

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 π -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 fargebenden π -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, β -Carotin, Perylen-Farbstoffe, Indikatorfarbstoffe) illustrieren kann.

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

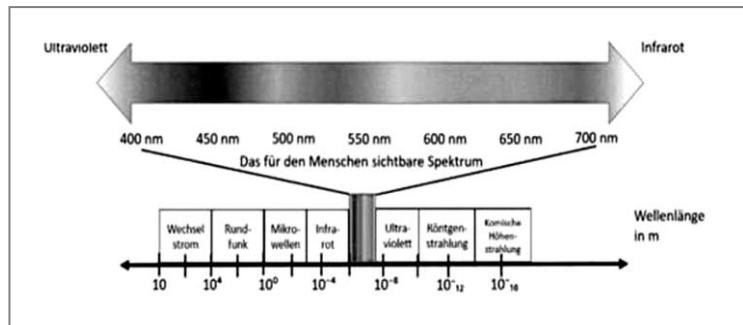


Tabelle 1 — Absorbierte Spektralfarbe und beobachtete Komplementärfarbe

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, π -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, NO₂).

Auxochrom: Funktionelle Gruppe mit freien Elektronenpaaren (z. B. –OH, –NH₂, –NR₂), die an ein π -System gebunden ist und dessen Absorption beeinflusst (Wellenlänge und Intensität).

Antiauxochrom: Elektronenanziehende Gruppe (z. B. –NO₂, –COOH, –CN, –CHO) mit –M-Effekt, die das π -System elektronisch „ausdünnt“ 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 ΔE** bestimmt die Wellenlänge des absorbierten Lichts:

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

Je **kleiner ΔE** , desto **größer λ** → **Richtung Rot/IR (bathochrom).**

Je **größer ΔE** , desto **kleiner λ** → **Richtung Blau/UV (hypsochrom).**

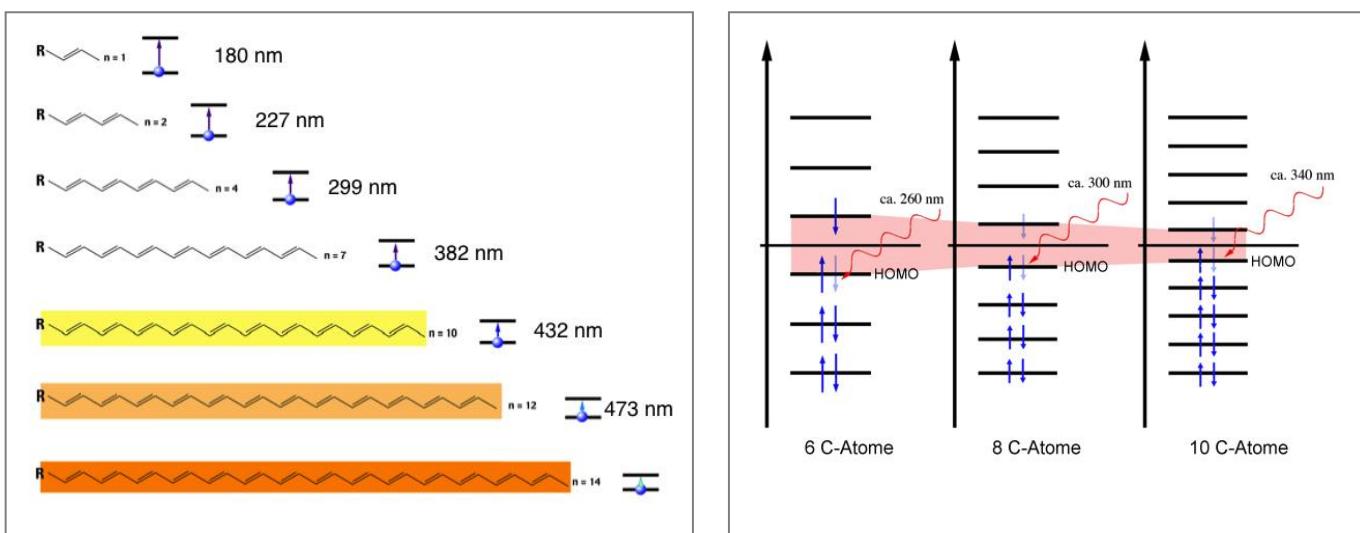


Bild 2: Schematische Darstellung eines HOMO–LUMO-Übergangs mit eingezeichnetem ΔE und zugehöriger Wellenlänge λ

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** (energiärmer, „nach Rot“).
- **Typische Ursachen:**
 - Verlängerung des konjuguierten π -Systems (mehr C=C-Doppelbindungen, größere aromatische Systeme),
 - Einfügen von **Auxochromen** (+M-Gruppen wie –OH, –NH₂, –NR₂, –OCH₃),
 - „Push–Pull“-Systeme: Kombination aus elektronendonierender Gruppe (+M) und elektronenanziehender Gruppe (–M) am selben π -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).

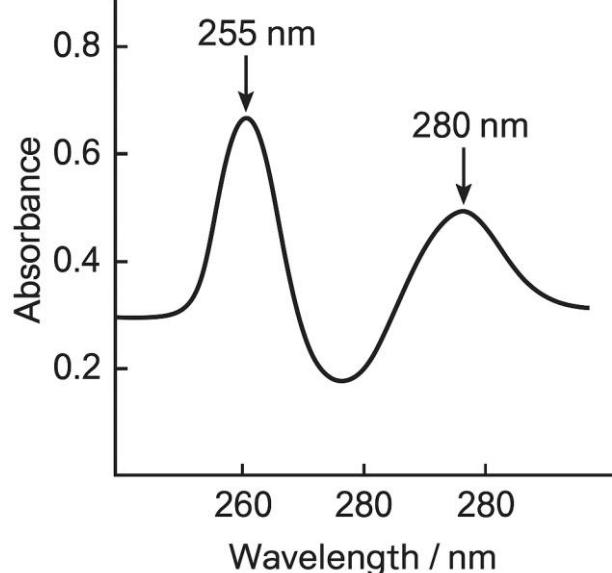


Bild 3: Vergleichsspektrum Benzol (links) vs. Anilin - rechts (zwei UV-Banden, Anilin nach längeren Wellen verschoben)

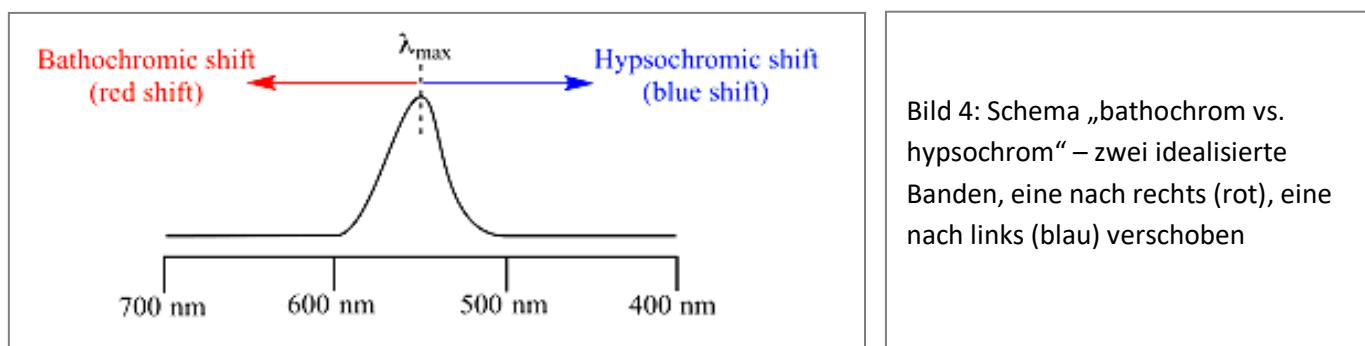
3.2 Hypsochromer Effekt („Blauverschiebung“)

- **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 ($-M$) in ungünstiger Stellung.

Beispiel Benzol → Nitrobenzol:

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

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



4. Auxochrome und Antiauxochrome – funktionelle Gruppen mit Farbmachtung

4.1 Auxochrome

Definition: Substituenten mit freien Elektronenpaaren (n-Elektronen), die in **Konjugation** mit einem π -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 π -System \rightarrow **energetische Stabilisierung** der π -Orbitale $\rightarrow \Delta E$ kleiner $\rightarrow \lambda_{\max}$ größer.

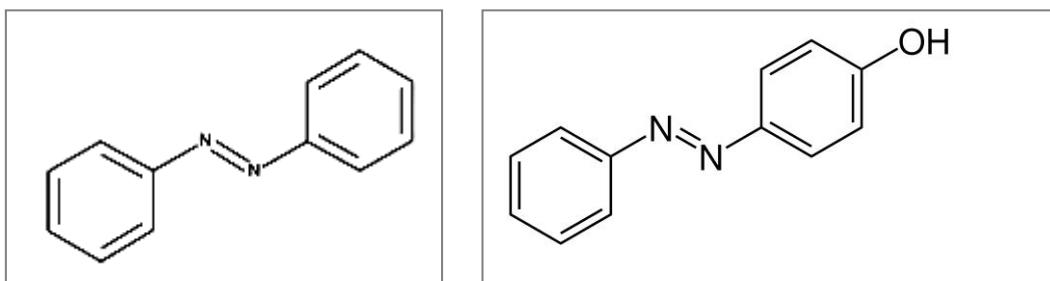


Bild 5: Beispiel: Azobenzol (links) vs. p-Hydroxyazobenzol (rechts)

- **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 **-M-Effekt** (Elektronenanziehung via π -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“).

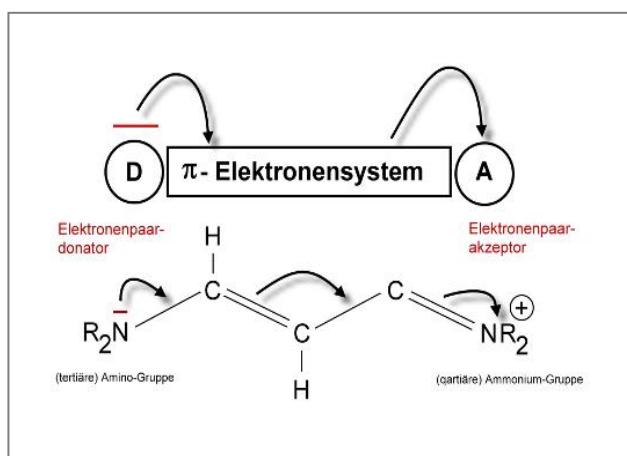


Bild 6: Cyanin-Farbstoffe sind meistens blau und lichtempfindlich, weswegen sie in der Photographie Verwendung finden.

Schema eines Push–Pull–Systems: links $-\text{NR}_2$ (Donor, **+M**), rechts $-\text{NR}_2^+$ (Akzeptor, **-M**), dazwischen ein konjugiertes π -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 → 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 → **Absorption von blaugrünem Licht** → 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 π -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 π -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 $\text{C}_6\text{H}_5-\text{CH}=\text{CH}-\text{C}_6\text{H}_5$
- π -System zwar ausgedehnt, aber noch nicht groß genug für Absorption im sichtbaren Bereich.
- ΔE (HOMO–LUMO) groß → $\lambda_{\text{max}} = 306 \text{ nm}$ (UV) → 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 $-\text{N}(\text{CH}_3)_2$ wirkt als starker Elektronendonator $\rightarrow +\text{M}$ -Effekt.
- Elektronenpaar am Stickstoff kann in das Aromat-System delokalisiert werden \rightarrow Kopplung mit der $\text{C}=\text{C}$ -Doppelbindung.

Mesomere Grenzstrukturen:

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

Folgen:

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

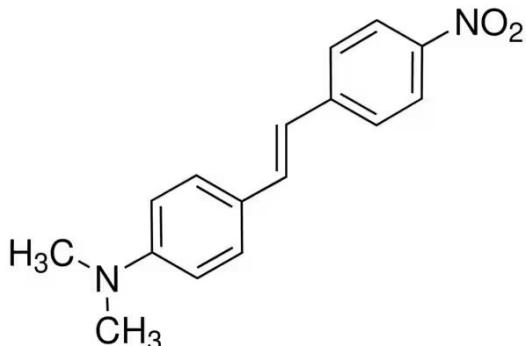
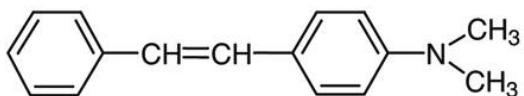


Bild 8

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

Oben: **4-(Dimethylamino)stilben** – ein Stilben-Derivat mit einem elektronendonierenden Auxochrom (+M), das das π -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: $-\text{N}(\text{CH}_3)_2$ (starker Elektronendonator, +M)

Akzeptorseite: $-\text{NO}_2$ (starker Elektronenakzeptor, -M, -I)

Dazwischen: konjugiertes System $\text{Phenyl}-\text{CH}=\text{CH}-\text{Phenyl}$

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

- Elektronendichte wird vom Donor \rightarrow zum Akzeptor geschoben
- mesomere Grenzstrukturen mit deutlicher Ladungstrennung $(\text{N}^+-(\text{CH}_3)_2 \dots \pi\text{-System} \dots \text{NO}_2^-)$

Folgen:

- sehr kleine HOMO-LUMO-Lücke
 - **starke bathochrome Verschiebung** in den sichtbaren Bereich
 - $\lambda_{\text{max}} \approx 495 \text{ nm}$ (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 π -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 π -Systems: Polyene und β -Carotin

Neben Substituenteneffekten ist das **Wachstum des π -Systems** selbst der „Klassiker“:

- Jedes zusätzliche konjugierte C=C-Paar verkleinert ΔE , λ_{max} verschiebt sich um ca. 20–30 nm nach rot.

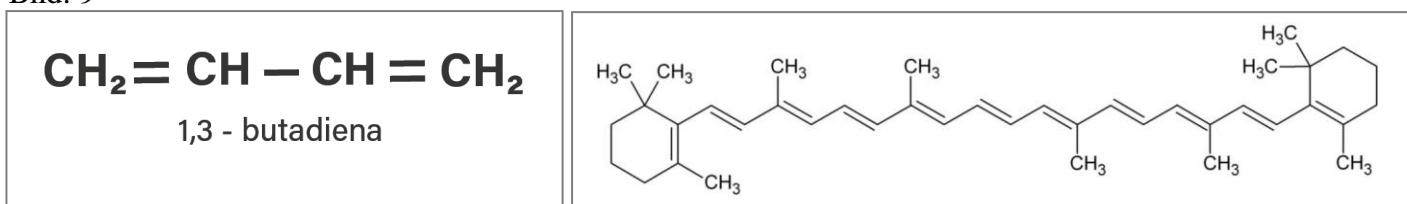
Beispiele (vereinfacht):

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

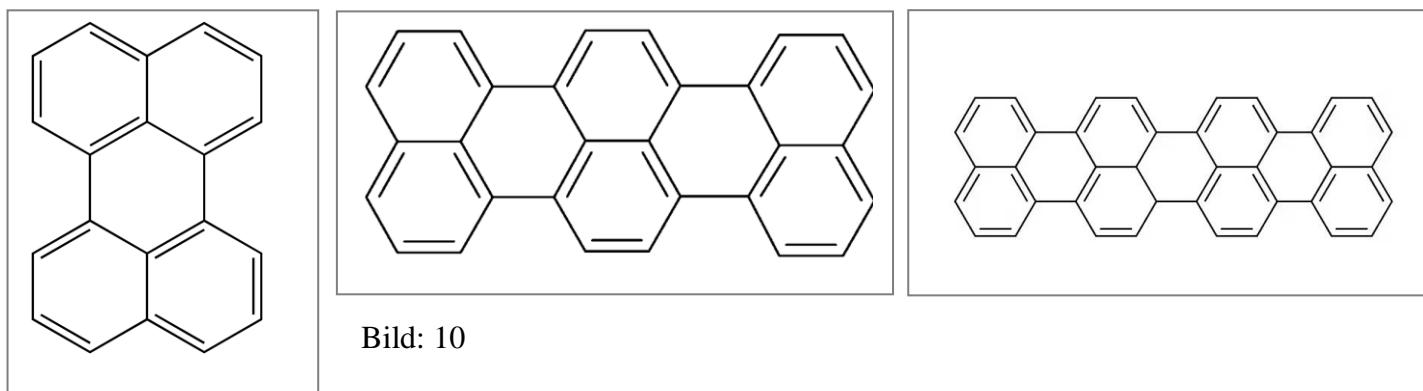
Bei noch längeren Polyenen landet man schließlich im **sichtbaren Bereich** → Carotinoide wie **β -Carotin**.

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

Bild: 9



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



- **Perylen (links):** vier kondensierte Benzolringe, $\lambda_{\text{max}} = 436$ nm → blaugrüne Absorption → Stoff erscheint gelbgrün.
- **Terrylen (Mitte):** sechs Ringe, $\lambda_{\text{max}} = 557$ nm → Absorption im grünen Bereich → Stoff erscheint purpurrot.
- **Quaterrylen (rechts):** acht Ringe, $\lambda_{\text{max}} = 660$ nm → Absorption im roten Bereich → Stoff erscheint blaugrün.
- **Pentarylen:** zehn Ringe, $\lambda_{\text{max}} = 748$ 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 λ_{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 π -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.

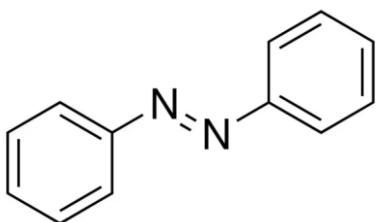
9. Auxochrome in Azofarbstoffen: Alizarin-gelb R, Amaranth, Azobenzol-Derivate

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, tiefer 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).

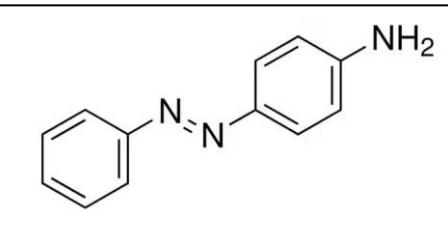
Bild 12:



Azobenzol ($\text{C}_6\text{H}_5-\text{N}=\text{N}-\text{C}_6\text{H}_5$)

Farbe: gelb-orange

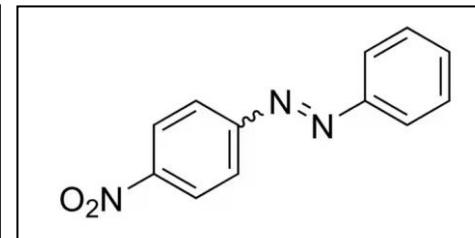
λ_{max} : ca. 430–450 nm



p-Aminoazobenzol (Aminoazobenzol)

Farbe: rot-orange / rot

λ_{max} : ca. 450–480 nm



p-Nitroazobenzol

Farbe: tiefrot / violettrot

λ_{max} : ca. 500–520 nm

Unterrichtsidee:

Lernende ordnen Strukturen eine erwartete Farbintensität / λ_{max} -Reihenfolge zu:

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

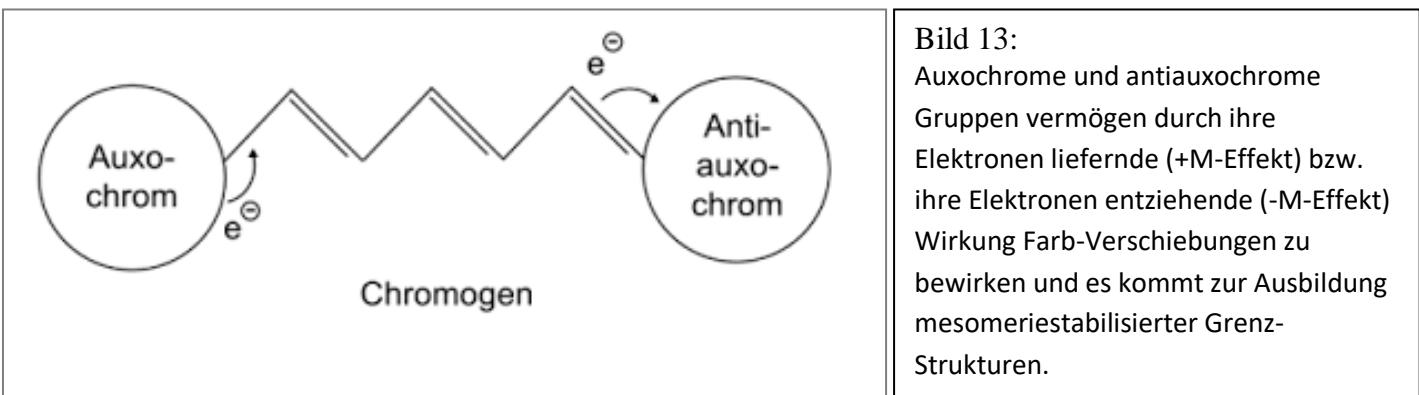
10. Zusammenfassende Tabellen für den Unterricht

10.1 Typische Auxochrome und ihre Wirkung

Gruppe	Charakter	Effekt auf λ_{max}	Bemerkung
$-\text{OH}, -\text{O}^-$	Auxochrom (+M)	bathochrom, hyperchrom	Phenole, Farbstoff-Indikatoren
$-\text{NH}_2, -\text{NR}_2$	Auxochrom (+M)	stark bathochrom	Donoren in Push–Pull-Systemen
-OR	Auxochrom (+M)	bathochrom	z. B. Alkoxyaromaten

10.2 Typische Antiauxochrome

Gruppe	Charakter	Effekt (vereinfacht)
$-\text{NO}_2$	Antiauxochrom (-M, -I)	oft hypsochrom, in Push–Pull bathochrom
$-\text{COOH}$	Antiauxochrom (-M)	polarisiert das π -System
CN	Antiauxochrom (-M)	stark elektronenziehend



11. Didaktische Hinweise für den Unterricht (Sek II)

1. Start mit Alltagsfarbstoffen

- Textmarker, Lebensmittelfarben, Karotten (β -Carotin), Curry (Curcumin).
- Frage: „Warum ist das farbig?“ → Einstieg in Chromophore.

2. HOMO–LUMO als Modell

- Keine Orbitaldiagramm-Schlacht, sondern einfache Skizze.
- Verdeutlichen: „Mehr Konjugation → kleinere Energielücke → rotschiebende Absorption.“

3. Stilben-Reihe als roter Faden

- Schüler*innen lassen Strukturen zeichnen, λ_{max} zuordnen, Farben diskutieren.
- Mesomerie-Pfeile gemeinsam ergänzen.

4. Perylen & Carotinoide zur Spektrum-Veranschaulichung

- Schüler*innen tragen λ_{max} -Daten in das Farbspektrum ein.
- Zusammenhang „Struktur → absorbierte Farbe → beobachtete Komplementärfarbe“.

5. Indikatoren für pH-abhängige Effekte

- Farbumschlag in Abhängigkeit von Protonierung/Deprotonierung.
- Halocromie als Spezialfall der Bathochromie.

6. 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: ΔE kleiner, λ_{max} größer → meist durch **verlängerte Konjugation** oder **Auxochrome** (+M) verursacht.
- **Hypsochromer Effekt** = Blauverschiebung: ΔE größer, λ_{max} kleiner → z. B. Verkürzung des π -Systems, bestimmte Antiauxochrome, Protonierung/Deprotonierung in „falsche Richtung“.
- **Auxochrome** (–OH, –NH₂, –NR₂, –OR ...) verstärken Konjugation und verschieben die Absorption meist bathochrom.
- **Antiauxochrome** (–NO₂, –COOH, –CN ...) ziehen Elektronen ab; je nach Stellung erzeugen sie hypsochromen oder im Donor–Akzeptor-System stark bathochromen Effekt.

Realbeispiele (Stilben-Reihe, Perylen-Farbstoffe, β -Carotin, Alizarin-R) machen diese Effekte **konkret**

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

Merksatz:

Aminogruppe macht Farbstoff dunkler (rotiger) → +M → bathochrom.

Nitrogruppe macht Farbstoff heller (gelblicher) → -M → hypsochrom.

Was ist ein HOMO–LUMO–Übergang?

In Molekülen gibt es Elektronen auf bestimmten Energieniveaus:

- **HOMO** = *Highest Occupied Molecular Orbital* → das höchste Orbital, das noch Elektronen enthält
- **LUMO** = *Lowest Unoccupied Molecular Orbital* → 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 (ΔE), desto länger ist die Wellenlänge, die absorbiert wird.

Warum ist das für Farben wichtig?

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

Wenn Auxochrome (z. B. –OH, –NH₂, –N(CH₃)₂) das π -System erweitern, wird ΔE kleiner →

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

Wenn Antiauxochrome (z. B. –NO₂) Elektronen abziehen, kann ΔE größer werden →

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