

# Chemische Analytik – Das Refraktometer

Nach einer Idee von Hubert Giar



© MirageC/Moment

Um Erkenntnisse über die Konzentration gelöster Stoffe, Atomradien und die Struktur organischer Verbindungen zu erlangen, wird in der analytischen Chemie das Refraktometer verwendet. Hierbei misst das Refraktometer die Veränderung der Geschwindigkeit von Lichtstrahlen beim Durchdringen transparenter Stoffe und somit die optische Dichte, auch Brechungsindex genannt. Rückschlüsse auf den Aufbau der Materie gibt die Veränderung der wieder austretenden Strahlung und ist die Grundlage aller spektroskopischen Methoden. In dieser Einheit bestimmen Sie mit Ihren Lernenden die Konzentration gelöster Stoffe wie Atomradien.

# Chemische Analytik – Das Refraktometer

Niveau: weiterführend, vertiefend

Klassenstufe: 11–13

Nach einer Idee von Hubert Giar

Methodisch-didaktische Hinweise	1
M1: Wie funktioniert ein Refraktometer?	2
M2: Wie viel Zucker steckt in Limonade und Säften?	4
M3: Brechungsindex und Molrefraktion	6
M4: Bestimmung des Atomradius über den Brechungsindex	8
M5: Atomradien von Nichtmetallen	10
Lösungen	12
Literatur	20

VORANSICHT

# Chemische Analytik – Das Refraktometer

## Methodisch-didaktische Hinweise

Die Refraktometrie gehört zu den weniger aufwendigen, aber sehr exakten spektroskopischen Methoden der Analytik. Mit ihr lassen sich Lerninhalte wie Aufbau, Stoffgruppen und wichtige Naturstoffe in einem alternativen Ansatz im Unterricht behandeln und vertiefen. Dies macht die eigentlich nicht lehrplanrelevante Thematik zu einer interessanten Alternative der Unterrichtsgestaltung.

Die hier vorliegenden Materialien sollten am besten in ihrer vorgegebenen Reihenfolge bearbeitet werden. Die Materialien enthalten neben den Informationstexten für die Lernenden Versuchsanleitungen sowie Aufgaben mit direktem Bezug zu den Materialien und Versuchen.

**M1** bildet den Einstieg und die Grundlage für die Aufgaben und Versuche. Hier wird der **Brechungsindex** sowie seine Messung mit dem **Refraktometer** erklärt. In **M2** wird anhand des Zuckeranteils in Fruchtsäften die Bestimmung von Massenanteilen gelöster Stoffe in wässriger Lösung Schüler\*innen veranschaulicht. In **M3**, **M4** und **M5** werden in mehreren Schritten die Bestimmung von **Atomradien** aus den gemessenen **Brechungsindizes** hergeleitet. Der Umgang mit den eingesetzten Gefahrstoffen, das sind im Wesentlichen einige Halogenalkane, ist vertretbar, da nur sehr geringe Mengen eingesetzt werden.

## M1 Wie funktioniert ein Refraktometer?



© wikimedia commons/Jacek Halicki/CC BY-SA 4.0  
Handrefraktometer

Im Vakuum breitet sich das Licht mit einer Geschwindigkeit  $c_v = 299.792.458$  aus. In der Luft ist dieser Wert nur unmaßgeblich kleiner, in anderen transparenten Medien, insbesondere in flüssigen und festen, ist er deutlich kleiner. Nachfolgend wird ein Lichtstrahl an der Grenzfläche beim Übergang von Luft in eine transparente **Flüssigkeit (M1)** und beim Übergang von Luft in ein transparentes festes **Medium (M2)** abgelenkt (gebrochen). Das Verhältnis der Lichtgeschwindigkeit im Vakuum ( $c_v$ ) zu der Lichtgeschwindigkeit in einem anderen **Medium ( $c_M$ )** ist der **Brechungsindex ( $n$ )**:

$$n_{M1} = \frac{c_v}{c_{M1}} \text{ und } n_{M2} = \frac{c_v}{c_{M2}} \text{ und in der Folge } \frac{n_{M1}}{n_{M2}} = \frac{c_{M2}}{c_{M1}}$$

Das Medium mit dem größeren Brechungsindex wird als das **optisch dichtere** und das mit dem kleineren Brechungsindex als das **optisch dünnere** bezeichnet. Der Brechungsindex ist eine **Stoffeigenschaft**, die von der **Temperatur** und der **Wellenlänge** des Lichtes abhängig ist. Er wird fast immer für 20 °C und für die Natrium-D-Linie angegeben ( $n_D^{20}$ ).

Die Brechungsindizes werden mit einem **Refraktometer** gemessen. Zur Messung werden wenige Tropfen der entsprechenden Flüssigkeit in die Mulde gegeben. Nach dem Schließen des Deckels wird der Messvorgang durch Drücken des Knopfes „READ“ gestartet. Der Brechungsindex wird sofort in dem Display angezeigt. Mit dem Drücken des Knopfes trifft ein **Bündel von Lichtstrahlen (L)** auf die Grenzfläche zwischen dem **Prisma** und der zugefügten **Probe** (s. Skizze unten). Wegen des schrägen Lichteinfalls werden die Einfallswinkel von links nach rechts immer größer. Das Licht mit relativ kleinen

## M2 Wie viel Zucker steckt in Limonade und Säften?

Die wässrigen Lösungen fester Stoffe wie Zucker oder Salz haben im Vergleich zum reinen Lösungsmittel größere Brechungsindizes. Mit der Zunahme des Massenanteils des gelösten Stoffes steigt auch der Brechungsindex. Nach vorheriger Eichung (Kalibrierung) können damit die Massenanteile in den Lösungen mithilfe eines Refraktometers ermittelt werden.



**Schülerversuch:** Bestimmung des Zuckergehalts in süßen Getränken

Vorbereitung: 15 min Durchführung: 30 min

### Chemikalien

- Saccharose kein GHS-Symbol
- Apfelsaft, Traubensaft, weitere Obstsäfte kein GHS-Symbol  
(alle frisch gepresst, klar)
- Limonaden (weitgehend frei von CO<sub>2</sub>, klar) kein GHS-Symbol  
(alle frisch gepresst, klar)

### Geräte

- 8 Erlenmeyerkolben (100 ml)
- Waage
- Refraktometer (digital) mit einem Messbereich von 1,333 bis 1,400 kein GHS-Symbol
- Schutzbrille

**Entsorgung:** neutrale Rückstände in den Abfluss.

### Versuchsdurchführung

- In die Erlenmeyerkolben wird Saccharose eingewogen. In den ersten 2 g, dann 4 g, 6 g, 8 g, 10 g, 12 g, 14 g und schließlich in den achten 16 g.
- In jeden der acht Erlenmeyerkolben werden dann 50 g Wasser zugefügt.
- Es wird umgerührt, bis der gesamte Zucker gelöst ist.
- Nacheinander werden von allen Lösungen die Brechungsindizes ( $n_D^{20}$ ) bestimmt.
- Für die Lösung werden auch alle Massenanteile des Zuckers ( $w$ ) ausgerechnet.
- Die Brechungsindizes ( $n_D^{20}$ ) der Fruchtsäfte und der Limonaden werden mit dem Refraktometer gemessen.

In der Gleichung III kann  $V_m$  durch  $\frac{M}{\rho}$  (II) ersetzt werden. Umgeformt ergibt das:

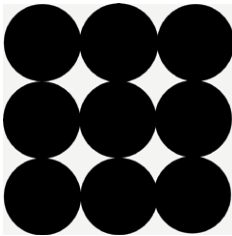
$$R_m = \frac{M}{\rho} \cdot \frac{n^2 - 1}{n^2 + 2} \quad (\text{IV})$$

In dieser Formel wird deutlich, dass sich die Molrefraktion für einen transparenten Stoff aus den messbaren Größen ( $n$ ,  $\rho$ ) und aus der ohnehin bekannten molaren Masse errechnen lässt. Nach Umformung der Gleichung (I) in

$$\alpha = \frac{3}{4\pi} \cdot \frac{R_m}{N_A} \quad (\text{V})$$

kann mit der jetzt bekannten Molrefraktion ( $R_m$ ) und den bekannten Konstanten  $\pi$  und  $N_A$  das Polarisierbarkeitsvolumen ( $\alpha$ ) für die entsprechenden Atome ausgerechnet werden und daraus schließlich der Atomradius ( $r$ )

$$r = \sqrt[3]{\alpha} \quad (\text{VI})$$



In der vereinfachten, zweidimensionalen Betrachtung entspricht die Gesamtfläche des Rechtecks mit allen Kreisen und allen Zwischenräumen  $V_m$ . Die Summe aller Kreisflächen ohne die Zwischenräume entspricht  $R_m$ .

© RAABE 2022

## Aufgaben

- Berechnen** Sie den Atomradius der Schwefelatome aus dem Brechungsindex, der Dichte und der molaren Masse. **Ergänzen** Sie die Werte in der Tabelle.

$n^{20D}$	$M$ in $\frac{\text{g}}{\text{mol}}$	$\rho^{20}$ in $\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$
1,9573	32,1	2,07
$R_m$ in $\text{cm}^3 \text{mol}^{-1}$ (mit Gl. IV)	$\alpha$ in $10^{-24} \text{ cm}^3$ (mit Gl. V)	$r$ in $10^{-10} \text{ m}$ (mit Gl. VI)

# Sie wollen mehr für Ihr Fach?

## Bekommen Sie: Ganz einfach zum Download im RAABE Webshop.



**Über 5.000 Unterrichtseinheiten**  
sofort zum Download verfügbar



**Webinare und Videos**  
für Ihre fachliche und  
persönliche Weiterbildung



**Attraktive Vergünstigungen**  
für Referendar:innen mit  
bis zu 15% Rabatt



**Käuferschutz**  
mit Trusted Shops



Jetzt entdecken:  
**www.raabe.de**