Protokoll zum Versuch 410
Bestimmung von Dipolmomenten

Tim Paehler Frank Wöckener

19.Juni 1996

Inhaltsverzeichnis

1 Theorie

Befindet sich dielektrische Materie in einem äußerem elektrischen Feld, so tritt eine Ausrichtung von Ladungen auf, was allgemein durch den Begriff der Polarisation beschrieben wird. Die Polarisation eines Mediums $\vec{P}$ wird als das gesamte elektrische Dipolmoment pro Volumen definiert.

$$\begin{aligned} \vec{P} &= n \cdot \vec{p} \qquad (1) \\ &= n \cdot \epsilon_0 \cdot \alpha \cdot \vec{E}' \end{aligned}$$

Die Polarisation ist dem äußeren Feld $\vec{E}$ proportional

$$\vec{P} = \epsilon_0 \cdot \chi_e \cdot \vec{E} \qquad (2)$$

Das Feld am Orte des Atoms $\vec{E}'$ berechnet sich nach Lorentz zu:

$$\vec{E}' = \vec{E} + \frac{1}{3\epsilon_0} \cdot \vec{P} \qquad (3)$$

Damit ergibt sich aus (1):

$$\begin{aligned} \vec{P} &= n \cdot \alpha \cdot \epsilon_0 \cdot \vec{E}' \\ \epsilon_0 \cdot (\epsilon - 1) \cdot \vec{E} &= n \cdot \alpha \cdot \epsilon_0 \cdot \left(\vec{E} + \frac{1}{3\epsilon_0} \cdot \epsilon_0 \cdot (\epsilon - 1) \cdot \vec{E} \right) \\ (\epsilon - 1) &= n \cdot \alpha \cdot \frac{\epsilon + 2}{3} \qquad (4) \end{aligned}$$

und wegen $n = \frac{(m/M) \cdot N_L}{V} = \frac{\rho}{M} \cdot N_L$

$$3 \cdot \frac{\epsilon - 1}{\epsilon + 2} \cdot \frac{M}{\rho} = N_L \cdot \alpha \qquad (5)$$

Es treten nun je nach Beschaffenheit von Material und äußerem Feld verschiedene Arten von Polarisation auf:

- Die durch die durch die Ausrichtung der permanenten Dipole hervorgerufene Orientierungspolarisation $\vec{P_O}$.
- Die durch die gegenseitige Verschiebung geladener Atome oder Atomgruppen hervorgerufene Atompolarisation $\vec{P_A}$.
- Die durch die Deformation der Elektronenwolken hervorgerufene Elektronenpolarisation $\vec{P_E}$.

Die Orientierungspolarisation $\vec{P_O}$ errechnet sich dabei aus statistischen Betrachtungen zu

$$\vec{P_O} = n \cdot \epsilon_0 \cdot \alpha_0 \cdot \vec{E}' \qquad (6)$$

mit $\alpha_O = \frac{p_O^2}{\epsilon_0 3kT}$.
Im allgemeinen Fall stellt die Polarisation die Summe dieser drei Polarisationsarten dar

$$\begin{aligned} \vec{P} &= \vec{P_E} + \vec{P_A} + \vec{P_O} \\ &= n \cdot \epsilon_0 \cdot \alpha \cdot \vec{E}' \end{aligned} \tag{7}$$

mit

$$\alpha = \alpha_E + \alpha_A + \alpha_O$$

Damit erhält man aus (5) die Langevin-Debye-Beziehung:

$$3 \cdot \frac{\epsilon - 1}{\epsilon + 2} \cdot \frac{M}{\rho} = N_L \cdot \left(\alpha_E + \alpha_A + \frac{p_O^2}{\epsilon_0 3kT}\right) \tag{8}$$

Betrachtet man nun statt der mittleren atomaren Polarisierbarkeit α die molare Polarisierbarkeit $Q = N_L \cdot \alpha$, so läßt sich diese im nach (5) wie folgt darstellen:

$$Q = 3 \cdot \frac{\epsilon - 1}{\epsilon + 2} \cdot \frac{M}{\rho} \tag{9}$$

Im sichtbaren Spektralbereich kann man aufgrund der maxwellschen Beziehung $n^2 = \epsilon$ die molare Polarisierbarkeit, die in diesem Bereich als molare Refraktion R bezeichnet wird, wie folgt darstellen:

$$R = 3 \cdot \frac{n^2 - 1}{n^2 + 2} \cdot \frac{M}{\rho} = N_L \cdot \alpha_E' \tag{10}$$

Aufgrund der Tatsache, daß die einzelnen Polarisationskomponenten in elektrischen Wechselfeldern bei steigender Frequenz in der zu Beginn des Abschnitts aufgelisteten Reihenfolge ausgeblendet werden, läßt sich nun aus der Differenz von Q und R die molare Orientierungspolarisation errechnen. Über diese erhält man damit die folgende Formel für das Dipolmoment einer mit dem Molenbruch x_1 verdünnten Lösung:

$$p_O = \sqrt{\epsilon_0 \cdot 3kT \cdot (\bar{Q} - \bar{R})/(x_1 \cdot N_L)} \tag{11}$$

2 Versuchsdurchführung und -auswertung

In dem Versuch soll nun aus einer Lösungsreihe von Azeton in Cyclohexan die Dielektrizitätskonstante ϵ, die Brechzahl n und die Dichte ρ als Funktion des Molenbruchs Azeton gemessen, um daraus mittels (5) das Dipolmoment eines Azetonmoleküls im Grenzfall unendlicher Verdünnung zu ermitteln. Dabei wird ϵ

über die Messung der Kapazitätsdifferenz eines leeren und eines mit Lösung gefüllten Zylinderkondensators berechnet und n und ρ über ein Abbe-Refraktometer bzw. eine Mohrschen Waage direkt gemessen werden. Als Raumtemperatur werden 20 Grad Celsius angenommen. Die Kapazität des leeren Zylinderkondensators wird mit $(24,9 \pm 3,0)pF$ gemessen, die Kapazität der Zuleitungen C_z wird über die Messung des leeren sowie des mit Cyclohexan ($\epsilon_{cyc} = 2,023$) gefüllten Kondensators ermittelt:

$$\begin{aligned}
44,9pF &= \epsilon_{cyc} \cdot C_0 + C_z \\
24,9pF &= C_0 + C_z \\
20,0pF &= (\epsilon_{cyc} - 1) \cdot C_0
\end{aligned}$$

Daraus folgt $C_0 = 19,55 \cdot (1 \pm 7,4\%)pF$ und $C_z = 5,35(1 \pm 7,4\%)pF$.
Damit errechnet sich das ϵ des Gemischs mit Molenbruch x_1 wie folgt:

$$\epsilon = \frac{C_{x_1} - C_z}{C_0} \cdot (1 \pm 14,8\%) \tag{12}$$

Tabelle 1 (s. Anhang) gibt die gemessen und die daraus errechneten Werte sowie deren Fehler für die jeweiligen Lösungskonzentrationen wieder. Aus den Abbildungen I - IV lassen sich jeweils die Werte von ϵ, n, ρ und p für unendliche Verdünnung ermitteln. Diese sind im Folgenden:

$$\begin{aligned}
\epsilon &= 1,76 \pm 0,59 \\
n &= 1,426 \pm 0,0005 \\
\rho &= (0,758 \pm 0,05)\frac{g}{ml} \\
p &= (5,5 \pm 3,3) \cdot 10^{-30} Cm
\end{aligned} \tag{13}$$

3 Diskussion der Meßergebnisse

Vergleicht man die ermittelten Werte mit den in der Praktikumsanleitung angegebenen Literaturdaten, so sieht man, daß bis auf das errechnete Dipolmoment sämtliche Werte im Rahmen der Fehlergrenzen übereinstimmen, wobei der Fehler selbst allerdings mit bis zu 60% sehr hoch ist. Schätzt man das Dipolmoment anhand der in den Praktikumsunterlagen angegebenen Werte für Azeton ab, so ergibt sich:

$$\begin{aligned}
p &= 2 \cdot 0,16\mathring{A} \cdot 2 \cdot 1,602 \cdot 10^{-19} C \\
&= 10,25 \cdot 10^{-30} Cm
\end{aligned}$$

was dem Literaturdatum um einiges näher liegt, als dem experimentell ermittelten Wert.
Betrachtet man die Werte für die Lösungen im einzelnen, so fällt auf, daß die größten Unregelmäßigkeiten innerhalb der beiden geringsten Konzentrationen auftreten, so daß sich vermuten läßt, daß diese aufgrund von Durchmischung mit höher konzentrierten Lösungen nicht mehr mit den ausgewiesenen Werten übereinstimmten.