

Versuch 412

Spezifische Drehung von Zucker

Aufgaben

1. Bestimmen der spezifischen Drehung φ^* von Zucker durch Messung des Drehwinkels bei variierenden Küvettenlängen d und Lösungskonzentrationen c .
2. Ermitteln des Zuckergehalts einer unbekanntenen Lösung und untersuchen der Abhängigkeit des Winkels von der Wellenlänge des analysierenden Lichtes.

Grundlagen

Polarisation von Licht

Licht wird als elektromagnetische Welle von einer Vielzahl von einem Einzelquellen (Elektronenschwingungen in der Hülle eines Atoms) ausgesendet. Dabei ist die von einem Atom ausgehende Welle klar hinsichtlich ihrer Schwingungsrichtungen (E und H- Feldvektoren) und Wellenlänge bestimmbar. In den meisten Fällen der alltäglichen Lichterzeugung (thermische Emission) aber wird durch die chaotische Überlagerung von solchen Einzelschwingungen sowohl unterschiedliche Frequenzen, als auch Ausrichtungen zu einem Konglomerat aus Wellenpaketen. Durch den Einsatz von Lichtfiltern oder Gasdampflampen kann man das verwendete Spektrum stark reduzieren, streng monochromatisches und (linear) polarisiertes (Schwingungsebenengleiches) Licht erhält man nur von Lichtquellen, welche auf der Basis stimulierter Emission und Resonanz arbeiten (Laser).

Polarisationsarten

Erstaunlicher Weise ist die landläufig bekannteste Art der Polarisation, die lineare Polarisation, nur ein Spezialfall. Die allgemeine Gleichung für eine polarisierte Welle lautet (*elliptisch polarisiert*):

$$\vec{I}_{pol} = \vec{I}_1 \cdot \sin(\omega t - kr) + \vec{I}_2 \sin(\omega t - kr + \varphi)$$

Dabei sind die Schwingungsvektoren I_1 und I_2 senkrecht zueinander ausgerichtet. Wird durch Absorption oder andere selektive Auswahl (z.B. Reflektion) $I_2=0$ oder durch Doppelbrechung der Phasenwinkel $\varphi=n\pi$, so handelt es sich um *linear polarisiertes*, ist $I_1=I_2$ und $\varphi=(2n+1)\pi$, dann um *zirkular polarisiertes* Licht.

Letzten Endes kann das Verhalten der Polarisationsarten ebenso als Lissajous- Überlagerung zweier senkrechter Schwingungen aufgefasst werden.

Möglichkeiten, zu Polarisieren

Bereits angedeutet kann man Polarisation durch Doppelbrechung, Reflektion oder durch Absorption mittels ausgerichteteter dichroitischer Moleküle erreichen.

Bei der *Doppelbrechung* handelt es sich um den Strahlendurchgang durch einen optisch anisotropen Stoff, d.h. auf Grund der Asymmetrie der Moleküle entsteht eine oder zwei sogen. optische Achsen, das Licht wird in einen ordentlichen und einen außerordentlichen (einachsigen) oder zwei außerordentlichen Strahlen (zweiachsig) polarisierend zerlegt, welche je nach der Lage zur optischen Achse und Lotwinkeln unterschiedlich verhalten.

Bei der *Reflektion an Oberflächen* werden nur die Anteile des Lichtes reflektiert, deren Schwingungsrichtung senkrecht zur Einfallsebene ist. Das muss so auch sein, denn sonst hätte das reflektierte Licht Anteile longitudinaler Schwingungen, was lt. der Maxwell'schen Gleichungen nicht existiert.

Als Sonderfall ist noch der Brewster'sche Winkel, der Grenzfall bei maximaler Reflektion zu nennen:

$$\tan \alpha = \frac{n_2}{n_1}$$

Heute nutzt man allerdings Filter auf der Basis langkettiger dichroitischer Moleküle, welche mittels Spannungszug ausgerichtet wurden. Weiterhin können elektrische Einflüsse, wie z.B. der Kerr- Effekt eingesetzt werden.

Optisch aktive Stoffe

Aufgrund der asymmetrischen Molekülstruktur der meisten organischen und einiger weniger anorganischer Stoffe, wird die Schwingungsrichtung einfallenden Lichtes gedreht. Dabei unterscheidet man rechts- und linksdrehend. Verläuft die Drehung im Uhrzeigersinn, entgegen der Ausbreitungsrichtung gesehen, spricht man von rechtsdrehend, andernfalls natürlich von linksdrehend. Im Hinblick auf die gesundheitliche Wirkung auf den menschlichen Organismus spielt dies eine große Rolle in der Biologie - und eine noch größere in der Nahrungsmittelindustrie respektive deren Werbekampagnen.

Versuchsprotokolle

Wie auch immer die weiteren Entwicklungen und „werbepopulären Erkenntnisse“ sich entwickeln werden, fest stehe, dass der Drehwinkel nach dem Strahlendurchgang durch eine bekannte Lösung von der Weglänge und der Konzentration dieser proportional abhängig ist. In etwa so:

$$\varphi = \varphi^* \cdot c \cdot d$$

Dabei ist φ^* der Proportionalitätsfaktor, spezifische Drehung genannt.

Durchführung

Versuchsobjekt:

Natriumdampflichtlampe (Wellenlänge: 589 nm), Quecksilberdampflichtlampe mit Lichtfiltern. Küvetten (d= { 100 mm; 150,3 mm; 200 mm}), Zucker, dest. Wasser, Wage

mögliche systematische Fehler:

1. Abweichungen vom 0° - Drehwinkel der Küvetten im Normalzustand
2. mögliche „Rückstände“ vorheriger Lösungen in den Küvetten (Küvetten unsauber übernommen)
3. Abweichungen der Wage

erwartetes Ergebnis:

- linearer Zusammenhang $\varphi = \varphi^* \cdot c \cdot d$
- $\varphi^* = \{52 \dots 66\} \text{ }^\circ \text{cm}^3/\text{dmg}$ (Laktose... Rohrzucker)
- Abhängigkeit von der Wellenlänge: $\sim \frac{1}{\lambda^2}$

Versuchsablauf:

- Prüfmessung an einer Küvette
- Herstellen der Lösungen
- Aufnahme der Messreihen über alle Längen und Konzentrationen
- Vermessung der unbekannt Lösung
- Untersuchen der Frequenzabhängigkeit

Fehlerquellen:

$$\Delta d = 1 \text{ mm}, \Delta m = 0,1 \text{ g}, \Delta \rho = 0,002 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}, \Delta \varphi = 0,15^\circ$$

Messwerte

Aufnahme der Lösungsparameter

Nr _{Lösung}	m _{Zucker} [g]	m _{Wasser} [g]	ρ [g/cm ³]
1	20	280,2	1,024
2	30	120	1,08
3	12	88	1,05
4	16	84	1,06

Abhängigkeitsmessung φ -d-c

Nr _{Lösung}	d [mm]			
		100	150,3	200
1		4,65	6,7	8,85
unbekannt		6,1	9,15	12,55
3		8,3	12,8	16,9
4		11,25	17	22,5
2		14,65	21,6	28,65

Messung bei unterschiedlichen Wellenlängen:

λ [nm]	100 mm	150,3 mm	200 mm
436	12,4	18,2	23,35
546	keine Messung möglich		
578	6,8	10,5	12,4
660	5,9	9,6	11,8

Versuchsprotokolle

Auswertung

Nr _{Lösung}	m _{Zucker} [g]	m _{Wasser} [g]	Δm [g]	ρ [g/cm ³]	Δρ [g/cm ³]	c [g/cm ³]	Δc [g/cm ³]
1	20	280,2	0,1	1,024	0,002	0,068	0,001
2	30	120	0,1	1,08	0,002	0,216	0,001
3	12	88	0,1	1,05	0,002	0,126	0,002
4	16	84	0,1	1,06	0,002	0,170	0,002

Berechnung der spezifischen Drehung:

$$\varphi = \varphi^* dc$$

$$\begin{aligned}\varphi^* &= \frac{\varphi_{1,100} - \varphi_{2,200}}{d_{100} \cdot c_1 - d_{200} \cdot c_2} \\ &= 65,93 \frac{^\circ \cdot \text{cm}^3}{\text{g} \cdot \text{dm}}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta\varphi^* &= \varphi^* \cdot \left(\frac{2\Delta\varphi}{|\varphi_{1,100} - \varphi_{2,200}|} + \frac{\Delta d(c_1 + c_2) + \Delta c_{1,2}(d_{100} + d_{200})}{|d_{100} \cdot c_1 - d_{200} \cdot c_2|} \right) \\ &= 1,42 \frac{^\circ \cdot \text{cm}^3}{\text{g} \cdot \text{dm}}\end{aligned}$$

Berechnung der unbekanntenen Lösung:

$$\begin{aligned}c &= \frac{\rho \cdot m_{\text{Zucker}}}{m_{\text{Zucker}} + m_{\text{Wasser}}} \\ \Delta c &= c \cdot \left(\frac{\Delta\rho}{\rho} + \frac{\Delta m_{\text{Zucker}}}{m_{\text{Zucker}}} + \frac{\Delta(m_{\text{Zucker}} + m_{\text{Wasser}})}{m_{\text{Zucker}} + m_{\text{Wasser}}} \right)\end{aligned}$$

Daraus folgt bei linearem Zusammenhang zwischen c und φ :

$$\begin{aligned}\frac{c_1}{\varphi_1} &= \frac{c_2}{\varphi_2} \\ \frac{\varphi_{?,200}}{\varphi_{2,200}} c_2 &= c_? = 0,095 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta c_? &= c_? \cdot \left(\frac{\Delta\varphi}{\varphi_{?,200}} + \frac{\Delta\varphi}{\varphi_{2,200}} + \frac{\Delta c}{c_2} \right) \\ &= 0,002 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}\end{aligned}$$

Ergebnisse

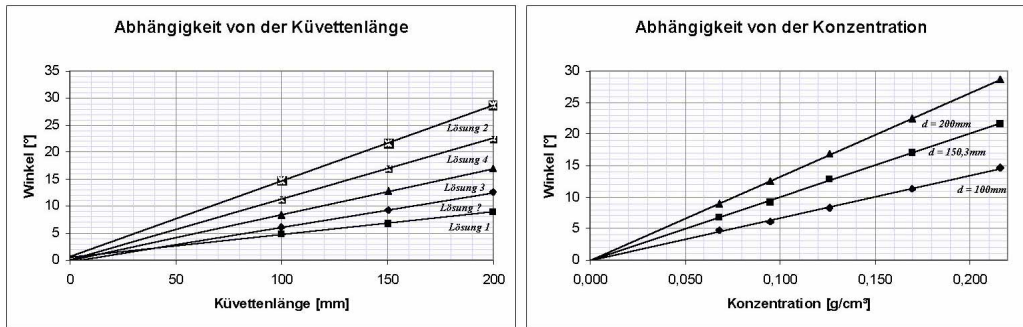
Spezifische Drehung von Zucker:

$$\varphi^* = 65,93 \pm 1,42 \frac{^\circ \cdot \text{cm}^3}{\text{g} \cdot \text{dm}}$$

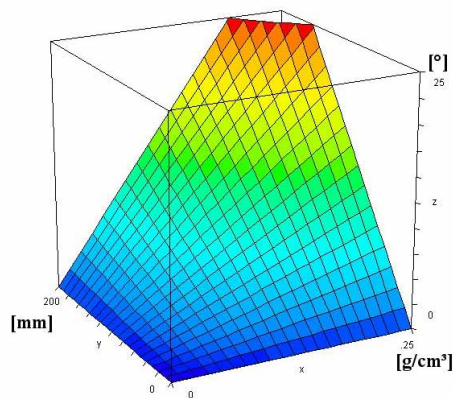
Zuckergehalt der unbekanntenen Lösung

$$c_? = 0,095 \pm 0,002 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

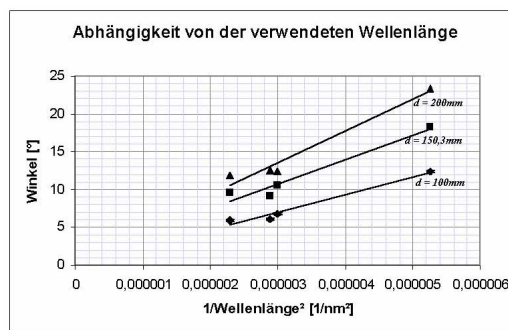
Versuchsprotokolle



Die Kurvenverläufe über die Konzentration bzw. die Küvettenlänge zeigen deutlich linearen Charakter.



Hier das Ganze noch einmal dreidimensional aufgetragen.



Nicht ganz gezeigt konnte die Abhängigkeit $\sim \frac{1}{\lambda^2}$ gezeigt werden, aber in guter Näherung ergibt sich dennoch eine Gerade.

Diskussion

Die Ergebnisse sind hervorragend und die Erwartungen (aus dem Tafelwerk etc.) wurden erfüllt. Einziger Vermouthstropfen: die Abhängigkeit der verwendeten Wellenlänge streut ein wenig. Die mag z.T. an den Filtern liegen, zumal bei dem grünen Licht keine Messung mehr vorgenommen werden konnte, die Hauptursache aber liegt in der Versuchsapparatur selbst, da der Analysator für Natriumdampflicht dimensioniert worden ist. Auf Grund dieser Unsicherheit lohnt sich auch keine Fehlerangabe etc.

Die aufgenommenen Messwerte befinden sich auf der letzten Seite von Buch 1 (sorry!).

Jena, 10.06.2002