

Das Lambert-Beersche Gesetz

Versuchsziele

- Extinktion als Merkmal einer farbigen Lösung definieren.
- Den Zusammenhang zwischen Konzentration und Extinktion einer Lösung erkennen.
- Das Lambert-Beersche Gesetz überprüfen und anwenden.
- Eine Verdünnungsreihe von Kupfertetramin herstellen.
- Den Extinktionskoeffizienten von Kupfertetramin bestimmen.

Grundlagen

Tritt ein Lichtstrahl durch eine farbige Lösung, so wird er abgeschwächt, weil die Durchlässigkeit (oder Transmission T) der Lösung gering ist. Als Transmission T wird dabei das Verhältnis der Intensität von durchgelassenem Licht I zur Intensität von eingestrahlttem Licht I_0 bezeichnet.

$$T = \frac{I}{I_0}$$

Die Intensität des Lichts nimmt mit der Konzentration c der Lösung exponentiell ab. Auch auf dem Weg d durch eine farbige Lösung nimmt sie exponentiell ab. Es gilt:

$$\lg\left(\frac{I}{I_0}\right) = -\varepsilon \cdot c \cdot d = -E$$

Die Größe ε wird als Extinktionskoeffizient, auch molarer Absorptionskoeffizient bezeichnet. Sie ist eine stoffspezifische Größe und hängt zusätzlich von der Wellenlänge λ des Lichtstrahls ab. Je größer ε , desto mehr Licht wird durch die Lösung absorbiert, desto intensiver ist daher die Farbigkeit der untersuchten Substanz. Die dimensionslose Größe $\lg\left(\frac{I}{I_0}\right)$ bezeichnet man als Extinktion (auch Absorption oder optische Dichte). Die Extinktion ist mit der Transmission wie folgt verknüpft.

$$\lg\left(\frac{I}{I_0}\right) = \lg T = -E$$

Um die Absorption zu bestimmen, wird die Intensität der Strahlung vor (I_0) und nach (I) einer Probe gemessen und der negative Logarithmus des Verhältnisses beider Intensitäten berechnet.

Die Formel

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

wird als Lambert-Beersches Gesetz bezeichnet. In der Praxis werden Proben meist in einer Küvette mit der Weglänge $d = 1$ cm gemessen und der Extinktionskoeffizient ε in $\text{l mol}^{-1} \text{cm}^{-1}$ angegeben. Ist der Extinktionskoeffizient einer Lösung bekannt, kann über das Lambert-Beersche Gesetz die Konzentration der Lösung berechnet werden.

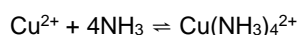
Extinktionskoeffizienten werden mit Hilfe von Verdünnungsreihen bestimmt. Hierbei werden mehrere Lösungen der Substanz in unterschiedlichen, aber bekannten Konzentrationen angesetzt und die Extinktion bei einer definierten Wellenlänge bestimmt. Die Werte der Extinktion der verschiedenen Lösungen liegen auf einer Geraden, deren Steigung den Extinktionskoeffizienten angibt.

In diesem Versuch soll der Extinktionskoeffizient von Kupfertetramin bestimmt werden. Kupfertetramin wird aus Kup-



Abb. 1: Versuchsaufbau.






fersulfat und Ammoniak hergestellt ist tief blau.



Im Versuch wird die Extinktion von verschiedenen konzentrierten Lösungen mit einem Eintauchphotometer gemessen. Hierbei wird das Photometer in die Reagenzgläser getaucht. So kann auch die Linearität des Lambert-Beerschen Gesetzes überprüft werden.

Gefährdungsbeurteilung

Ammoniak ist ätzend und riecht beißend. Wenn möglich, unterm Abzug arbeiten. Schutzbrille tragen! Den Hautkontakt mit Ammoniak und Kupfersulfat möglichst vermeiden.

Kupfer(II)-sulfat-5-hydrat	
  Signalwort: Achtung	<p>Gefahrenhinweise</p> <p>H302 Gesundheitsschädlich bei Verschlucken.</p> <p>H319 Verursacht schwere Augenreizung.</p> <p>H315 Verursacht Hautreizungen.</p> <p>H410 Sehr giftig für Wasserorganismen mit langfristiger Wirkung.</p> <p>Sicherheitshinweise</p> <p>P273 Freisetzung in die Umwelt vermeiden.</p> <p>P302+P352 BEI KONTAKT MIT DER HAUT: Mit viel Wasser und Seife waschen.</p> <p>P305+P351+P338 BEI KONTAKT MIT DEN AUGEN: Einige Minuten lang behutsam mit Wasser spülen. Vorhandene Kontaktlinsen nach Möglichkeit entfernen. Weiter spülen.</p>
Ammoniaklösung, 25 %	
   Signalwort: GEFAHR	<p>Gefahrenhinweise</p> <p>H314 Verursacht schwere Verätzungen der Haut und schwere Augenschäden.</p> <p>H335 Kann die Atemwege reizen.</p> <p>H400 Sehr giftig für Wasserorganismen.</p> <p>Sicherheitshinweise</p> <p>P280 Schutzhandschuhe und Schutzbrille / Gesichtsschutz tragen.</p> <p>P273 Freisetzung in die Umwelt vermeiden.</p> <p>P301+P330+P331 BEI VERSCHLUCKEN: Mund ausspülen. KEIN Erbrechen herbeiführen.</p> <p>P305+P351+P338 BEI KONTAKT MIT DEN AUGEN: Einige Minuten lang behutsam mit Wasser spülen. Vorhandene Kontaktlinsen nach Möglichkeit entfernen. Weiter spülen.</p> <p>P309+P310 BEI Exposition oder Unwohlsein: Sofort GIFTINFORMATIONSZENTRUM oder Arzt anrufen.</p>

Geräte und Chemikalien

1 Pocket-CASSY 2 Bluetooth.....	524 018
1 CASSY Lab 2	524 220
1 Eintauchphotometer S.....	524 069
1 Halter für Eintauchphotometer S	666 2605
1 Messkolben Boro 3.3, 100 ml.....	665 793
1 Messkolben Boro 3.3, 50 ml.....	665 792
6 Reagenzglas Fiolax, 30 mm Ø, aus Satz 10	664 045
3 Messpipette 10 ml	665 997
1 Pipettierball (Peleusball).....	666 003
1 Reagenzglasgestell Holz, f. 12 Gläser	667 054
1 Kompaktwaage 200 g : 0,01 g.....	667 7977
1 Kupfer(II)-sulfat-5-hydrat, 100 g	672 9600
1 Ammoniaklösung, 25 %, 250 ml.....	670 3600
1 Wasser, rein, 1 l.....	675 3400

Zusätzlich erforderlich:

PC mit Windows XP/Vista/7/8

Filzschreiber

Für die kabellose Messung zusätzlich empfehlenswert:

1 Akku für Pocket-CASSY 2 Bluetooth.....	524 019
1 Bluetooth-Dongle.....	524 0031

Versuchsaufbau und -vorbereitung

Ansetzen der Lösungen

Ansetzen der Kupfersulfatlösung (0,05 mol/l): 0,62 g CuSO₄ (M = 249,68 g/mol) in einen Messkolben (50 ml) geben und dort in etwas Wasser lösen. Wenn die Substanz vollständig gelöst ist, den Messkolben bis zum Eichstrich mit Wasser füllen und durch Schwenken mischen. Die Lösung ist bläulich gefärbt.

Ansetzen der Ammoniaklösung (1 mol/l): 7,5 ml der 25 % Ammoniaklösung in einen Messkolben (100 ml) pipettieren und mit Wasser auf 100 ml auffüllen.

Erstellen der Verdünnungsreihe von Kupfertetramin

Für die Verdünnungsreihe werden 6 Reagenzgläser (RG) im Reagenzglasständer vorbereitet und mit den Zahlen 1 bis 6 beschriftet. In jedes der Reagenzgläser werden 7,5 ml der Ammoniaklösung (1 mol/l) pipettiert. Anhand der folgenden Tabelle werden zu den Lösungen jeweils unterschiedliche Volumina Wasser und Kupfersulfatlösung pipettiert, so dass das Endvolumen in jedem Reagenzglas 15 ml beträgt.

RG	c(Kupfertetramin)	V(Kupfersulfat)	V(Wasser)
1	0 mol/l	--	7,5 ml
2	0,005 mol/l	1,5 ml	6 ml
3	0,010 mol/l	3 ml	4,5 ml
4	0,015 mol/l	4,5 ml	3 ml
5	0,020 mol/l	6 ml	1,5 ml
6	0,025 mol/l	7,5 ml	--

Versuchsaufbau

Das Pocket-CASSY mit dem Computer verbinden. Dies ist per Bluetooth mit dem Akku möglich oder per USB-Kabel ohne Akku. Das Eintauchphotometer an das Pocket-CASSY anschließen.

Versuchsdurchführung

1. [Einstellungen in CASSY-Lab laden.](#)

Die Einstellungen sind:


Messparameter: Transmission 612 nm, Extinktion

Messwertaufnahme: manuell

2. Das Photometer kalibrieren. Dafür die Referenzlösung ohne Farbstoff (Reagenzglas 1) verwenden. Das Eintauchphotometer so weit eintauchen, dass die seitlichen Löcher unterhalb des Flüssigkeitsspiegels liegen. Darauf achten, dass sich keine Luftblase im Inneren des Eintauchphotometers sammelt. Den Messparameter Extinktion auswählen und auf $\rightarrow 0 \leftarrow$ klicken. Das Photometer ist nun kalibriert.

3. CASSY Lab vorbereiten. In CASSY Lab nun in die Spalte c/mmol/l die vorbereiteten Konzentrationen der Lösung eintragen. CASSY Lab wird dann diesen Konzentrationen in der Reihenfolge der Messung automatisch die gemessenen Extinktionswerten zuordnen. Mit der geringsten Konzentration beginnen.

Hinweis: Der Parameter „Konzentration“ wird in CASSY Lab im Menü Rechner definiert.

4. Nacheinander die farbigen Lösungen messen. Dabei mit der Lösung beginnen, die am geringsten konzentriert ist. Auf diese Weise ist es nicht nötig, zwischen den Messungen das Eintauchphotometer abzuspielen. Hat sich nach dem Eintauchen in eine Lösung ein stabiler Messwert eingestellt, mit dem Knopf am Pocket-CASSY den Wert aufnehmen. Alternativ manuell durch Klicken auf  diesen Wert speichern.

Beobachtung

Je weniger Kupfersulfat die Lösung enthält, desto weniger ist sie gefärbt. Daher wird in der Lösung mit der höchsten Konzentration die höchste Extinktion und in der Lösung mit der niedrigsten Konzentration die geringste Extinktion gemessen (siehe Abb. 2).

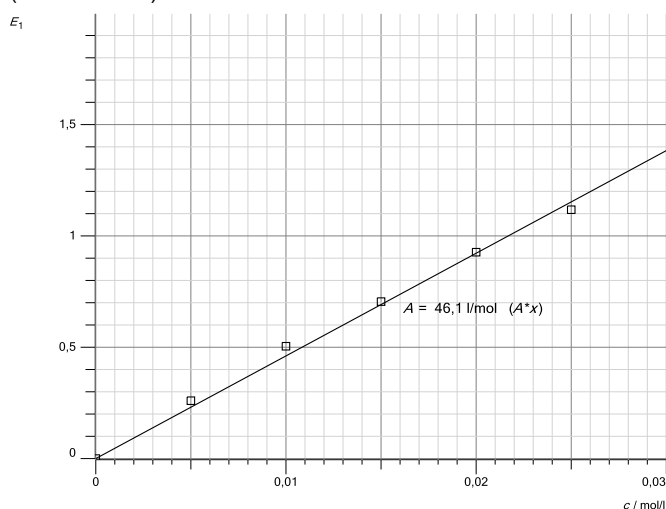


Abb. 2: Auftragung der Extinktion in Abhängigkeit von der Konzentration der Kupfertetraminlösung. Die Steigung der Geraden beträgt $A = 46,1$ l/mol.

Auswertung

Überprüfung des Lambert-Beerschen Gesetzes

Das Lambert-Beersche Gesetz besagt, dass zwischen der Extinktion E einer Lösung und der Konzentration c der farbigen Stoffe ein linearer Zusammenhang besteht. Diese Linearität kann mit dem Versuch bestätigt werden (siehe Abb. 2).

Bestimmung des Extinktionskoeffizienten von Kupfertetramin

Mit einer Verdünnungsreihe kann über das Lambert-Beersche Gesetz der Extinktionskoeffizient ϵ einer Substanz berechnet werden. In diesem Versuch handelt es sich dabei um den Extinktionskoeffizienten von Kupfertetramin. Laut dem Lambert-Beerschen Gesetz ist dieser in der Steigung A der Geraden enthalten, wenn die Extinktion E gegen die Konzentration c der Lösung aufgetragen wird (siehe Abb. 2).

$$E = \epsilon \cdot d \cdot c$$

$$y = A \cdot x$$

Der Einfachheit halber enthält das Eintauchphotometer wie die meisten anderen Photometer auch eine Weglänge d von 1 cm. Dann entspricht der Extinktionskoeffizient der Steigung der Geraden A .

$$A = \epsilon \cdot d \Rightarrow \epsilon = \frac{A}{d} = \frac{46,1 \frac{\text{l}}{\text{mol}}}{1 \text{ cm}} = 46,1 \text{ l mol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$$

Der Extinktionskoeffizient ist abhängig von der verwendeten Wellenlänge. Die vollständige Angabe des Extinktionskoeffizienten beinhaltet damit auch die Angabe der Wellenlänge bei der gemessen wurde:

$$\epsilon_{\lambda = 612 \text{ nm}} = 46,1 \text{ l mol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$$

Ergebnis

In diesem Versuch konnte das Lambert-Beersche Gesetz bestätigt werden. Außerdem wurde der Extinktionskoeffizient von Kupfertetramin bei 612 nm zu $\epsilon = 46,1 \text{ l mol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ bestimmt.

Reinigung und Entsorgung

Die Lösungen von Kupfertetramin in den Abfall für anorganische Lösungen entsorgen. Die Stammlösungen von Kupfersulfat und Ammoniak für andere Versuche aufbewahren. Sollen sie auch entsorgt werden, beide Lösungen im Behälter für anorganische Abfälle entsorgen.

Das Eintauchphotometer mit Wasser abspielen und trocken lagern.