

# F32

## DIELEKTRIZITÄTSKONSTANTE, DIPOLMOMENT UND MOLREFRAKTION

---

### LITERATUR:

Ch. Kittel, *Introduction to Solid State Physics*,  
Verlag J. Wiley & Sons, 4. Auflage 1971, S. 447-473

Deutsche Übersetzung: *Einführung in die Festkörperphysik*  
Verlag R. Oldenbourg, 10. Auflage, 1993, S. 415 ff.

Nora Hill, W. Vaughan, A. Price, M. Davies: *Dielectric Properties and Molecular Behaviour*  
Verlag van Nostrand Reinhold Comp. London 1969

### SI-Einheiten:

B. Chiswell, E. Grigg: *SI Units*,  
Verlag J. Wiley & Sons Sydney 1971, S.42 ff.

## THEORETISCHE GRUNDLAGEN

### A DIELEKTRIZITÄTSKONSTANTE, DIPOLMOMENT

#### *Makroskopische Formulierung*

Die statische Dielektrizitätskonstante DK eines Stoffes gibt an, um welchen Faktor sich die Kapazität C eines Kondensators durch Einbringen eines Dielektrikums vergrößert:

**Glg. 1** 
$$DK = \frac{C_M}{C_V}$$
 Die DK ist dimensionslos.

Die elektrische Verschiebungsdichte  $D$  in einem homogenen isotropen Medium (Kontinuum) ist dem äußeren Feld  $E$  proportional. Proportionalitätskonstanten sind die Dielektrizitätskonstante und die absolute Permeabilität  $\epsilon_0$ .

**Glg. 2** 
$$D = DK \cdot \epsilon_0 \cdot E = \epsilon_0 \cdot E + P \quad \epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} \text{ Fm}^{-1}$$

Die Polarisation  $P$  ist definiert als das Dipolmoment des Körpers pro Volumeneinheit.

**Glg. 3** 
$$P = \frac{\text{Dipolmoment}}{\text{Volumen}} = \epsilon_0 \cdot (DK - 1) \cdot E = \chi \epsilon_0 E \quad [\text{Asm}^{-2}]$$

Hier ist  $\chi$  die dielektrische Suszeptibilität.

### ***Mikroskopische Formulierung***

#### *Qualitative Deutung:*

Man betrachtet die Wirkung des elektrischen Feldes auf die einzelnen Moleküle des Dielektrikums. Das resultierende Dipolmoment des Körpers erhält man aus der Summierung über die mikroskopischen Dipolmomente.

Das Dielektrikum sei hier eine Flüssigkeit oder ein Gas.

#### *Verschiebungspolarisation:*

Durch das elektrische Feld wird der Ladungsschwerpunkt der Elektronenhülle gegen den Kern des Atoms verschoben. Das heißt, das elektrische Feld induziert ein Dipolmoment im Atom. Man nennt das *Elektronenpolarisation*.

In Molekülen werden von dem Feld zusätzlich die einzelnen Atome oder Atomgruppen gegeneinander verschoben. In Molekülen, die ohne Feld symmetrisch sind, wird dadurch ein Dipolmoment induziert. Man nennt diesen Effekt *Atom- oder Molekülpolarisation*.

Die Verschiebungspolarisation ist nicht temperaturabhängig. Die Temperaturbewegung der Moleküle ist bei allen praktisch vorkommenden Temperaturen immer viel langsamer als die Verschiebung der Ladungsschwerpunkte durch das elektrische Feld, so dass die induzierten Dipole immer in Feldrichtung zeigen.

### *Orientierungspolarisation:*

Es gibt Molekeln, die ein permanentes elektrisches Dipolmoment besitzen, z.B. HCN. In einer Flüssigkeit oder einem Gas zeigen die Dipole nach der Maxwellverteilung gleichmäßig in alle Raumrichtungen, so dass ohne äußeres Feld kein Moment nach außen vorhanden ist. Das elektrische Feld sucht die Permanentdipole in Richtung des Feldes auszurichten. Neben der immer vorhandenen Verschiebungspolarisation entsteht zusätzlich, durch die teilweise Orientierung der Permanentdipole, die *Orientierungspolarisation*. Die Orientierungspolarisation ist temperaturabhängig, da die Temperaturbewegung die Ausrichtung der Permanentdipole stört.

### *Frequenzabhängigkeit der Polarisation:*

Bisher wurden nur statische elektrische Felder betrachtet. Bei einem Wechselfeld ist die nach Glg. 1 definierte Dielektrizitätskonstante jedoch nicht mehr konstant, sondern von der Frequenz abhängig (Abbildung 1).

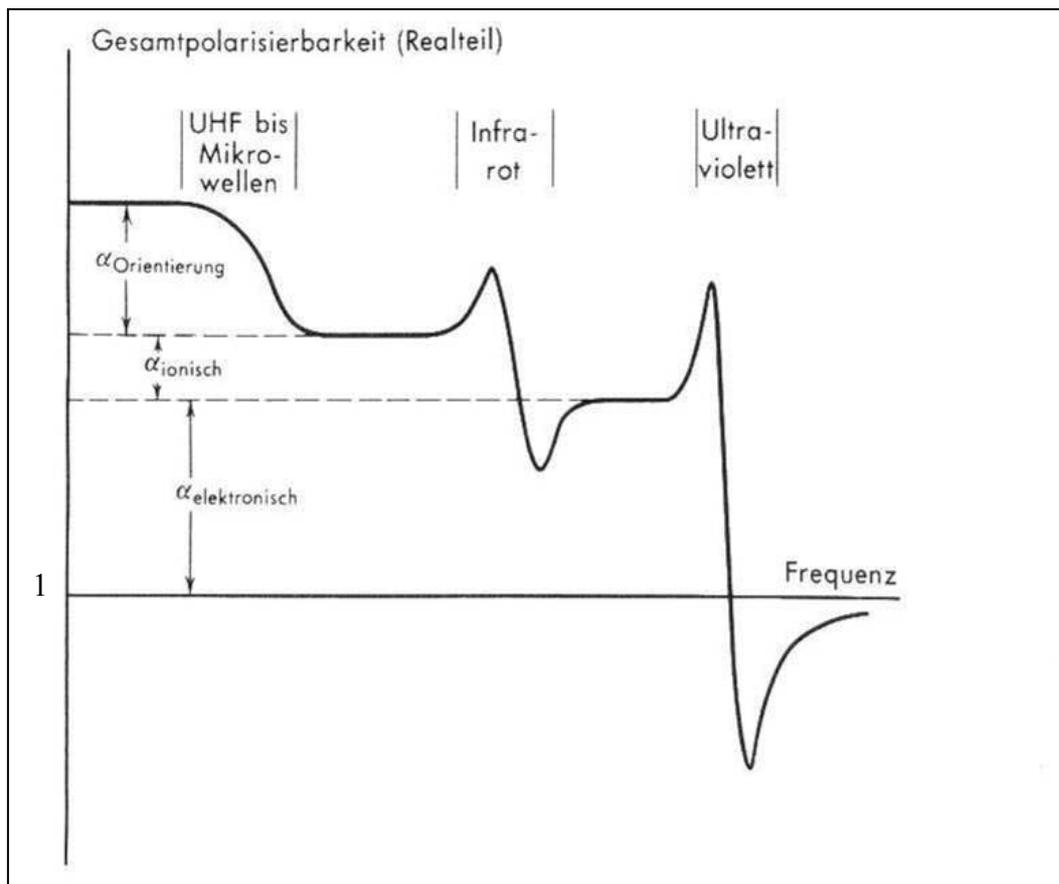


Abbildung 1

Im Frequenzbereich bis ca.  $10^{10}$  Hz (UHF bis Mikrowellen) ist die Frequenz des Feldes klein gegen die Rotationsfrequenz der atomaren permanenten Dipole in der Flüssigkeit. Die Dipole können der Umkehr der Feldrichtung folgen. Die resultierende Polarisierung ist von der Frequenz unabhängig, hängt aber von der Temperatur ab. Liegt die Frequenz des Feldes in der Nähe der Rotationsfrequenz der Dipole, nimmt die Polarisierung ab, da die Dipole die stationäre Orientierungsverteilung nicht mehr erreichen. Schließlich übt das Feld gar keine Wirkung mehr auf die Permanentdipole aus. (Relaxationseffekt).

Bei ca.  $10^{12}$  Hz (IR) wird die Oszillationsfrequenz von Molekülschwingungen erreicht. Die von dem Feld erzwungenen Schwingungen treten in Resonanz mit den Eigenschwingungen.

Nimmt die Frequenz noch weiter zu, so können auch die Elektronen dem Feld nicht mehr folgen. Über eine weitere Resonanzstelle fällt die DK bei unendlicher Frequenz des Feldes auf den Vakuumwert 1.

Im sichtbaren Teil des elektromagnetischen Spektrums ( $10^{14}$  Hz) werden nur die Elektronenhüllen verschoben.

#### Berechnung der Polarisierung aus den atomaren Dipolmomenten:

Zwei gleich große Ladungen entgegengesetzten Vorzeichens  $+q$  und  $-q$  in einem Abstand  $d$  voneinander bilden einen elektrischen Dipol.

Das Dipolmoment ist ein Vektor mit dem Betrag  $\mu = q \cdot d$  und der Richtung der Verbindungsgeraden der beiden Ladungen.  $\mu$  zeigt von  $-q$  nach  $+q$ . Die Dimension des Dipols ist im MKSA System [Asm].

$N_i$  sei die Anzahl der Moleküle in der Volumeneinheit. Jedes einzelne Molekül habe ein Dipolmoment  $\mu_i$ , das entweder permanent vorhanden ist oder durch ein äußeres elektrisches Feld induziert wird. Die *Polarisierung* ist dann

**Glg. 4** 
$$P = \sum^{N_i} \mu_i .$$

Im thermischen Gleichgewicht ergibt die vektorielle Addition eine resultierende Polarisation = 0 für äußeres Feld = 0, auch wenn Permanentdipole vorhanden sind.

Allerdings gibt es Stoffe, bei denen die Dipole in Bezirken geordnet sind und die auch ohne äußeres Feld endliche Polarisation haben können. (Elektrete, Ferroelektrische Körper: siehe auch die Analogie beim Ferromagnetismus.)

Berechnung der Verschiebungspolarisation:

Ein Feld induziert in einem Molekül das Dipolmoment  $\mu$  in Feldrichtung. Die Polarisierbarkeit eines Teilchens ist definiert als die Proportionalitätskonstante.

**Glg. 5** 
$$\mu = \alpha \cdot E$$
  $\alpha$  hat die Dimension [Fm<sup>2</sup>]

Die Polarisierbarkeit ist im Allgemeinen von der Richtung bezüglich der Molekülachsen abhängig. Außerdem ist in einem Dielektrikum das Feld E nicht mit dem äußeren Feld gleich zu setzen, da die übrigen vorhandenen induzierten Dipole das Feld an der Stelle des betrachteten Teilchens verändern. Im Dielektrikum ist dann:

**Glg. 6** 
$$\mu_{\text{ind}} = \alpha \cdot E_{\text{lokal}}$$
 (außer jedoch bei kleinen Drucken).

Allgemein lässt sich kein Ausdruck für das lokale Feld ableiten, da dazu die Struktur der Flüssigkeit um den herausgegriffenen Dipol bekannt sein müsste.

Eine Ableitung ist für isotrope Medien möglich, da bei diesen die Polarisierbarkeit nicht richtungsabhängig ist und sich die Wirkungen der nächsten Nachbarn auf ein Teilchen gerade kompensieren. Die Wirkung der Teilchen, die von dem herausgegriffenen weiter entfernt sind, ist

$$E' = \frac{N_i \cdot \mu_{\text{ind}}}{3 \cdot \epsilon_0}$$

**Glg. 7** 
$$E_{\text{lokal}} = E + E' = E + \frac{N_i \cdot \mu_{\text{ind}}}{3 \cdot \epsilon_0} = E + \frac{P}{3\epsilon_0}$$

Die Zusammenfassung der Gleichungen Glg. 6 und Glg. 7 ergibt für das lokale Feld

**Glg. 8** 
$$E_{\text{lokal}} = \frac{E}{1 - \frac{N_i \cdot \alpha}{3 \cdot \epsilon_0}}$$

Durch Glg. 3 ist die mikroskopische Polarisierbarkeit mit der makroskopischen Dielektrizitätskonstante verknüpft (nach Clausius-Mosotti):

**Glg. 9** 
$$\frac{N_L}{3 \cdot \epsilon_0} \cdot \alpha = \frac{DK - 1}{DK + 2} \cdot \frac{M}{\rho} \quad (N_i = N_L \cdot \frac{\rho}{M})$$

$P_M$ , die Molpolarisation, ist definiert als

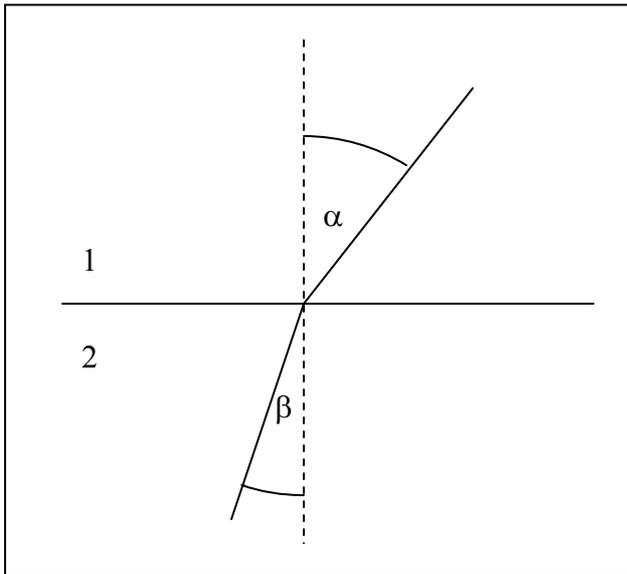
**Glg. 10** 
$$P_M = \frac{N_L}{3\epsilon_0} \cdot \alpha \quad P_M \text{ hat die Dimension } [m^3 \text{ mol}^{-1}]$$

## B MOLREFRAKTION

Eine einfarbige (monochromatische) Lichtwelle besitzt in zwei lichtdurchlässigen isotropen Medien verschiedene Fortpflanzungsgeschwindigkeiten,  $w_1$  und  $w_2$ . Tritt die Welle durch die Grenzfläche zwischen beiden Medien, so ändert sich dabei die Fortpflanzungsrichtung (Abbildung 2).

Es gilt das Snelliussche Brechungsgesetz.

**Glg. 11** 
$$\frac{w_1}{w_2} = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \text{const.} = n_{12} \quad \alpha = \text{Einfallswinkel}; \beta = \text{Ausfallwinkel}$$



**Abbildung 2**

Das Medium, in dem die Lichtgeschwindigkeit den kleineren Wert besitzt, - in der Zeichnung Medium 2 -, wird als das optisch dichtere bezeichnet. Ist das Medium 1 Vakuum, so ist

$$\frac{n_{\text{vak}}}{2} = n_i \text{ der Brechungsindex oder der Brechungsquotient von Medium } i.$$

Der Brechungsindex ist frequenzabhängig (Dispersion). Häufig wird er für die Wellenlänge des gelben Lichts der Na-D-Linie bestimmt ( $n^D$ ).

Nach Maxwell ist die Dielektrizitätskonstante DK mit dem Brechungsindex  $n$  verknüpft nach

**Glg. 12**  $DK = n^2$  bei Frequenz  $\nu = \text{const}$

Setzt man dies in die Clausius-Mosotti Gleichung ein, so erhält man die Molrefraktion  $R_M$  nach

**Glg. 13** 
$$\frac{n^2 - 1}{n^2 + 2} \cdot \frac{M}{\rho} = R_M = \frac{N_L}{3\epsilon_0} \cdot \alpha \quad [\text{m}^3 \text{mol}^{-1}]$$

*Abschätzung der statischen Verschiebungspolarisation aus der Molrefraktion:*

Im Frequenzbereich des sichtbaren Lichts ist die DK nur von der Elektronenpolarisierbarkeit  $\alpha_{el}$  bestimmt. Die statische Verschiebungspolarisation  $P_{Mv}$  enthält zusätzlich den Anteil der Atompolarisation. Bei Alkoholen und anderen organischen Flüssigkeiten beträgt die Atompolarisierbarkeit ca. 15% der Elektronenpolarisierbarkeit. Will man nun die statische Verschiebungspolarisation aus dem Brechungsindex bestimmen, so muss dieser Anteil zu

dem gemessenen Wert von  $R_M$  addiert werden. Wegen der Nähe der Resonanz im sichtbaren Bereich wird aber die Elektronenpolarisierbarkeit um ca. 5% zu hoch gegenüber dem statischen Wert gemessen.

Daraus resultiert folgende Abschätzung:

$$\text{Glg. 14} \quad P_{Mv} = R_M (1 + 0,15 - 0,05) = 1,1 R_M$$

(statisch) (Na-D Linie)

Mischungen:

In Mischungen verhalten sich Molrefraktionen näherungsweise additiv:

$$\text{Glg. 15} \quad R_{M12} = x_1 \cdot R_{M1} + x_2 \cdot R_{M2}$$

Die Clausius-Mosotti-Gleichung für eine Mischung wird dann

$$\text{Glg. 16} \quad R_{M12} = \frac{n^2 - 1}{n^2 + 2} \cdot \frac{x_1 M_1 + x_2 M_2}{\rho_{12}}$$

Analoge Beziehungen lassen sich auch für die Molpolarisation von verdünnten Lösungen von Dipolen in dipolfreien Lösungsmitteln aufstellen.

Berechnung der Orientierungspolarisation:

Pro Volumeneinheit seien  $N_i$  permanente Dipole vorhanden. Zur Polarisation tragen nur die Komponenten der Dipolmomente in Feldrichtung bei. Der Winkel, den ein Dipol  $\mu_i$  mit dem Feld einschließt, sei  $\vartheta_i$ . Die Komponente des Dipolmoments in Feldrichtung ist  $\mu_i \cos \vartheta_i$ .

Summiert über alle Dipole  $\mu_i$  ist  $P_{or}$  die Orientierungspolarisation

$$\text{Glg. 17} \quad P_{or} = \sum^{N_i} \mu_i \cos \vartheta_i$$

Da die Zahl  $N_i$  sehr groß ist und sämtliche Winkel  $\vartheta_i$  vorkommen können, wird die Summation über alle Teilchen ersetzt durch Integration über den Raumwinkel  $d\Omega = f(\vartheta, \varphi)$

$$\text{Glg. 18} \quad P_{or} = N_i \cdot \mu \frac{\int p_{\Omega} \cdot \cos \vartheta_i d\Omega}{\int p_{\Omega} d\Omega}$$

mit  $p_{\Omega}$  als Wahrscheinlichkeit, ein Molekül mit der Richtung des Dipolmoments im Raumwinkel  $d\Omega$  anzutreffen. Abgekürzt:

**Glg. 19** 
$$P_{or} = N_i \cdot \mu \langle \cos \vartheta \rangle$$

Im Gleichgewicht ohne äußeres Feld ist  $P_{or} = 0$ , da alle Raumwinkel im Mittel gleich häufig vorkommen und sich die einzelnen Beiträge kompensieren.

In einem elektrischen Feld verschwindet der zeitliche Mittelwert  $\langle \cos \vartheta \rangle$  nicht. Im Mittel zeigen die Dipole häufiger in (energetisch bevorzugte) Winkel in Feldrichtung als gegen die Feldrichtung. Die relative Wahrscheinlichkeit, einen Dipol zu finden, der in den differentiellen Raumwinkel  $d\Omega$  zeigt, ist nach dem Boltzmannschen Gesetz proportional

$$\exp\left\{-\frac{\text{pot. Energie}}{\text{kin. Energie}}\right\}$$

Die potentielle Energie der Dipole im lokalen Feld ist

**Glg. 20** 
$$W_{pot} = -\mu E_{\text{lokal}} \cos \vartheta$$

Die kinetische Energie ist

**Glg. 21** 
$$W_{kin} = kT .$$

Die Wahrscheinlichkeit  $p_{\Omega}$  ist dann 
$$p_{\Omega} = a \exp\left\{\frac{\mu E_L \cos \vartheta}{kT}\right\}.$$

Eingesetzt in Glg. 19 ist die Orientierungspolarisation:

**Glg. 22** 
$$P_{OR} = N_i \mu \frac{\int \exp\left\{\frac{\mu E_L \cos \vartheta}{kT}\right\} \cos \vartheta d\Omega}{\int \exp\left\{\frac{\mu E_L \cos \vartheta}{kT}\right\} d\Omega}$$

Für  $\mu \cdot E \ll kT$ , und dies ist für die meisten Flüssigkeiten bei den praktisch erreichbaren Feldstärken und Raumtemperatur erfüllt, wird die Exponentialfunktion in eine Reihe entwickelt und man erhält

**Glg. 23** 
$$P_{OR} = \frac{N_i \mu^2 E_{\text{lokal}}}{3kT}$$

Der Zusammenhang zwischen lokalem Feld  $E_{\text{lokal}}$  und äußerem Feld  $E$  kann, wie bei der Verschiebungspolarisation für isotrope Körper, berechnet werden (siehe Glg. 7).

Die Molpolarisation ist dann:

**Glg. 24** 
$$P_M = P_{Mv} + P_{or} = \frac{N_L}{3\epsilon_0} \left( \alpha + \frac{\mu^2}{5kT} \right) = \frac{DK - 1}{DK + 2} \cdot \frac{M}{\rho}$$

Die Ermittlung des Dipolmoments  $\mu$  ist aus der Temperaturabhängigkeit der Molpolarisation möglich:

- a) Man trägt  $P_M$  als Funktion der reziproken Temperatur  $1/T$  auf und erhält  $\mu$  aus dem Anstieg der Geraden.

**Man kann auch die Abschätzung der Verschiebungspolarisation aus der Molrefraktion zu Hilfe nehmen und erhält unter Verwendung von**

- b) Glg. 14, nach dem Dipolmoment aufgelöst:

**Glg. 25** 
$$\mu = \sqrt{\frac{9kT}{N_L} \cdot \epsilon_0 (P_M - 1,1 R_M)}$$

Bei Dipolflüssigkeiten erfordert die starke Wechselwirkung der Dipole untereinander eine Erweiterung. Nach Onsager wird zur Berechnung des lokalen Feldes, des Reaktionsfeldes, angenommen, dass die Umgebung eines Dipols von dem Dipol selbst polarisiert wird.

**Die Polarisierbarkeit wird nach Gleichung**

Glg. 14 durch den Brechungsindex ersetzt. Man erhält, aufgelöst nach dem Dipolment:

**Glg. 26** 
$$\mu^2 = \frac{\epsilon_0 \cdot 9kT \cdot M \cdot (2DK + n^2)(DK - n^2)}{N_L \cdot \rho \cdot DK(n^2 + 2)^2}$$

Mit dieser Gleichung können auch Dipolmomente aus Daten der reinen Dipolflüssigkeiten berechnet werden, wenn keine zusätzlichen Wechselwirkungen, z.B. H-Brücken, vorhanden sind.

## C VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

### *Dielektrizitätskonstante und Molpolarisation*

#### **Messprinzip**

Das DK-Meter DK 03 der Firma WTV arbeitet nach dem Resonanzverfahren. Das Gerät besteht aus zwei elektrischen Schwingkreisen. Ein Schwingkreis wird mit einer festen Frequenz (im kHz-Bereich) betrieben. Der Resonanzschwingkreis besteht aus a) einem Kondensator, in den die Mess-Substanz eingefüllt wird, b) einer Induktivität und c) einem parallel geschalteten variablen Kondensator.

Der Drehkondensator wird so lange verändert, bis die beiden Schwingkreise in Resonanz stehen. Die Resonanzanzeige erfolgt mit zwei verschiedenen empfindlichen Messinstrumenten, a) einem Drehpulsgerät und b) einem leuchtenden Schwingquarz.

Die Doppelableskala des Drehkondensators wird mit Flüssigkeiten bekannter Dielektrizitätskonstante in DK-Einheiten geeicht.

#### **Bedienung des DK-Meters**

Das Gerät wird durch Rechtsdrehen des linken Knopfes von „aus“ auf „ein“ geschaltet und ist nach ca. 15 min. betriebsbereit. Der rechte Knopf wird auf Korrektur geschaltet. In dieser Stellung muss das Instrument „Resonanzanzeige“ auf maximalen Ausschlag im roten Bereich stehen und der Leuchtquarz in der Mitte des Gerätes am hellsten aufleuchten. Wenn dies nicht der Fall ist, wird mit dem mittleren Knopf "Korrektur" nachgestimmt.

Die Messzelle mit der zu untersuchenden Substanz wird in die Messbuchse an der rechten Seite des Gerätes eingesteckt. Man stellt den rechten Knopf auf die Stellung "M1". Jetzt gleicht man durch Drehen an dem Messkondensator auf Resonanz ab. Optimale Abstimmung ist erreicht, wenn der Quarz am hellsten aufleuchtet.

Zur Kontrolle wird nochmals der rechte Knopf auf "Korrektur" geschaltet und, falls nötig, an dem mittleren Knopf nachgestimmt und erneut in der Stellung "M1" gemessen.

**Achtung:** Der mittlere Knopf darf nur bei der Hauptschalterstellung "Korrektur" verstellt werden!

## **Messzelle**

Der Messkondensator besteht aus einem zylindrischen doppelwandigen Gefäß, das thermostatiert wird, einem Zentralstecker, der zum Befestigen der Zelle am Gerät und gleichzeitig als elektrischer Anschluß dient und einem Hahn zum Ablassen der Flüssigkeit.

Die Zelle wird nur durch Spülen gereinigt, nicht durch Auswischen, zum Schluss mit Aceton und durch Ausblasen mit Luft getrocknet. Man füllt die Zelle bis etwas über den oberen Absatz und legt den Deckel ein. Dabei muss die Messflüssigkeit über die gelochte Scheibe reichen. Es dürfen keine Luftblasen unter dem Deckel hängen bleiben.

Man schließt den Thermostaten an und bringt das Gefäß auf die gewünschte Temperatur.

## **Eichung**

Die Eichkurve verläuft sehr gut linear. Daher genügt es, mit zwei Substanzen bekannter DK zu eichen. Die hierfür verwendeten Stoffe müssen extrem trocken und rein sein, da die Messwerte bereits durch kleinste Mengen von Wasser verfälscht werden.

Die Messzelle 1 wird geeicht mit Butylacetat (DK = 5.01) und Cyclohexan (DK = 2.023). Die Messzelle 2 wird geeicht mit Butylacetat (DK = 5.01) und Isopropanol (DK = 19,487).

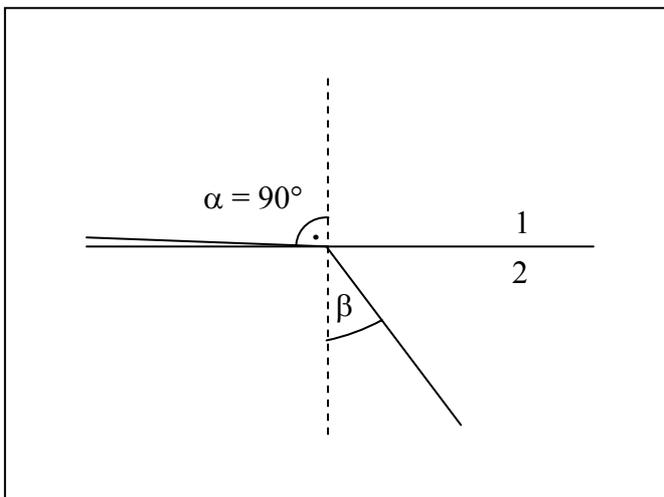
Die Eichtemperatur beträgt 20°C.

## Berechnungsindex und Molrefraktion

### Messprinzip

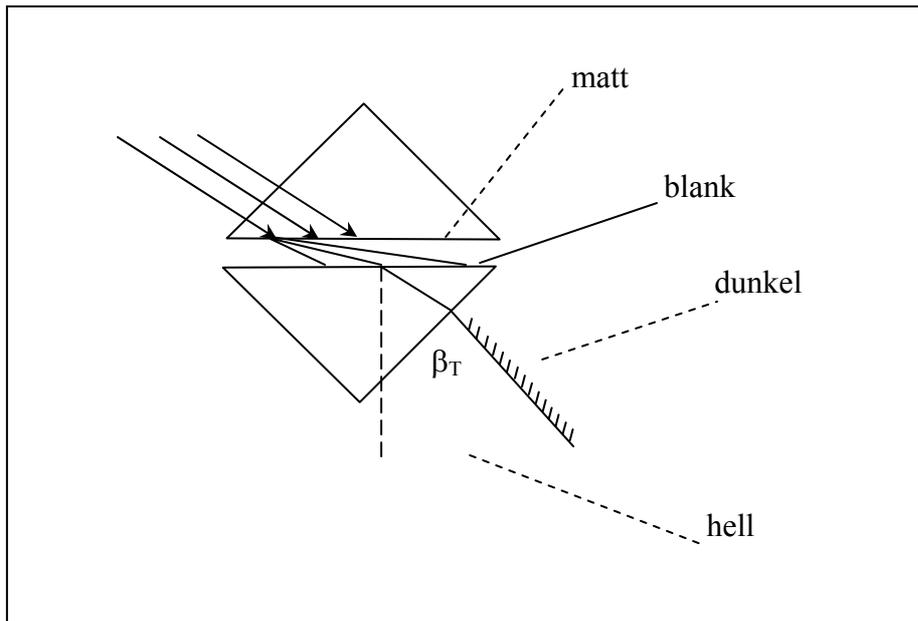
Tritt ein Lichtstrahl aus einem optisch dünneren Medium in ein optisch dichteres Medium, so geht aus dem Brechungsgesetz Glg. 11 hervor, dass der Ausfallwinkel  $\alpha$  einen bestimmten Wert nicht überschreiten kann. Für streifenden Einfall ( $\sin \alpha = 1$ ; siehe Abbildung 3) erhält man

**Glg. 27** 
$$\sin \beta_T = \frac{1}{n_{12}}$$



**Abbildung 3**

Im Refraktometer wird  $\beta_T$  gemessen und daraus  $n_{12}$  bestimmt. Das Refraktometer besteht aus zwei Glasprismen, die eine dünne Flüssigkeitsschicht einschließen (0,1 mm) (Abbildung 4).



**Abbildung 4**

Das einfallende Licht wird an der matten Unterseite des Beleuchtungsprismas gestreut. Die Streuzentren wirken wie einzelne Lichtquellen. Der Flüssigkeitsspalt wird dadurch diffus beleuchtet. Auf die ganze Fläche des Messprismas trifft aus der Flüssigkeit Licht unter allen möglichen Winkeln auf.

Solange der Brechungsindex des Glases größer als der Index der Flüssigkeit ist, wird das Licht nur bis zu dem maximalen Ausfallwinkel  $\beta_T$  gebrochen. Betrachtet man das Messprisma unter einem Winkel  $j > \beta_T$  mit einem Fernrohr, so erscheint es dunkel, während es bei Blickwinkeln  $j < \beta_T$  hell ist. Man schwenkt das Fernrohr um den Winkel  $j$ , bis die Grenzlinie hell-dunkel mit dem Fadenkreuz des Okulars zur Deckung kommt. Eine mit dem Brechungsindex des Glases geeichte Skala gibt dann direkt den gesuchten Brechungsindex der Flüssigkeit. Aus dem Messprinzip geht hervor, dass nur solche Flüssigkeiten untersucht werden können, die optisch dünner als das Prismenglas sind (Flintglas mit  $n^D = 1,75$ ).

Die Na-Spektrallampe erreicht ihre maximale Helligkeit erst nach einigen Minuten, der Vorwiderstand soll nicht verändert werden. Man kontrolliert die Temperatur, die auf  $\pm 0,1^\circ\text{C}$  konstant sein soll und liest den Brechungsindex auf der Skala ab.

### ***Bedienung des Abbé-Refraktometers***

Das Prisma des Refraktometers muss besonders sorgfältig gereinigt werden. Man benutzt ausschließlich Zellstoff zum Abtupfen - nicht Abreiben - , da die Oberfläche sehr leicht zerkratzt werden kann.

Zum Füllen schließt man das Prisma mit leichtem Druck der Verschluss-Schraube nach rechts und lässt einige Tropfen der Flüssigkeit aus einer Pipette in die Nute vorn am Prisma laufen. Darauf regelt man den runden Hohlspiegel am Fuß des Refraktometers so, dass Licht in das untere Prisma fällt, stellt auf farblose Trennlinie mit dem kleinen Rad rechts oben ein und mit dem großen Handrad links unten die Trennlinie genau ins Fadenkreuz.

## VERSUCH 32

### *Dipolmoment einer gelösten Molekel*

#### **Aufgabe:**

1. Eichung der DK-Messzelle 1 mit Hilfe von Butylacetat (DK=5.01) und Cyclohexan (DK=2.023) bei 20°C.  
Eichung der DK-Messzelle 2 mit Hilfe von Butylacetat (DK=5.01) und Isopropanol (DK=19,487) bei 20°C.
2. Bestimmen der Dielektrizitätskonstanten, der Brechungsindices, der Molrefraktion und der Dichten von 5 Mischungen Cyclohexan und Aceton bei 20°C. Für den Molenbruch  $x_2$  von Aceton wähle man dabei Werte zwischen 0,02 und 0,4. Für die DK-Messung verwende man jeweils die geeignete Messzelle.
3. Graphische Darstellung der Molrefraktion  $R_{M12}$  und der Molpolarisation  $P_{M12}$  der Mischung als Funktion des Molenbruches von Aceton.
4. Berechnen des Dipolmomentes von Aceton nach Glg. 26. Vergleich mit Literaturwert.

#### ***Auswertung***

Die Glg. 26 beschreibt den Zusammenhang zwischen DK und Dipolmoment nur gut, wenn die einzelnen Dipole weit genug voneinander entfernt sind. Man extrapoliert die Werte  $P_{M12}$  und  $R_{M12}$  von den Mischungswerten, bei großen Verdünnungen beginnend bis zum Molenbruch  $x_2 = 1$  des Aceton.

Die Dichten der Mischungen werden pyknometrisch bestimmt.