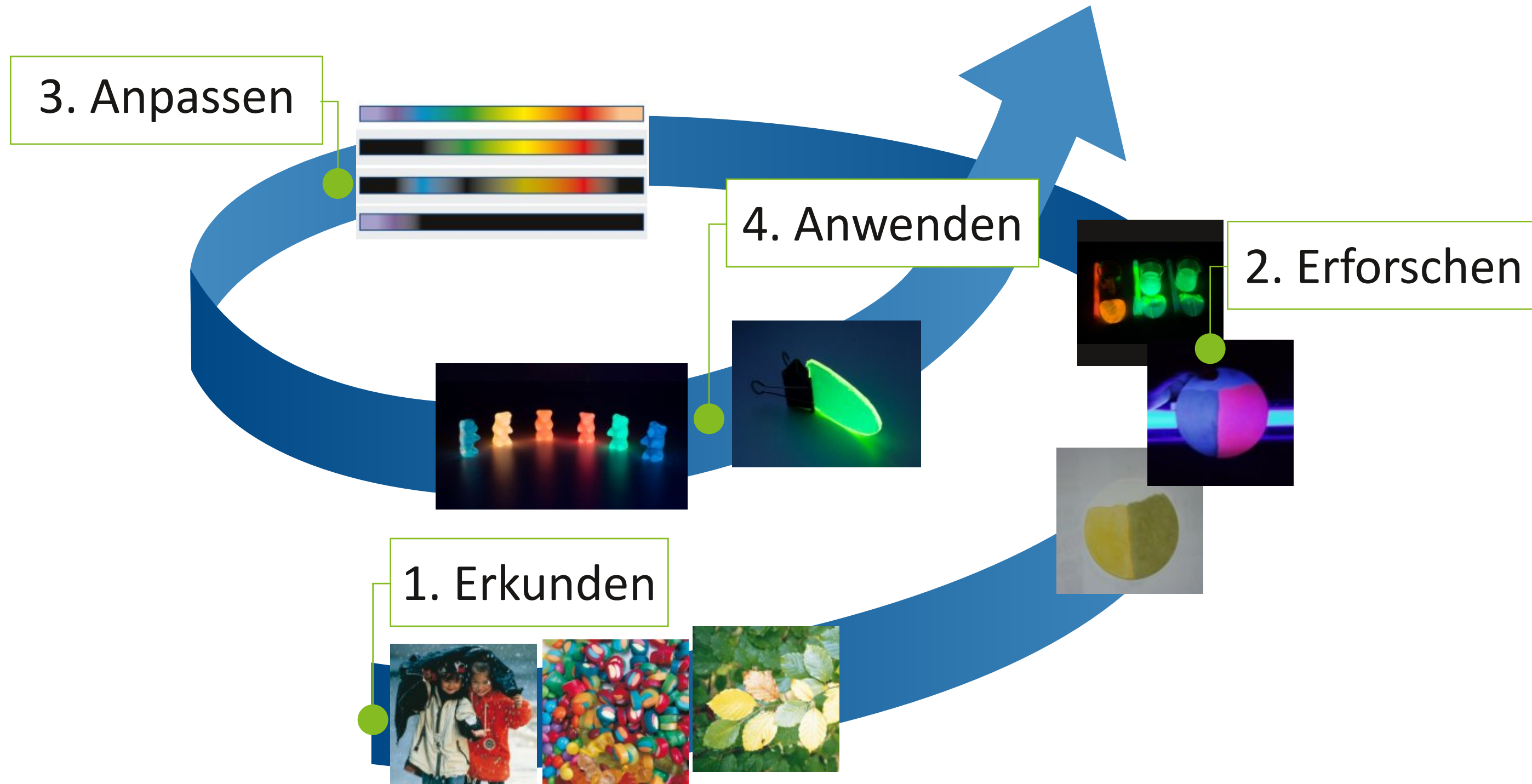
# Konstruktivistische Lernschleife

Gliederung eines Unterrichtsbausteins in *vier* Segmente im Sinne *forschend-entwickelnden* Lernens



# „Von den Farben zu den Leuchtfarben“

Konstruktivistische Lernschleife für die Sekundarstufe I



# „Von den Farben zu den Leuchtfarben“

Konstruktivistische Lernschleife für die Sekundarstufe I

## Versuche, Aufgaben, Inhalte im *Photo-Mol* Koffer



### Referenzen im **Begleitheft:**

- V1, V2, A1, A1, A2, S.7
- V1, V2, A1, S.10
- V1, V2, A1, A2, S.11

### Zu erschließende **Inhalte:**

- Farbe als Stoffeigenschaft, abhängig vom Stoff *und* vom Licht
- Zusammensetzung des Sonnenlichts aus den Regenbogenfarben (Spektralfarben)
- Unterschied: Farbe vs. Leuchtfarbe



### Referenzen im **Begleitheft:**

- V1, V2, A1, A2, A3, S.8-9
- A3, A4, S.12

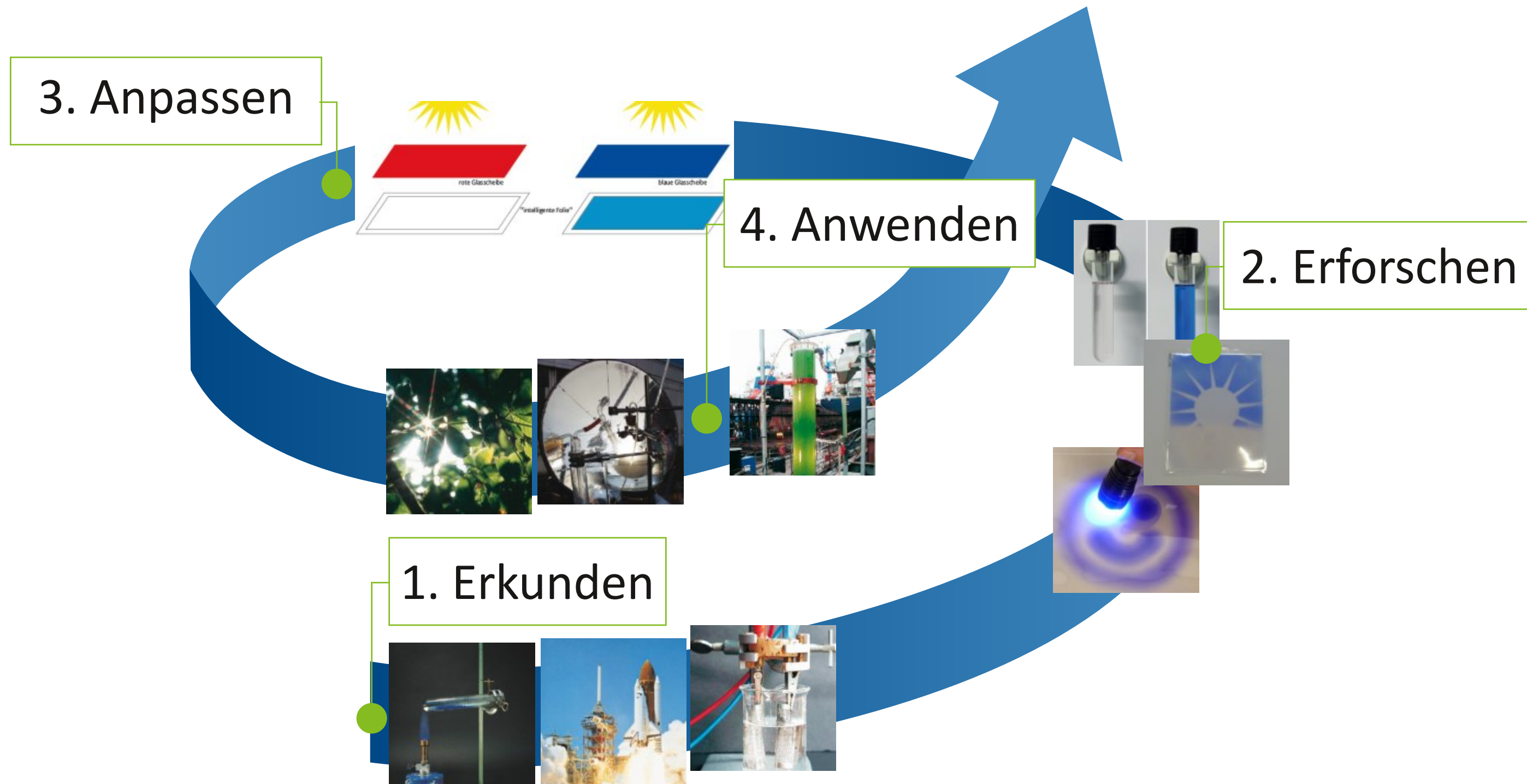
### Zu erschließende **Inhalte:**

- *Inhalte bei Station 1 +*
- Löslichkeit als Stoffeigenschaft,
- Trennung von Stoffgemischen aufgrund unterschiedlicher Löslichkeiten



# „Energiebeteiligung bei chemischen Reaktionen“

Konstruktivistische Lernschleife für die Sekundarstufe I



# „Energiebeteiligung bei chemischen Reaktionen“

Konstruktivistische Lernschleife für die Sekundarstufe I

## Versuche, Aufgaben, Inhalte im *Photo-Mol* Koffer

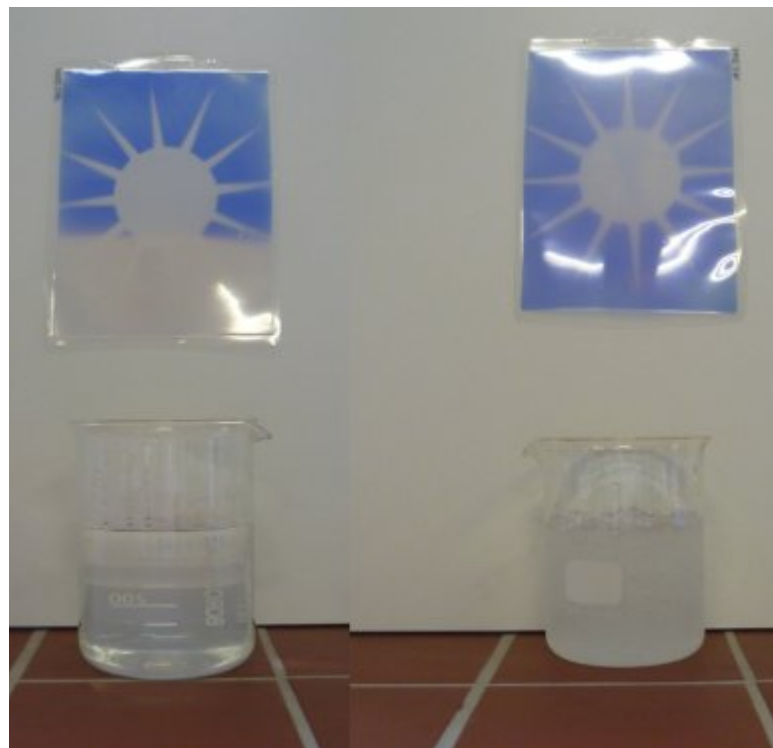


Referenzen im **Begleitheft:**

- V1, S.23-24 und S.19-22
- V1-V4, S. 25
- V1, S.26
- V1, A1, A2, S.27

Zu erschließende **Inhalte:**

- Herstellung einer „intelligenten Folie“ mit photoaktivem molekularem Schalter
- Photochromie und Anwendungen
- Relation: Struktur-Löslichkeit



Referenzen im **Begleitheft:**

- V1, M1, A1-A4, S.32-33 + M1, S. 34-35
- Flash Animation „Photo-stationäres Gleichgewicht“ auf dem USB-Stick im Koffer

Zu erschließende **Inhalte:**

- Energiediagramme für thermische und photochemische Reaktionen
- Temperaturabhängigkeit der Reaktionsgeschwindigkeit
- Chemisches und photostationäres Gleichgewicht

# **Photo-Mol**

## **Curriculare Einbindung**

in den Chemieunterricht der Sek. II

# Curriculare Einbindung mit Photo-Mol

in die Sekundarstufe II

## Teil 1: Photolumineszenz

*Versuche und Arbeitsblätter für die Sek. II*

- AB5: Fluoreszein in wässriger Lösung und bei Zugabe von Aceton
- AB6: Fluorescein bzw. Esculin bei verschiedenen pH-Werten
- AB7: Fluorescein bzw. Esculin in Weinsäure-Matrix
- AB8: Echtfarben-Emissionsspektren
- AB9: Molekülstruktur – Photolumineszenz
- AB10: Molekülstruktur – Photolumineszenz
- AB11: Photolumineszenz-Anwendungen

# Curriculare Einbindung mit Photo-Mol

in die Sekundarstufe II

## Teil 2: Photochromie

*Versuche und Arbeitsblätter für die Sek. II*

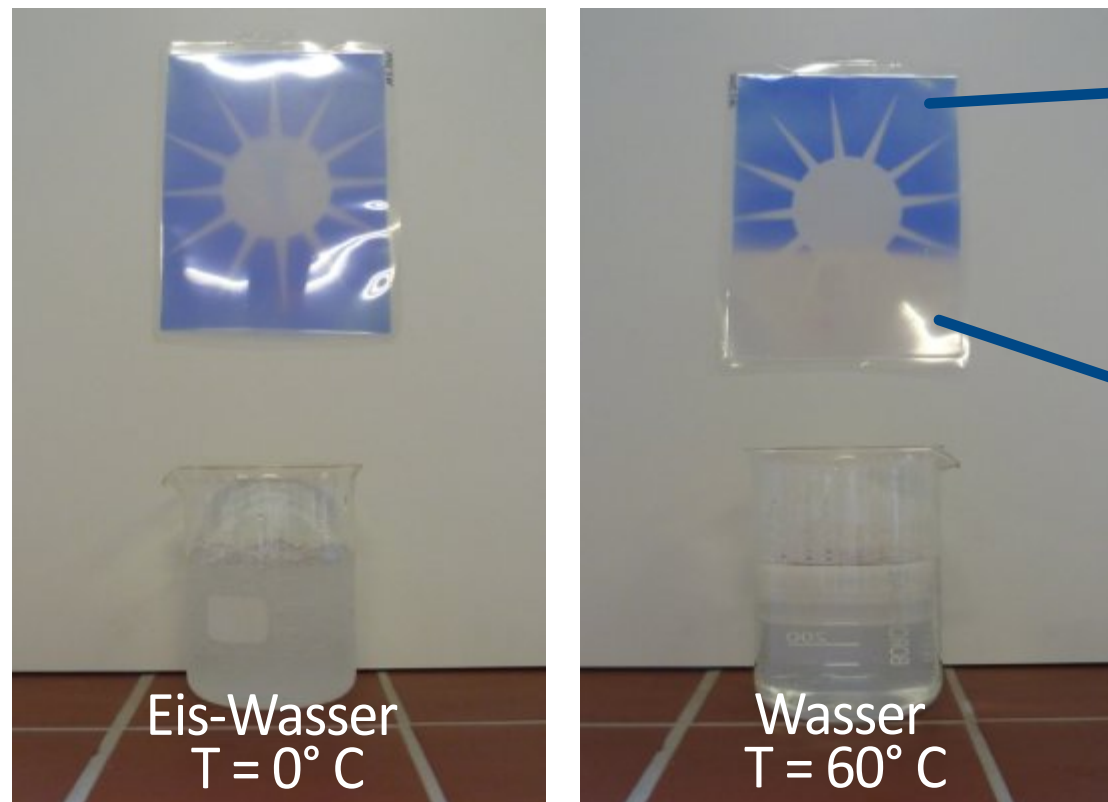
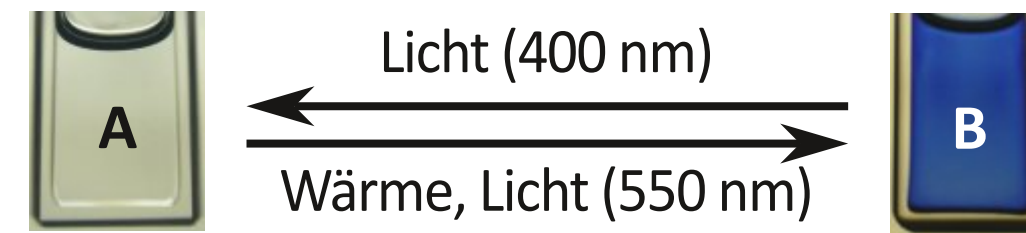
- AB4: Licht – Farbe – Energie – Energiestufenmodell
- AB5: Temperaturabhängigkeit der Reaktionsgeschwindigkeit bei photochemischen und thermischen Reaktionen
- AB6: Photometrische Messungen - Absorptionskurven
- AB7: Photostationäres und chemisches Gleichgewicht
- AB8: Photoaktiver molekularer Schalter Spiropyran-Merocyanin
- AB9: Solvatochromie von Merocyanin
- AB10: Molekulare Schalter – Anwendungen
- AB11: Molekulare Schalter – Anwendungen
- AB12: Einfluss der Nano-Umgebung auf die Lichtabsorption und -emission

# Chemisches und photostationäres Gleichgewicht

(vgl. Arbeitsblätter 7 – 8)

Chemie, Sek. II

**Kohlenstoffverbindungen und Gleichgewichtsreaktionen**  
Reaktionsgeschwindigkeit, Beeinflussung von Gleichgewichtsreaktionen ...



**Photostationäres Gleichgewicht**

wird durch Lichteinstrahlung erzeugt und aufrecht erhalten.

$$c(B) \approx c(A)$$

**Chemisches Gleichgewicht**

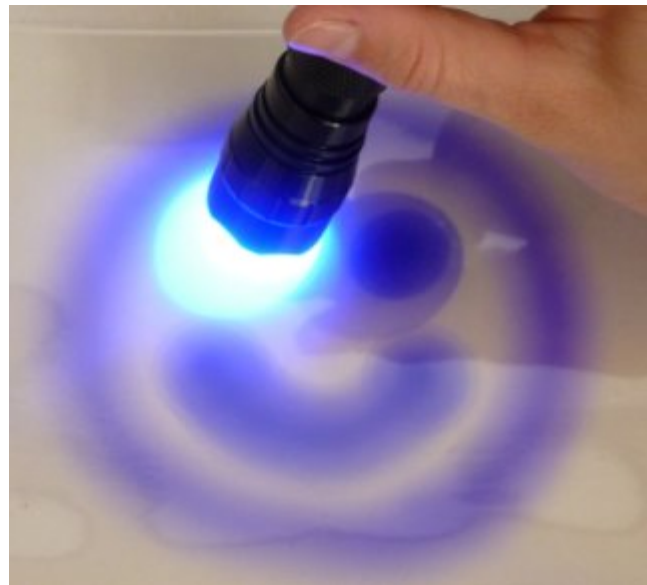
$$c(B) \ll c(A)$$

# Energetik & Kinetik chemischer Reaktionen

(vgl. Arbeitsblätter 4 – 5)

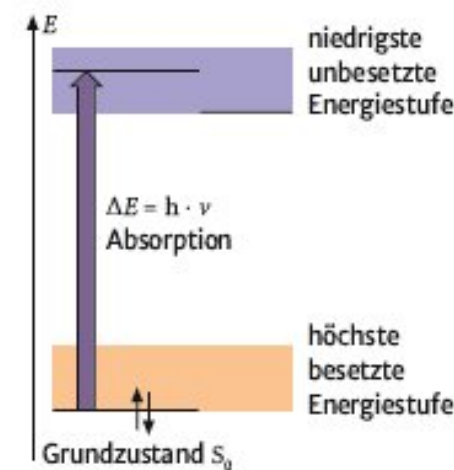
## Chemie, Sek. II

Kohlenstoffverbindungen und  
Gleichgewichtsreaktionen  
Reaktionsgeschwindigkeit, Beeinflussung von  
Gleichgewichtsreaktionen ...



- e) Bei einer photochemischen Reaktion ist der erste Elementarprozess immer eine elektronische Anregung, d.h. die Anhebung eines Elektrons durch Absorption eines Photons geeigneter Energie aus der höchsten besetzten Energiestufe, i.d.R. in die niedrigste unbesetzte Energiestufe.

Zeichnen Sie den dabei entstehenden elektronisch angeregten Zustand (vgl. dazu Einzelheiten in Text 1). Erklären Sie mithilfe des skizzierten Energiestufenmodells, warum die Blaufärbung der "intelligenten Folie" mit rotem und grünem Licht nicht funktioniert.



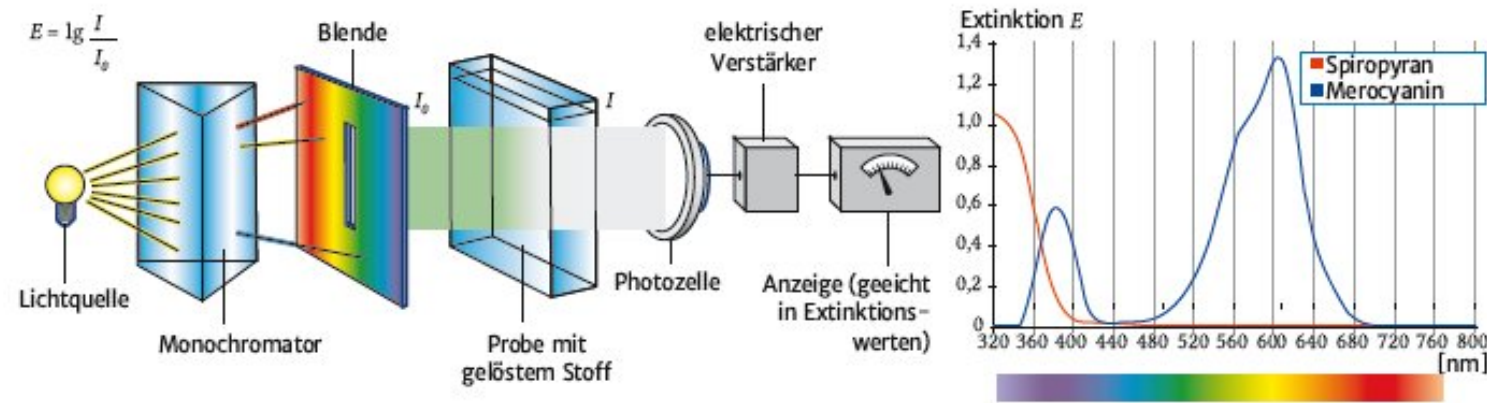
A large dashed rectangular box for drawing the excited state, with horizontal dashed lines for writing an explanation.

# Photometrie Energiestufenmodell

(vgl. Arbeitsblatt 6)

## Chemie, Sek. II

A1 Die folgenden Bilder zeigen das Messprinzip bei der Photometrie und die Absorptionskurven von Spiropyran und Merocyanin (vgl. dazu auch "Warum sehen wir Blattgrün grün?" in Text 2).



Die Bestimmung der Reaktionsgeschwindigkeit bei der thermischen Reaktion kann photometrisch durchgeführt werden.

Ergänzen Sie die folgenden Aussagen:

Der gelöste Stoff in der Probe ist in diesem Fall .....

Die zeitliche Veränderung der Extinktion  $E$  kann bei einer konstanten Wellenlänge gemessen werden:

$\lambda = \dots \text{ nm}$

Aufgrund ihrer Definition der Extinktion  $E$  ( $I_0$ : Lichtintensität vor dem Eintritt in die Probe;  $I$ : Lichtintensität nach dem Austritt aus der Probe) ist zu erwarten, dass diese im Laufe der Entfärbung .....

Wegen der Proportionalität der Extinktion  $E$  und der Konzentration  $c$  des gemessenen Stoffes (LAMBERT-BEER'sches Gesetz) ist, zwischen den Zeitpunkten  $t_1$  und  $t_2$ , der Wert von

$\frac{E_2 - E_1}{t_2 - t_1}$  ein Maß für .....

Organische Produkte – Werkstoffe und  
Farbstoffe  
Farbstoffe und Farbigkeit ...

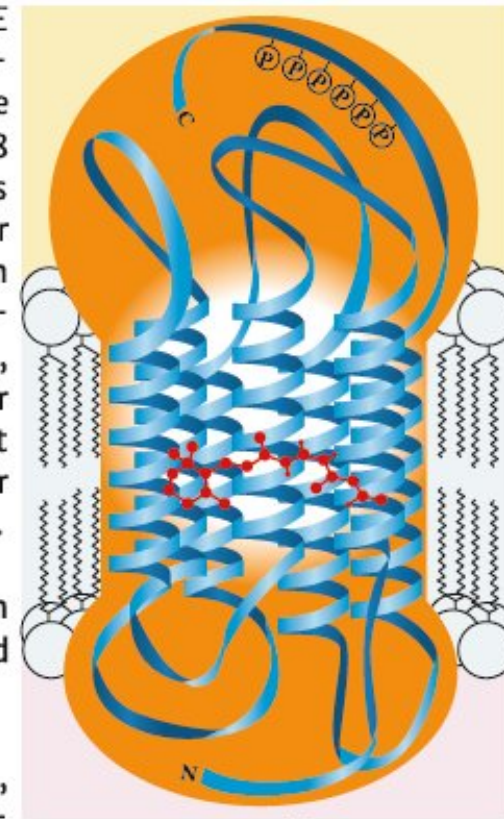


# Solvatochromie, Molekulare Schalter

(vgl. Arbeitsblätter 8 – 12)

## Chemie, Sek. II

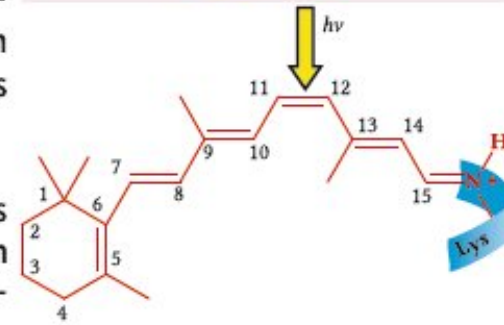
**A1** Der Sehvorgang in unseren Augen beginnt mit einer  $Z \rightarrow E$  Isomerisierung an einem 11-Z-Retinal-Rest (Vitamin-A-Aldehyd-Rest). Dies ist die so genannte prosthetische Gruppe im Rhodopsin-Molekül, einem Protein-Molekül aus 348 Aminosäure-Bausteinen. Wenn sich durch Absorption eines Lichtquants am 11-Z-Retinal-Rest die Konfiguration an der Doppelbindung zwischen dem 11. und 12. Kohlenstoff-Atom in die  $E$ -Konfiguration ändert, „streckt“ sich der im Opsin-Molekül eingebettete Retinal-Rest etwas aus. Das bewirkt, dass sich auch die Konformation und damit die Tertiärstruktur des Opsin-Makromoleküls geringfügig ändern. Damit setzt sich eine Folge aus biochemischen Prozessen in Gang, die zur Ausbildung eines Aktionspotentials für den Sehnerv führen.



a) Erläutern Sie am Beispiel des photoaktiven Schalters im Rhodopsin den Unterschied zwischen Konfiguration und Konformation.

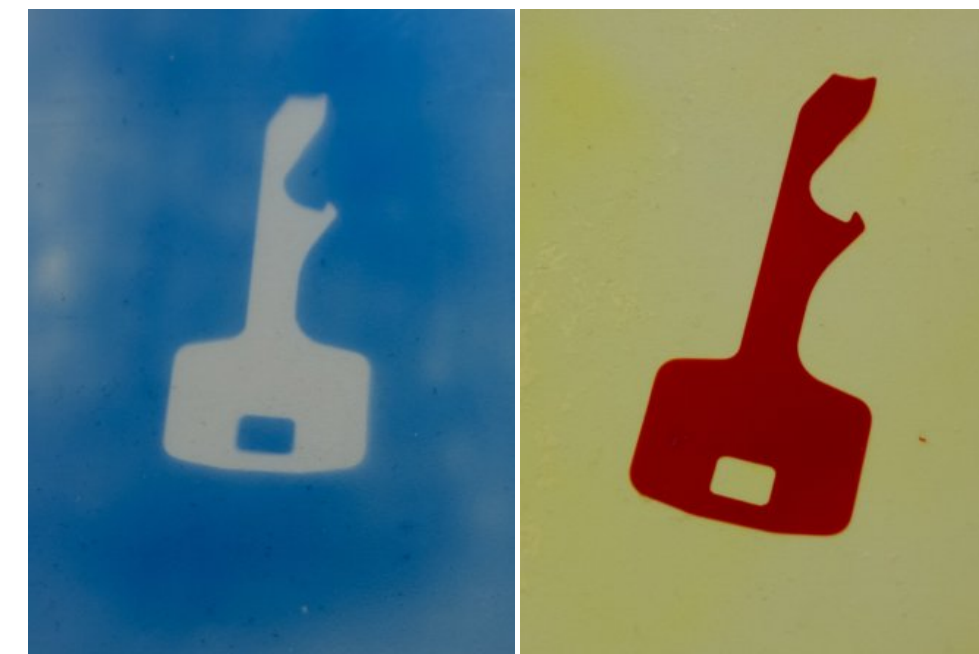
b) Nach der  $Z \rightarrow E$  Isomerisierung am 11-Z-Retinal-Rest, liegt der gesamte Retinal-Rest in der so genannten *all-E*-Konfiguration (*all-trans*-Konfiguration) vor. Beschreiben Sie, was damit gemeint ist und überprüfen Sie, ob es stimmt.

c) Recherchieren Sie im Internet mithilfe des Suchbegriffs „Vom Lichtquant zum Sehreiz“ die biochemischen Folgeprozesse nach der  $Z \rightarrow E$  Isomerisierung am 11-Z-Retinal-Rest bis zur Ausbildung des Aktionspotentials für den Sehnerv.



Retinal-Reste (rot) sind molekulare Schalter im Rhodopsin

Organische Produkte – Werkstoffe und  
Farbstoffe  
Farbstoffe und Farbigkeit ...

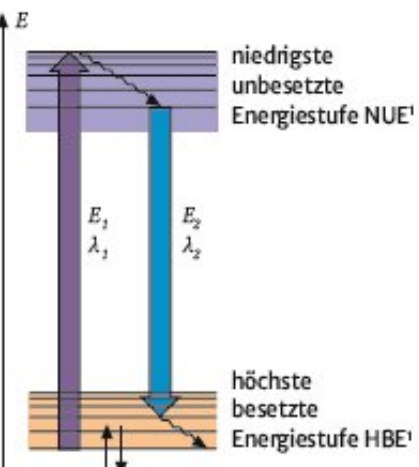


# Farbe durch Lichtabsorption und -emission

Energiestufenmodell (vgl. Arbeitsblätter 4 – 8)

Chemie, Sek. II

**A1** Der violette Pfeil symbolisiert das von einem Fluorescein-Molekülion absorbierte Photon der Energie  $E_1$  und der Wellenlänge  $\lambda_1$ , der blaue Pfeil das bei der Fluoreszenz emittierte Photon der Energie  $E_2$  und der Wellenlänge  $\lambda_2$ . Erschließen Sie die Fachinhalte in Text 3-4 aus den Zusatzinformationen (S. 43, 44) und bearbeiten Sie dann folgende Aufgaben.

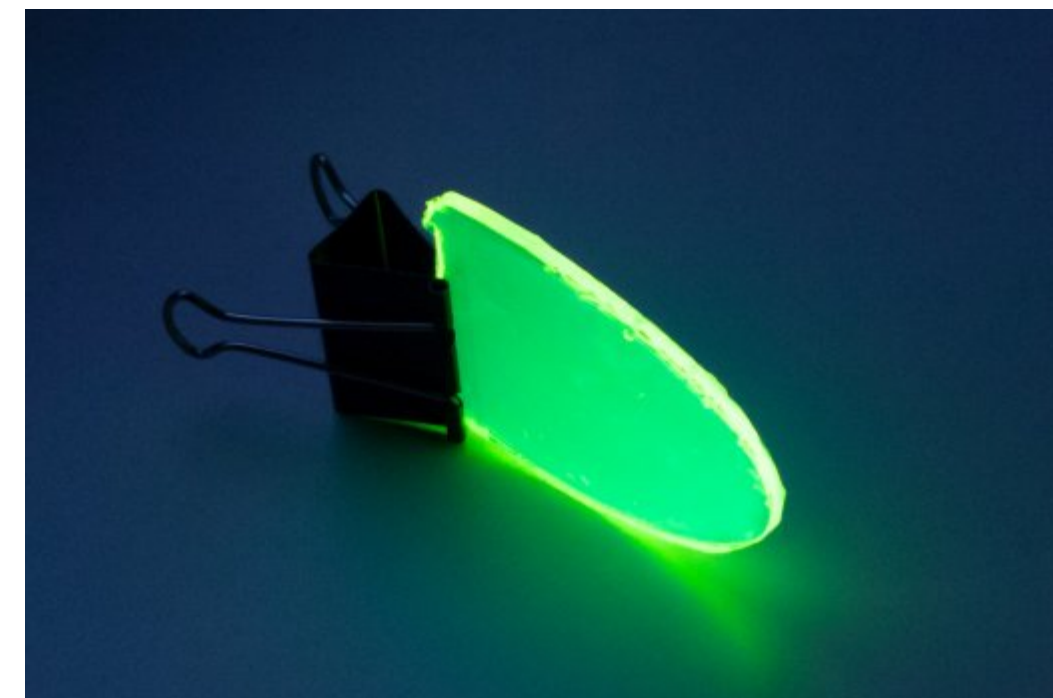


Energiestufenmodell; die schwarzen Linien kennzeichnen Schwingungszustände innerhalb einer Energiestufe

- Erläutern Sie, inwiefern die Beobachtungen bei V1 die unterschiedlichen Längen der beiden dicken Pfeile in der Skizze für das absorbierte und emittierte Photon bestätigen oder nicht.
- Die beiden geschwängelten Pfeile in der Skizze kennzeichnen Schwingungsrelaxationen. Sie erfolgen jeweils innerhalb ein- und derselben elektronischen Energiestufe. Geben Sie an, welche Energieform dabei abgegeben wird und erklären Sie, warum dabei keine Lichtemission erfolgt.
- Die Skizze mit dem Energiediagramm enthält die Erklärung für den so genannten Stokes-Shift bei der Fluoreszenz. Danach ist das emittierte Photon im Vergleich zum absorbierten bathochrom, d. h. nach größeren Wellenlängen, verschoben. Setzen Sie jeweils das richtige Zeichen „>“ oder „<“ zwischen die folgenden Paare:

$E_1$    $E_2$       $\lambda_1$    $\lambda_2$

Organische Produkte – Werkstoffe und  
Farbstoffe  
Farbstoffe und Farbigkeit ...



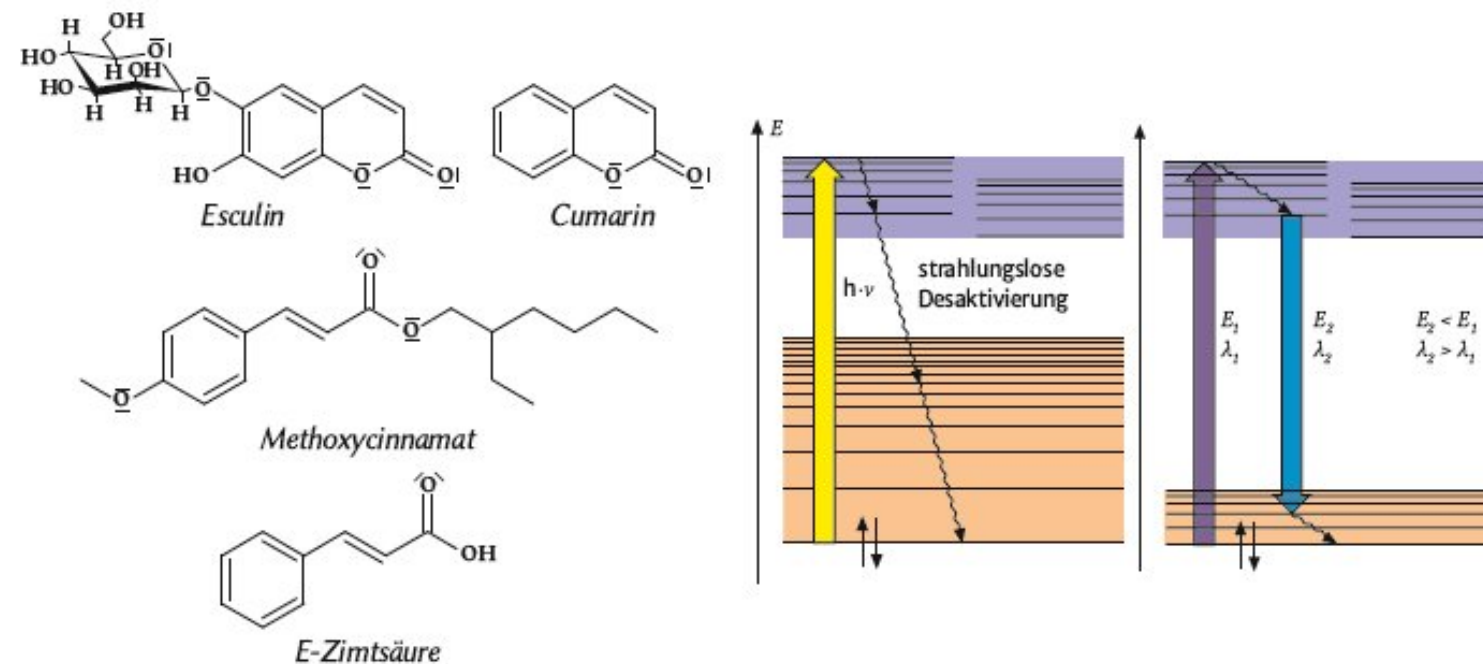
# Relation: Struktur - Farbe - Lumineszenz

(vgl. Arbeitsblatt 9 – 10)

## Chemie, Sek. II

**A1** In mehreren Versuchen aus dem Photo-Mol Koffer wird die Fluoreszenz von Esculin, einem Derivat des Cumarins (Benzopyranons), sichtbar. Dabei wird UV-Strahlung in sichtbares Licht umgewandelt.

In Sonnenschutzcremes und manchen anderen Produkten will man UV-Strahlung einfach „vernichten“. Dafür benötigt man UV-Absorber, deren Teilchen nicht fluoreszieren. Die Derivate der Zimtsäure (engl. cinnamic acid) erfüllen diese Bedingungen und finden daher in vielen Sonnenschutzcremes Anwendung.



a) Cumarin, Zimtsäure sowie ihre Derivate Esculin und Methoxycinnamat absorbieren im gleichen UV-Bereich ( $280 < \lambda < 400 \text{ nm}$ ). Markieren Sie mit einem Textmarker die Chromophore in den angegebenen Formeln und begründen Sie mithilfe geeigneter Fachbegriffe, warum die Absorptionsbereiche der vier Verbindungen annähernd gleich sind.

b) Ordnen Sie die beiden Energiestufendiagramme den beiden Verbindungsgruppen Cumarin und Derivate bzw. Zimtsäure und Derivate zu und begründen Sie die Zuordnung.

Organische Produkte – Werkstoffe und  
Farbstoffe  
Farbstoffe und Farbigeit ...

# Unterrichtsdesign

mit dem Photo-Mol Koffer



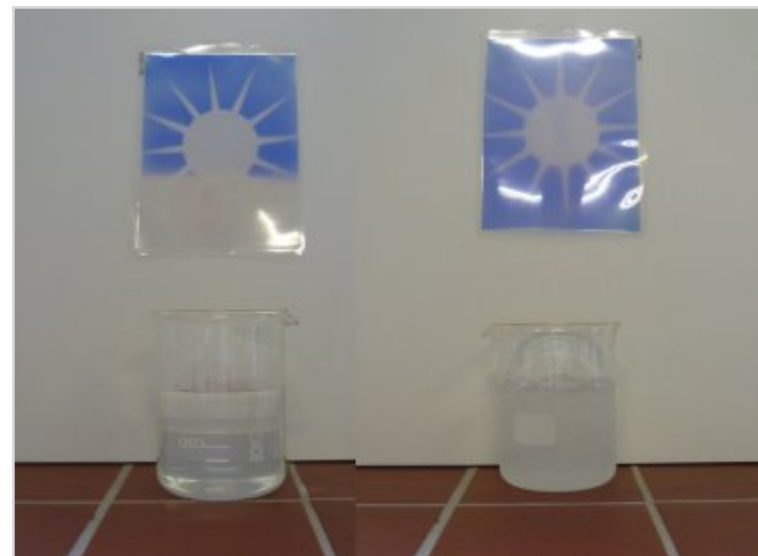
Sekundarstufe II  
**Stationenlernen**

# Stationen, Sekundarstufe II

Mit *einem* Photo-Mol Koffer können die folgenden 6 Stationen teils *mehrfach* aufgebaut werden:



Station 1: 3 x 2



Station 3: n x 1



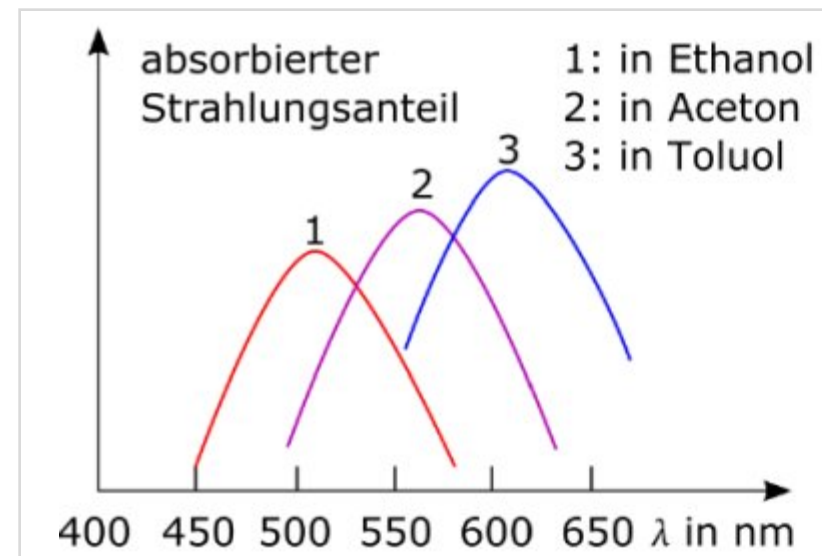
Station 5: n x 1



Station 2: 4 x 2



Station 4: 4 x 1



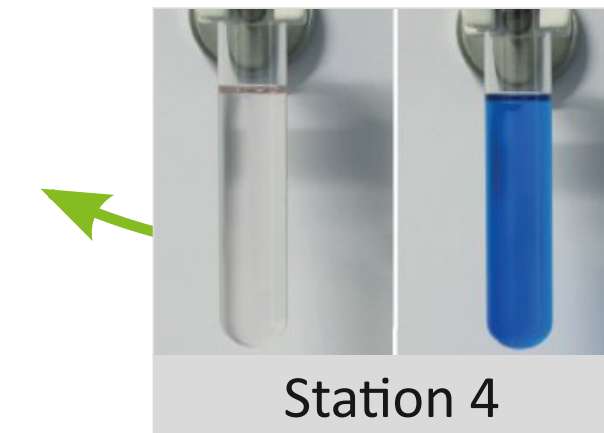
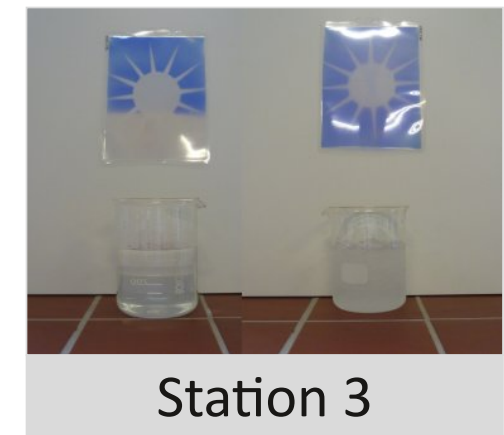
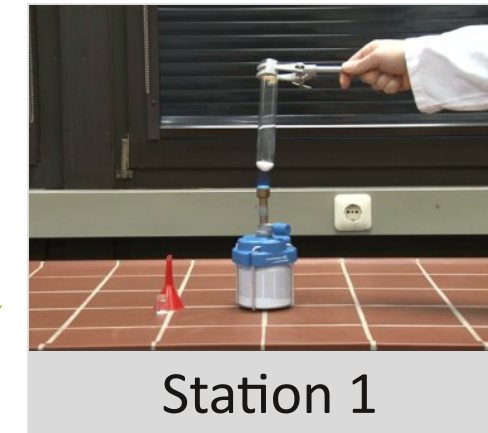
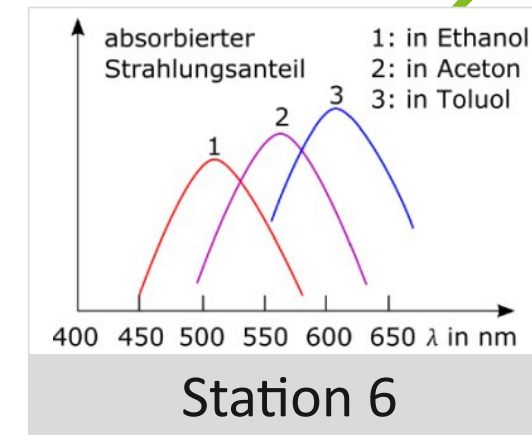
Station 6: 1 x 2

Station 1 drei mal, Station 2 und 4 vier mal, Station 3 und 5 je n mal und Station 6 nur ein mal, falls auch photometrisch gemessen werden soll. An den Stationen 3, 4 und 5 experimentiert je ein(e) Schüler(in) an den Stationen 1, 2 und 6 experimentieren je zwei Schüler(innen). Je nach zu behandelnden Lerninhalten und Größe der Lerngruppe kann variiert werden.

# Stationen im Rotationsmodus

Sekundarstufe II

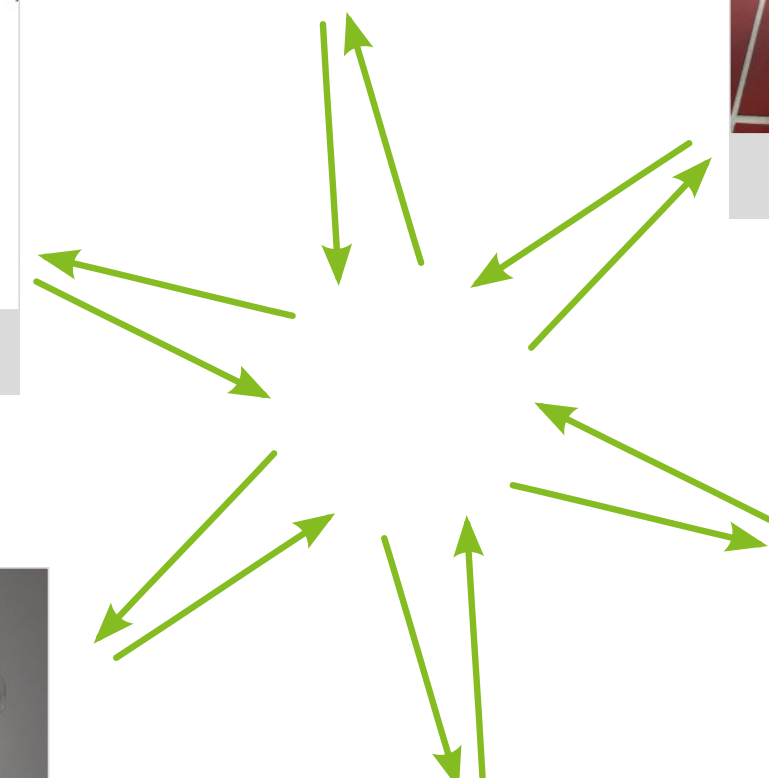
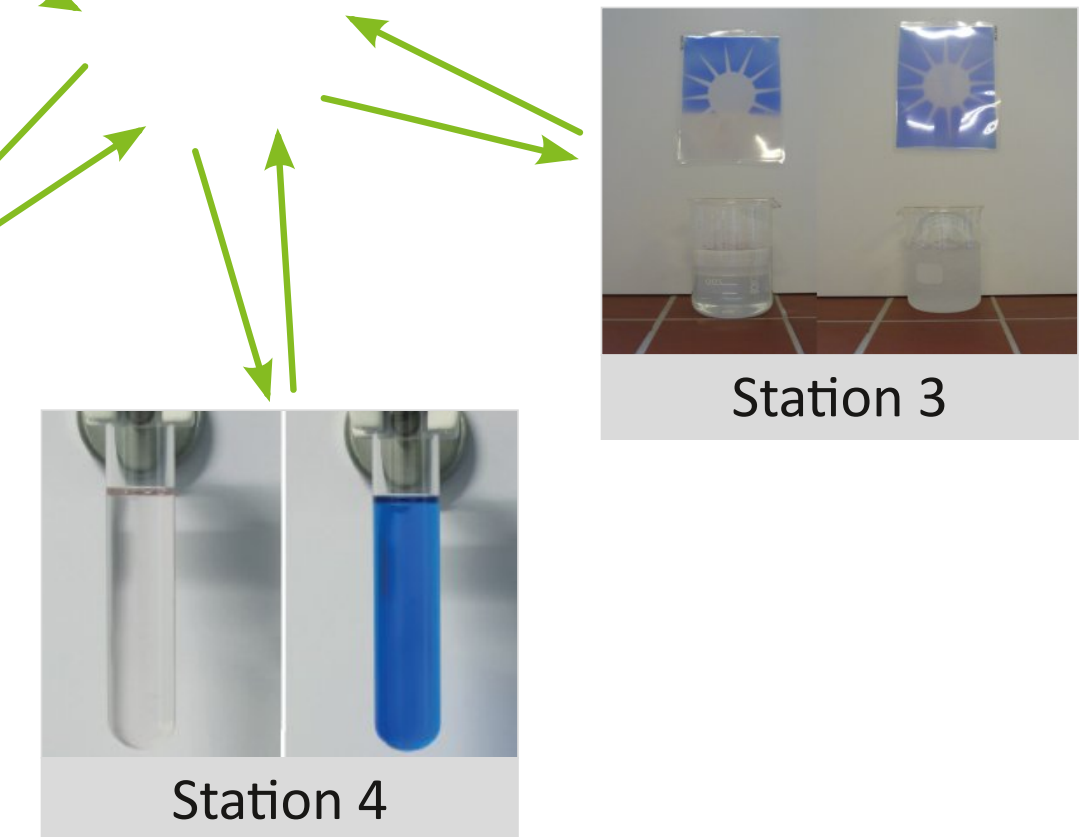
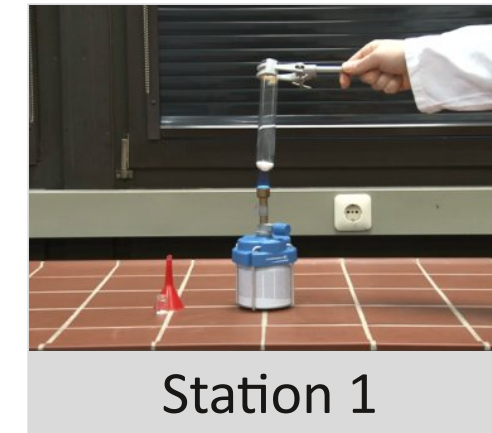
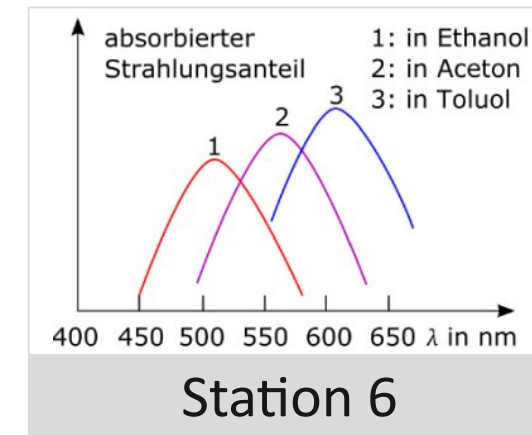
*Alle* Lernenden durchlaufen  
und bearbeiten *alle* Stationen



# Stationen im Expertenmodus

Sekundarstufe II

Jeweils eine Gruppe Lernender bildet sich an *einer* Station zu „Experten“ aus und präsentiert anschließend ihre Experimente und Erkenntnisse der gesamten Lerngruppe



# Lerninhalte an den Stationen

Sekundarstufe II

## Versuche, Aufgaben, Inhalte im *Photo-Mol* Koffer

Station 2



Referenzen im **Begleitheft:**

- V1, S.23-24 und S.19-22
- V1, S. 30

Zu erschließende **Inhalte:**

- Herstellung einer „intelligenten Folie“ mit photoaktivem molekularem Schalter
- Photochromie und Anwendungen
- Relation: Struktur-Löslichkeit
- Relation: Struktur-Farbigkeit

Station 3



Referenzen im **Begleitheft:**

- V1, M1, A1-A4, S.32-33 + M1, S.34-35
- Flash Animation „Photo-stationäres Gleichgewicht“ auf dem USB-Stick im Koffer

Zu erschließende **Inhalte:**

- Energiediagramme für thermische und photochemische Reaktionen
- Temperaturabhängigkeit der Reaktionsgeschwindigkeit
- Chemisches und photostationäres Gleichgewicht



# Lerninhalte an den Stationen

Sekundarstufe II

## Versuche, Aufgaben, Inhalte im *Photo-Mol* Koffer

Station 4



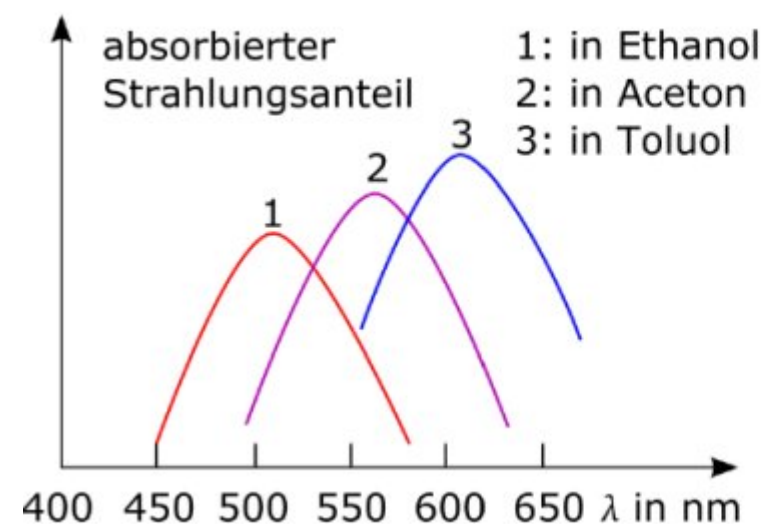
Referenzen im **Begleitheft**:

- V1, S.28-29
- V, S.30
- M1, S.34, a)-g)

Zu erschließende **Inhalte**:

- Energieform Licht beim Antrieb chemischer Reaktionen
- Photochromie, Isomerisierungen
- Energiediagramme, Reaktionswege
- Spektralfarben und Quantifizierung der Energie,  $E = h \cdot \nu$ , Energiestufenmodell

Station 6



Referenzen im **Begleitheft**:

- alle Versuche und Aufgaben von S.14-16 und S.19-22
- Flash Animation „Ein Fall für 2“ auf dem USB-Stick im Koffer

Zu erschließende **Inhalte**:

- Farbigkeit durch Lichtabsorption und -emission und ihre Anwendungen
- Photometrie, Absorptionskurven
- Solvatochromie vs. Photochromie
- Energiestufenmodell, Reaktionswege
- Relation: Struktur-Farbigkeit