

## Fotometrie zur Bestimmung von Stoffmengenkonzentrationen

Mit Hilfe eines Fotometers lässt sich die Stoffmengenkonzentration  $c$  eines Reaktanden ermitteln. Dazu wird ein Gefäß benötigt, in der die zu bestimmende Konzentration eines Stoffes enthalten ist. Dieses Gefäß wird Küvette genannt. Wie der Name Photometrie verrät, handelt es sich hier um eine Methode, bei der mit Hilfe von Licht gearbeitet wird. Ganz vereinfacht beschrieben, wird ein Lichtstrahl durch eine Küvette geleitet und gemessen, wie viel Licht die Küvette durchlässt. Auf diese Weise lässt sich die Konzentration bestimmen. Schauen wir uns das ganze etwas detaillierter an.

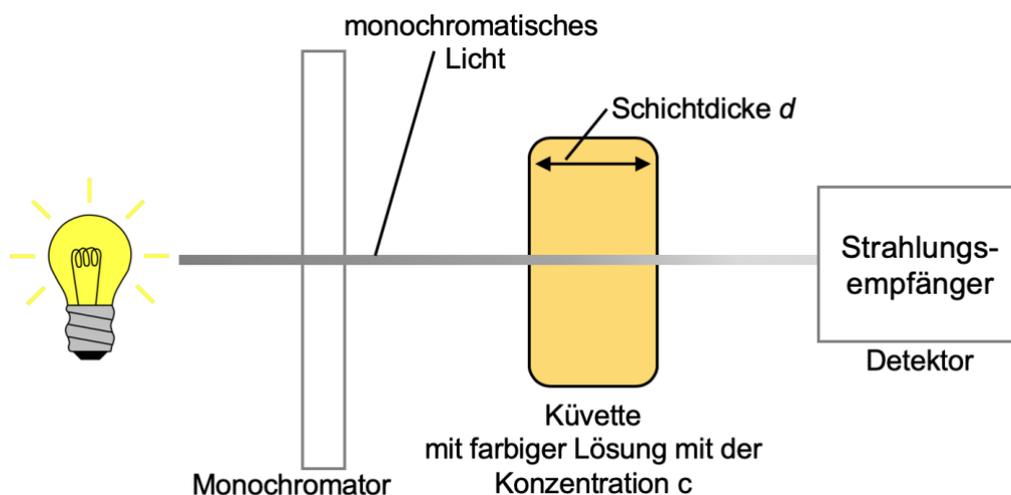


Abbildung 1: Schematischer Aufbau eines Fotometers.

In einem Fotometer wird von einer Lichtquelle, z.B. einer Glühlampe weißes Licht ausgesendet, und durch den Monochromator geschickt. Der Monochromator ist wie ein Filter und lässt nur das Licht einer ganz bestimmten Wellenlänge durch. Anschließend wird das Licht durch die Küvette geleitet. Die Lösung absorbiert („verschluckt“) einen Teil des Lichts. Der Detektor misst die austretende Lichtmenge. Auf diese Weise lässt sich die Reduktion (Verringerung) der Lichtmenge ermitteln. Aus der Absorption lässt sich im nächsten Schritt die Konzentration berechnen.

Um nun die Konzentration eines Stoffes zu berechnen benötigen wir eine Formel. Diese Formel nennt man LAMBERT-BEERsches Gesetz und sieht wie folgt aus:

$$E_{\lambda} = \log_{10} \left( \frac{I_0}{I} \right) = c \cdot \varepsilon_{\lambda} \cdot d$$

Jetzt bloß keine Panik bekommen, wir schauen uns das Gesetz in Ruhe an. Es handelt sich dabei eigentlich um zwei Gesetze, die im Laufe der Zeit zu einem Gesetz zusammengefasst wurden. Wir werden uns zuerst den ersten Teil des Gesetzes von LAMBERT anschauen:

$$E_{\lambda} = \log_{10} \left( \frac{I_0}{I} \right)$$

Wenn Licht durch eine Küvette geleitet wird, dann schwächt sich dieses Licht ab. Dies lässt sich auch mit der folgenden Abbildung 2 verdeutlichen.

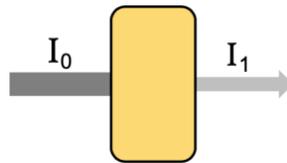


Abbildung 2: Abschwächung des Lichts in einer Küvette.

Wenn man die beiden Werte, die Intensität des einfallenden Lichtes ( $I_0$ ) und die Intensität des austretenden Lichtes vergleicht ( $I_1$ ), lässt sich berechnen, um wie viel sich das Licht abgeschwächt hat. Diese Abschwächung des Lichtes wird auch als Extinktion bezeichnet ( $E_\lambda$ ). Diesen Zusammenhang beschreibt der erste Teil des Gesetzes von LAMBERT:

$$E_\lambda = \log_{10} \left( \frac{I_0}{I_1} \right)$$

$E_\lambda = \text{Extinktion}$	<i>Keine Einheit</i>
$I_0 = \text{Intensität des einfallenden Lichtes}$	$\frac{W}{m^2}$
$I_1 = \text{Intensität des austretenden Lichtes}$	$\frac{W}{m^2}$

Verdeutlichen wir uns dies an einem Beispiel und berechnen die Extinktion ( $E_\lambda$ ):

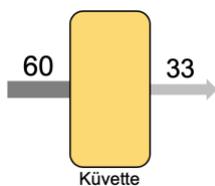


Abbildung 3: Berechnen der Extinktion.

$$E_\lambda = \log_{10} \left( \frac{I_0}{I_1} \right) = \log_{10} \left( \frac{60 \frac{W}{m^2}}{33 \frac{W}{m^2}} \right) = 0,259$$

$$E_\lambda = 0,259$$

Nun können wir also berechnen, wie sich die Intensität des Lichtes ändert. Für uns in der Reaktionskinetik ist jedoch wichtig zu wissen, welche Konzentration ein Stoff in der Küvette hat und zu diesem Zweck wurde das LAMBERT'sche Gesetz um das BEER'sche Gesetz erweitert. Denn Herr Beer hat ein Gesetz formuliert, in dem er den Zusammenhang zwischen der Extinktion und der Konzentration eines Stoffes angibt. Damit wären wir bei dem zweiten Teil des Gesetzes:

$$E_\lambda = c \cdot \epsilon_\lambda \cdot d$$

Da wir nun schon einen Wert für die Extinktion ( $E_\lambda$ ) berechnet haben, können wir die Konzentration ( $c$ ) berechnen, wenn wir die anderen beiden Werte  $\epsilon_\lambda$  und  $d$  kennen. Bei der Variablen  $d$  handelt es sich um die Schichtdicke der Küvette. Schau dir nochmal die Abbildung 1 an, dann weißt du sofort was damit gemeint ist. Fast immer beträgt die Schichtdicke 1 cm. Bei  $\epsilon_\lambda$  handelt es sich um den dekadischen molaren Extinktionskoeffizienten bei einer bestimmten Wellenlänge.

$$E_\lambda = c \cdot \epsilon_\lambda \cdot d$$

$E_\lambda = \text{Extinktion}$	<i>Keine Einheit</i>
$c = \text{Stoffmengenkonzentration}$	$\frac{\text{mol}}{L}$
$\epsilon_\lambda = \text{dekadischer Extinktionskoeffizient}$	$\frac{L}{\text{mol} \cdot \text{cm}}$
$d = \text{Schichtdicke}$	$\text{cm}$

Noch ein paar Worte zum dekadischen molaren Extinktionskoeffizienten  $\varepsilon_\lambda$ . Es handelt sich dabei um eine wellenlängenabhängige Stoffkonstante. Durch den Extinktionskoeffizienten wird ausgedrückt, wie viel Licht eine bestimmte Menge eines Stoffes absorbiert. Dieser Wert ist häufig gegeben und ist für jeden Stoff und Wellenlänge unterschiedlich. Dieser Wert lässt sich jedoch auch grafisch bestimmen. Damit werden wir uns auf einem späteren Arbeitsblatt beschäftigen.

Wenn wir bei unserem obigen Beispiel (Abb. 3) bleiben, dann berechnen wir nun noch die Konzentration der Lösung. Dazu müssen wir die Gleichung umstellen und die gegebenen Werte einsetzen:

$$\text{Umstellen der Formel nach } c: \quad \left| \quad E_\lambda = c \cdot \varepsilon_\lambda \cdot d \quad \right| \quad c = \frac{E_\lambda}{\varepsilon_\lambda \cdot d}$$

Für unseren Stoff in der Küvette ist für den Extinktionskoeffizienten folgender Wert gegeben:  $\varepsilon_\lambda = 5 \frac{L}{\text{mol} \cdot \text{cm}}$ . Damit haben wir alle Informationen zur Berechnung der Stoffmengenkonzentration.

$$\text{Einsetzen der Werte:} \quad \left| \quad c = \frac{0,259}{5 \frac{L}{\text{mol} \cdot \text{cm}} \cdot 1 \text{ cm}} \quad \right| \quad c = 0,05 \frac{\text{mol}}{L}$$

Damit entspricht unsere Konzentration unserer Lösung  $0,05 \frac{\text{mol}}{L}$ . Wiederholt man die Messung kontinuierlich während die Reaktion abläuft, so erhält man ein Diagramm, indem man die Konzentration gegen die Zeit auftragen kann, um auf diese Weise die Reaktionsgeschwindigkeit zu ermitteln.

### Arbeitsauftrag:

Die Abbildung 4 auf Seite 4 zeigt verschiedene Küvetten diese sind mit unterschiedlichen Lösungen in verschiedener Konzentration befüllt.

- 1) Ergänze die Abbildung 4, indem du die unterschiedlichen Konzentrationen in den Küvetten farblich andeutest.
- 2) Ergänze die Abbildung 4 & 5, indem du skizzenhaft andeutest, wie hoch die Austrittsintensitäten der Taschenlampenstrahlen jeweils sind.
- 3) Begründe die unterschiedlichen Austrittsintensitäten, in den jeweiligen Abbildungen.
- 4) Erläutere, wieso die unterschiedlichen Intensitäten für die Ermittlung der Stoffmengenkonzentration wichtig sind und warum das LAMBERTSche Gesetz alleine nicht ausreicht.
- 5) Berechne die Stoffmengenkonzentration einer farbigen Lösung mit Hilfe einer Standardküvette:

$$I_0 = 80 \frac{W}{m^2} \quad \left| \quad I_1 = 45 \frac{W}{m^2} \quad \right| \quad \varepsilon_\lambda = 8 \frac{L}{\text{mol} \cdot \text{cm}}$$

Schreibe jeden Rechenschritt genau auf und kommentiere wie du vorgegangen bist.

- 6) Erläutere, wie die Methode der Photometrie bei der Ermittlung von Reaktionsgeschwindigkeiten genutzt werden kann.

### Vergleich der Austrittsintensitäten (1)

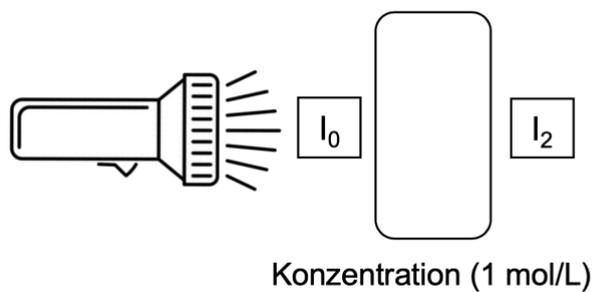
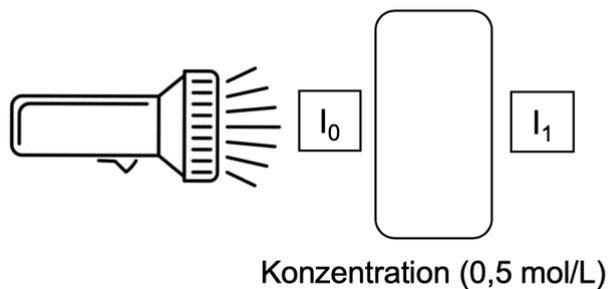


Abbildung 4: Ermittlung von unterschiedlichen Austrittsintensitäten.

### Vergleich der Austrittsintensitäten (2)

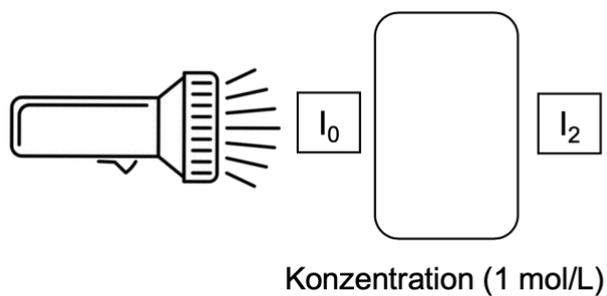
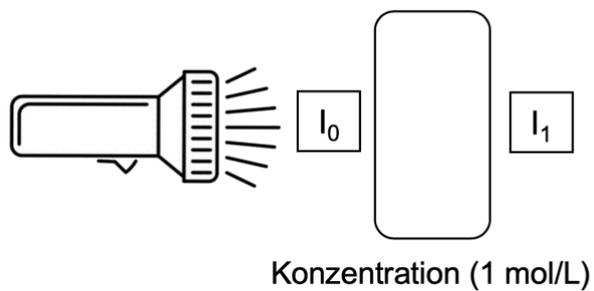


Abbildung 5: Ermittlung von unterschiedlichen Austrittsintensitäten.