

# Broschüre für den Chemieunterricht (Gymnasium GK, LK)

## Thema: Bathochromer Effekt, Auxochrome und Antiauxochrome – Wie sich Molekülstrukturen in Farben „übersetzen“

### 1. Einleitung: Warum uns Farbstoffe so viel über Struktur verraten

Farbstoffe sind perfekte Beispiele dafür, wie sich abstrakte Begriffe wie „Mesomerie“, „konjugiertes  $\pi$ -System“ und „Substituenteneffekte“ im wahrsten Sinne des Wortes **sichtbar** machen.

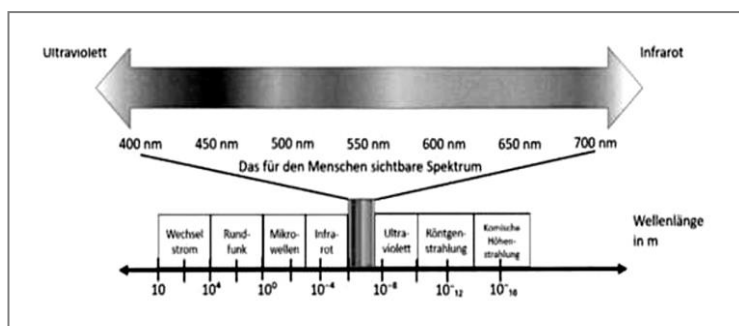
Ein organisches Molekül erscheint dann farbig, wenn es Licht im Bereich des sichtbaren Spektrums (ca. 400–700 nm) absorbiert und die **Komplementärfarbe** reflektiert oder durchlässt. Welche Wellenlänge absorbiert wird, hängt entscheidend ab von:

- Größe und Gestalt des **Chromophors** (dem farbgebenden  $\pi$ -System),
- Art und Position der **Substituenten** (Auxochrome / Antiauxochrome),
- Ladungssituation (z. B. Protonierung / Deprotonierung, Salzbildung),
- ggf. auch Lösungsmittel und Umgebung (z. B. pH, Polarität).

Ziel dieser Broschüre ist es, Lehrkräften ein **strukturiertes, tiefes Fundament** zu geben, um im Unterricht nachvollziehbar zu erklären:

- Was bathochromer (Rot-) und hypsochromer (Blau-)Effekt bedeuten,
- Wie **Auxochrome** und **Antiauxochrome** diese Effekte auslösen,
- Wie man das Ganze an realen Beispielen (Stilben-Reihe,  $\beta$ -Carotin, Perylen-Farbstoffe, Indikatorfarbstoffe) illustrieren kann.

Bild 1: Sichtbares Spektrum mit Farbbalken (400–700 nm) und Zuordnung „absorbierte Spektralfarbe  $\leftrightarrow$  beobachtete Komplementärfarbe“



### Tabelle 1 — Absorbierte Spektralfarbe und beobachtete Komplementärfarbe

Diese Tabelle ist identisch zu wissenschaftlichen Standards der Farbstoffchemie (UV/Vis).

Wellenlänge absorbiert (nm)	Spektralfarbe (absorbiert)	Beobachtete Farbe (Komplementärfarbe)
400–435 nm	violett	gelb-grün
435–480 nm	blau	gelb
480–490 nm	grün-blau	orange
490–500 nm	blau-grün	rot
500–560 nm	grün	purpur
560–580 nm	gelb-grün	violett
580–595 nm	gelb	blau
595–605 nm	orange	blau-grün
605–750 nm	rot	blau-grün

## 2. Grundbegriffe: Chromophor, HOMO–LUMO, $\pi$ -System

**Chromophor:** Der Teil eines Moleküls, dessen Elektronen so angeordnet sind, dass sie Licht im UV/VIS-Bereich absorbieren (z. B.  $C=C$ ,  $C=O$ ,  $N=N$ ,  $NO_2$ ).

**Auxochrom:** Funktionelle Gruppe mit freien Elektronenpaaren (z. B.  $-OH$ ,  $-NH_2$ ,  $-NR_2$ ), die an ein  $\pi$ -System gebunden ist und dessen Absorption beeinflusst (Wellenlänge und Intensität).

**Antiauxochrom:** Elektronenanziehende Gruppe (z. B.  $-NO_2$ ,  $-COOH$ ,  $-CN$ ,  $-CHO$ ) mit  $-M$ -Effekt, die das  $\pi$ -System elektronisch „ausdünn“ oder anders koppelt.

**HOMO–LUMO-Bild:** Bei einer elektronischen Anregung wird ein Elektron vom höchsten besetzten Molekülorbital (HOMO) ins niedrigste unbesetzte (LUMO) gehoben. Die **Energiedifferenz  $\Delta E$**  bestimmt die Wellenlänge des absorbierten Lichts:

$$\Delta E = h \cdot c / \lambda$$

Je **kleiner**  $\Delta E$ , desto **größer**  $\lambda \rightarrow$  **Richtung Rot/IR (bathochrom)**.

Je **größer**  $\Delta E$ , desto **kleiner**  $\lambda \rightarrow$  **Richtung Blau/UV (hypsochrom)**.

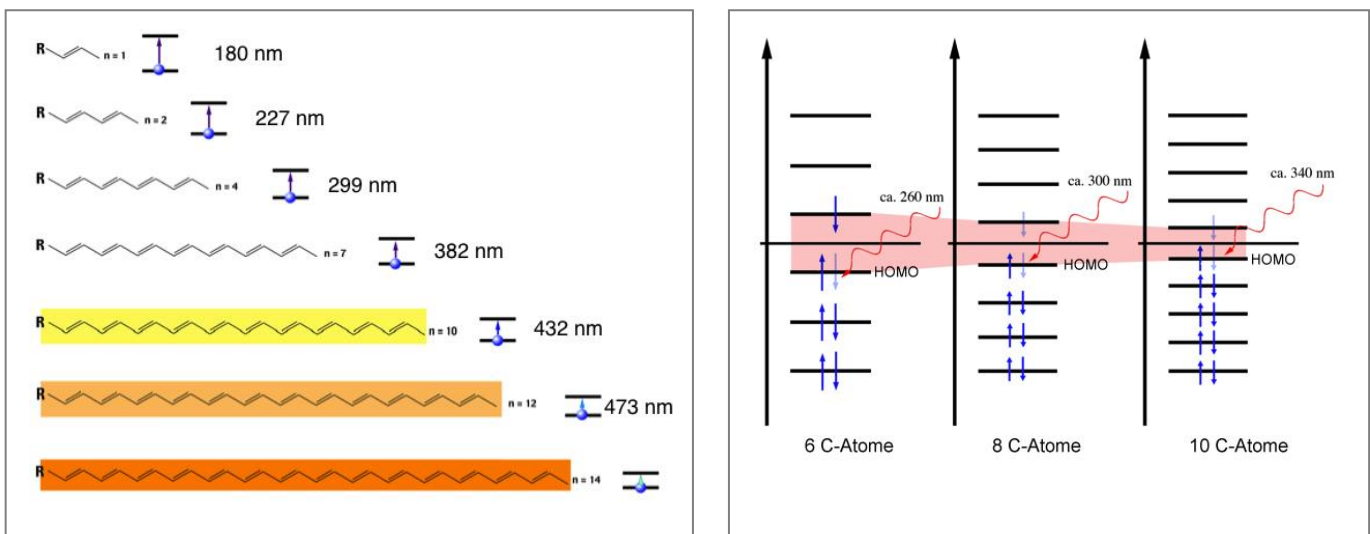


Bild 2: Schematische Darstellung eines HOMO–LUMO-Übergangs mit eingezeichnetem  $\Delta E$  und zugehöriger Wellenlänge  $\lambda$

Abb. links:

HOMO-LUMO-Abstand bei verschiedenen Polyenen mit bis zu 14 Doppelbindungen

Abb. rechts: Energiediagramm der Molekülorbitale des Hexatriens sowie der beiden folgenden Polyene mit 8 und 10 C-Atomen.

## 3. Bathochromer vs. hypsochromer Effekt

### 3.1 Bathochromer Effekt („Rotverschiebung“)

- **Definition:** Verschiebung des Absorptionsmaximums zu **längeren Wellenlängen** (energieärmer, „nach Rot“).
- **Typische Ursachen:**
  - Verlängerung des konjugierten  $\pi$ -Systems (mehr  $C=C$ -Doppelbindungen, größere aromatische Systeme),
  - Einfügen von **Auxochromen** (+M-Gruppen wie  $-OH$ ,  $-NH_2$ ,  $-NR_2$ ,  $-OCH_3$ ),
  - „Push–Pull“-Systeme: Kombination aus elektronendonierender Gruppe (+M) und elektronenziehender Gruppe (–M) am selben  $\pi$ -System.

### Beispiel Benzol → Anilin:

- Benzol:  $\lambda_{\text{max}} \approx 255 \text{ nm}$  (farblos, nur UV-Absorption)
- Anilin (Benzol mit  $-\text{NH}_2$ ):  $\lambda_{\text{max}} \approx 280 \text{ nm}$  (Rotverschiebung, bathochrom; immer noch im UV, aber deutlich verschoben).

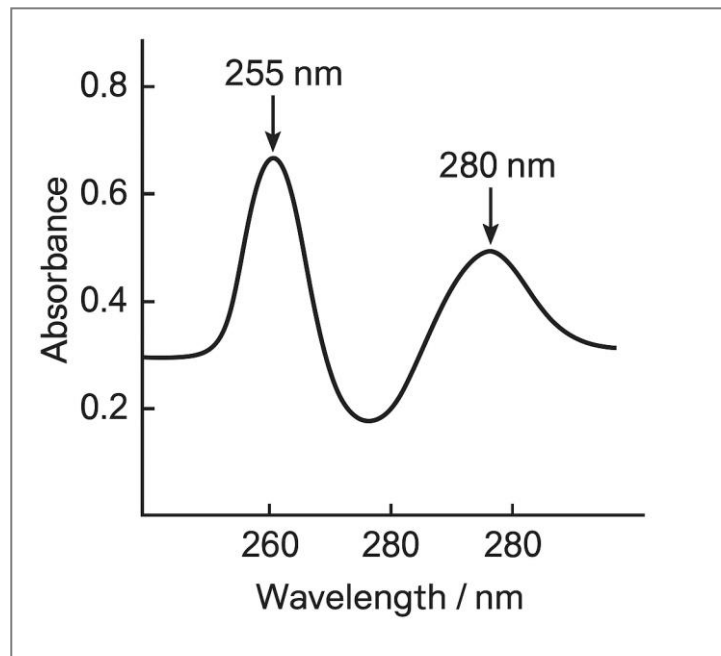


Bild 3: Vergleichsspektrum Benzol (links) vs. Anilin - rechts (zwei UV-Banden, Anilin nach längeren Wellen verschoben)

### 3.2 Hypsochromer Effekt („Blauverschiebung“)

- **Definition:** Verschiebung des Absorptionsmaximums zu **kürzeren Wellenlängen** (energiereicher, „nach Blau“).
- **Typische Ursachen:**
  - Unterbrechung oder Verkürzung der Konjugation,
  - Anbindung eines Substituenten, der die Delokalisierung einschränkt,
  - bestimmte Antiauxochrome ( $-\text{M}$ ) in ungünstiger Stellung.

### Beispiel Benzol → Nitrobenzol:

- Benzol:  $\lambda_{\text{max}} \approx 255 \text{ nm}$
- Nitrobenzol:  $\lambda_{\text{max}}$  in vielen Darstellungen eher zu kürzeren Wellen bzw. mit stark veränderter Bandenstruktur; die Nitrogruppe wirkt als starker Elektronenakzeptor ( $-\text{M}$ ,  $-\text{I}$ ).

Wichtig in der Didaktik: Den SuS deutlich machen, dass **nicht jede Elektronenanziehung automatisch hypsochrom** ist – im Kontext eines **Push–Pull-Systems** kann ein  $-\text{M}$ -Substituent sogar zur **Bathochromie** beitragen (siehe Stilben-Reihe weiter unten).

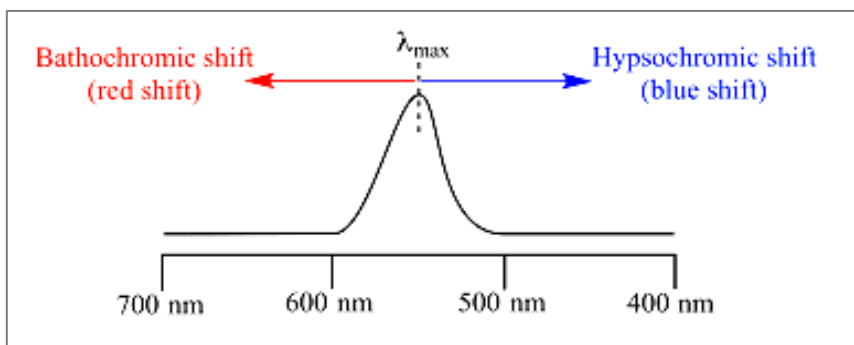


Bild 4: Schema „bathochrom vs. hypsochrom“ – zwei idealisierte Banden, eine nach rechts (rot), eine nach links (blau) verschoben

## 4. Auxochrome und Antiauxochrome – funktionelle Gruppen mit Farbmachung

### 4.1 Auxochrome

**Definition:** Substituenten mit freien Elektronenpaaren (n-Elektronen), die in **Konjugation** mit einem  $\pi$ -System stehen und so:

- die **Wellenlänge** erhöhen (bathochromer Effekt),
- die **Intensität** der Absorption steigern (hyperchromer Effekt).

Typische Auxochrome:

- $-\text{OH}$ ,  $-\text{O}^-$
- $-\text{NH}_2$ ,  $-\text{NHR}$ ,  $-\text{NR}_2$
- $-\text{OR}$  (Alkoxy)
- $-\text{SR}$

Didaktischer Tipp: in der Oberstufe immer mit **+M-Effekt** koppeln:

- Auxochrom = Gruppe mit +M: beteiligt ihr freies Elektronenpaar am  $\pi$ -System  $\rightarrow$  **energetische Stabilisierung** der  $\pi$ -Orbitale  $\rightarrow \Delta E$  kleiner  $\rightarrow \lambda_{\text{max}}$  größer.

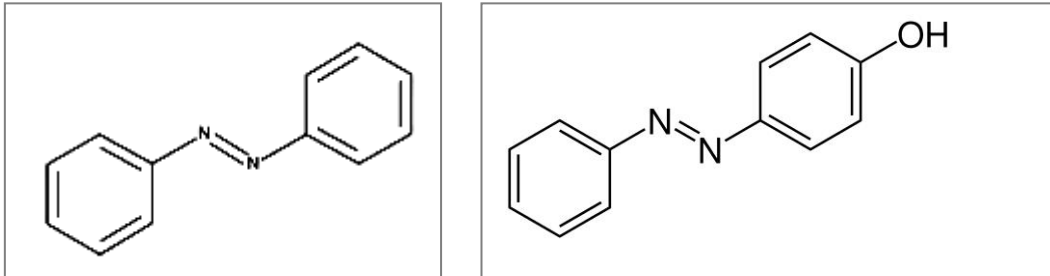


Bild 5: Beispiel: Azobenzol (links) vs. p-Hydroxyazobenzol (rechts)

- **Azobenzol** ( $-\text{N}=\text{N}-$  zwischen zwei Phenylringen) ist rot-orange, Azobenzol ( $\text{C}_6\text{H}_5-\text{N}=\text{N}-\text{C}_6\text{H}_5$ ). Absorption: ca. **320–350 nm** (gelblich)
- **p-Hydroxyazobenzol** ist deutlich dunkler/rotstichiger (bathochromer Effekt durch  $-\text{OH}$  als Auxochrom). p-Hydroxyazobenzol (P-Aminoazobenzol, 4-Hydroxyazobenzol). Auxochrom  $-\text{OH} \rightarrow$  **Bathochrome Verschiebung** Absorption: **380–430 nm** (orange-rot)

## 4.2 Antiauxochrome

### Definition:

Substituenten mit  $-\text{M}$ -Effekt (Elektronenanziehung via  $\pi$ -System), die die Elektronendichte im Chromophor verringern und häufig:

- die Absorption **verschieben** (oft hypsochrom, manchmal bathochrom im Push-Pull-System),
- das System polarisieren (Stichwort: Ladungstrennung, Donor-Akzeptor-System).

Typische Antiauxochrome:

- $-\text{NO}_2$  (Nitrogruppe)
- $-\text{COOH}$ ,  $-\text{COOR}$ ,  $-\text{CHO}$
- $-\text{CN}$

**Unterrichts-Pointe:** Auxochrom + Antiauxochrom auf gegenüberliegenden Seiten eines konjugierten Systems  $\rightarrow$  **Push-Pull-Molekül**  $\rightarrow$  besonders stark bathochrom („intramolekulare Ladungstransfer-Bande“).

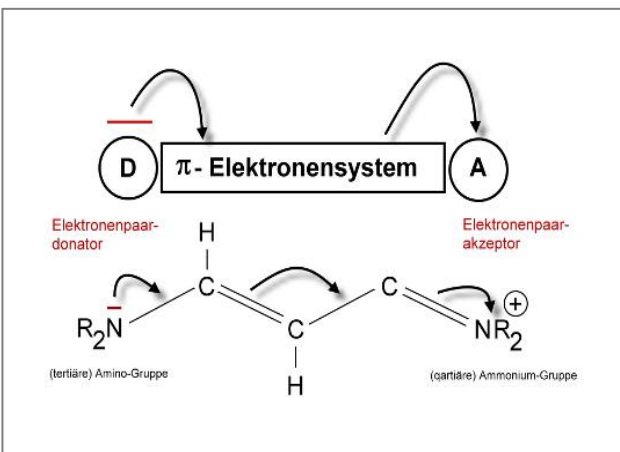


Bild 6: Cyanin-Farbstoffe sind meistens blau und lichtempfindlich, weswegen sie in der Photographie Verwendung finden.

Schema eines Push-Pull-Systems: links  $-\text{NR}_2$  (Donor, +M), rechts  $-\text{NR}_2^+$  (Akzeptor,  $-\text{M}$ ), dazwischen ein konjugiertes  $\pi$ -System

## 5. Paradebeispiel: die Stilben-Reihe

Die drei Verbindungen aus deiner Aufgabenstellung sind **didaktische Goldstücke**, weil man an ihnen alle Effekte **mustergültig** sehen kann.

### • Stilben:

- Struktur: zwei Phenylringe mit einer C=C-Doppelbindung verbunden
- $\lambda_{\text{max}} \approx 306 \text{ nm}$  (UV  $\rightarrow$  farblos)

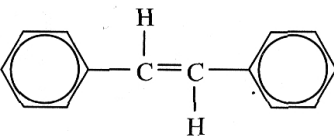
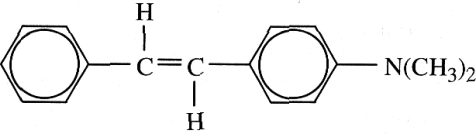
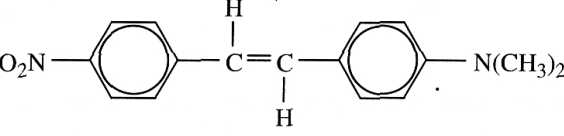
### • 4-N,N-Dimethylaminostilben:

- zusätzlicher Donor  $-\text{N}(\text{CH}_3)_2$  (Auxochrom, +M)
- $\lambda_{\text{max}} \approx 340 \text{ nm}$  (Rotverschiebung, noch UV, aber deutlich größer)

### • 4-Nitro-4'-N,N-dimethylaminostilben:

- links:  $-\text{N}(\text{CH}_3)_2$  (starker Donor), rechts:  $-\text{NO}_2$  (starker Akzeptor)
- Push-Pull-System
- $\lambda_{\text{max}} \approx 495 \text{ nm}$  (sichtbarer Bereich  $\rightarrow$  **Absorption von blaugrünem Licht**  $\rightarrow$  Substanz erscheint **rot**).

#### • Tabelle 1

Substanz	Strukturformel	Absorptionsmaximum in nm
Stilben		306
4-N,N-Dimethylaminostilben		340
4-Nitro-4'-N,N-dimethylaminostilben		495

**Bild 7 Stilben ( $\lambda_{\text{max}} = 306 \text{ nm}$ ).** Stilben besitzt ein konjugiertes  $\pi$ -System, das jedoch noch nicht groß genug ist, um Licht im sichtbaren Bereich zu absorbieren. Sein Absorptionsmaximum liegt im UV-Bereich, daher erscheint Stilben farblos.

**4-N,N-Dimethylaminostilben ( $\lambda_{\text{max}} \approx 340 \text{ nm}$ ).** Durch die N,N-Dimethylamino-Gruppe kommt ein Auxochrom mit starkem +M-Effekt hinzu. Es erhöht die Elektronendichte im  $\pi$ -System und stabilisiert den angeregten Zustand, sodass die HOMO-LUMO-Lücke kleiner wird. Dadurch verschiebt sich die Absorption zu längeren Wellenlängen (Rotverschiebung). Die Substanz absorbiert aber noch immer nicht im sichtbaren Bereich und bleibt farblos.

**4-Nitro-4'-N,N-dimethylaminostilben ( $\lambda_{\text{max}} \approx 495 \text{ nm}$ )** Hier wirkt ein Donor-Akzeptor-System (Push-Pull):

- **N,N-Dimethylamino-Gruppe** = Elektronendonator (+M)
- **Nitrogruppe** = Elektronenakzeptor (-M)

Das System erzeugt einen ausgeprägten intramolekularen Ladungstransfer (ICT), wodurch sich die HOMO-LUMO-Energiedifferenz stark verringert. Die Absorption verschiebt sich in den sichtbaren Bereich. Da blaugrünes Licht absorbiert wird, erscheint die Verbindung **rot**.

## 5.1 Stilben – Referenzstruktur

- Chromophor: konjugiertes System  $\text{C}_6\text{H}_5-\text{CH}=\text{CH}-\text{C}_6\text{H}_5$
- $\pi$ -System zwar ausgedehnt, aber noch nicht groß genug für Absorption im sichtbaren Bereich.
- $\Delta E$  (HOMO-LUMO) groß  $\rightarrow \lambda_{\text{max}} = 306 \text{ nm}$  (UV)  $\rightarrow$  farblos.

**Unterrichtsidee:** Stilben als Startpunkt, um zu zeigen: *Konjugation allein erzeugt nicht automatisch Farbe.*

## 5.2 4-(Dimethylamino)stilben – Auxochrom-Effekt (+M)

- Die Dimethylamino-Gruppe  $-N(CH_3)_2$  wirkt als **starker Elektronendonator**  $\rightarrow$  **+M-Effekt**.
- Elektronenpaar am Stickstoff kann in das Aromat-System delokalisiert werden  $\rightarrow$  Kopplung mit der C=C-Doppelbindung.

### Mesomere Grenzstrukturen:

1. neutrale  $\pi$ -Form ; Ladungstrennung:  $N^+$ /negativiertes  $\pi$ -System  $\rightarrow$  **erweitertes  $\pi$ -System**

### Folgen:

- angeregter Zustand wird stabilisiert
  - $\Delta E$  wird kleiner  $\rightarrow$  **bathochrome Verschiebung**
  - $\lambda_{\max}$  steigt von 306 nm auf ca. **340 nm**
- $\rightarrow$  Noch **keine sichtbare Farbe**, aber deutlich verschobene UV-Absorption.

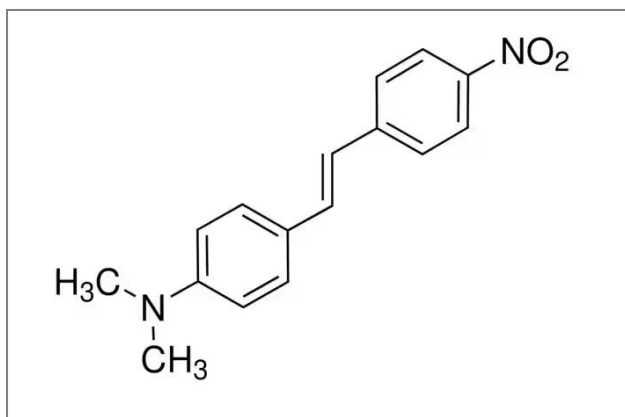
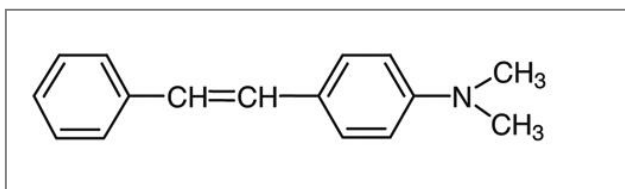


Bild 8

### 4-(Dimethylamino)stilben und 4-Dimethylamino-4'-nitrostilben:

Oben: **4-(Dimethylamino)stilben** – ein Stilben-Derivat mit einem elektronendonierenden Auxochrom (+M), das das  $\pi$ -System verstärkt und eine moderate Rotverschiebung bewirkt.

Unten: **4-Dimethylamino-4'-nitrostilben** – ein ausgeprägtes **Push-Pull-System** (Donor + Akzeptor), das durch starken intramolekularen Ladungstransfer (ICT) eine deutlich größere Rotverschiebung erzeugt.

## 5.3 4-Dimethylamino-4'-nitrostilben – Donor-Akzeptor / Push-Pull-System

**Donorseite:**  $-N(CH_3)_2$  (starker Elektronendonator, +M)

**Akzeptorseite:**  $-NO_2$  (starker Elektronenakzeptor,  $-M$ ,  $-I$ )

**Dazwischen:** konjugiertes System Phenyl-CH=CH-Phenyl

Diese Anordnung erlaubt **intramolekularen Charge-Transfer (ICT)**:

- Elektronendichte wird vom Donor  $\rightarrow$  zum Akzeptor geschoben
- mesomere Grenzstrukturen mit deutlicher Ladungstrennung ( $N^+-(CH_3)_2 \dots \pi$ -System  $\dots NO_2^-$ )

### Folgen:

- sehr kleine HOMO-LUMO-Lücke
  - **starke bathochrome Verschiebung** in den sichtbaren Bereich
  - $\lambda_{\max} \approx$  **495 nm** (Absorption von blaugrün)
- $\rightarrow$  Komplementärfarbe: **rot**

---

### Kurz zusammengefasst (perfekt als Bildtext oder Folienbeschriftung):

#### Stilben:

UV-Absorption (306 nm)  $\rightarrow$  farblos

#### 4-(Dimethylamino)stilben:

+M-Auxochrom erweitert  $\pi$ -System  $\rightarrow$  Rotverschiebung (340 nm, UV)

#### 4-Dimethylamino-4'-nitrostilben:

Push-Pull-Donor-Akzeptor-System  $\rightarrow$  starker Charge-Transfer

$\rightarrow$  Absorption im Sichtbaren (495 nm)  $\rightarrow$  rot

## 6. Bathochromie durch Verlängerung des $\pi$ -Systems: Polyene und $\beta$ -Carotin

Neben Substituenteneffekten ist das **Wachstum des  $\pi$ -Systems** selbst der „Klassiker“:

- Jedes zusätzliche konjugierte C=C-Paar verkleinert  $\Delta E$ ,  $\lambda_{\max}$  verschiebt sich um ca. 20–30 nm nach rot.

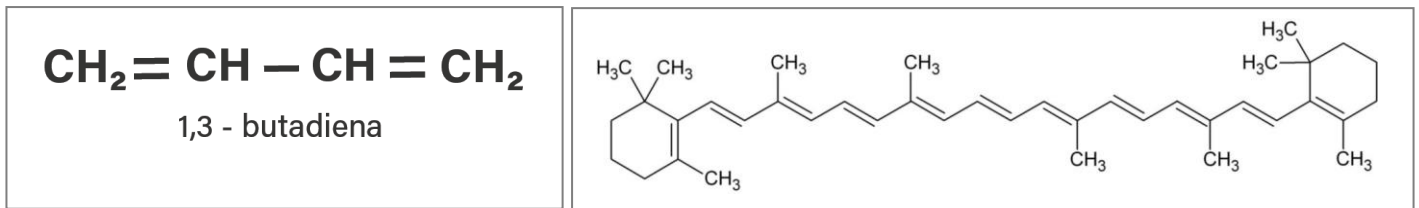
### Beispiele (vereinfacht):

- 1,3-Butadien (links):  $\lambda_{\max} \approx 217$  nm
- 1,3,5-Hexatrien:  $\lambda_{\max} \approx 258$  nm
- 1,3,5,7-Oktatetraen:  $\lambda_{\max} \approx 300$  nm

Bei noch längeren Polyenen landet man schließlich im **sichtbaren Bereich** → Carotinoide wie  **$\beta$ -Carotin**.

- $\beta$ -Carotin (rechts): konjugierte Kette mit 11 Doppelbindungen →  $\lambda_{\max}$  ca. 450–480 nm (je nach Lösungsmittel), wahrnehmbar als **orange**.

Bild: 9



## 7. Aromatische Großsysteme: Perylen und seine „verlängerten Brüder“

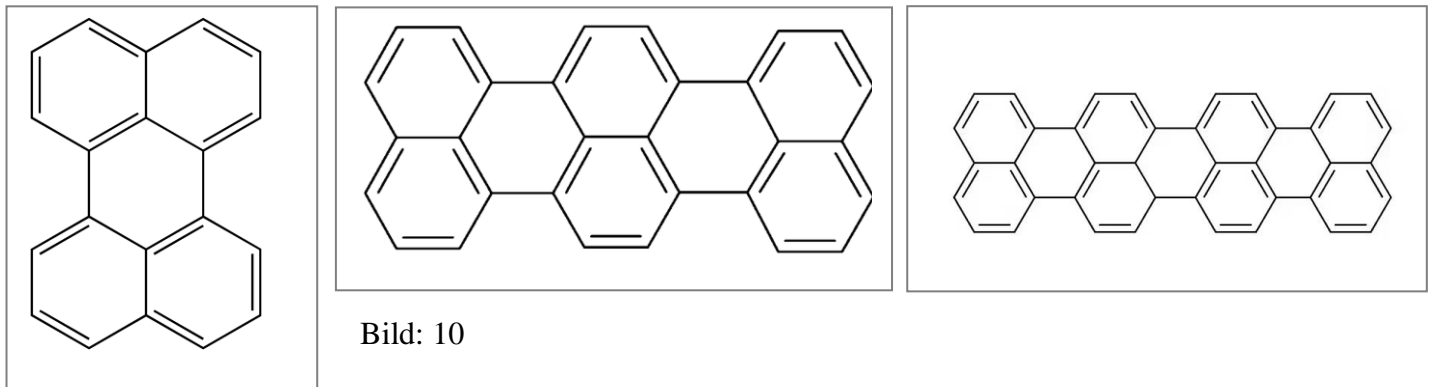


Bild: 10

- Perylen (links):** vier kondensierte Benzolringe,  $\lambda_{\max} = 436$  nm → blaugrüne Absorption → Stoff erscheint gelbgrün.
- Terrylen (Mitte):** sechs Ringe,  $\lambda_{\max} = 557$  nm → Absorption im grünen Bereich → Stoff erscheint purpurrot.
- Quaterrylen (rechts):** acht Ringe,  $\lambda_{\max} = 660$  nm → Absorption im roten Bereich → Stoff erscheint blaugrün.
- Pentarylen:** zehn Ringe,  $\lambda_{\max} = 748$  nm → schon im nahen IR → im sichtbaren Bereich nahezu farblos oder nur schwach gefärbt.

Didaktisch schön:

- Man sieht die **klare Bathochromie**: jedes Hinzufügen zweier weiterer kondensierter Ringe verschiebt  $\lambda_{\max}$  nach rot.
- Gleichzeitig ändert sich der Farbeindruck entsprechend der **Komplementärfarbe** zur absorbierten Spektralfarbe.

## 8. pH-Abhängigkeit, Halocromie und Indikatoren

Viele Indikatorfarbstoffe nutzen **Protonierung / Deprotonierung** eines Auxochroms:

- $-\text{OH} \rightleftharpoons -\text{O}^-$
- $-\text{NH}_3^+ \rightleftharpoons -\text{NH}_2$

Dadurch ändert sich:

- die Mesomerie (z. B. Phenol vs. Phenolat),
- oft die Länge des effektiven  $\pi$ -Systems,
- damit  $\lambda_{\text{max}} \rightarrow$  Farbumschlag (Halocromie).

Tabelle 2			
Name	Strukturformel	pH	Farbe
Alizarin-gelb R		7–10	gelb
		> 12	braunrot / purpur

Bild: 11

**Beispiel Alizarin-gelb R** (aus deinem Material):

Bei pH 7–10: gelb, Struktur mit neutralem Phenol/Oxime-System.

Bei stark basischen pH (>12): braunrot/purpur, deprotonierte Form (Phenolat) mit stärkerer Mesomerie.

Deprotonierung  $\rightarrow$  mehr Delokalisierung  $\rightarrow$  bathochrome Verschiebung  $\rightarrow$  Farbe wird dunkler/roter.

Eine ganz ähnliche Argumentation lässt sich für Curcumin, Phenolphthalein und viele andere Indikatoren anwenden.

## 9. Auxochrome in Azofarbstoffen: Alizarin-gelb R, Amaranth, Azobenzol-Derivate

Azofarbstoffe ( $-\text{N}=\text{N}-$ ) sind klassisches Schulstoff-Material. In vielen Abituraufgaben werden Auxochrome & Antiauxochrome an ihnen diskutiert.

Typische Muster:

- **p-Aminoazobenzol:** Aminogruppe als Auxochrom  $\rightarrow$  bathochrome Verschiebung, tiefere Farbe als Azobenzol.
- **p-Nitroazobenzol:** Nitrogruppe als Antiauxochrom – kann in meta-Stellung hypsochrom, in para-Stellung als Teil eines Push-Pull-Systems bathochrom wirken.
- Azofarbstoff plus zwei Auxochrome (z. B.  $-\text{OH}$  und  $-\text{SO}_3^-$ )  $\rightarrow$  starke Farbvertiefung und gleichzeitig bessere Wasserlöslichkeit (Sulfonatgruppen).

Bild 12:

Azobenzol ( $\text{C}_6\text{H}_5-\text{N}=\text{N}-\text{C}_6\text{H}_5$ ) <b>Farbe:</b> gelb–orange <b><math>\lambda_{\text{max}}</math>:</b> ca. 430–450 nm	p-Aminoazobenzol (Aminoazobenzol) <b>Farbe:</b> rot–orange / rot <b><math>\lambda_{\text{max}}</math>:</b> ca. 450–480 nm	p-Nitroazobenzol <b>Farbe:</b> tiefrot / violettrot <b><math>\lambda_{\text{max}}</math>:</b> ca. 500–520 nm

Unterrichtsidee:

Lernende ordnen Strukturen eine erwartete Farbintensität /  $\lambda_{\text{max}}$ -Reihenfolge zu:

Azobenzol < p-Hydroxyazobenzol < p-Dimethylaminoazobenzol < p-Dimethylamino-p-nitroazobenzol  
und begründen das mit „mehr/längerer Konjugation“, „stärkerer Donor“, „Push-Pull“.



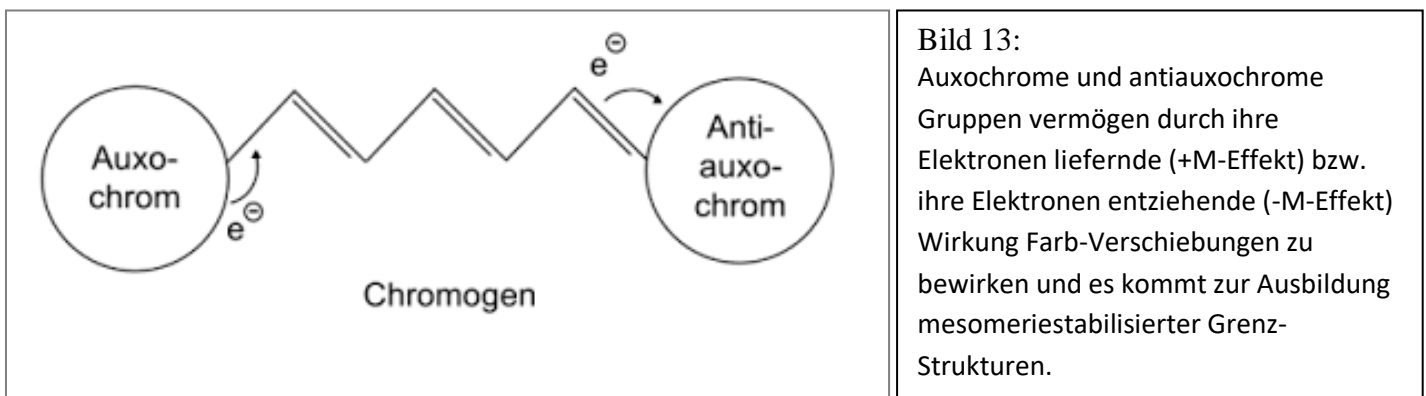
## 10. Zusammenfassende Tabellen für den Unterricht

### 10.1 Typische Auxochrome und ihre Wirkung

Gruppe	Charakter	Effekt auf $\lambda_{\text{max}}$	Bemerkung
-OH, -O <sup>-</sup>	Auxochrom (+M)	bathochrom, hyperchrom	Phenole, Farbstoff-Indikatoren
-NH <sub>2</sub> , -NR <sub>2</sub>	Auxochrom (+M)	stark bathochrom	Donoren in Push-Pull-Systemen
-OR	Auxochrom (+M)	bathochrom	z. B. Alkoxyaromaten

### 10.2 Typische Antiauxochrome

Gruppe	Charakter	Effekt (vereinfacht)
-NO <sub>2</sub>	Antiauxochrom (-M, -I)	oft hypsochrom, in Push-Pull bathochrom
-COOH	Antiauxochrom (-M)	polarisiert das $\pi$ -System
-CN	Antiauxochrom (-M)	stark elektronenziehend



## 11. Didaktische Hinweise für den Unterricht (Sek II)

- Start mit Alltagsfarbstoffen**
  - Textmarker, Lebensmittelfarben, Karotten ( $\beta$ -Carotin), Curry (Curcumin).
  - Frage: „Warum ist das farbig?“ → Einstieg in Chromophore.
- HOMO–LUMO als Modell**
  - Keine Orbitaldiagramm-Schlacht, sondern einfache Skizze.
  - Verdeutlichen: „Mehr Konjugation → kleinere Energielücke → rotschiebende Absorption.“
- Stilben-Reihe als roter Faden**
  - Schüler\*innen lassen Strukturen zeichnen,  $\lambda_{\text{max}}$  zuordnen, Farben diskutieren.
  - Mesomerie-Pfeile gemeinsam ergänzen.
- Perylen & Carotinoide zur Spektrum-Veranschaulichung**
  - Schüler\*innen tragen  $\lambda_{\text{max}}$ -Daten in das Farbspektrum ein.
  - Zusammenhang „Struktur → absorbierte Farbe → beobachtete Komplementärfarbe“.
- Indikatoren für pH-abhängige Effekte**
  - Farbumschlag in Abhängigkeit von Protonierung/Deprotonierung.
  - Halochromie als Spezialfall der Bathochromie.
- Fehlerquellen** bewusst thematisieren
  - „Auxochrom = Gruppe, die Farbe macht“ (falsch → macht **nicht** allein Farbe, sondern modifiziert den Chromophor).
  - „Nitro = immer hypsochrom“ (zu grob – im Push-Pull-Kontext oft bathochrom).

---

## 12. Kurz-Fazit und Zusammenfassung für die Broschüre

- **Bathochromer Effekt** = Rotverschiebung:  $\Delta E$  kleiner,  $\lambda_{\text{max}}$  größer  $\rightarrow$  meist durch **verlängerte Konjugation** oder **Auxochrome** (+M) verursacht.
- **Hypsochromer Effekt** = Blauverschiebung:  $\Delta E$  größer,  $\lambda_{\text{max}}$  kleiner  $\rightarrow$  z. B. Verkürzung des  $\pi$ -Systems, bestimmte Antiauxochrome, Protonierung/Deprotonierung in „falsche Richtung“.
- **Auxochrome** ( $-\text{OH}$ ,  $-\text{NH}_2$ ,  $-\text{NR}_2$ ,  $-\text{OR}$  ...) verstärken Konjugation und verschieben die Absorption meist bathochrom.
- **Antiauxochrome** ( $-\text{NO}_2$ ,  $-\text{COOH}$ ,  $-\text{CN}$  ...) ziehen Elektronen ab; je nach Stellung erzeugen sie hypsochromen oder im Donor–Akzeptor-System stark bathochromen Effekt.

Realbeispiele (Stilben-Reihe, Perylen-Farbstoffe,  $\beta$ -Carotin, Alizarin gelb R) machen diese Effekte **konkret**

- **sichtbar** und eignen sich hervorragend für Klausur- und Abiturvorbereitung.

### Merksatz:

**Aminogruppe macht Farbstoff dunkler (rotiger)  $\rightarrow$  +M  $\rightarrow$  bathochrom.**

**Nitrogruppe macht Farbstoff heller (gelblicher)  $\rightarrow$  -M  $\rightarrow$  hypsochrom.**

### Was ist ein HOMO–LUMO–Übergang?

In Molekülen gibt es Elektronen auf bestimmten Energieniveaus:

- **HOMO** = *Highest Occupied Molecular Orbital*  $\rightarrow$  das höchste Orbital, das noch Elektronen enthält
- **LUMO** = *Lowest Unoccupied Molecular Orbital*  $\rightarrow$  das niedrigste, noch leere Orbital

Wenn Licht auf ein Molekül trifft, kann ein Elektron **vom HOMO in das LUMO springen**.

**Diesen Elektronensprung nennt man den HOMO–LUMO–Übergang.**

Damit der Sprung gelingt, muss das Licht genau die richtige Energie haben.

**Je kleiner der Abstand zwischen HOMO und LUMO ( $\Delta E$ ), desto länger ist die Wellenlänge, die absorbiert wird.**

---

### Warum ist das für Farben wichtig?

- Absorbiert ein Molekül Licht im sichtbaren Bereich  $\rightarrow$  man sieht eine **Farbe**
- Die Farbe, die man sieht, ist die **Komplementärfarbe** des absorbierten Lichts

Wenn Auxochrome (z. B.  $-\text{OH}$ ,  $-\text{NH}_2$ ,  $-\text{N}(\text{CH}_3)_2$ ) das  $\pi$ -System erweitern, wird  $\Delta E$  kleiner  $\rightarrow$

✓ **Längerwelliges Licht wird absorbiert** (Rotverschiebung)

Wenn Antiauxochrome (z. B.  $-\text{NO}_2$ ) Elektronen abziehen, kann  $\Delta E$  größer werden  $\rightarrow$

✓ **Kurzwelligeres Licht wird absorbiert** (Blauverschiebung)