

N.5.24

Chemie im Alltag – Farbstoffe

Farbstoffe in der chemischen Analytik

Dr. Johannes Ramsauer



Diese Unterrichtseinheit behandelt den Zusammenhang zwischen Molekülstruktur und Farbigkeit. Die Schülerinnen und Schüler lernen, warum bestimmte Stoffe farbig sind und wie sich die Farben auf molekularer Ebene gezielt verändern lassen. Dabei stehen konkrete Anwendungen von Farbstoffen in der chemischen Analytik im Fokus. Sie lernen wichtige Indikatoren systeme kennen, werden eine Trinkwasseranalyse aus und erkennen die Relevanz chemischer Analytik im Alltag, Gesundheit und Umwelt.

KOMPETENZPROFIL

Klassenstufe:	12/13
Dauer:	4–6 Unterrichtsstunden
Kompetenzen:	1. Fachkompetenz; 2. Kommunikationskompetenz; 3. Erkenntnisgewinnungskompetenz; 4. Teilarbeitss- und Bewertungskompetenz
Methoden:	Einzelarbeit, Partnerarbeit, Versuchswertung
Inhalt:	Farbstoffe, Farbigkeit, organische Verbindungen, Konzentrationsbestimmung durch Lichtabsorption, Analytik, organische Chemie, analytische Chemie, konjugierte Doppelbindungen, Lambert-Beer'sches Gesetz

Fachliche Hinweise

Das Thema Farbstoffe und Farbigkeit ist Bestandteil des Chemieunterrichts in der Oberstufe und verbindet die organische Chemie mit Anwendungen in der analytischen Chemie.

Zu Beginn geht es um physikalisch-chemische Grundlagen der Farbigkeit von Stoffen. Die Schülerinnen und Schüler lernen, dass bestimmte Moleküle sichtbare Strahlung absorbieren können. Dies wird anhand von Molekülstrukturen, wie konjugierten Doppelbindungen, erklären. Dabei verstehen sie, warum die beobachtete Farbe nicht der Wellenlänge des absorbierten Lichts, sondern der entsprechten Restlichts entspricht.

Danach stehen Faränderungen durch chemische Reaktionen im Fokus. Die Schülerinnen und Schüler erkennen am Beispiel von Indikatoren, dass sich die Farbe eines Stoffes durch Änderungen in der Molekülstruktur steuern lässt. Dies wird anhand von pH-, Redox- und Komplexreaktionen veranschaulicht.

Im nächsten Schritt werden Konzepte in einem konkreten Beispiel der analytischen Chemie angewendet. Die Schülerinnen und Schüler werden eine Trinkwasseranalyse bearbeiten. Dabei werten sie fiktive Daten einer Lichtabsorptionsmessung mit dem Lambert-Beer'schen Gesetz aus und urteilen das Ergebnisse. So erkennen sie, wie die Chemie zur Lösung konkreter Fragestellungen in den Alltag beitragen kann.

Differenzierungs- methodische Hinweise

Die Unterrichtseinheit richtet sich an die gymnasiale Oberstufe und kann im Bereich „Organische Produkte – Werkstoffe und Farbstoffe“ eingesetzt werden. Es eignet sich auch für fächerübergreifenden Unterricht, etwa mit Biologie oder Geografie zu Themen wie Umweltschutz oder Wasserqualität.

Die differenzierten Materialien können in Einzelarbeit und Partnerarbeit bearbeitet und dis-

Auf einen Blick

Farbstoffe in der chemischen Analytik

- M 1 Farbigkeit verstehen: Zusammenhang zwischen Molekülstruktur und Farbe
M 2 Chemische Indikatoren: Farbumschläge durch Strukturänderungen
M 3 Analysebeispiel: Auswertung einer fotometrischen Nitratbestimmung
M 4 Lernerfolgskontrolle
- Benötigt:
- Taschenrechner
 - Internet
 - Kalkulationsprogramm (Excel)

Erklärung zu den Symbolen

	Dieses Symbol markiert differenzierende Materialien. Wenn nicht anders ausgewiesen, befinden sich die Materialien auf mittlerem Niveau.
	einfaches Niveau
	mittleres Niveau
	schwieriges Niveau

M 3 Analysebeispiel: Auswertung einer fotometrischen Nitratbestimmung



In M 2 wurde besprochen, wie bestimmte Farbstoffmoleküle als Indikatoren in chemischen Analysen eingesetzt werden können. Während diese Anwendungen oft eher qualitativer Natur sind, gibt es viele Fälle, in denen mithilfe von Farbstoffen quantitative Aussagen getroffen werden können. Dazu zählt die fotometrische Konzentrationsbestimmung von bestimmten gelösten Substanzen. Fotometrische Verfahren findet man überall dort, wo Wasser, Lebensmittel oder Umweltproben untersucht werden.

Wie funktioniert Fotometrie?

Eine Strahlungsquelle schickt Licht durch eine Küvette der Dicke d mit der Lösung eines Farbstoffs. Je größer die Konzentration c des Farbstoffs, desto mehr Licht wird absorbiert. Das eintreffende Licht wird immer auf die Wellenlänge eingestellt, bei welcher der Farbstoff am stärksten absorbiert. Für dieses Absorptionsmaximum gibt es einen Koeffizienten ε , der für jeden Stoff unterschiedlich ist. Ein Detektor hinter der Küvette misst, wie sehr das ursprüngliche Licht durch die Absorption des Farbstoffs abgeschwächt wird. Dieser Wert wird als Extinktion E bezeichnet. Die Konzentration des Farbstoffs kann anschließend durch das Lambert-Beer'sche Gesetz berechnen:

$$E = \varepsilon \cdot c \cdot d$$

Ein klassisches Anwendungsbeispiel der Fotometrie ist der Nachweis von Nitrat (NO_3^-) im Trinkwasser. Nitrat kann durch Dünger ins Grundwasser gelangen und ist bei höheren Konzentrationen in erster Linie für Säuglinge gesundheitsschädlich. Bis zu 50 mg/l Nitrat im Trinkwasser werden derzeit nach der Trinkwasserverordnung als unbedenklich eingestuft.

Um die Nitratkonzentration fotometrisch nachzuweisen, lässt man Nitrat mithilfe von verschiedenen Reagenzien zu einem Azofarbstoff reagieren und misst dann die Extinktion dieser Lösung. Folgende Schritte sind bei der Nitratbestimmung einer unbekannten Wasserprobe nötig:

1. Herstellung von Kalibrierlösungen

Zunächst werden mehrere Kalibrierlösungen unterschiedlicher Nitratkonzentrationen durch Verdünnung einer Stammlösung hergestellt. Eine grobe Kenntnis über die Konzentration der unbekannten Probe hilft dabei, einen idealen Konzentrationsbereich der herzustellenden Kalibrierlösungen zu finden.

2. Herstellung der Kalibriergerade

Nach Zugabe der Reagenzien zur Farbreaktion färben sich die Lösungen unterschiedlich stark rotviolett. Jetzt werden die Extinktionen der Lösungen bei der Wellenlänge des Absorptionsmaximums gemessen und in ein Diagramm übertragen. Dabei wird die Nitratkonzentration auf die x-Achse und die Extinktion auf die y-Achse aufgetragen. Legt man eine Ausgleichsgerade durch die Punkte im Diagramm, so hat diese die Steigung $\varepsilon \cdot d$.

3. Bestimmung der unbekannten Nitratkonzentration

Nun wird die Extinktion von mehreren Trinkwasserproben gemessen und der Mittelwert in das Lambert-Beer'sche Gesetz eingesetzt. Nach Umstellung der Gleichung erhält man die gesuchte Nitratkonzentration. Diese lässt sich alternativ auch grafisch anhand einer Kalibriergerade ermitteln.

Aufgaben

Im folgenden fiktiven Anwendungsbeispiel schlüpfen Sie in die Rolle der analytischen Chemie. Sie sollen dabei die Nitratkonzentration einer unbekannten Trinkwasserprobe bestimmen. Ihre Assistentin oder ihr Assistent hat dazu bereits im Vorfeld die Kalibrierlösungen sowie die unbekannte Probe vorbereitet und deren Extinktionswerte in einem Photometer gemessen. Folgende Daten liegen Ihnen nun vor:

Tabelle 1: Messreihe Extinktionswerte der Nitratlösungen

Probe	Verdünnungsfaktor	Extinktionswert ($\lambda = 535 \text{ nm}$)
Stammlösung ($c(\text{NO}_3^-) = 100 \text{ mg/l}$)	-	0,89
Verdünnung 1	1:1,6	0,57
Verdünnung 2	1:2	0,44
Verdünnung 3	1:2,5	0,34
Verdünnung 4	1:3	0,30
Verdünnung 5	1:4	0,23
Verdünnung 6	1:5	0,20
Verdünnung 7	1:10	0,09
Trinkwasserprobe 1	-	0,39
Trinkwasserprobe 2	-	0,42
Trinkwasserprobe 3	-	0,41
Trinkwasserprobe 4	-	0,39
Trinkwasserprobe 5	-	0,45

Lernerfolgskontrolle

M 4

Aufgabe

Kreuzen Sie die richtige Antwort an und begründen Sie Ihre Entscheidung mit einem Satz.

1. Struktur und Farbe:

Aussage	Richtig	Falsch
Je stärker die Elektronen eines Moleküls delokalisiert sind, desto kürzer ist die absorbierte Wellenlänge.		
Ein Stoff absorbiert Strahlung der Wellenlänge 480 nm und erscheint deshalb blau.		
Substituenten wie Nitro- oder Aminogruppen können die Farbe von organischen Farbstoffen verändern.		
β-Carotin erscheint farbig, weil es eine sehr lange Kohlenwasserstoffkette beinhaltet.		

2. Farbumschläge und Indikatoren:

Aussage	Richtig	Falsch
Methylrot, Bromthymolblau und Phenolphthalein sind wichtige pH-Indikatoren.		
Die Faränderung eines Indikators wird durch strukturelle Änderungen des Chromophors verursacht.		
Indikatoren besitzen einen definierten Farbumschlagspunkt.		
Ein Universalindikator besteht aus mehreren verschiedenen Indikatoren.		

Mehr Materialien für Ihren Unterricht mit RAAbits Online

Unterricht abwechslungsreicher, aktueller sowie nach Lehrplan gestalten – und dabei Zeit sparen.

Fertig ausgearbeitet für über 20 verschiedene Fächer, von der Grundschule bis zum Abitur: Mit RAAbits Online stehen redaktionell geprüfte, hochwertige Materialien zur Verfügung, die sofort einsetz- und editierbar sind.

- ☑ Zugriff auf bis zu **400 Unterrichtseinheiten** pro Fach
- ☑ Didaktisch-methodisch und **fachlich geprüfte Unterrichtseinheiten**
- ☑ Materialien als **PDF oder Word** herunterladen und individuell anpassen
- ☑ Interaktive und multimediale Lerneinheiten
- ☑ Fortlaufend **neues Material** zu aktuellen Themen



**Testen Sie RAAbits Online
14 Tage lang kostenlos!**

www.raabits.de

