

## Physikalische Grundlagen

### Grundbegriffe

Brechungsgesetz  
Totalreflexion  
absolute und relative Brechzahl  
Dispersion  
Refraktometer

Das Abbe-Refraktometer dient zur Messung der Brechzahl flüssiger oder fester Stoffe durch Anwendung des Brechungsgesetzes (Abb. 13.1)

$$n_1 \sin \alpha_1 = n_2 \sin \alpha_2 \quad (13.1)$$

mit dem Einfallswinkel  $\alpha_1$ , dem Brechungswinkel  $\alpha_2$  und den Brechzahlen  $n_1$  bzw.  $n_2$  der Stoffe. Beim Übergang vom optisch dünneren zum optisch dichteren Stoff ( $n_1 < n_2$ ) ist der Brechungswinkel  $\alpha_1 < \alpha_2$ . Für den maximalen Einfallswinkel  $\alpha_1 = 90^\circ$  folgt aus dem Brechungsgesetz

$$\sin \alpha_g = \frac{n_1}{n_2}. \quad (13.2)$$

Auch wenn im Stoff 1 im gesamten punktierten Winkelbereich Licht einfällt, wird im Stoff 2 nur bis zum Grenzwinkel  $\alpha_g$  der Totalreflexion der schraffierte Winkelbereich ausgeleuchtet (Abb. 13.1). Dieser Grenzwinkel wird beim Abbe-Refraktometer zur Bestimmung der Brechzahl verwendet.

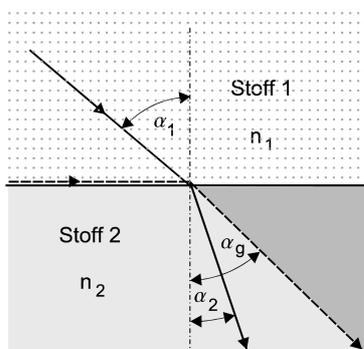


Abbildung 13.1: Brechungsgesetz

Im Prismenkörper (Abb. 13.2) sind das Messprisma und das Beleuchtungsprisma so angeordnet, dass zwischen ihren Grundflächen ein Hohlraum zur Aufnahme der flüssigen Probe entsteht. Er ist in der Abbildung stark vergrößert gezeichnet. Das in das Beleuchtungsprisma einfallende Licht wird an der matten Grundfläche gestreut und durchsetzt die Probe in allen Richtungen; insbesondere trifft es auch streifend auf die Grundfläche des Messprismas, die für die Messung entscheidende Grenzfläche. Das streifend einfallende Licht (Abb. 13.2, dicke Pfeile) führt im Messprisma zum Grenzwinkel  $\alpha_g$ , wenn die Brechzahl der Probe  $n_{\text{Probe}}$  kleiner als die Brechzahl des Messprismas  $n_{\text{Prisma}}$  ist. An jedem Punkt dieser Grenzfläche wird das Licht gebrochen; gezeichnet sind für zwei beliebige Punkte jeweils zwei gebrochene Strahlen. Die beiden Strahlen 1 und 1', wie

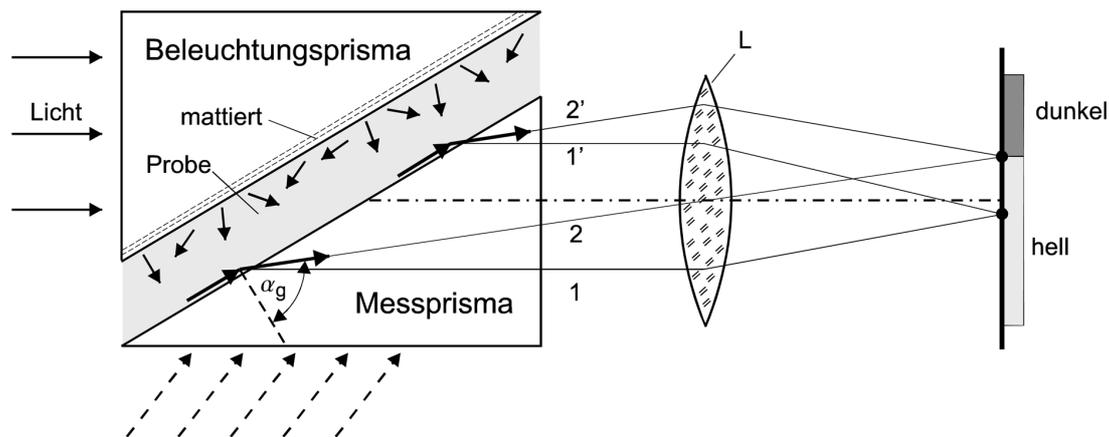


Abbildung 13.2: Prismenkörper

auch alle anderen an der Grenzfläche unter diesem Winkel gebrochenen Strahlen ergeben in der Brennebene der Linse L das Bild B1. Die beiden Strahlen 2 und 2' ergeben das Bild B2. Es können keine größeren Brechungswinkel auftreten als die der Strahlen 2 und 2', weil sie dem Grenzwinkel  $\alpha_g$  der Totalreflexion entsprechen. Beim Abbe-Refraktometer wird das aus dem Messprisma austretende Licht mit einem Fernrohr beobachtet und es entsteht im Gesichtsfeld des Fernrohres eine scharfe Grenzlinie zwischen einem hellen und einem dunklen Bereich. Gemessen wird aber nicht der Grenzwinkel der Totalreflexion, sondern auf einer mit dem Messprisma konstruktiv verbundenen Skale kann direkt die Brechzahl für die Wellenlänge der gelben Na-D-Linie ( $\lambda = 589 \text{ nm}$ ) abgelesen werden.

### Aufbau des Refraktometers

Das Abbe-Refraktometer (Abb. 13.3) besteht im wesentlichen aus dem Messprisma ①, dem Beleuchtungsprisma ②, dem Beobachtungsfernrohr ③ mit integriertem Ablesemikroskop für die Brechzahlskale und den Stellrädern ④ und ⑤. Das Stellrad ④ dient nach der Beschickung des Prismenkörpers mit der Probe zur Einstellung der Hell-Dunkel-Grenzlinie auf das Strickkreuz im Okular. Mit dem Stellrad ⑤ kann der dispersionsbedingte Farbsaum der Grenzlinie zum Verschwinden gebracht werden. An beiden Prismen befinden sich verschließbare Beleuchtungsfenster ⑥ und ⑦ und auf der in Abb. 13.3 verdeckten Seite des Gerätes eine drehbare Beleuchtungsvorrichtung für die Brechzahlskale. Das Abbe-Refraktometer gestattet mehrere Messverfahren:

- Im durchfallenden Licht - wie oben beschrieben - ist der Hell-Dunkel-Kontrast besonders groß, aber diese Methode ist nur für durchsichtige Flüssigkeiten geeignet (Aufgabe 1).
- Im streifenden Licht, anwendbar für durchsichtige feste Stoffe, wird das Beleuchtungsprisma weggeklappt und das Licht fällt durch eine mattierte Seitenfläche des Messobjektes parallel zum Messprisma ein (Aufgabe 2).
- Im reflektierten Licht, anwendbar für alle festen und flüssigen Substanzen, wird das Beleuchtungsfenster ⑦ geöffnet, so dass das Licht dann schräg von unten (Abb. 13.2, gestrichelte dicke Pfeile) in das Messprisma eintritt (Aufgabe 2). Dieses Messverfahren ist auch für stark

gefärbte Flüssigkeiten und undurchsichtige feste Stoffe anwendbar, im Gegensatz zu den beiden vorstehenden.

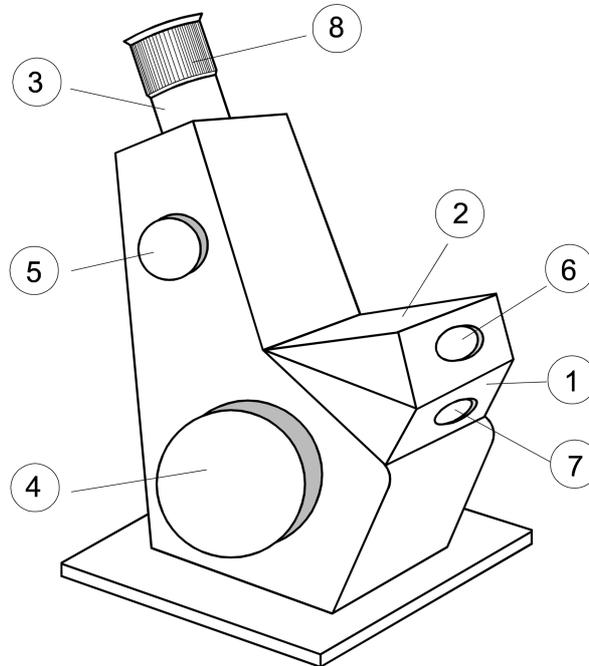


Abbildung 13.3: Refraktometer

## Aufgaben

1. Die Brechzahl von destilliertem Wasser wird zehnmal gemessen und der Mittelwert sowie die Standardabweichung bestimmt.
2. Messung der Brechzahl von Plexiglas mit streifendem und reflektiertem Licht (jeweils 6 mal) und Bestimmung des Mittelwertes.
3. Messung der Brechzahl von Äthylenglykol-Wasser-Gemischen für 10 verschiedene Volumenkonzentrationen und grafische Darstellung der Brechzahlen als Funktion der Volumenkonzentration.
4. Abschätzung des Fehlers für die Konzentrationsangabe und Eintragung der Fehler in die grafische Darstellung.
5. Rechnerische Ermittlung der Eichkurve durch lineare Regression.
6. Bestimmung der Konzentration eines unbekanntes Gemisches unter Verwendung der Eichkurve.

## Versuchsdurchführung

Das Abbe-Refraktometer bedarf als empfindliches Präzisionsinstrument einer besonders pfleglichen Behandlung. Zur Probenbeschickung wird das Beleuchtungsprisma nach vorn geklappt. Flüssige Proben werden nach Reinigung beider Prismenflächen mit einem weichen Lappen und destilliertem Wasser mit einem Kunststoffstab (Gefahr des Zerkratzens!) auf das Messprisma gegeben. Ein Tropfen Messflüssigkeit genügt. Anschließend wird das Beleuchtungsprisma wieder angeklappt und das Fenster ⑥ geöffnet. Feste durchsichtige Proben werden mit einer polierten ebenen Fläche unter Verwendung einer Immersionsflüssigkeit auf das Messprisma gedrückt. Nach Öffnung des Beleuchtungsfensters ⑦ kann im reflektierten Licht gemessen werden. Für die Messung im streifenden Licht muss die Seitenkante der Probe, durch die das Licht einfällt, mattiert sein. Zur Beobachtung mit dem Fernrohr wird der Rändelring ⑧ so verstellt, dass Strichkreuz und Grenzlinie gleichzeitig scharf gesehen werden. Die Einstellung der Hell-Dunkel-Grenzlinie auf das Strichkreuz mit dem Stellrad ④ muss evtl. nach der Korrektur des Farbsaumes wiederholt werden. Danach kann die Brechzahl abgelesen werden.

Für Aufgabe 1 übe man mit destilliertem Wasser die Handgriffe zur Messung der Brechzahl. Man führe 10 Messungen durch und bestimme Mittelwert und Standardabweichung.

Für Aufgabe 2 verwende man den Plexiglaskörper und benutze als Immersionsflüssigkeit Monobromnaphthalin ( $n = 1.65 \dots$ ). Das Beleuchtungsfenster ⑦ wird nur bei Beobachtung im reflektierten Licht geöffnet.

Für Aufgabe 3 stehen 10 Glasröhrchen und 2 Messpipetten zur Herstellung von 10 Gemischen mit unterschiedlicher Konzentration zur Verfügung. Die eine Pipette soll nur für Wasser, die andere nur für Äthylenglykol verwendet werden, um die Konzentrationsfehler gering zu halten. Die Messergebnisse werden graphisch dargestellt.

Für Aufgabe 4 berechne man den Fehler der Konzentrationsangaben, indem die Toleranzangaben der Pipetten und ihre Ablesegenauigkeit berücksichtigt werden. In die grafische Darstellung zeichne man den Fehler bezüglich der Brechzahl (Aufgabe 1, Standardabweichung) und bezüglich der Konzentrationsangabe (Aufgabe 4) ein und lege eine Gerade als Eichkurve durch die Messpunkte.

Für Aufgabe 5 berechne man die Eichkurve durch lineare Regression, wozu das Rechnerprogramm Geradenausgleich „GERA“ benutzt werden kann; das Programm berechnet auch die zufälligen Fehler. Man zeichne die rechnerisch ermittelte Gerade in das Diagramm der Aufgabe 3 ein, einschließlich der Fehlerangabe. Für Aufgabe 6 benutze man das am Versuchsplatz vorhandene Äthylenglykol-Wasser-Gemisch.

## Fragen

1. Wodurch wird der messbare Wertebereich des Refraktometers begrenzt?
2. Warum heißt der Winkel  $\alpha_g$  (Abb. 13.1) der Grenzwinkel der Totalreflexion?
3. Warum lässt sich auch der an der Grenzfläche zur Probe reflektierte Strahl zur Messung ausnutzen (Untersuchung stark absorbierender bzw. undurchsichtiger Substanzen)?