

# Anleitung zum Grundpraktikum der Physik

Gerd-Ingo Asbach

Physik  
Fakultät für Naturwissenschaften  
Universität Ulm



bearbeitet von Othmar Marti  
Fassung vom 6. 4. 2000

## Inhaltsverzeichnis

1.	Pendel und Rollschwingungen.....	3
2.	Gekoppelte Pendel.....	5
3.	Freie und erzwungene Schwingungen mit dem Drehpendel.....	7
4.	Drillachse.....	9
5.	Viskosität von Flüssigkeiten.....	11
6.	Der G-Modul von kristallinen Festkörpern (Metallen).....	13
7.	Elastizitätskonstante von kristallinen Festkörpern.....	15
8.	Oberflächenspannung.....	18
9.	Kundtsches Staubrohr und Quinckesches Resonanzrohr.....	20
10.	Bestimmung des Adiabatenexponenten $\kappa$ von Gasen.....	22
11.	Spezifische Wärme von Festkörpern und Flüssigkeiten.....	24
12.	Latente Wärmen.....	26
13.	Mechanisches und elektrisches Wärmeäquivalent .....	28
14.	Schallmessung im akustischen Hohlraum mit der Rayleigh-Scheibe.....	30
15.	Daten optischer Linsen und Spiegel .....	32
16.	Optische Instrumente.....	36
17.	Polarisation und Doppelbrechung.....	40
18.	Beugung.....	42
19.	Michelson - Interferometer.....	45
20.	Spekrometer.....	47
21.	Temperaturstrahlung.....	49
22.	Reflexion von Licht an Glas-Luft-Grenzflächen.....	53
23.	Poggendorfsche Kompensationsmethode und Wheatstone-Brücke.....	55
24.	Versuch wird gegenwärtig nicht mehr durchgeführt: Spiegelgalvanometer.....	57
25.	Der Transformator.....	59
26.	Kennlinien von Glühlampe, Z-Diode und Transistor.....	61
27.	Zweipole.....	67
28.	Elektromagnetische Schwingkreise.....	71
29.	Versuch wird gegenwärtig nicht mehr durchgeführt.....	76
30.	Elektrolytischer Trog.....	77

Versuch Nr. 1

## 1. Pendel und Rollschwingungen

### Zubehör:

- 1 Fadenpendel
- 1 Reversionspendel
- 1 Uhrglas in Halterung (Kugelschale)
- 3 Rollkörper (1 Kugel, 1 Vollzylinder, 1 Hohlzylinder)
- 1 Meßband
- 2 Stoppuhren
- 1 Schieblehre

### Aufgaben:

1. Bestimmung der Erdbeschleunigung  $g$  mit dem Fadenpendel:

- a) Beschreiben Sie das Fadenpendel zunächst als mathematisches Pendel mit endlich großen Amplituden. Leiten Sie eine Beziehung zwischen Schwingungsdauer  $T$  und Erdbeschleunigung  $g$  her. Wie hängt näherungsweise der Fehler bei der  $g$ -Bestimmung von der Vernachlässigung der amplitudenabhängigen Terme ab?
- b) Untersuchen Sie dann das Pendel als mathematisches Pendel mit kleinen Amplituden (auch experimentell!) und messen Sie die Pendellänge  $l$  möglichst genau. Wieviele Schwingungen müssen Sie messen, damit jetzt der relative statistische Fehler bei der  $g$ -Bestimmung kleiner als 0,2 % wird?
- c) Schätzen Sie für den Fall b), Schwingungen mit kleiner Amplitude, die Fehlereinflüsse durch Massenverteilung des Fadenpendels, Luftauftrieb und Dämpfung ab.

2. Messungen mit dem Reversionspendel:

Der Schneidenabstand des Reversionspendels kann mit Hilfe der Spindel (Steigung 1mm/Umdrehung) verändert werden. Stellen Sie den Schneidenabstand  $l_0$  ein, der auf dem Pendel angegeben ist. Vergrößern Sie den Abstand in Stufen von 1 mm. Messen sie bei jedem Abstand die Schwingungszeit für mindestens 50 Schwingungen. Wechseln Sie die Aufhängung des Pendels und wiederholen Sie die Messungen. Bestimmen Sie die reduzierte Pendellänge aus einer graphischen Auswertung der Schwingungszeiten.

Welcher Zusammenhang besteht zwischen den relativen Fehlern von Längenmessung und Zeitmessung.

3. Rollschwingungen:

- a) Leiten Sie eine Beziehung für die Schwingungsdauer eines Rollkörpers in einer Hohlkugel her.

- b) Als Rollkörper verwenden Sie eine Kugel, einen Vollzylinder und einen Hohlzylinder. Berechnen Sie die Trägheitsmomente dieser Rollkörper aus ihren Abmessungen.
- c) Reinigen Sie Hohlkugel und Rollkörper vor den Messungen.
- d) Messen Sie die Schwingungszeit der Kugel in der Hohlkugel und berechnen Sie damit den Radius der Hohlkugel.
- e) Messen Sie die Schwingungszeiten der beiden anderen Rollkörper in der Hohlkugel und berechnen Sie damit die Trägheitsmomente dieser Rollkörper. Vergleichen Sie diese Ergebnisse mit den aus den Abmessungen berechneten Werten.

### **Literatur:**

#### **Zu Aufgabe 1:**

Walcher	Praktikum der Physik
Westphal	Physikalisches Praktikum
Flügge	Lehrbuch der theoretischen Physik Bd I
Joos	Lehrbuch der theoretischen Physik
Budo	Theoretische Mechanik

#### **Zu Aufgabe 2:**

Bergmann, Schäfer	Lehrbuch der Experimentalphysik Bd. I
Gerthsen	Physik

#### **Zu Aufgabe 3:**

Martienssen	Einführung in die Physik I
Gerthsen	Physik

#### **Ergänzungsliteratur:**

Kohlrausch	Fallbeschleunigung Bd. I
------------	--------------------------

### **Stichworte zur Vorbereitung**

- Freiheitsgrade der Bewegung
- Bewegungsgleichungen und Anfangsbedingungen
- Zwangsbedingungen
- Berechnung von Trägheitsmomenten
- Zusammenhang zwischen Schwingungsgleichung und Energiesatz
- Erdbeschleunigung und ihre Abhängigkeiten
- Aufstellung der Lagrangefunktion - falls in Theoretischer Mechanik die Lagrange Funktion behandelt wurde.

Versuch Nr. 2

## 2. Gekoppelte Pendel

### Zubehör:

- 1 Paar Pendel in Schneidenaufhängung
- 1 zusätzliches Paar Pendelmassen
- 1 Kopplungsfeder
- 1 Stoppuhr
- 1 Satz Gewichte
- 1 Wägebecher
- 1 Meßlatte

### Aufgaben:

#### 1. Stationäre Schwingungsformen.

Die Pendel sind sorgfältig auf gleiche Schwingungsdauer abzustimmen und mit den Kopplungslängen  $L = 20 \text{ cm}$  und  $L = 40 \text{ cm}$  (schwere Pendelkörper) und  $L = 20 \text{ cm}$  (leichte Pendelkörper) sind die Schwingungsdauern  $T_0$  und  $T_1$  der beiden Normalschwingungen zu bestimmen.  $L$  ist der Abstand des Angriffspunktes der Kopplungsfeder vom Aufhängungspunkt des Pendels. Behalten Sie die obigen Kopplungen in den folgenden Aufgaben bei.

#### 2. Schwebungsfall

Es sind die Schwingungsdauer  $T_2$  der amplitudenmodulierten schnellen Oszillationen der Einzelpendel im reinen Schwebungsfall und die doppelte Schwebungsdauer,  $T_3 = 2 T_S$ , zu bestimmen. Die Schwebungsdauer  $T_S$  ist definiert als die Zeit, die zwischen zwei Stillständen eines Pendels vergeht. Berechnen Sie außerdem  $T_2$  und  $T_3$  aus den in der ersten Aufgabe gemessenen Schwingungsdauern  $T_0$  und  $T_1$ . Welche Werte sind genauer?

#### 3. Kopplungsgrad

Bestimmen Sie den Kopplungsgrad aus

- a) den in der ersten Aufgabe gemessenen Schwingungsdauern  $T_0$  und  $T_1$ .
- b) den in der zweiten Aufgabe gemessenen Schwingungsdauern  $T_2$  und  $T_3$ .
- c) der von Ihnen zu messenden Direktionskraft der Kopplungsfeder, den durch Wägung erhaltenen Massenwerten der Pendelkörper und den oben benutzten  $L$ -Werten. Der Schwerpunkt wird aus sorgfältigen Messungen der Massen und der Abmessungen bestimmt.

**Literatur**

W. Walcher	Praktikum der Physik
W. Westphal	Physikalisches Praktikum
Martiensen	Einführung in die Physik IV
Bergmann, Schäfer	Experimentalphysik Bd. I

**Stichworte zur Vorbereitung:**

- Gekoppelte Schwingungsgleichungen und Anfangsbedingungen
- Normalschwingungen
- Energieaustausch und Phasensprung
- Auftreten von gekoppelten Schwingungen in anderen physikalischen Systemen

Versuch Nr. 3

### **3. Freie und erzwungene Schwingungen mit dem Drehpendel**

#### **Zubehör:**

- 1 Drehpendel mit geregelter Gleichstrom-Motor
- 2 Netzgeräte für Stromversorgung und Wirbelstrombremse
- 1 Vielfachmeßinstrument
- 1 elektronische Uhr mit 2 Lichtschranken für Zeit- und Phasenmessungen.

#### **Aufgaben:**

1. Untersuchen Sie die freie luftgedämpfte Schwingung sowie die freien Schwingungen mit zwei unterschiedlich starken elektromagnetischen Dämpfungen.

a) 2 - 3 Volt Spannung am Magneten

b) 5 Volt Spannung am Magneten

Bestimmen Sie die Dämpfungskonstanten, Eigenfrequenzen und die logarithmischen Dekremente. Behalten Sie die gewählten Dämpfungen in den folgenden Versuchen bei.

2. Untersuchen Sie die erzwungenen Schwingungen bei den Dämpfungen a) und b) (siehe oben) im stationären Fall. Bestimmen Sie die Dämpfungskonstanten aus der Breite der Resonanzkurven.

Nehmen sie bei jeder Messung zusätzlich die Phasendifferenz zwischen Erreger und Pendel als Funktion der Erregerfrequenz auf und tragen Sie die zwei erhaltenen Kurven in ein gemeinsames Schaubild ein.

3. Untersuchung von Einschwingvorgängen bei der Dämpfung (2 Volt) und den Anfangsbedingungen  $\alpha(t=0) = 0$ ,  $\dot{\alpha}(t=0) = 0$  ( $\alpha$  = Amplitude,  $t$  = Zeit) in Abhängigkeit von der Erregerfrequenz.

a) Tragen Sie die Maximalamplituden im Resonanzfalle als Funktion der Zeit (ganzzahlige Vielfache der Schwingungsdauer) auf. Versuchen Sie aus dem Kurvenverlauf die Dämpfungskonstante zu bestimmen.

b) Entfernen Sie sich (etwa 5 bis 20%) von der Resonanzfrequenz. Bei gleichem Versuchsablauf sollten Sie jetzt ein ausgesprochenes Schwebungsverhalten der Maximalamplituden feststellen. Bei bekannter Erregerfrequenz kann man aus der Schwebungsfrequenz die Resonanzfrequenz des Systems ermitteln.

#### **Hinweise:**

Das Studium der Einschwingvorgänge erfordert eine Diskussion der vollständigen Lösung der

Differentialgleichung für erzwungene Schwingungen

$$(1) \quad \alpha(t) = \alpha_0 \cos(\omega t - \beta) + \alpha_1 \exp(-\delta t) \cos(\omega_1 t - \beta)$$

$\alpha_0$  ist die stationäre Amplitude des Erregers, wie sie sich nach einer gewissen Einschwingdauer einstellt.  $\alpha_1$  und  $\beta$  sind Integrationskonstanten, die durch die Anfangsbedingungen festzulegen sind und  $\omega_1$  ist die Eigenfrequenz des gedämpften, frei schwingenden Drehpendels. Es folgt aus Ihren Messungen und auch aus der Theorie, daß bei geringer Dämpfung die Resonanzfrequenz mit  $\omega_1$  und  $\omega_0$  gleichgesetzt werden kann. Mit den in Aufgabe 3 formulierten Anfangsbedingungen und bei schwacher Dämpfung ( $\delta \ll \omega_0$ ) erhält man die folgenden Ausdrücke, die näherungsweise die von Ihnen beobachteten Einschwingvorgänge beschreiben:

$$(2) \quad \alpha(t) = \alpha_0 (1 - \exp(-\delta t)) \sin(\omega t) \quad \omega = \omega_0$$

$$(3) \quad \alpha(t) = \alpha_0 [ \cos(\omega t - \varphi) - \exp(-\delta t) \cos(\omega_0 - \varphi) ]$$

Trotz des zeitlichen Abklingens einer der beiden überlagerten Schwingungen beschreibt (3) eine Schwebung mit der Frequenz  $0.5 (\omega - \omega_0)$ .

### **Anmerkung:**

Die Wirbelstromdämpfung wirkt nur näherungsweise geschwindigkeitsproportional.

### **Literatur:**

#### **Aufgabe 1 bis 3:**

W. Walcher	Praktikum der Physik
Gerthsen	Physik
G. Joos	Lehrbuch der theoretischen Physik
A. Sommerfeld	Vorlesungen über Theoretische Physik I

#### **Ergänzungsliteratur:**

Feynman	Lectures on Physics Vol. I, Chapter 23
---------	--

### **Stichworte zur Vorbereitung:**

- Analogien zwischen linearen- und Dreh-Schwingungen
- Informationsgehalt von Resonanzkurven
- Diskussion der Phasenverschiebung
- Resonanz als häufige physikalische Erscheinung (siehe z. B. Ergänzungsliteratur)



Versuch Nr. 4

## 4. Drillachse

### Zubehör:

- 1 Drillachse auf Stativ
- 1 Holzkugel, 1 Holzscheibe, 1 massive Walze,
- 1 Hohlwalze
- 1 Metallstange mit 2 Gewichten
- 1 flache Metallscheibe
- 1 Rolle
- 1 Ständer mit Rolle und Draht
- 1 Satz Gewichte, 1 Federwaage
- 1 Scheibe mit Winkelskala
- 1 Stoppuhr
- 1 Maßstab

### Aufgaben:

1. Statische Bestimmung der Winkelrichtgröße  $D$  einer vertikalen Drillachse mit Hilfe von Rollen, Draht und Gewichten. Man bestimme  $D$  sowohl graphisch als auch numerisch mit Hilfe der Ausgleichsrechnung.
2. Dynamische Bestimmung der Winkelrichtgröße  $D$  und des Eigenträgheitsmoments derselben Drillachse mit Hilfe des Steinerschen Satzes. Man mißt dazu mit der Metallstange und den zwei Gewichten, bei mindestens 6 verschiedenen Abständen der Gewichte (symmetrisch zum Drehpunkt), die Schwingungsdauer  $T_1$ . Aus den Massen und den Abmessungen von Stange und Metallgewichten berechnen Sie die Trägheitsmomente der jeweiligen Messanordnung. So erhalten Sie die Eichkurve der Drillachse ( $T_1^2$  gegen  $\theta_j$ ).
3. Bestimmung von Hauptträgheitsmomenten: Man benutze die geeichte Drillachse zur Messung des Trägheitsmomentes in Bezug auf eine durch den Schwerpunkt gehende Hauptachse
  - a) einer flachen Metallscheibe
    - aa) die Metallscheibe in 2 bis 3 exzentrischen Aufnahmen. (Achten Sie auf eine horizontale Befestigung der Scheibe).
  - b) einer Holzkugel
  - c) einer Holzscheibe
  - d) einer massiven Walze

einer Hohlwalze

Es können wahlweise die Aufgaben b), c) oder die Aufgaben d), e) gelöst werden. Die Messergebnisse aus b), c) oder d), e) sind mit der Rechnung zu vergleichen, wobei Sie die Massen der Probekörper durch Wägung bestimmen.

### **Hinweise:**

Der Drehtisch muß horizontal stehen, da sonst die Schwerkraft ein zusätzliches Drehmoment erzeugt! Zur statischen Berechnung des Richtmoments setze man eine der Rollen auf die Drillachse, befestige den Draht daran und führe ihn über die zweite Rolle in die Vertikale.

### **Literatur:**

Westphal	Physikalisches Praktikum
Bergmann-Schaefer	Lehrbuch der Experimentalphysik, Bd. I
Martienssen	Einführung in die Physik I

### **zur Ausgleichsrechnung sehen Sie**

W.Walcher	Praktikum der Physik
R.Zurmühl	Praktische Mathematik für Ingenieure und Physiker
O. Marti	<a href="http://www.ex.physik.uni-ulm.de/lehre/Grundpraktikum/fehlerre.htm">http://www.ex.physik.uni-ulm.de/lehre/Grundpraktikum/fehlerre.htm</a>

### **Ergänzungsliteratur:**

R.W.Pohl Mechanik,	Akustik und Wärmelehre
--------------------	------------------------

### **Stichworte zur Vorbereitung:**

- Drehimpulssatz
- Trägheitsmomente, Deviationsmomente
- Hauptträgheitsachsen
- Steinerscher Satz
- Beispiele aus der Molekülphysik

Versuch Nr. 5

## 5. Viskosität von Flüssigkeiten

### Zubehör:

- 1 Haake-Kugelfallviskosimeter mit Umwälzthermostat und einem Satz Einschraubthermometer
- 1 Wasserbad mit Einhängthermostat und Kontrollthermometer
- 2 Ubbelohde-Viskosimeter
- Probeflüssigkeiten aus destilliertem Wasser und Glycerin
- 1 Stoppuhr
- 1 Peleusball mit Schlauch
- 1 Glasröhre mit Kugeln zur Messung der Viskosität nach Stokes

### Aufgaben:

1. Messen Sie nach Methode von Stokes die Zähigkeit der Flüssigkeit in der Glasröhre mit Kugeln unterschiedlicher Dicke. Tragen Sie in geeigneter Weise die Fallzeiten gegen die Kugelradien auf.
2. Höppler-Viskosimeter: Bestimmen Sie aus den Fallzeiten der Kugel in Wasser bei mindestens 5 Temperaturen aus dem Bereich 20 C - 65 C die Kugelkonstante der Apparatur. Verwenden Sie dazu die Viskositäten für Wasser aus der Literatur.
3. Die Temperaturabhängigkeit der dynamischen Viskosität kann versuchsweise durch eine Arrhenius-Gleichung beschrieben werden:

$$\eta = A \exp\left(-\frac{\Delta E}{RT}\right)$$

wobei E die "Aktivierungsenergie" bedeutet. Man bestimme die Aktivierungsenergie der Viskosität des Wassers durch ein graphisches Verfahren.

4. Durch Viskositätsmessungen mit dem Ubbelohde-Viskosimeter bei 30 C bestimme man den Glyzeringehalt von zwei verschiedenen Glycerin-Wasser-Gemischen (mindestens 3 Zeitmessungen). Zu diesem Zwecke zeichne man sich nach Lit. (1) Eichkurven, eine für den Konzentrationsbereich 85 - 100-% Glycerin, eine zweite für den Bereich 40 - 85 Gew-% Glycerin. Die Konzentrationsangabe sollte einen Fehler von 1 Gew-% nicht überschreiten!

**Literatur:**

Bergmann-Schaefer	Lehrbuch der Experimentalphysik Bd. I
F.X.Eder	Moderne Meßmethoden der Physik Teil 1
Gerthsen	Physik

**Ergänzungsliteratur:**

Frenkel	Kinetische Theorie der Flüssigkeiten
H.Franke	Lexikon der Physik
Joos	Lehrbuch der theor. Physik (für Liebhaber)
F.Höppler	Der exentrische Fall von Kugeln in Hohlzylindern mit Flüssigkeit oder Gasen. Zeitschrift für Technische Physik, 14, 165 (1933), (Beim Versuchsbetreuer)

**Tabellenwerke:**

D'Ans-Lax	Taschenbuch für Physiker und Chemiker, Bd. I Landolt-Börnstein IV/1
-----------	--

**Stichworte zur Vorbereitung:**

- Grundgleichungen und Definitionen der Viskosität,
- laminare und turbulente Strömungen,
- molekulare Deutung der Temperaturabhängigkeit der Viskosität
- bei Gasen und Flüssigkeiten,
- Meßverfahren nach Stokes, Höppler, Ubbelohde.

Versuch Nr. 6

## **6. Der G-Modul von kristallinen Festkörpern (Metallen)**

### **Zubehör:**

- 1 Wandstativstange mit zwei Tragarmen, Meßtisch und Einspannvorrichtung für zu vermessende Drähte
- 5 Grobgewichte
- Spanndraht, Umlenkspulen, Gewichtsscheiben, Gewichtsschalen, Schrotkugeln
- 1 Rundskala
- 1 Stoppuhr
- 1 Imbusschlüssel
- 1 Gewichtssatz
- 1 Meßstab
- 1 Schraublehre
- 1 Schublehre

### **Aufgaben:**

1. Bestimmung des G-Moduls durch Verdrillen von Drähten, statische Methode
2. Bestimmung des G-Moduls durch Verdrillen von Drähten, dynamische Methode

### **Hinweise:**

Bei einer Verdrillung eines vertikalen einseitig eingespannten und unter der Wirkung eines Drehmomentes  $D$  stehenden Drahts kann der G-Modul für nicht übermäßig große Auslenkungen ( $\alpha \ll l/r$ ) aus

$$(1) \quad G_{stat} = \frac{2l}{\pi} r^{-4} \frac{D}{\alpha}$$

bestimmt werden. Zur Abschätzung des maximalen zulässigen Drehmoments benutze man die Formel

$$(2) \quad D_{max} = 0.5 \pi r^3 \sigma_{0,2}$$

$\sigma_{0,2}$  ist eine in der Technik gebräuchliche in  $\text{kp/mm}^2$  angegebene Materialkonstante und bezeichnet die Spannung, die mit einer 0,2%-igen bleibenden Verformung verknüpft ist. Sie wird Ihnen bei der Aushändigung der Proben angegeben.

Mit der Einspannvorrichtung können pendelfreie Torsionsschwingungen angeregt werden, mit deren Hilfe der dynamische Schubmodul ermittelt werden kann:

$$(3) \quad G_{dyn} = 8 \pi l r^{-4} \frac{l_1 - l_2}{T_1^2 - T_2^2}$$

Meßgrößen sind hier neben  $r$  und  $l$  die Schwingungsdauern  $T_1$  und  $T_2$  mit und ohne Befestigung eines zusätzlichen Trägheitsmoments. Zur Vermeidung unnötiger Zugbelastungen (Maximalgewicht =  $\pi \rho^2 \sigma_{0,2}$ ) durch längere Meßreihen sind die erforderlichen Trägheitsmomente durch möglichst große Ringradien zu realisieren.

### **Literatur:**

Walcher	Praktikum der Physik
Bergmann, Schaefer	Lehrbuch der Experimentalphysik Bd. I
Gerthsen	Physik
F.X.Eder	Moderne Meßmethoden der Physik

### **Ergänzungsliteratur:**

Kleber, Meyer, Schönborn	Einführung in die Kristallphysik
H.J.Juretschke	Crystal Physics, W.A.Benjamin 74
D.Hull	Introduction to Dislocations Pergamon Press 1968

### **Stichworte zur Vorbereitung:**

- Elastische Moduln, Querkontraktion
- Aufbau der Festkörper, Einkristall, Polykristall
- Amorphe Substanzen, Kristallbaufehler - Versetzungen
- Tensoreigenschaft der Elastizitätsmoduln, Spannungsdehnungskurve
- Plastizität, Gleichgewichtsbedingungen, Schwingungsgleichungen

Versuch Nr. 7

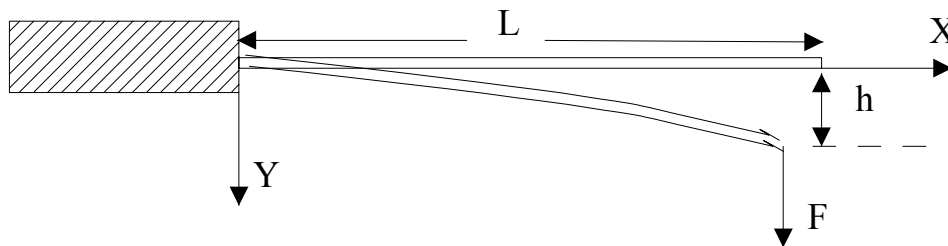
## 7. Elastizitätskonstante von kristallinen Festkörpern

### Zubehör:

- 1 Stativ mit Einspannvorrichtung
- 1 Halterung mit Gewichtsschale
- 1 Meßtabelle für Millimeterpapier
- 1 Schraubenzieher
- 1 Imbusschlüssel 6mm
- 1 Gewichtssatz
- 1 Meßstab
- 1 Schraublehre
- 1 Schublehre

### Aufgabe:

1. Bestimmen Sie den E-Modul zweier Metallproben, wovon die eine ein Reinetall, die andere eine Legierung des gleichen Metalls mit geringen Zusätzen ist, durch Verbiegen der einseitig eingespannten Proben.



C ist eine Konstante:  $C = (6 F)/(E d^3 b)$ , wobei d die Dicke und b die Breite der Probe ist

### Hinweise:

Die Messung der vertikalen Auslenkung h ("Biegepfeil") einer einseitig horizontal eingespannten relativ langen, geraden, homogenen und elastischen Probe mit rechteckigem Querschnitt unter dem Einfluß eines Gewichtes F am freien Ende erlaubt für kleine Auslenkungen ( $h < 0.2L$ ) die Bestimmung der Elastizitätskonstanten nach der Formel:

$$(2) \quad E_{stat} = \frac{4}{b} \left(\frac{l}{d}\right)^3 \frac{F}{h}$$

Vor Belastung der Probe ist das maximal zulässige Gewicht aus der Formel:

$$(3) \quad F_{max} = \frac{1}{6} \frac{b d^2}{l} \sigma_{0,2}$$

zu bestimmen. Dabei ist  $\sigma_{0,2}$  eine in der Technik gebräuchliche, in  $\text{kp/mm}^2$  angegebene Materialkonstante und bezeichnet die Zugspannung, die eine 0,2%-ige bleibende Verformung bewirkt. Die Größe wird Ihnen bei Aushändigung der Proben mitgeteilt.

Tragen Sie zweckmäßigerweise die Auslenkung über den aufgelegten Gewichten auf. Auf diese Weise erkennen Sie sofort den Gültigkeitsbereich der Formel (2). Zur Elimination von systematischen Fehlern infolge Inhomogenität der Probe ist jede Meßreihe mit vertauschten Einspannenden zu wiederholen. Messungen der Probendicke sind besonders gewissenhaft an mehreren Stellen der Probe durchzuführen. Zur Genauigkeitssteigerung sind für eine Fehlerrechnung systematisch an- und absteigende Meßreihen bloßen Wiederholungen vorzuziehen.

Zur Überprüfung der Näherungsformel (1) kann die gekrümmte Probe als "Kurvenlineal" benutzt werden, um die elastische Linie auf das Millimeterpapier auf der Meßtafel zu zeichnen.

## **Ergänzung zu Versuch Nr. 7**

Dynamische Messung des Elastizitätsmoduls

Ein an einem Ende fest eingespannter Metallstreifen der Länge  $l$  und der Querschnittsfläche  $q$  führt bei Anregung Biegeschwingungen  $\mu(x, t)$  nach der Differentialgleichung aus.

$$(4) \quad \frac{\partial^2 \mu}{\partial t^2} = - \frac{El}{pq} \frac{\partial^4 \mu}{\partial x^4}$$

Die Lösung dieser Differentialgleichung führt bei Berücksichtigung der Randbedingungen ( $\mu = 0$  für  $x = 0$  und  $\mu'(l) = 0$ ) auf die Eigenschwingungen der Form

$$(5) \quad \mu = u_n(x) \sin(2\pi \nu_n t + \alpha_n)$$

mit der Grundfrequenz ( $n = 1$ )

$$(6) \quad \nu_1 = \frac{1.875^2}{2\pi l^2} \sqrt{\frac{El}{pq}}$$

$I$  = Flächenträgheitsmoment



**Aufgabe:**

- Bestimmen Sie den Elastizitätsmodul aus der Grundfrequenz eines eingespannten Metallstreifens durch sorgfältiges Messen der Einspannlänge und der Schwingungsdauer. Vergleichen Sie den "dynamischen Elastizitätsmodul" mit dem aus dem Biegepeil gewonnenen.

**Hinweis:**

- Für die Ableitung für die Auswertformeln zur Biegeschwingung siehe Budo "Theoretische Mechanik".

**Literatur:**

F.X.Eder	Moderne Meßmethoden der Physik Bd. I
Budo	Theoretische Mechanik
Bergmann-Schaefer	Lehrbuch der Experimentalphysik Bd. I
Joos	Lehrbuch der theoretischen Physik

**Ergänzungsliteratur;**

Kleber,Meyer,Schoenborn	Einführung in die Kristallphysik
H.J.Juretschke	Crystal Phycs,W.A.Benjamin 1974
D.Hull	Introduction to Dislocation, Pergamon Press 1968

**Stichworte zur Vorbereitung:**

- Elastische Moduln, Querkontraktion
- Aufbau der Festkörper, Einkristall,Polykristall
- Amorphe Substanzen
- Kristallbaufehler - Versetzungen
- Tensoreigenschaften der Elastizitätsmoduln
- Spannungsdehnungskurve
- Gleichgewichtsbedingungen
- elastische Biegung.

Versuch Nr. 8

## **8. Oberflächenspannung**

### **Zubehör:**

- 1 Aluminiumring mit Schneide
- Stativmaterial und Hebebühne
- 1 Federwaage 10p
- Glasschalen, Büretten, Spülmittel
- Aceton, Methanol, Salzlösungen
- 1 y-t - Schreiber
- 1 Trägerfrequenzmessbrücke
- 1 Differentialdruckmessdose
- 1 Vorrichtung zur Erzeugung von Überdruck

### **Aufgaben:**

1. Blasendruckmethode.

Messen Sie abhängig von der Eindringtiefe der Kapillare in die Flüssigkeit den maximalen Blasendruck für Wasser und mindestens einer Salzlösung oder Methanol. Bestimmen Sie die Oberflächenspannungen der Flüssigkeiten sowie die Dichte der Salzlösungen oder von Methanol.

2. Messung der Oberflächenspannung von Wasser und Tensidlösungen nach der Abreißmethode.

Der Aluminiumring mit Schneide wird mit Aceton gereinigt und mit der Messflüssigkeit gespült. Tauchen Sie den Ring tief in die Flüssigkeit ein. Lesen Sie die unmittelbar vor dem Abreißen der Flüssigkeitslamelle angezeigte Kraft ab.

### **Literatur:**

Bergmann-Schaefer

Lehrbuch der Experimentalphysik I

Walcher

Praktikum der Physik

Gerthsen

Physik

### **Ergänzungsliteratur:**

Bikerman

Physical Surfaces

### **Stichworte zur Vorbereitung:**

- Oberflächenenergie, Oberflächenarbeit;

- Benetzung, Randwinkel; Molekulare Modelle von Flüssigkeiten; Normaldruck; Änderung der Oberflächenspannungen bei Lösungen; Bestimmung von Molekülgrößen; Größe und Reichweite Adhäsionskräfte;
- Für Liebhaber: Eigenschaften des superflüssigen Heliums, s.z.B. Bergmann-Schaefer Bd. I

Versuch Nr. 9

## 9. Kundtsches Staubrohr und Quinckesches Resonanzrohr

### Zubehör:

- 1 Glasrohr eingespannt in zwei Tischhalterungen
- 1 Stempel zur Längenänderung der Luftsäule im Glasrohr
- 1 Metallrohr (Messing)
- 1 Frequenzgenerator
- 1 Frequenzmeßgerät
- 1 Spannungsmeßgerät
- 1 Lautsprecher
- 1 Mikrophon
- 1 Gummischlauch mit Trichter
- Korkmehl
- 1 Lappen
- Stativmaterial

### Aufgaben:

1. Bestimmen Sie mit Hilfe der Kundtschen Staubfiguren die Schallgeschwindigkeit in Messing. Berechnen Sie den Elastizitätsmodul von Messing.
2. Bauen Sie aus den bereitgestellten Geräten das Quinckesche Resonanzrohr auf. Der Aufbau soll vertikal erfolgen, wobei der Gaseinlaß sich am unteren Ende befindet (Messung mit  $\text{CO}_2$ ). - Der Aufbau und die elektrischen Anschlüsse sind vor dem Einschalten vom Assistenten zu kontrollieren.
3. Bestimmen Sie die Schallgeschwindigkeit und das Verhältnis der spezifischen Wärmen  $\kappa = c_p/c_v$  von Luft und  $\text{CO}_2$  mit Hilfe des Quinckeschen Resonanzrohrs.



**Arbeiten Sie nie ohne Gehörschutz!**  
**Die Intensität und die Tonlage des Schalls könnten Ihr Gehör schädigen.**

**Literatur:**

Gerthsen	Physik
Bergmann-Schaefer	Lehrbuch der Experimentalphysik Bd, I
W.Walcher	Praktikum der Physik

**Ergänzungsliteratur:**

Martienssen	Einführung in die Physik IV, Kap.11.2.2
-------------	---

**Stichworte zur Vorbereitung:**

- Allgemeine Wellenlehre, charakteristische Größen;
- Phasengeschwindigkeit - Gruppengeschwindigkeit; Longitudinale Wellen, Randbedingungen; Knoten, Bäuche; Resonanzerscheinungen; Akustik; Schall, Schallgeschwindigkeit usw.;
- Abhängigkeit der Ausbreitungsgeschwindigkeit von den Materialeigenschaften; Zustandsgleichung idealer Gase; Adiabatische Zustandsänderungen; Poisson-Gleichung;
- $c_p$ ,  $c_v$  bei Gasen;
- Mach'scher Kegel;
- Ultraschall und seine Anwendung; Stoßwellen.

Versuch Nr. 10

## **10. Bestimmung des Adiabatenexponenten $\kappa$ von Gasen**

- Zubehör:
- 1 Glasflasche
  - 1 Glashahn
  - 1 Dreiwegehahn
  - 1 Manometer mit Gummistopfen
  - 1 Halbgebläse
  - 1 Präzisionsglasrohr mit Schwinger auf Kolben
  - 1 Lichtschranke
  - 1 elektronische Stoppuhr
  - Argon-, N<sub>2</sub>-, und CO<sub>2</sub>-Gasflaschen mit Ventilen

### **Aufgaben:**

1. Bestimmen Sie den Adiabatenexponenten für Argon, N<sub>2</sub> und CO<sub>2</sub>, indem Sie mit einem geringen Überdruck den Schwinger im Glasrohr zu resonanten Schwingungen anregen. Messen Sie die Schwingungsdauer abhängig vom veränderlichen Volumen des Kolbens. Der Innendurchmesser des Kolbens ist (10<sup>3</sup> +/- 0,4) mm.
2. Bestimmen Sie den Adiabatenexponenten für Luft nach der Methode von Clément - Desormes.

Erzeugen Sie im Glasballon einen kleinen Überdruck von ca. 100 mm Wassersäule. Durch kurzzeitiges Öffnen des Hahns wird der Überdruck gegen den äußeren Luftdruck ausgeglichen. Lesen Sie nach dem Temperatúrausgleich den neuen Überdruck ab.

**Literatur:**

W. Walcher	Praktikum der Physik
Gerthsen	Physik
Bergmann-Schäfer	Lehrbuch der Experimentalphysik Bd. I
Alonso - Finn	Fundamental University Physics Bd. III, Kap. 12
Jawronski - Detlav	Physik griffbereit Kap. 6.9
Ebert	Physikalisches Taschenbuch

**Ergänzungsliteratur:**

Feynman;	Lectures on Physics Vol. I
Chapter 40 - 5,6	
Callen	Thermodynamics Appendix D 5

**Stichworte zur Vorbereitung:**

- Hauptsätze der Wärmelehre
- Zustandsgleichungen
- Spezifische Wärmen
- Freiheitsgrade mehratomiger Moleküle
- Entartung von Schwingungen
- Gleichverteilungssatz
- Qualitative Erklärung der Temperaturabhängigkeit der spezifischen Wärme

Versuch Nr. 11

## **11. Spezifische Wärme von Festkörpern und Flüssigkeiten**

### **Zubehör:**

- 1 Aluminium - Kalorimeter;
- 1 Dewar - Kalorimeter mit Deckel;
- 1 Magnetrührer mit Zubehör;
- 1 Tauchsieder mit Leistungssteller;
- 1 y-t Scheiber;
- Thermoelement, Thermometer, Metallproben

### **Aufgaben:**

1. Eichen Sie das Thermoelement mit Hilfe des Thermometers im Bereich von 20 °C bis etwa 40 °C.
2. Bestimmen Sie den Wasserwert des Kalorimeters.
3. Bestimmen Sie die spezifische Wärmekapazität einiger Metalle nach der Mischungsmethode. Die Metallproben werden im siedenden Wasser erwärmt.

Frage: Wie kann man die Aufgabe 3. lösen, ohne den Wasserwert des Kalorimeters zu kennen?

### **Literatur:**

F.X.Eder	Moderne Meßmethoden der Physik, Teil 2
W.Walcher	Praktikum der Physik
Gerthsen	Physik, spezifische Wärme von Festkörpern, Gitterschwingungen
Martienssen	Einführung in die Physik III

### **Ergänzungsliteratur:**

Callen	Thermodynamics
--------	----------------

### **Stichworte zur Vorbereitung:**

- Wasserwert
- Mischungskalorimetrie



- Zustandsgleichungen
- Zustandsfunktionen und ihre Messung über spezifische Wärmen
- Thermodynamische Zustandsfunktionen  $U$ ,  $H$ ,  $F$  usw.
- Freiheitsgrade der Bewegung
- Gleichverteilungssatz
- Dulong - Petit`sche Regel
- Temperaturabhängigkeit der spezifischen Wärme bei Festkörpern
- Gitterschwingungen
- Klassische- und Quanten-Statistik

Versuch Nr. 12

## **12. Latente Wärmen**

### **Zubehör:**

- 1 Regeltransformator (0 - 220 V)
- 1 Schaltkasten
- 2 Vielfachmeßinstrumente
- 2 Tauchsieder
- 1 Dewargefäß
- 1 Kalorimeter
- 1 Thermometer 1/10 °C
- 2 Schutzbrillen
- 2 Destillierteile mit Abscheider und Schliff
- 3 Auffanggefäße (vertikale Kugelkühler)
- 1 hohes Becherglas (2 Ltr.)
- 1 Stoppuhr
- 1 Stativ
- 1 Klammer mit Muffe

### **Aufgaben:**

Ermitteln Sie durch mindestens zwei von einander unabhängige Messungen

1. die spezifische Schmelzwärme von Eis
2. die spezifische Verdampfungswärme von Wasser nach der Verdampfungsmethode
3. die spezifische Verdampfungswärme nach der Kondensationsmethode
4. Berechnen Sie die Änderungen der Zustandsfunktionen und vergleichen Sie Ihre Ergebnisse mit Literaturwerten.

### **Hinweise:**

- Vermeiden Sie die Überlastung der Vielfachmeßinstrumente und drehen Sie den Regler am Regeltransformator nach Beendigung des Versuches auf die Nullstellung zurück. Achten Sie darauf, daß stets eine Flüssigkeitsmenge im Kalorimeter
- vorhanden ist, so daß die Heizspirale des Tauchsieders während der gesamten Versuchsdauer immer unterhalb der Flüssigkeitsoberfläche bleibt. Lesen Sie die Spannung  $U$  und die Stromstärke  $I$  alle 30 Sekunden ab und nehmen Sie für die Auswertung das Mittel aus den abgelesenen Werten sowohl für  $U$  als auch für  $I$ . Die Zeitmessung soll möglichst

zwischen zwei Tropfen beginnen und enden. Es empfiehlt sich, Kupferspäne (3 - 5 Späne) vor Beginn des Versuches in das Kalorimeter zu geben, um einen möglichen Siedeverzug zu verhindern. Zeichnen Sie vor Beginn des Versuches ein Schaltbild für den elektrischen Teil der Versuchsanordnung und legen Sie dieses einem Praktikums-Assistenten vor.

- Bidest-Wasser verwenden!!!!

### Literatur:

W. Walcher	Praktikum der Physik
Martienssen	Einführung in die Physik III
Bergmann-Schaefer	Lehrbuch der Experimentalphysik Bd. I
Ulrich Jost	Kurzes Lehrbuch der physikalischen Chemie

### Stichworte zur Vorbereitung:

- Wasserwert
- Mischungskalorimetrie
- Phasenbegriff, Zustandsgrößen
- Phasenumwandlungen verschiedener Art
- Zustandsdiagramme, Tripelpunkt
- Gibbssche Phasenregel
- Zustandsgleichungen (z.B. van der Waals)
- Kritische Punkte
- Clausius-Clapeyron'sche Gleichung

Versuch Nr. 13

## **13. Mechanisches und elektrisches Wärmeäquivalent**

### ***13.a) Mechanisches Wärmeäquivalent***

#### **Zubehör:**

- 1 Energiewandler nach Schürholz, bestehend aus Kalorimetergefäß, Kupferschnur, Haltebolzen mit Feder
- 1 Thermometer, 10 - 40 °C mit 1/5 Grad Teilung
- 1 Masse von 5 kg
- bereitzustellen: Millimeterpapier

#### **Aufgaben:**

1. Berechnen Sie die Wärmekapazität des Kalorimeters und der Kupferschnur.
2. Bestimmen Sie das mechanische Wärmeäquivalent. Überlegen Sie, in welchem Temperaturbereich die größte Genauigkeit zu erwarten ist. Die Meßgenauigkeit können Sie anhand der Differentialgleichung diskutieren (siehe z.B. Walcher), indem Sie in die allgemeine Lösung die Randbedingungen einsetzen. Die so erhaltene Gleichung für C können Sie

$$\frac{dT}{dt} = -\lambda (T - T_z) + \frac{P}{C}$$

nach einigen Umformungen nach Taylor entwickeln und daraus den relativen Fehler berechnen. Diese Gleichung müssen Sie dann nur noch interpretieren.

#### **Hinweis:**

- Bevor Sie die 5 kg-Masse an der Kupferschnur befestigen, muß die Kurbel arretiert werden, da andernfalls die Feder überdehnt wird und die Bleimasse auf den Boden oder evtl. auf Ihren Fuß fällt.
- Verwenden Sie immer doppelt destilliertes (sog. bidest) Wasser!

### ***13.b) Elektrisches Wärmeäquivalent***

#### **Zubehör:**

- 1 Dewar-Gefäß mit Verschuß, Rührer und eingebauter Heizspirale
- 1 Thermometer, 0 - 50 °C, 1/10 Grad Teilung
- 2 Vielfachmeßinstrumente
- 1 Stoppuhr
- 1 Niederspannungsnetzgerät
- 1 Becherglas, 400 ml
- 1 Thermometer, 0 - 100 °C, 1/10 Grad Teilung
- Kabel
- bereitzustellen: Millimeterpapier

#### **Aufgaben:**

1. Bestimmen Sie die Wärmekapazität (Wasserwert) des Kalorimeters einschließlich Heizspirale und Thermometer nach der Mischungsmethode.
2. Bestimmen Sie das elektrische Wärmeäquivalent.

#### **Hinweis:**

- Verwenden Sie immer doppelt destilliertes Wasser!

#### **Literatur:**

W.Walcher	Praktikum der Physik
Bergmann-Schaefer	Lehrbuch der Experimentalphysik Bd. I
Gerthsen	Physik

#### **Stichworte zur Vorbereitung:**

- Wasserwert
- Mischungskalorimetrie
- Erster Hauptsatz
- abgeschlossene und offene Systeme
- Wärmeleitung
- Mechanismen zum Temperatenausgleich
- Mechanismus der Wärmeerzeugung durch Strom
- Zusammenhang zwischen verschiedenen in der Physik verwendeten Energieeinheiten.

Versuch Nr. 14

## **14. Schallmessung im akustischen Hohlraum mit der Rayleigh-Scheibe**

### **Zubehör:**

- Hohlraum mit Lautsprecherbox;
- Rayleigh-Scheibe mit Gehäuse;
- Beleuchtungseinrichtung, Linse, Blende, optische Bank;
- 1 RC-Generator;
- 2 Vielfachmeßinstrumente;
- Kohlemikrophon;
- Plexiglasplatte;
- Plexiglasplatte mit Dämpfungsbelag.

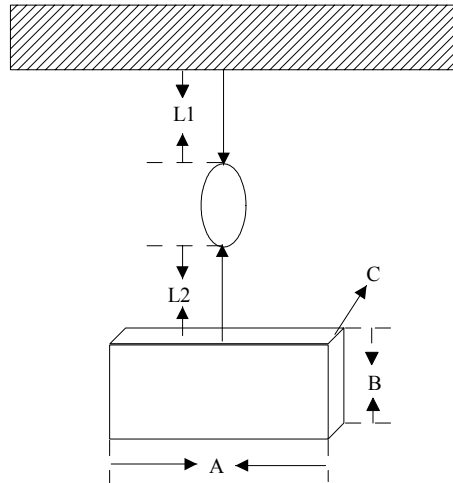
### **Aufgaben:**

1. Bestimmung (durch Rechnung) der oberen Grenzfrequenzen, für die Wellenausbreitung nur in z-Richtung möglich ist. Hierbei sei z die Richtung der größten Hohlraumausdehnung.
2. Bestimmen Sie mit Hilfe des Mikrophons für eine geeignete Resonanzfrequenz eine Position für optimalen Ausschlag der Rayleigh-Scheibe bei schallhartem Abschluß und prüfen Sie das Ergebnis durch Rechnung und Experiment nach. Messen Sie für die gleiche Resonanzfrequenz die Schallschnelle in Abhängigkeit von der dem Lautsprecher zugeführten elektrischen Leistung. Berechnen Sie aus der Schallschnelle die Druckamplitude und die Bewegungsamplitude der Gasmoleküle für einen Wert der elektrischen Leistung.
3. Messen Sie für die gleiche Frequenz unter Benutzung des reflexionsfreien Abschlusses die Resonanzüberhöhung im Kasten (Resonanzüberhöhung ist das Verhältnis der Schnellamplitude der fortlaufenden Welle bei gleicher Frequenz und Leistung).
4. Messen Sie die Halbwertsbreite der gleichen Resonanzmode mit Hilfe des RC-Generators und des Mikrophons.

### **Hinweise:**

- Um die Glimmerscheibe nicht durch wiederholtes Vermessen zu beschädigen, sind hier Ihre Abmessungen angegeben :
- Radius  $r = 0.6 \text{ cm}$  ; Dicke  $d = 0.005 \text{ cm}$
- Das der Dämpfung der Scheibchenschwingung dienende Kupferplättchen hat die folgenden Abmessungen (siehe Abbildung) :

$A = 1.0 \text{ cm}$ ,  $B = 0,6 \text{ cm}$ ,  $C = 0.15 \text{ cm}$ ,  $L1 = 14 \text{ cm}$ ,  $L2 = 3.35 \text{ cm}$



### Literatur:

Gerthsen	Physik
Kohlrausch	Praktische Physik, Bd.1,3,4,2
Bergmann-Schaefer	Lehrbuch der Experimentalphysik Bd.I
Meyer-Neumann	Physikalische und technische Akustik
E.Skudrzy	Foundations of Physical Acoustics

### Stichworte zur Vorbereitung:

- Grundlagen der Akustik (Hydro- bzw. Aerodynamik) :  
Bernoulli-Gl., Euler- und Kontinuitäts-Gl., Poisson-Gl.; Schallfeldkenngrößen; Theorie der Rayleigh-Scheibe (qualitativ, mit Bernoulli-Gl. und Stromlinienbild).
- Wellenlehre:  
Wellengleichung mit Lösungen (ebene Wellen); Reflexion von ebenen Wellen an Grenzflächen (Randbedingungen, stehende Wellen ).

Versuch Nr. 15

## **15. Daten optischer Linsen und Spiegel**

### **Zubehör:**

- 1 Dreikantschiene 1230 mm mit Justierfuß und zwei Stellschrauben
- 3 schwere Reiter 60 mm mit Säule 60 mm
- 2 schwere Reiter 30 mm mit Säule 60 mm
- 2 leichte Reiter 60 mm mit Säule 60 mm
- 3 leichte Reiter 30 mm mit Säule 60 mm
- 1 Niederspannungslampe mit Leuchtkörper 12V, 60W
- 1 Transformator (6V, 12V)
- 1 weißer Schirm 270 x 350 mm
- 1 weißer Schirm 25 x 30 mm
- 1 als Gegenstand dienende Blende (in Metall geschnittener Buchstabe)
- 1 Sammellinse (plankonvex)  $f = 30\text{mm}$ ,  $d = 90\text{mm}$
- 1 Sammellinse  $d = 50\text{mm}$
- 1 Zerstreuungslinse  $d = 40\text{mm}$
- 1 Planspiegel
- 1 Oberflächen-Hohlspiegel  $d = 95\text{mm}$
- 1 Grünfilter
- 1 Rotfilter
- 1 Maßstab, 1 Schieblehre
- 1 Spaltblende
- 1 Kondensator
- 1 Bausatz " Mikrooptische Bank "

### **Aufgaben:**

Der überwiegende Teil der folgenden Aufgaben läßt sich mit mehreren unabhängigen, unterschiedlich genauen Methoden lösen. Soweit es die Zeit erlaubt, sollte die Möglichkeit zur Kontrolle weidlich ausgenutzt werden.

1. Man bestimme die Brennweite des mitgegebenen Hohlspiegels.
2. Man bestimme die Brennweite der mitgegebenen Sammellinse.
3. Man bestimme die Brennweite der mitgegebenen Zerstreuungslinse.



4. Man füge beide Linsen, im Abstand von mehreren Zentimetern, zu einem System zusammen und bestimme dessen Brennpunkt und Brennweite und die Lage der Hauptpunkte (Skizze).
5. Man ermittle aus den in der zweiten und dritten Aufgabe gewonnenen Brennweiten der Einzellinsen durch grafische Konstruktion ebenfalls die Daten des Systems und vergleiche sie mit den experimentiellen Werten.
6. Wenn noch genügend Zeit vorhanden, bestimme man die Brennweiten des Hohlspiegels und der beiden Linsen für Rot- und Grünfilterlicht. Ist eine chromatische Aberration festzustellen?

### **Hinweise:**

- In der genannten Literatur sind zahlreiche Verfahren zur Bestimmung von Daten von Linsen und Linsensystemen beschrieben. Einige dieser Verfahren können Sie mit der herkömmlichen Zeiss-Schiene und Zubehör durchführen, so daß Sie die Aufgaben ohne die drei letzten in der Zubehörliste eingetragenen Hilfsmittel in jedem Falle lösen können.

### **Literatur:**

Bergmann-Schaefer	Band III
W.Walcher	Praktikum der Physik
Martienssen	Einführung in die Physik IV
Gerthsen	Physik

### **Stichworte zur Vorbereitung:**

- Gültigkeitsgrenzen der " Geometrischen Optik "
- Hauptebenen, Brennpunkte, Brennweiten
- optische Achse, Blenden, Brechung
- Abbildungen, Vergrößerungsverhältnisse
- Autokollimation, Bessel-Verfahren
- Linsenfehler
- Dispersion
- optische Weglänge
- Fermat'sches Prinzip
- Linsenmaterialien vom Infraroten bis zum Ultravioletten.Versuch Nr. 15A

Versuch Nr. 15A

### ***15.a) Geometrische Optik und optische Instrumente***

#### **Zubehör:**

- 2 Dreikantschienen
- schwere Reiter 60 mm
- schwere Reiter 30 mm
- leichte Reiter 60 mm
- leichte Reiter 30 mm
- 1 Niederspannungslampe mit Leuchtkörper 12V, 60W
- 1 Transformator (6V, 12V)
- 1 weißer Schirm 270 x 350 mm
- 1 weißer Schirm 25 x 30 mm
- 1 als Gegenstand dienende Blende (in Metall geschnittener Buchstabe)
- Sammellinsen und Zerstreuungslinsen für die Mikrooptische Bank mit zugehörigen Haltern
- Maßstäbe und Schieblehre
- Lochblenden und Meßskalen für die Mikrooptische Bank
- Mikroskopobjektive und - Okulare

#### **Aufgaben:**

1. Bestimmen Sie die Brennweiten von 2 Sammellinsen, einem Hohlspiegel und einer Zerstreuungslinse mit jeweils 2 von einander unabhängigen Meßmethoden.  
Als Meßmethoden sollen eingesetzt werden:
  - a) Autokollimation
  - b) Bestimmung der Brennweite aus der Abbildungsgleichung
  - c) Brennweitenbestimmung mit dem Besselverfahren
2. Bauen Sie aus zwei geeigneten Sammellinsen ein Fernrohr auf und bestimmen Sie die Vergrößerung des Fernrohrs.
  - a) Erzeugen Sie paralleles Licht mit einem Kollimatorsystem aus einer Mattscheibe, 2mm Lochblende und einer geeigneten Sammellinse.
  - b) Verbessern Sie das parallele Lichtbündel durch Einsatz einer Strahlaufweitungsoptik aus Sammellinsen  $f=40\text{mm}$ ,  $f = 80\text{mm}$  und einer Lochblende mit Durchmesser 0.6 mm.
3. Bauen Sie mit zwei Sammellinsen  $f=25\text{mm}$  als Objektiv,  $f=20\text{mm}$  als Okular ein Mikroskop auf.  
Bestimmen Sie für unterschiedliche Tubuslängen die Objektivvergrößerungen (mindestens 4 verschiedene Tubuslängen)

Bestimmen Sie die Objektivvergrößerung eines Mikroskops aus den Spindler&Hoyer Mikroskopobjektiven.

Versuchen Sie die Gesamtvergrößerung zu messen.

Berechnen Sie die Gesamtvergrößerung für alle Mikroskopaufbauten.

### **Literatur:**

Bergmann-Schaefer	Band III
W. Walcher	Praktikum der Physik
Martienssen	Einführung in die Physik IV
Gerthsen	Physik

### **Stichworte zur Vorbereitung:**

- Gültigkeitsgrenzen der " Geometrischen Optik "
- Hauptebenen, Brennpunkte, Brennweiten
- optische Achse, Blenden, Brechung
- Abbildungen, Vergrößerungsverhältnisse
- Autokollimation, Bessel-Verfahren
- Linsenfehler
- Dispersion
- optische Weglänge
- Fermat'sches Prinzip
- Linsenmaterialien vom Infraroten bis zum Ultravioletten.
- Das Auge, Vergrößerung eines optischen Instruments
- Fernrohre, Spiegelteleskop
- Mikroskop, Tiefenschärfe, Auflösungsvermögen,
- Lichtstärke, Tubuslänge,
- Begrenzung der Größe von Fernrohren,
- Energie und Informationsübertragung bei optischen Abbildungen
- (s. Martienssen, Einführung in die Physik IV 12.2.4 - 5)

Versuch Nr. 16

## **16. Optische Instrumente**

### **Zubehör:**

- 1 Dreikantschiene 1000 mm mit Justierfuß und Stellschraube
- 1 Niederspannungslampe mit Leuchtkörper 12V, 60W und
- Transformator
- 1 Schirm mit Buchstaben-Blende auf Stift
- 1 Mattglasscheibe 300x300mm
- 1 Mattfolie
- 1 Meßstab, 1 Schieblehre

MOB-Zubehör:\*\*

- 1 Aufnahmeplatte mit Schirm auf Lagerleiste und Stift
- 1 Irisblende
- 1 Plankonvexlinse  $f = 80\text{mm}$
- 1 Schraubendreher
- 1 Grundgestell (Bankplatte auf Stift mit Stangenhalter
- und 2 Stangen 300mm)
- 1 Berek-Zeichnung
- 1 Mattscheibe
- Fernrohroptik, jeweils in Aufnahmeplatten:
- Bikonvexlinse  $f = 150\text{mm}$  (Objektiv) mit Irisblende
- Bikonvexlinse  $f = 25\text{mm}$  (Okular)
- Achromat  $f = 160\text{mm}$  (Objektiv)
- Achromat  $f = 25\text{mm}$  (Okular)
- Farbfilter R 62 und B 6 12
- Mikroskopoptik, jeweils in Aufnahmeplatten:
- Achromat  $f = 16\text{mm}$  (Objektiv)
- Mikroobjektiv 5-fach
- Huygens-Okular 10-fach
- Objektivmikrometer (5mm, 200 Skalenteile)
- Okularmikrometer (10mm, 200 Skalenteile)
- Fadenkreuz mit Einfangdoppelstrich

---

\*\*Entnommen aus dem Bausatz " Mikrooptische Bank " der Firma Spindler & Hoyer

## Aufgaben:

Die folgenden Aufgaben sollen Ihnen u.a. zeigen, wie man die Wirkungsweise der einfachen optischen Instrumente auf einige wenige Prinzipien der geometrischen Optik zurückführen kann. Es wird deshalb empfohlen, die Aufgaben in der angegebenen Reihenfolge zu behandeln.

Unter Lateralvergrößerung oder einfach Vergrößerung sei jeweils das Verhältnis von vertikaler Bildgröße zu vertikaler Gegenstandsgröße verstanden; sie kann in den verschiedensten Formen durch instrumentelle Konstanten ausgedrückt werden (siehe Literatur).

### 1. Schattenriß.

Ermitteln Sie experimentell (3-4 Meßwerte) den Zusammenhang zwischen Lateralvergrößerung  $b_S$  und Abstand  $y$  zwischen Gegenstand und Mattscheibe und vergleichen Sie das Ergebnis mit der Theorie des idealen Schattenrisses (punktförmige Lichtquelle). Leiten Sie den Zusammenhang zwischen  $y$  und der hier vorliegenden Bildschärfe her. Alle Ergebnisse können in einem Schaubild vereinigt werden.

### 2. Lochkamera.

Beschreiben und begründen Sie, was Sie auf der Mattscheibe von hinten beobachten, wenn Sie zunächst die Irisblende schließen und sodann eine Mattfolie vor die Öffnung des Gegenstandschrims geben. Ermitteln Sie experimentell die Lateralvergrößerung  $\beta_L$  der Lochkamera in Abhängigkeit vom Abstand  $x$  zwischen Lochblende und Mattscheibe und vergleichen Sie das Ergebnis mit der Theorie der idealen Lochkamera (punktförmige Öffnung). Leiten Sie den Zusammenhang zwischen  $x$  und der Bildschärfe bei fest vorgegebener Irisöffnung her. Alle Ergebnisse können wieder übersichtlich in einem Schaubild vereinigt werden

### 3. Fotoapparat und Projektionsapparat.

Ersetzen Sie die Iris durch die mitgegebene Linse (Objektiv) der Brennweite 80mm. Ermitteln Sie die Vergrößerungsverhältnisse  $\beta_p(x)$  und  $\beta_f(x)$  in Projektions- und Fotoapparatstellung des Objektivs und tragen Sie diese Werte in das obige Schaubild  $\beta_L(x)$  ein. Was schließen Sie aus dem Ergebnis? Bildqualität gegenüber der Lochkamera?

### 4. Fernrohr.

- Bilden Sie mit Hilfe der langbrennweitigsten Linse (hier Objektiv) die Berek-Zeichnung auf einem Blatt Papier oder einer Mattscheibe ab (die Bildqualität wird i.a. schlecht sein, weil das Berek-Bild zu lichtschwach ist). Versuchen Sie sodann, dieses "Zwischenbild", nachdem Sie seine Lage kennen, direkt mit dem unbewaffneten Auge zu beobachten: Warum ist es zweckmäßig, eine Lupe zu benutzen?
- Wählen Sie als Lupe (hier Okular) aus den vorhandenen Linsen diejenige mit der zweitkleinsten Brennweite und bringen Sie das Zwischenbild in ihre Brennebene. Bestimmen Sie die Vergrößerung des so konstruierten Fernrohrs, wenn möglich mit mehreren Methoden.
- Wenn Sie daran interessiert sind, können Sie zu Ihrer Erbauung die wichtigsten Linsenfehler mit dem Fernrohr anhand der Berek-Zeichnung qualitativ studieren. Es

kann dabei zur Vereinfachung angenommen werden, daß die auftretenden Fehler im wesentlichen dem Objektiv zuzuschreiben sind und vom Okular lediglich vergrößert werden. Die Filter dienen zum Studieren der Farbfehler. die Bildqualität sollte sich verbessern, wenn Sie Achromate anstelle der einfachen Linsen ins MOB-Gestänge einhängen.

#### 5. Mikroskop.

Sie können das Fernrohr mit einem Handgriff in ein Mikroskop umrüsten, wenn Sie anstelle der langbrennweitigen Fernrohrlinse die kurzbrennweitigste der bereitliegenden Linsen in das MOB-Gestänge einhängen. Als Beobachtungsgegenstand kann Ihnen z.B. eines der mitgegebenen Objektivmikrometer dienen, auf dessen Skala scharf einzustellen ist.

- a) Bestimmen Sie die Objektivvergrößerung und die Gesamtvergrößerung des von Ihnen konstruierten Mikroskops für mehrere Abstände Objektiv-Okular (Tubuslänge).
- b) Bestimmen Sie den Abstand des Einfangdoppelstrichs des beigegebenen Fadenkreuzes.
- c) Ersetzen Sie Okular und Objektiv durch kommerzielles Mikroskopzubehör und erzeugen Sie ein scharfes Bild vom Objektivmikrometer. Die höchste Bildqualität erhalten Sie, wenn der Anschlagring des Okulars und der Gewindeansatz des Objektivs den auf dem Objektiv eingravierten Abstand der mechanischen Tubuslänge (hier 170mm) haben. Gesamtvergrößerung?

#### **Hinweise:**

- Bevor Sie die Irisblende in den Strahlengang bringen (Lochkamera), sollten Sie zweckmäßigerweise den Gegenstand so nahe an die Lampe schieben, daß sein Schattenbild die ganze Mattscheibe überdeckt.

#### **Literatur:**

Bergmann-Schaefer	Band III
W.Walcher	Praktikum der Physik
Martienssen	Einführung in die Physik IV
Gerthsen	Physik

#### **Ergänzungsliteratur:**

M.Born Optik	(Auflösungsvermögen von Mikroskop und Fernrohr )
--------------	--

**Stichworte zur Vorbereitung:**

- Das Auge, Vergrößerung eines optischen Instruments
- Schattenriss, Lochkamera, Lupe
- Photoapparat, Projektionsapparat
- Fernrohre, Spiegelteleskop
- Mikroskop, Tiefenschärfe, Auflösungsvermögen,
- Lichtstärke, Tubuslänge,
- Begrenzung der Größe von Fernrohren,
- Energie und Informationsübertragung bei optischen Abbildungen (s. Martienssen, Einführung in die Physik IV 12.2.4 - 5)

Versuch Nr. 17

## **17. Polarisation und Doppelbrechung**

### **Zubehör:**

- 1 optische Bank
- 3 Küvetten mit Traubenzuckerlösung
- 1 Transformator sek. 6V und 12V
- 5 spannungsoptische Modelle
- 1 Glühlampe 12V
- 1 Spannvorrichtung
- 1 Kondensator
- 1 Photoelement
- 2 Polarisatoren
- 1 Spannungsmeßgerät
- 1  $\lambda/4$ -Plättchen
- 1 Blende
- 1 Linse  $f = 130\text{mm}$
- 1 Leuchtschirm
- 1 Grünfilter mit Halterung

1. a) Aufgaben: Nehmen Sie mit Hilfe eines Photoelements die Intensitätskurve von linear polarisiertem Licht als Funktion des Winkels zwischen Polarisator und Analysator auf. ( $\varphi$  soll zwischen  $0^\circ$  und  $200^\circ$  variiert werden).  
b) Vergleichen Sie das Resultat des Diagramms mit dem, das Sie theoretisch erwarten.
2. a) Bringen Sie Polarisator und Analysator in gekreuzte Stellung. Stellen Sie ein in seiner Halterung drehbares  $\lambda/4$ -Plättchen zwischen P und A. Zeichnen Sie die Intensität als Funktion des Drehwinkels (des  $\lambda/4$ -Plättchens) auf.  
b) Zwischen den gekreuzten Polarisatoren bringen Sie das  $\lambda/4$ -Plättchen in Stellung, für die Intensität
  1. maximal
  2. gleich der Hälfte des maximalen Wertes
  3. minimalwird. Drehen Sie dann den Analysator und bestimmen Sie jeweils in Abhängigkeit vom Drehwinkel die Intensität.
3. Bringen Sie zwischen P und A eine, zwei oder drei Küvetten mit Zuckerlösung. Bilden Sie mittels einer Linse die Küvetten auf einem Leuchtschirm ab, und beobachten Sie in Abhängigkeit der P-A-Stellung das Bild. Verwenden Sie sowohl Glühlicht, als auch monochromatisches Licht. Diskutieren Sie das Ergebnis.



4. Bringen Sie zwischen P und A (in gekreuzter Stellung) verschiedene spannungsoptische Modelle. Bilden Sie die Modelle auf einem Leuchtschirm ab und beobachten Sie das Bild in Abhängigkeit von der Beanspruchung der Modelle. Diskutieren Sie die Ergebnisse.

**Hinweise:**

- Bitte seien Sie vorsichtig beim Belasten der spannungsoptischen Modelle.
- Spannen Sie bitte den Grünfilter vorsichtig und nicht zu fest in seine Halterung.

**Literatur:**

Bergmann-Schaefer	Lehrbuch der Experimentalphysik Bd. 1
Gerthsen	Physik

**Ergänzungsliteratur:**

Francon	Moderne Anwendung der physikalischen Optik
---------	--

**Stichworte zur Vorbereitung:**

- Polarisationszustände einer Lichtwelle
- Erzeugung polarisierten Lichts
- Doppelbrechung in Kristallen
- Dichroismus
- Interferenzen im polarisierten Licht
- Drehung der Polarisationsebene und deren Ursachen
- Reflexminderung durch Oberflächenvergütung
- Kerreffekt

Versuch Nr. 18

## 18. Beugung

### Zubehör:

- 2 Optische Bänke mit Verbindungsstück und Reitern
- 1 He-Ne-Laser
- 1 Präzisionsspalt mit Irisblende
- 1 Engbandfilter für grün
- 1 Lochblende  $\varnothing = 0,4\text{mm}$
- 1 Strichgitter  $n = 1005/\text{cm}$
- 1 Meßverschiebereiter 200mm
- 1 CdS-Meßzelle mit Meßsystem
- 1 Meßverstärker mit Vielfachmeßgerät
- 1 Mikrooptische Bank (Linsen  $f = 10, 20, 60\text{mm}$ , Zentrierfassungen, Meßokular)
- 1 Reuterlampe mit Transformator
- 1 Stahlbandmaß

### Aufgaben:

1. Bestimmung der Wellenlängen des Laserlichts durch Ausmessen der Beugungsfigur eines Spaltes  
visuell  
photometrisch
2. Bestimmung der Wellenlänge des Laserlichts durch Ausmessen der Beugungsfigur eines Strichgitters
3. Bestimmung der Wellenlänge des Laserlichts durch Ausmessen Fresnelscher Zonen.



**NICHT IN DEN LASER - STRAHL  
SEHEN !!!!!**

**Hinweise:**

- Richten Sie als erstes die optische Bank einschließlich der mikrooptischen Bauteile auf die optische Achse ein. Dazu verwendet man am günstigsten die Lochblende  $d = 0,4\text{mm}$ . Beim Verschieben dieser Blende in Richtung der optischen Achse soll der Strahl immer zentriert auftreffen.



**NICHT IN DEN LASER - STRAHL  
SEHEN !!!!!**

Zu 1a) Bestimmen Sie die Lage der Maxima; vgl. Walcher: Praktikum der Physik. Man überlege, ob man anstelle des Sinus den Tangens zur Rechnung verwenden kann.

Zu 1b) Messen Sie den Intensitätsverlauf des Beugungsbildes mit dem CdS- System aus, wobei Sie auf die Erfassung des zentralen Maximums verzichten können. Vergleichen Sie den theoretischen Verlauf. Die Spaltbreite wird mit Hilfe einer Fühllehre eigestellt und optisch nach dem Besselverfahren (siehe Walcher, Physikalisches Praktikum) kontrolliert.

Zu 2) Justieren Sie das Gitter senkrecht zum Strahlengang ein, mit der verspiegelten Seite zum Beobachter. Fehlerbeobachtung!



**NICHT IN DEN LASER - STRAHL  
SEHEN !!!!!**

Zu 3) Verwenden Sie divergentes Licht, das Sie am besten mit einer Linse  $f = 60\text{mm}$  in Zentrierfassung herstellen. Bringen Sie den Meßverschiebereiter parallel zum Strahlengang. Verwenden Sie die Lochblende. Ermitteln Sie möglichst genau den Ort des Brennpunkts. Stellen Sie fest, bei welcher Entfernung der Lochblende vom Brennpunkt auf dem Schirm Dunkelheit herrscht. Bestimmen Sie aus diesen Daten die Wellenlänge. (Den Durchmesser der Lochblende kann man ebenfalls nach dem Bessel-Verfahren genau ermitteln. Benutzen Sie hierzu eine Abbildungslinse  $f = 20\text{mm}$ ).

**Zusatzaufgabe:**

4. Stellen Sie mit dem CdS-System das Verhältnis der Intensität ohne Blende zur Intensität bei Abdeckung aller Zonen außer der ersten fest.

**Literatur:**

Bergmann-Schaefer	Lehrbuch der Experimentalphysik Bd. III
Bergmann-Schaefer	Lehrbuch der Experimentalphysik Bd. I (Huyghens-Fresnel'sches Prinzip)
Lüscher	Experimentalphysik Bd. II
Martienssen	Einführung in die Physik IV
Gerthsen	Physik

**Ergänzungsliteratur:**

Born	Optik
Born und Wolf	Principles of Optics
Champeney	Fourier Transforms and their Physical Applications

**Stichworte zur Vorbereitung:**

- Kohärenzbedingungen (s.z.B. Martienssen)
- Fresnel- und Fraunhofer Beugung
- Fresnelsche Zonen
- Beugung am Spalt und am Gitter, Erzeugung von Licht,
- Babinet'sches Prinzip
- Kohärenz bei verschiedenen Lichtquellen
- Zusammenhang der Fraunhofer Beugung mit der
- Fouriertransformation (s.z.B. Martienssen und Champeney)
- Strukturbestimmung mit Röntgenstrahlen

Versuch Nr. 19

## **19. Michelson - Interferometer**

### **Zubehör:**

- Grundplatte
- Wolfram-Lampe
- Quecksilberdampf Lampe
- Natriumdampf Lampe
- Spiegel verschiebbar mit Mikrometerschraube
- Spiegel justierbar
- Strahlenteilerplatte mit Ausgleichplatte
- teildurchlässiger Spiegel Perot-Fabry
- Engpaßfilter für  $\lambda = 546.1 \text{ nm}$
- Beobachtungsrohr
- Fernrohr
- Abbe-Refraktometer

### **Aufgaben:**

1. Justieren Sie das Interferometer und eichen Sie mit Hilfe der grünen Hg-Linie ( $\lambda = 546.1 \text{ nm}$ ) den Vorschub der Mikrometerschraube am verstellbaren Spiegel.
2. Suchen Sie die Stellung  $d = 0$
3. Bestimmen Sie die mittlere Wellenlänge der Natrium-D-Linien
4. Messen Sie den Wellenlängenunterschied zwischen Na D<sub>1</sub> und Na D<sub>2</sub> Linie.
5. Bestimmen Sie die Dicke eines Deckglases bei leicht geneigten Spiegeln mit Hilfe der grünen Hg-Linie. Messen Sie den Brechungsindex des Glases mit dem Abberefraktometer.

**Literatur:**

Bergmann-Schaefer	Lehrbuch der Experimentalphysik Bd. III
Kohlrausch	Praktische Physik Bd. I
Frankon	Moderne Anwendungen der physikalischen Optik

**Ergänzungsliteratur:**

Martienssen	Einführung in die Physik IV
-------------	-----------------------------

**Stichworte zur Vorbereitung:**

- Kohärenzbedingungen (s.z.B. Martienssen)
- Interferenzen an planparallelen Platten
- und keilförmigen Schichten
- Vielstrahlinterferenzen
- Interferenzordnung
- Auflösungsvermögen
- Michelson-Interferometer
- Abberfraktometer
- verschiedene Interferometer und deren Anwendung
- Aufspaltung der Na-D-Linie (s.z.B. Finkelburg " Einführung in die Atomphysik ", " Dublettcharakter der Spektren von Einelektronenatomen " oder Schpolski " Atomphysik II ")

Versuch Nr. 20

## **20. Spektrometer**

- Zubehör:**
- 1 Spektrometer-Goniometer
  - 1 Hg-Spektrallampe
  - 1 Na-Spektrallampe
  - 1 Spektrallampe
  - 3 Prismen
  - 1 Vorschaltgerät
  - 1 Untersatz
  - 1 Schieblehre

### **Aufgaben:**

1. Bestimmen Sie die Winkeldispersionskurve  $\delta_{\min}$  und die Brechzahlen  $n$  der drei Prismen als Funktion der Wellenlängen mit der Hg Lampe.
2. Messen Sie das Spektrum der He-Spektrallampe und bestimmen Sie anhand der Winkeldispersionskurve für das Prisma (3) die Wellenlängen.
3. Bestimmen Sie das Auflösungsvermögen  $A(\lambda)$  des Spektrometers für jedes der gegebenen Prismen.

Vergleichen Sie den theoretischen Wert des zum Trennen der beiden gelben Hg-Linien notwendigen Auflösungsvermögen mit dem experimentellen, den Sie durch Verengen des parallelen Strahlenbündels mit Hilfe des Messspaltes erhalten.

### **Hinweise**

- Bedienungsanleitung und Justierung siehe Druckschrift!

### **Literatur:**

W. Walcher	Praktikum der Physik
Bergmann-Schaefer	Lehrbuch der Experimentalphysik Bd. III
Kohlrausch	Praktische Physik Bd. I
Kohlrausch	Praktische Physik Bd. III

### **Stichworte zur Vorbereitung:**

- Brechung, Dispersion

- Brechung von Lichtbündeln an Prismen
- Beugung am Spalt
- Auflösungsvermögen eines Prismenspektrometers
- Spektren gasförmiger und fester Körper
- Breite von Spektrallinien
- Spektrallampen
- Ursache der Dispersion (Polarisation im Dielektrikum)
- Entstehung von Spektren im Spektralbereich von Radiowellen bis  $\gamma$ -Strahlen.

### **Spektrallinien von Hg**

- 579.07 nm gelb sehr stark
- 576.96 nm gelb sehr stark
- 546.07 nm grün stark
- 491.60 nm blaugrün mittel
- 435.84 nm blau stark
- 407.78 nm violett mittel
- 404.66 nm violett mittel

### **Spektrallinien von Na**

- 616.08 nm gelbrot mittel
- 615.42 nm gelbrot mittel
- 589.59 nm gelb stark D<sub>1</sub>
- 589.00 nm gelb mittel D<sub>2</sub>
- 567.57 nm gelbgrün schwach
- 567.02 nm gelbgrün schwach



Versuch Nr. 21

## **21. Temperaturstrahlung**

### **Zubehör:**

Aufgabe 1: Optische Bank

- Lesliewürfel
- Thermosäule
- Meßverstärker
- Vielfachmeßinstrument

Aufgabe 2: Optische Bank

- Rohröfen mit gekühlter Blende
- Thermosäule
- Regeltrafo
- Vielfachmeßinstrument

Aufgabe 3: dasselbe wie unter 2

- zusätzlich:
- 1 Irisblende
- 1 Pappröhre

Aufgabe 4: Optische Bank

- 12 Volt Lampe
- Netzgerät
- Pyrometer "Optix"
- 1 große Pappröhre

### **Aufgaben:**

1. Wärmestrahlung verschiedener Oberflächen. Bestimmen Sie das relative Emissionsvermögen der vier Flächen des Lesliewürfels.

### **Hinweise:**

- Füllen Sie den Lesliewürfel mit heißem Wasser, bringen Sie nacheinander seine vier Flächen vor die Thermosäule (Abstand ungefähr 1/2 m).
- Bestimmen Sie das Verhältnis der Strahlungsleistungen der vier Flächen, wobei der Maximalausschlag des Vielfachmeßinstruments mit Hilfe der am stärksten strahlenden Fläche einzuregulieren ist.

- Die Strahlungsdichte eines schwarzen Strahlers in verschiedenen Entfernungen.  
Ermitteln Sie das Gesetz, nach dem die Strahlungsdichte eines schwarzen Körpers (Rohröfen) mit dem Abstand zusammenhängt.

### **Hinweise:**

- Zu Beginn des Versuches (noch vor Ausführung von Aufgabe 1) ist der Rohröfen mit 0.75 A zu beheizen. Im Laufe einer Stunde steigt die Temperatur auf etwa 350 °C. Temperaturkonstanz abwarten. Bringen Sie die Thermosäule in ca. 25cm Abstand von der strahlenden Öffnung.
- Zusammenhang zwischen abgestrahlter Leistung und Temperatur eines schwarzen Strahlers (erstes Beispiel für Stefan-Boltzmannsches Strahlungsgesetz).  
Messen Sie bei festem Abstand zwischen Thermosäule und Strahler die von diesem angegebene Leistung als Funktion seiner Temperatur. Ermitteln Sie die zu Grunde liegende Gesetzmäßigkeit.  
Ermitteln Sie den Absolutwert der Stefan-Boltzmannschen Strahlungskonstanten.

### **Hinweise:**

- Abstand Thermosäule strahlende Öffnung ca. 50 bis 60 cm. Bringen Sie die Irisblende direkt vor die Thermosäule und justieren Sie den Strahlengang auf maximalen Ausschlag. Sodann schalten Sie die Heizung ab und messen die Leistung als Funktion der Ofentemperatur bis herab zu ca. 150 °C (ca. 20 Meßpunkte).



## **Achtung:**

- Diesen Teil des Versuchs gut vorplanen. Eine Wiederholung der Messung ist in der vorgegebenen Praktikumszeit kaum möglich.
  - Zur Ermittlung des Absolutwertes der Stefan-Boltzmannschen Strahlungskonstanten benötigen Sie:
    - 1) Verstärkungsfaktor des Meßverstärkers
    - 2) Empfindlichkeit der Thermosäule
- Zusammenhang zwischen Leistungsaufnahme einer Glühbirne und Temperatur des Fadens (zweites Beispiel für Stefan-Boltzmannsches Strahlungsgesetz).  
Ermitteln Sie für verschiedene elektrische Leistungen die Temperatur eines Glühfadens. Stellen Sie den Zusammenhang zwischen Leistung und Temperatur dar.

**Hinweise:**

- Die Lampe ist in ihrem Abstand so zu justieren, daß, durch das Fernrohr gesehen, die Wendel scharf abgebildet wird. Betriebsanleitung zum
- Pyrometer genau durchlesen. Machen Sie sich zuerst mit der Handhabung vertraut.

**Literatur:**

R.M.Eisberg	Fundamentals of Modern Physics (Chapter 2 very good)
Martienssen	Einführung in die Physik IV
Bergmann-Schaefer	Lehrbuch der Experimentalphysik Bd. III
Gerthsen	Physik
Schpolski	Atomphysik, Bd. I
Kohlrausch	Praktische Physik, Bd. III, Tafeln
	Praktische Physik, Bd. I, visuelle Pyrometer

**Ergänzungsliteratur:**

Weizel	Lehrbuch der theoretischen Physik Bd. I
--------	---

**Stichworte zur Vorbereitung:**

- Emissionsvermögen, Absorptionsvermögen
- schwarzer Strahler, grauer Strahler, Farbtemperatur
- schwarze Temperatur
- Kirchhoffsches Gesetz
- Planck'sches Strahlungsgesetz
- Stefan-Boltzmannsches Gesetz
- Wien'sches Strahlungsgesetz
- Rayleigh-Jeansches Strahlungsgesetz
- Pyrometrie

**Apparatives:****Die Thermosäule**

- Die Thermosäule enthält am Ende des in sie eingearbeiteten Metalltrichters eine geschwärzte Scheibe. Auf dieser liegen 16 Thermolemente. Dies sind Bändchen aus Konstantan und Manganin, die mit Silber zusammengelötet und vorderseitig mit Ruß geschwärzt sind. Jedes Band ist etwa 0.5 mm breit und 5  $\mu$ m dick. Die Lötstellen liegen auf dem senkrechten Durchmesser der Fläche, während die Enden der Bändchen an dickere Kupferstäbe gelötet sind, so daß ihre Temperatur konstant und gut definiert ist. Der

Innenwiderstand der Thermosäule beträgt ungefähr 10 Ohm und die Empfindlichkeit ca. 0.16 mV/mW. Man behafte diese Werte mit einem Fehler von +/- 20%

- Bei Bestrahlung entsteht in der Thermosäule eine thermoelektrische Spannung, die mit dem Meßverstärker und dem Vielfachmeßinstrument gemessen wird. Die Thermosäule ist sehr empfindlich, da in Folge der geringen Wärmeleitfähigkeit der dünnen Bändchen deren Temperatur bei der Bestrahlung verhältnismäßig hoch ansteigt.
- Die Thermosäule ist mit einer Schutzkappe versehen, die zu Beginn der Messung abgenommen wird und nach Beendigung des Versuches unbedingt wieder aufgesetzt werden muß!!!

Versuch Nr. 22

## **22. Reflexion von Licht an Glas-Luft-Grenzflächen**

- Zubehör:**
- 2-Kreis-Goniometer für Glasplatte und Si-PIN-Diode mit Lichtschutzdeckel
  - He-Ne-Laser, Leistung 2 mW, polarisiert
  - Neutralfilter  $D = 2.6$
  - Folienpolarisator
  - Digital-Multimeter
  - Glasplatte, Dicke 4 mm, planparallel geschliffen und poliert, Brechungsindex  $n = 1.5092$

### **Aufgaben:**

1. Justieren der Glasplatte und der Diode
  - a) Richten Sie die Glasplatte bezüglich des Lichtbündels senkrecht aus (Rückreflexion)
  - b) Verschieben Sie eine Seite der Glasplatte solange, bis sie genau in der Drehachse des Goniometers liegt.
  - c) Richten Sie die Si-PIN-Diode zum Laserstrahl aus (maximale Intensität). Überprüfen Sie, ob das Licht in einer Ebene, die parallel zur Drehebene der Glasscheibe ist, reflektiert wird.
2. Verändern Sie die Stellung des Polarisators so, dass das Licht in der Einfallsebene polarisiert ist.
3. Messen Sie die Intensität des Laserlichts ( $I_0$ ).

Messen Sie abhängig vom Einfallswinkel die Intensität des an der vorderen Fläche reflektierten Lichtes, sowie das Licht, das von der hinteren Fläche des Glases reflektiert wird, mit der in Aufgabe 2 eingestellten Polarisatorstellung.
4. Drehen Sie den Polarisator um  $90^\circ$ , bestimmen Sie erneut  $I_0$ , und messen Sie wie in Aufgabe 3) die Intensität der beiden reflektierten Lichtbündel.
5. Berechnen Sie das Reflexionsvermögen abhängig von der Polarisationsrichtung für die beiden reflektierten Lichtbündel mit Hilfe der Fresnelschen Formeln und stellen Sie Rechnung und Messung graphisch dar.

### **Literatur:**

M. Born	Optik
Bergmann-Schäfer	Lehrbuch der Experimentalphysik Bd. III

**Stichworte zur Vorbereitung:**

- Fresnelsche Formeln für die Reflexion und Brechung ebener Wellen
- Grenzbedingungen an der Ebene zwischen zwei dielektrischen Medien für die elektrischen Felder und die magnetischen Felder
- Intensität einer ebenen Welle
- Brewster Winkel
- Polarisierung von elektromagnetischen Wellen

**Sicherheitshinweise:**

- **Arbeiten Sie nie ohne den Abschwächer, da sonst ohne Laserschutzbrillen Ihre Augen verletzt werden können, auch von reflektiertem Licht.**
- **Sollten Sie es für nötig halten, den Abschwächer aus seiner Halterung zu nehmen, fragen Sie zuerst den Betreuer. Arbeiten Sie dann nur mit einer Laserschutzbrille.**

Versuch Nr. 23

## **23. Poggendorfsche Kompensationsmethode und Wheatstone-Brücke**

### **Zubehör:**

- 1 Widerstandsdekade
- 1 Schaltbrett für Kompensationsmethode und Brücke
- 1 Kondensator
- unbekannte Widerstände, unbekannte Kapazitäten
- 1 Akkumulator, 1 Meßspannungsquelle
- 1 Wechselspannungsgenerator
- 1 Vielfachmeßgerät
- 1 Morsetaster

### **Aufgaben:**

1. Messen Sie die EMK des Akkumulators nach der Poggendorfschen Kompensationsmethode mit Hilfe einer Meßspannungsquelle, deren EMK in willkürlichen Einheiten gleich 1 gesetzt werde.
2. Messen Sie mit der Wheatstone-Brücke zwei unbekannte Widerstände.
3. Messen Sie mit der Wechselstrombrücke die Kapazität eines unbekanntes Kondensators, sowie Real- und Imaginärteil der Impedanz eines verlustbehafteten Kondensators. Geben Sie die Ersatzschaltbilder dieses Kondensators an, indem Sie zunächst eine Serienschaltung von Verlustwiderstand und Kapazität verwenden, danach dann eine Parallelschaltung.
4. Berechnen Sie die Wheatstone-Brücke für den Fall, daß noch ein Strom fließt. Schätzen Sie ab, unter welchen Bedingungen das Stromsignal proportional zur Widerstandsänderung ist.

### **Literatur:**

W.Walcher	Praktikum der Physik
Bergmann-Schaefer	Lehrbuch der Experimentalphysik Bd. II
Kohlrausch	Praktische Physik Bd. II
F.X.Eder	Moderne Meßmethoden der Physik
Meinke	Die komplexe Berechnung von Wechselstrom Schaltungen (Sammlung Göschen 5156)

**Stichworte zur Vorbereitung:**

- Kirchhoffsche Regeln
- Gleichspannungsquellen, EMK
- Brückenschaltungen
- Strom und Spannungsmessungen
- Kapazitäten, Induktivitäten
- komplexe Widerstände



## Versuch 24

## 24. Versuch wird gegenwärtig nicht mehr durchgeführt: Spiegelgalvanometer

- Zubehör:**
- 1 Spiegelgalvanometer der Firma Leybold mit Lampe, Transformator und Skala
  - 1 Stoppuhr
  - 1 Akkumulator
  - 1 Voltmeter
  - 1 Morsetaster
  - Präzisionswiderstände
  - Kondensatoren

### Aufgaben:

1. Man bestimme den äußeren Grenzwiderstand  $R_g$  des Galvanometers, indem man, vom Schwingfall herkommend, durch Schrittweise Erhöhung der Dämpfung den Grenzfall ermittelt. Man trage die zeitabhängigen Auslenkungen  $a_i(t)$  des Lichtzeigers für einen Schwingfall, für den Grenzfall und für einen Kriechfall in reduzierter Form (d.h. auf den Anfangsausschlag bezogen) in ein gemeinsames Schaubild ein.
2. Man bestimme den äußeren Grenzwiderstand des Galvanometers grafisch mittels der zur Ordinate parallelen Asymptote der Abhängigkeit  $\alpha = \alpha(R_a)$  des Logarithmischen Dekrements vom äußeren Widerstand  $R_a$  des Galvanometerkreises.
3. Man bestimme den inneren Widerstand  $R_i$  des Galvanometers
  - a) nach der Methode der Ausschlagshalbierung
  - b) grafisch aus der Abhängigkeit

$$(1a) \quad \frac{l}{a} = y(R) + B \cdot R$$

$$(1b) \quad A = \frac{l}{C_I U_0} \frac{R_1}{R_2} (R_i + R_2)$$

$$(1c) \quad B = \frac{l}{C_I U_0} \frac{R_1}{R_2}$$

wobei  $a(R)$  den Ruheausschlag in Abhängigkeit vom regelbaren Widerstand  $R$  bei vorgegebener Spannungsteilerschaltung bedeutet (siehe Schaltbild).

4. Man bestimme grafisch die auf einen Skalenabstand von 1000mm bezogene Stromempfindlichkeit des Galvanometers, ebenfalls unter Benutzung der Beziehungen (1). Die Stromempfindlichkeit  $C$  ist definiert durch die Gleichung

$$(2) \quad a(I) = C \cdot I$$

wobei  $I$  die Stromstärke im Galvanometer bedeutet.  $C$  sollte bei nicht allzu großen Ausschlägen unabhängig von  $I$  sein.

5. Man eiche das Instrument als ballistisches Galvanometer und bestimme die ballistische Empfindlichkeit  $C_b$ , die vom jeweiligen Dämpfungswiderstand abhängt, für

a) den aperiodischen Grenzzustand,

b) den dämpfungsfreien (genauer auf Luftdämpfung reduzierten) Zustand.

$C_b$  ist definiert durch die Gleichung

$$(3) \quad a_m = \frac{I}{\lambda} + C_b Q$$

wo  $a_m$  den Maximalausschlag,  $Q$  die durch das Instrument fließende Ladungsmenge und

$$(4) \quad \lambda = \exp\left(\frac{\Lambda}{2\pi} \arctan \frac{2\pi}{\Lambda}\right)$$

einen Dämpfungsparameter bedeuten.

Es gelten die Beziehungen

a)  $C = C_1 (2\pi/T_0)$  für den dämpfungsfreien Fall,

b)  $C_b = C_1 \exp(2\pi/T_0)$  für den aperiodischen Grenzfall,

deren Gültigkeit man anhand des Ergebnisses von Aufgabe 4) prüfe.

Es sind  $T_0$  die auf den ungedämpften Zustand umgerechnete Schwingungsdauer und  $e$  die Basis des natürlichen Logarithmus.

### **Literatur:**

W.H.Westphal;

Physikalisches Grundpraktikum

F.X.Eder;

Moderne Meßmethoden der Physik Teil 3

### **Stichworte zur Vorbereitung:**

- Kräfte auf Leiter im Magnetfeld
- Induktion Gedämpfte Schwingung
- Spiegelgalvanometer
- andere Strom und Spannungsmessgeräte
- Grenzen der Empfindlichkeiten

Versuch Nr. 25

## **25. Der Transformator**

- Zubehör:**
- 1 Transformator
  - 1 RC-Generator
  - 2 Transistorvoltmeter
  - 1 Vielfachmeßinstrument
  - 1 Widerstandsdekade

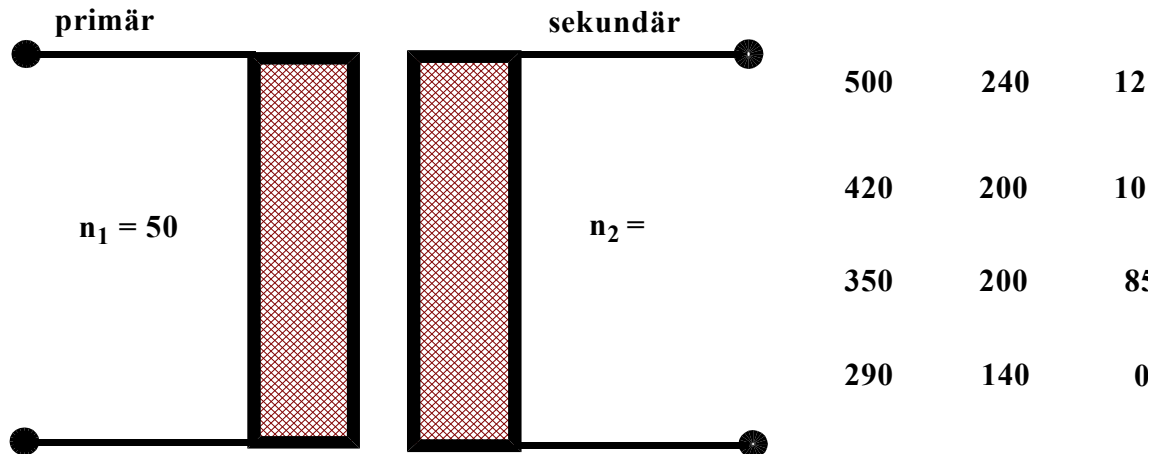
### **Aufgaben:**

1. Messen Sie bei sekundärseitigen Abgriffen (zwischen 15 und 500 Windungszahlen) Spannung oder Strom (Sekundärseite) bei Leerlauf, Kurzschluß sowie zwei weiteren Abschlußwiderständen. Messen Sie gleichzeitig jeweils Primärspannung und Primärstrom. Führen Sie die Messung bei 100Hz und 300Hz durch. Stellen Sie die Ergebnisse graphisch dar.
2. Bestimmen Sie die Ausgangsimpedanz der Sekundärseite des Transformators für diejenige Anzapfung, für die Sie maximale Ausgangsleistung bei einem der verwendeten Abschlußwiderstände gemessen haben.
3. Berechnen Sie für einige Anzapfungen (mindestens 3) Kopplungsgrad und Induktivitäten des Transformators bei 100Hz und 300Hz.
4. Diskutieren Sie den Zusammenhang zwischen Spannungsübersetzungsverhältnis und Windungszahlverhältnis bei den zwei Abschlußwiderständen .

### **Hinweise:**

- Die Innenwiderstände der Meßgeräte sollen bei den Messungen berücksichtigt werden.

Wickelschema des Transformators:



### Literatur:

H.Schröder	Elektrische Nachrichtentechnik
H.Neuman	Das Messen mit elektrischen Geräten
K.Küpfmüller	Theoretische Elektrotechnik
W.Weizel	Lehrbuch der theoretischen Physik Bd. I
Meinke	Die komplexe Berechnung von Wechselstromschaltungen (Sammlung Göschen)

### Stichworte zur Vorbereitung:

- Maxwell'sche Gleichungen, integrierte Form
- Induktionsgesetz, Durchflutungsgesetz
- Permeabilität, Ferromagnetismus, Hysterese
- Magnetische Energie, Wirbelströme
- Induktionsflußdichte, Magnetische Feldstärke
- Magnetischer Fluß
- Induktivitäten
- Komplexe Darstellung elektrischer Größen, Strom- und Spannungsmessung, Leistung, Leistungsanpassung
- Betatron!

Versuch Nr. 26

## 26. Kennlinien von Glühlampe, Z-Diode und Transistor

- Zubehör:**
- 2 stabilisierte Netzgeräte 0 - 30 V
  - 1 stabilisiertes Netzgerät 0 - 250 V
  - 2 Transistorvoltmeter (TVM)
  - 1 Vielfachmeßinstrument
  - 1 Metallfadenlampe
  - 1 Kohlefadenlampe
  - 1 Transistor
  - 1 Z-Diode
  - 1 Regeltrafo (Spartrafo)
  - 1 Potentiometer
  - 1 Schaltkasten
  - diverse Widerstände
  - 1 Versuchsbetreuer mit viel Geduld



**Vor Anlegen der jeweils nötigen Spannung verständigen Sie bitte den VERSUCHSBETREUER!!!!**



**Bei Änderung an der Schaltung STETS Versorgungsspannung abschalten!!!!**

**Aufgaben:**

1. Bauen Sie die Schaltung nach Abb. 1 auf und messen Sie die  $U(I)$ -Kennlinien einer Kohlefade- und einer Metallfadenlampe. Achten Sie darauf, daß die maximale Betriebsspannung der Lampe nicht überschritten wird.

Tragen Sie die erhaltenen  $U, I$ -Wertepaare in Millimeterpapier ein.

2. Bauen Sie die Schaltung nach Abb. 2 auf und messen Sie damit die  $I(U)$ -Kennlinie der Zenerdiode (beide Äste)

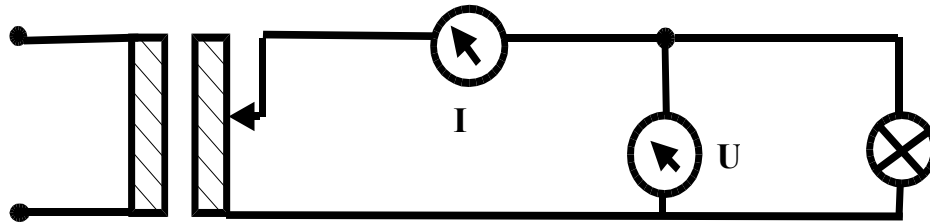


Abb. 1: Kennlinien von Lampen

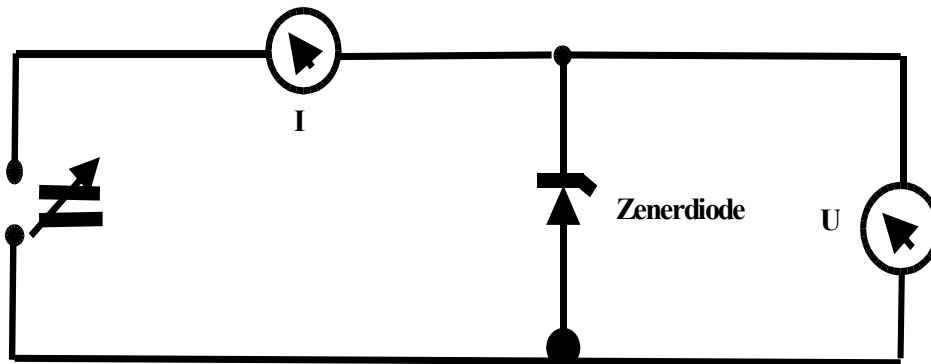


Abb. 2: Kennlinie einer Z-Diode

Absolute Grenzwerte der Z-Diode:

$$I_{\max} = 100\text{mA}, P_{\max} = 250\text{mW}.$$

Achten Sie darauf, daß diese Werte NIE überschritten werden.

Stellen Sie folgende Stromwerte ein:

1µA, 2µA, 5mA, 10µA, ...

- 2.1. Tragen Sie Durchlaß- und Arbeitskennlinie in ein linear geteiltes Vierquadranten-Achsenkreuz mit gleicher Teilung der positiven und negativen I<sub>z</sub>-Achse ein. Berechnen Sie zusätzlich einige Punkte der Verlustleistungshyperbel (Gleichung?) und tragen Sie in das Diagramm ein.
  - 2.2. Zeichnen Sie die Durchlaßkennlinie auf einfachlogarithmisches Papier (U-Achse linear geteilt), ebenso die Arbeitskennlinie (auf einem anderen Blatt). Was folgern Sie daraus?
3. Bauen Sie die Regelschaltung nach Abb. 3 auf.

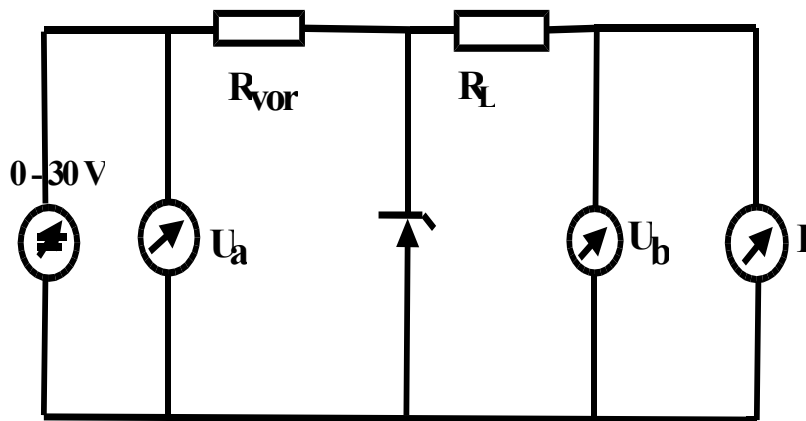


Abb. 3 Regelschaltung

- 3.1. Stellen Sie U<sub>a</sub> auf 15V ein und verändern Sie U<sub>a</sub> nicht mehr. Messen Sie U<sub>b</sub> = U<sub>b</sub>(I) durch Ändern von R<sub>L</sub> = 0 bis R<sub>L</sub> max sowie R<sub>L</sub> = unendlich. Tragen Sie U<sub>b</sub> als Funktion von I auf.
- 3.2. Berechnen Sie den Verlauf der Funktion U<sub>b</sub> = U<sub>b</sub>(I) der Schaltung nach Abb. 3 ohne die Z-Diode und tragen Sie sie in das Diagramm von 3.1 ein. Dabei dürfen Sie den Innenwiderstand der Spannungsmesser als unendlich annehmen.
- 3.3. Bestimmen Sie aus den Graphen von a) und b) den differentiellen Ausgangswiderstand

$$r_{diff} = \left( \frac{\partial U_b}{\partial I} \right)_{U_a = const}$$

- 3.4. Diskutieren Sie die Ergebnisse von a) bis c) .

- 3.5. Stellen Sie  $R/L$  so ein, daß der Strom  $I$  die Hälfte des maximalen Stromes von a) (bei  $R/L = 0$ ) ist. Ändern Sie  $U_a$  von 0 bis  $U_a \text{ max}$ . Tragen Sie  $U_b$  als Funktion von  $U_a$  auf.
  - 3.6. Berechnen Sie den Verlauf der Funktion  $U_b = U_b(U_a)$  der Schaltung nach Abb. 3 ohne die Z-Diode und tragen Sie sie in das Diagramm von e) ein.
  - 3.7. Bestimmen Sie aus den Graphen von e) und f) den absoluten Stabilisierungsfaktor
  - 3.8. Diskutieren Sie die Ergebnisse von e) bis g) .
4. Bauen Sie die Schaltung nach Abb. 4 auf.

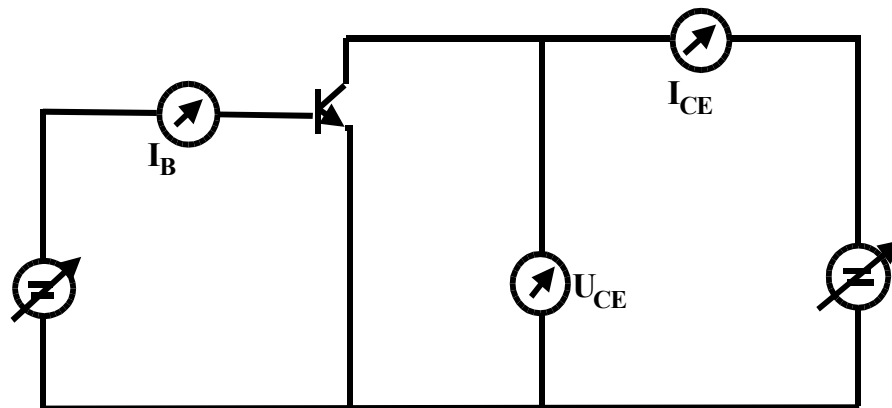


Abb. 4 Transistorkennlinien

Wie müssen die beiden Spannungsquellen gepolt sein?

4.1. Nehmen Sie die  $I_C(U_{CE})$ -Kennlinien mit  $I_B$  als Scharparameter auf.



**ACHTUNG!**  
**Weder  $I_C \text{ max} = 30 \text{ mA}$**   
**noch  $U_{CE} \text{ max} = 30 \text{ V}$**



# noch $P_{\max} = 360 \text{ mW}$ dürfen überschritten werden!!!!

Stellen Sie  $I_B$ -Werte zwischen  $10\mu\text{A}$  und  $1\text{mA}$  ein.

- 4.2. Zeichnen Sie die Kurvenschar  $I_C(U_{CE})$  mit  $I_B$  als Scharparameter und die Verlustleistungshyperbel (Gleichung?) in ein Diagramm ein.
- 4.3. Bestimmen Sie den Ausgangswiderstand  $r_{CE}$  für jede Kennlinie. Wenn der Ausgangswiderstand möglichst groß sein soll (wie z.B. bei einer Konstantstromquelle), was folgt daraus für  $I_B$ ?
- 4.4. Bestimmen Sie die Gleichstromverstärkung  $B$  und die Kleinsignalstromverstärkung  $\beta$  für jede Kennlinie und vergleichen Sie die erhaltenen Werte.
- 4.5. Was bemerkt man an  $I_B$  beim Ändern von  $U_{CE}$ ?

## Literatur:

Bergmann-Schaefer	Lehrbuch der Experimentalphysik Bd. II
Gerthsen	Physik
W. Walcher	Praktikum der Physik
Walter Conrad	Elektronik und Funktechnik (Meyers Taschenlexikon)

## Ergänzungsliteratur:

Schröder	Elektrische Nachrichtentechnik I
Tietze-Schenk	Halbleiterschaltungstechnik Kap.3; 6.1
Lennartz-Traeger	Transistorschaltungstechnik
Kretzmann	Handbuch der Elektronik

## Stichworte zur Vorbereitung:

- Kirchhoff'sche Gesetze, Ladungserhaltung
- Ohm'sches Gesetz, Bändermodell der Festkörper
- Leitfähigkeitsmechanismen in Metallen u. Halbleitern und ihre Temperaturabhängigkeit
- Raumladungswolken; Rekombination
- Potential, Potentialschwellen
- Bewegung von Ladungsträgern in elektr. Feldern
- Beweglichkeit; Erzeugung von Ladungsträgern
- Arbeitspunkte; Verstärkungsfaktoren

- Zener-Diode, Transistor, Diode
- Stefan-Boltzmann'sches Gesetz (für die Temperaturabhängigkeit von Gleichungen)

Versuch Nr. 27

## **27. Zweipole**

### **Zubehör:**

- 1 Zweistrahloszillograph
- 1 Sinusgenerator
- 2 Transistorvoltmeter (TVM)
- 1 Spule
- 1 Kondensator
- 1 Widerstand
- 1 Widerstand mit bekanntem Wert

### **Hinweis**

- Lassen Sie die Schaltung vor Anschließen des Sinusgenerators bitte vom Versuchsbetreuer überprüfen.
- Reelle (rein ohm'sche) Widerstände werden als Vektor  $R$  (in der Literatur auch Scheinwiderstand oder Impedanz mit  $Z$ ) bezeichnet. Z.B. bezeichnet  $R_L$  den ohm'schen Widerstand einer (nicht idealen) Induktivität.

### **Aufgaben:**

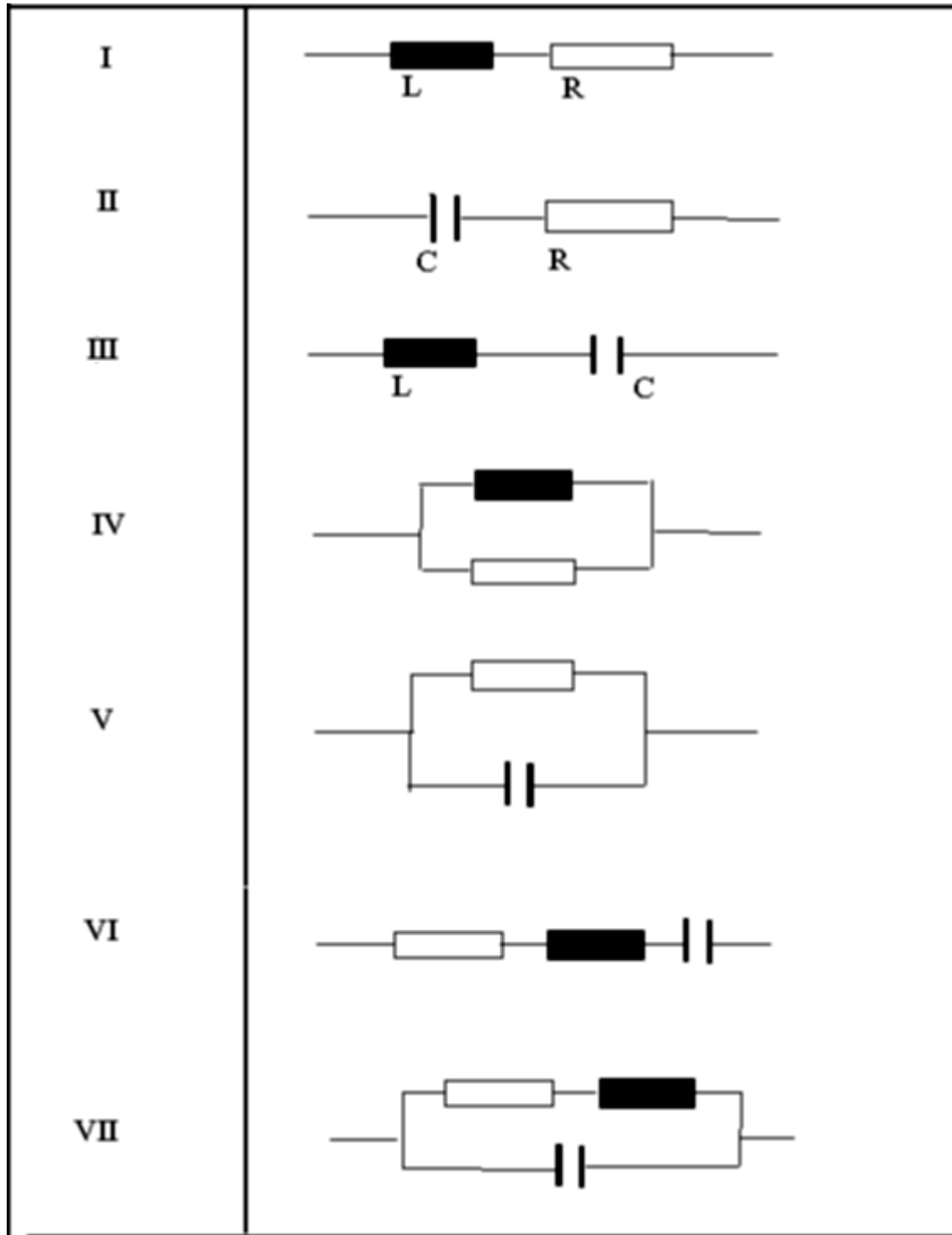
1. Bestimmen Sie mit dem Ohmmeter des Vielfachinstrumentes und des TVM die unbekanntem ohm'schen Widerstände von
  - 1.1. Spule ( $R_L$ )
  - 1.2. Kondensator ( $R_C$ )
  - 1.3. Widerstand ( $R$ )
2. Da die unter 1. genannten Ohmmeter recht ungenau sind (Gründe?) bestimmen Sie die unbekanntem ohm'schen Widerstände von
  - 2.1. Spule ( $R_L$ )
  - 2.2. Kondensator ( $R_C$ )
  - 2.3. Widerstand ( $R$ ) durch mehrere Strom- und Spannungsmessungen mit Gleichstrom. Überlegen Sie sich, welche Fehler bei gleichzeitiger Messung von Strom und Spannung auftreten und wie sie vermieden bzw. klein gehalten werden können.

3. Da sich der komplexe Widerstand von Spule und Kondensator aus einem Gleichstromwiderstand und einem Wechselstromwiderstand zusammensetzt, bestimmen Sie den Gesamtwiderstand dieser Bauteile durch mehrere Messungen von Strom und Spannung bei verschiedenen Frequenzen.
  - 3.1. Bestimmung von  $R_L$
  - 3.2. Bestimmung von  $R_C$Fahren Sie dabei den gesamten Frequenzbereich des Generators durch (pro Meßbereich 2-3 Messungen) und stellen Sie die Frequenzabhängigkeit des Widerstandes graphisch dar.
4. Berechnen Sie mit Hilfe der Meßwerte aus 2. 3.
  - 4.1. die Induktivität  $L$
  - 4.2. die Kapazität  $C$
5. Berechnen Sie den Gesamtwiderstand  $R_{ges}$  sowie die Phasenverschiebung  $\tan \delta$  der Zweipole I, IV, VI oder II, V, VII. Bitte stellen Sie die Rechnung ausführlich dar und schreiben Sie nicht nur das Ergebnis hin.
6. Messen Sie den Gesamtwiderstand  $R_{ges}$  und Phasenverschiebung  $\tan \delta$  von zwei der Zweipole I-VII bei verschiedenen Frequenzen nach Method 6.1.
  - 6.1. Messung mit einem Zweistrahloszillographen: Zweikanalbetrieb
  - 6.2. Messung mit Hilfe von Lissajous-Figuren: x-y Betrieb des Zweistrahloszillographen

### **Hinweis:**

- Beachten Sie daß die beiden Kanäle des Oszillographen eine gemeinsame Masse haben. Strommessungen erfolgen durch Spannungsmessungen an einem geeigneten Widerstand. Ein Kanal kann bei Bedarf invertiert werden.
  - Berechnen Sie die Gleichung (allgemein) der Lissajous-Figur, die entsteht, wenn beide Spannungen gleiche Frequenz aber beliebige Phasenverschiebungen gegeneinander haben. Diskutieren Sie die Sonderfälle: Phasenverschiebung (in Grad) : 0, 90, 180, 270, 360. Die Amplitude beider Spannungen sei gleich groß.
  - Die Wechselspannungen nehmen Sie bitte immer als sinusförmig an.
  - Bestimmen Sie aus den erhaltenen Lissajous-Figuren die Phasenverschiebung  $\tan \delta$  abhängig von der Frequenz.
    - 6.3. Berechnen Sie den Gesamtwiderstand  $R_{ges}$  sowie die Phasenverschiebung  $\tan \delta$  der Schaltungen, die Sie bei 6.1 und 6.2 verwendet haben, bei den jeweils verwendeten Frequenzen.
7. Diskutieren Sie die Versuchsergebnisse sowie die Übereinstimmung von Theorie und Experiment.

Zweipole:



**Literatur:**

Bergmann-Schaefer	Lehrbuch der Experimentalphysik Bd. I
W.Walcher	Praktikum der Physik
Gerthsen	Physik
Meinke	Die komplexe Berechnung von Wechselstromschaltungen (Sammlung Göschen)
F.X.Eder	Moderne Meßmethoden der Physik, Teil 3

**Ergänzungsliteratur:**

Weizel	Lehrbuch der theor. Physik Bd. I
--------	----------------------------------

**Stichworte zur Vorbereitung:**

- Kirchhoff'sche Regeln als Folgerung aus Ladungserhaltung und Eindeutigkeit des Potentials (z.B. Weizel)
- Vektorielle Formulierung des Ohm'schen Gesetzes
- Tensorielle Charakter von Materialeigenschaften
- Wechselstromwiderstände von Kondensator und Spule sowie von Zweipolen, gebildet aus Kondensator, Spule und Widerstand
- Komplexe Berechnung von Widerständen
- Unterschiede zwischen komplexen Widerständen und Vektoren
- Theorie der Lissajous-Figuren
- Prinzipieller Aufbau und Funktionsweise
  - a) von Vielfachmeßinstrumenten
  - b) Elektronenstrahloszillogaphen
- Fehler bei gleichzeitiger Strom und Spannungsmessung.

Versuch Nr. 28

## **28. Elektromagnetische Schwingkreise**

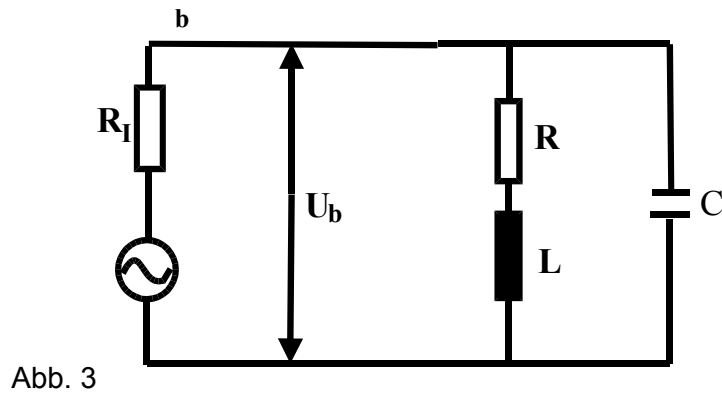
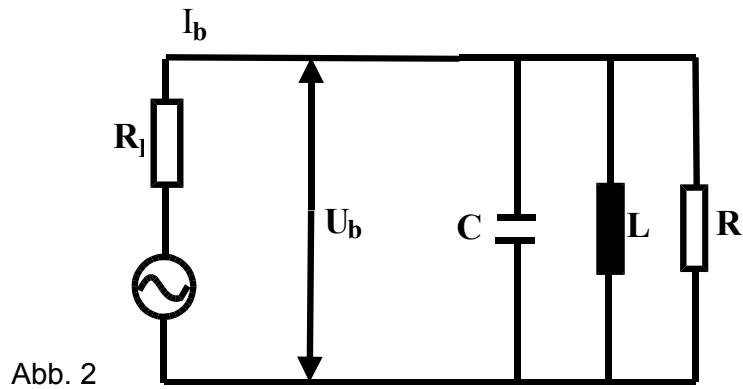
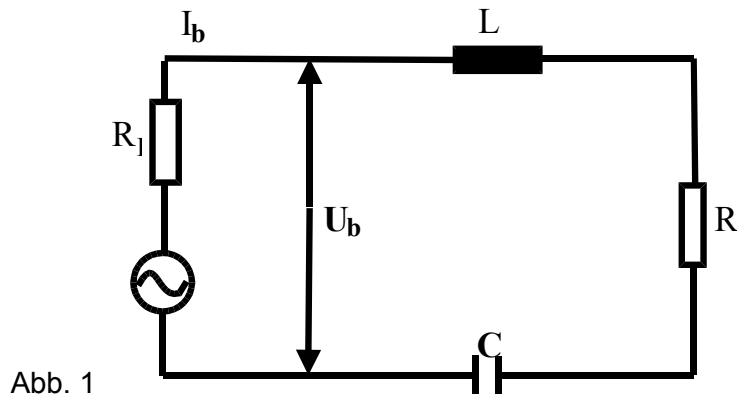
- Zubehör:**
- 1 Kondensator bekannter Kapazität
  - 1 Spule
  - Einige Widerstände
  - 1 Schaltbrett
  - 1 RC-Generator
  - 1 Frequenzzähler
  - 1 Oszillograph
  - 1 Bedienungsanleitung für Elektronenstrahloszillographen

### **Aufgaben:**

1. Stellen Sie die Differentialgleichungen für den Serienschwingkreis in Abb. 1, den Parallelschwingkreis in Abb. 2 und den Parallelschwingkreis, mit R zu L in Serie, in Abb.3 auf. Geben Sie die Lösungen, d.h. die Amplitude des Stromes  $I_K$  (der Spannung  $U_K$ ) im Kreis und die Phasenverschiebung zwischen Strom  $I_K$  (Spannung  $U_K$ ) und eingprägter Spannung  $U_K$  (eingprägter Strom  $I_K$ ) als Funktion von L, C und R bzw.  $R_L$  an, für die Fälle
  - a) niederohmig gespeister Serienschwingkreis,  $U_K = \text{const.}$
  - b) hochohmig gespeister Serienschwingkreis, Abb. 1,  $I_K = \text{const.}$
  - c) niederohmig gespeister Parallelschwingkreis,  $U_K = \text{const.}$
  - d) hochohmig gespeister Parallelschwingkreis, Abb. 2,  $I_K = \text{const.}$
  - e) hochohmig gespeister Parallelschwingkreis, mit R zu L in Serie  $I_K = \text{const.}$

Einschwingvorgänge sollen unberücksichtigt bleiben. Welche Größen des Serienschwingkreises und des mechanischen Schwingkreises (siehe Versuch DREHPENDEL) entsprechen einander?

**SCHALTBILDER:**



2. Das Resonanzverhalten von Schwingkreisen.  
 Bestimmen Sie die Induktivität der vorhandenen Spule mit Hilfe des angegebenen Kapazitätswertes des Kondensators 4 der folgenden Möglichkeiten:



- a) der Resonanzkurve des Stromes eines niederohmig gespeisten Serienkreises,  $U_K = \text{const.}$ ,
- b) der Phasenverschiebung zwischen eingprägter Spannung  $U_K$  und Spannung  $U_C$  am Kondensator eines niederohmig gespeisten Serienkreises,
- c) dem Verlauf von  $U_K$  an einem hochohmig gespeisten Serienkreis,  $I_K = \text{const.}$ ,
- d) dem Spannungsverlauf an L und C eines hochohmig gespeisten Serienkreises,
- e) dem Phasenunterschied zwischen Strom und Spannung an einem hochohmig gespeisten Serienkreis,
- f) der Resonanzkurve der Spannung eines hochohmig gespeisten Parallelkreises,
- g) dem Phasenunterschied zwischen Strom und Spannung am hochohmig gespeisten Parallelkreis,
- h) dem Stromverlauf an einem niederohmig gespeisten Parallelkreis.

Tragen Sie sämtliche erhaltenen Kurven über der Frequenzachse in ein gemeinsames Schaubild ein. Die Ordinatenwerte von Strom und Spannung müssen in willkürlichen Einheiten angegeben werden, da Sie keine experimentiellen Hilfsmittel zur Messung ihrer absoluten Größe zur Verfügung haben. Die unter a) und f) erhaltenen Kurven normieren Sie zweckmäßig, indem Sie alle Werte auf  $U_{\text{max}} = 1$  bzw.  $I_{\text{max}} = 1$  beziehen.

Geben Sie eine kurze Beschreibung der bei den Phasenvergleichen erhaltenen Lissajous-Figuren.

Bestimmen Sie L jeweils unter der Annahme vernachlässigbarer Dämpfung. Diskutieren Sie die prinzipiellen Fehler, die Sie dabei teilweise in Kauf nehmen. Schätzen Sie die experimentellen Fehler der einzelnen Meßergebnisse ab und geben Sie anschließend den Bestwert von L an.

3. Die Dämpfung von Schwingkreisen.  
Bestimmen Sie unter der Annahme, der Kondensator sei verlustfrei, den ohm'schen Widerstand der Spule aus der Güte
  - a) des Serienkreises
  - b) des Parallelkreises
4. Zusatzaufgabe.  
Untersuchen Sie einige Sie intressierende Frequenzabhängigkeiten aus Azfgabe 2 bei verschiedenen Dämpfungen.

### **Hinweise:**

- Die Aufstellung der Differentialgleichungen in Aufgabe 1 geschieht zweckmäßig mit Hilfe der Knotenregel und der Maschenregel. Die Lösungen können auf direktem Wege sehr effektiv über das Ohm'sche Gesetz und die Kirchhoff'schen Gesetze in komplexer Schreibweise erhalten werden.
- Überzeugen Sie sich jeweils durch Messung davon, ob die gewünschten Bedingungen "konstante Spannung im Kreis" oder "konstante Einströmung in den Kreis" tatsächlich

vorliegen. Durch günstige Wahl von Serienwiderständen können Sie bei hochohmiger Speisung gleichzeitig sicherstellen, daß für die Experimente im Kreis genügend Spannung zur Aussteuerung des Oszillographen zur Verfügung steht.

- Aufgabe 2 läuft praktisch darauf hinaus, die Resonanzfrequenz auf mehrere Arten zu bestimmen; anschließend wird jeweils die Thomsonsche Gleichung zur Bestimmung von  $L$  angewandt. Es möge Sie nicht verwirren, daß Sie zur meßtechnischen Durchführung einige Teile der Aufgabe 2 einen Widerstand  $R$  in den Resonanzkreis einfügen müssen (Abgreifen von Spannungen), obwohl jegliche Dämpfung bei der (stark vereinfachten) Auswertung vernachlässigt werden soll.
- Für die Teilaufgaben 2e) und 2g) benötigen Sie den Trenntrafo, um einen erdfreien Ausgang zu realisieren.
- In Aufgabe 3a) stehen Ihnen vier bequeme Methoden zur Bestimmung der Kreisgüte offen, wovon zwei nur bei geringen Verlusten genaue Ergebnisse liefern.
- In Aufgabe 3b) sollen Sie die Abb. 2 als Ersatzschaltbild für die tatsächlich vorliegenden Verhältnisse betrachten, die besser durch Abb. 3 dargestellt werden. Man kann zeigen, daß bei geringen Verlusten zwischen dem Wirkwiderstand oder Kreiswiderstand  $R$  des Parallelkreises in Abb. 2 und  $R_L$  in Abb. 3 die Beziehung

$$R = L/(R_L C)$$

gilt.

### **Literatur:**

R.Pohl	Einführung in die Physik, Bd. II
Gerthsen	Physik
H.Schröder	Elektrische Nachrichtentechnik, Bd. I (Verlag für Radio-Foto-Kinotechnik, Berlin)
Meinke	Die komplexe Berechnung von Wechselstrom-schaltungen (Sammlung Göschen, W.de Gruyter)
Bergmann-Schaefer	Lehrbuch der Experimentalphysik, Bd. I und II
F.X.Eder	Moderne Meßmethoden der Physik, Teil 3

### **Stichworte zur Vorbereitung:**

- Schwingungslehre; gedämpfte Schwingkreise
- Informationsgehalt von Resonanzkurven
- Güte eines Schwingkreises
- Diskussion der Phasenverschiebung
- Theorie der Lissajous-Figuren
- komplexe Wechselstromwiderstände
- prinzipieller Aufbau und Wirkungsweise eines Elektronenstrahloszillographen
- Resonatorsysteme in anderen Wellenlängenbereichen
- Auskoppeln oder Abstrahlung von Leistung

- aus elektr.Schwingkreisen z.B. Antennen)
- Resonanzerscheinungen in atomaren und molekularen Systemen.

Versuch Nr. 29

**29. Versuch wird gegenwärtig nicht mehr durchgeführt**

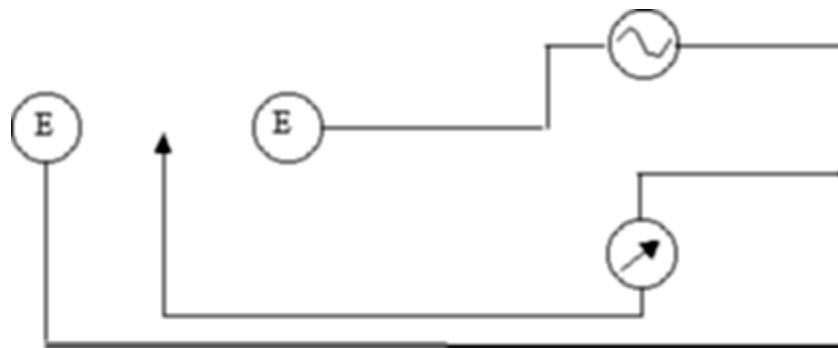
Versuch 30

### 30. Elektrolytischer Trog

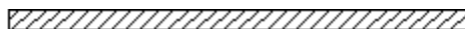
- Zubehör:**
- 1 elektrolytischer Trog mit x-y Abgriff
  - 1 Digitalvoltmeter
  - 1 stabilisierter RC-Generator
  - 8 verschiedene Elektroden:
    - 2 Zylinder
    - 4 Quader
    - 1 Ring
    - 1 Stab

### **Aufgaben:**

1. Ausmessen und Berechnen der Potenzialverteilung des Dipols (Äquipotenziallinien)



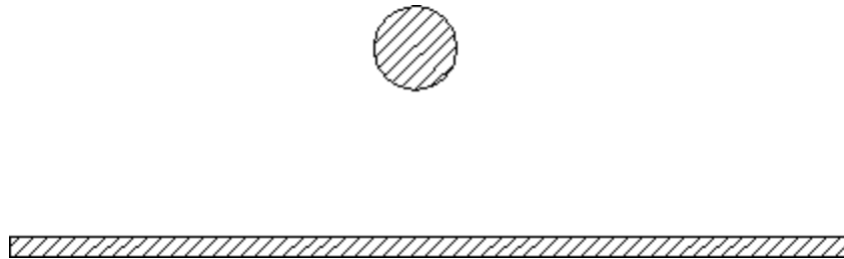
2. Kondensatorrandfeldproblem:  
Bestimmung und Rechnung des Potenzialverlaufs am Plattenrand



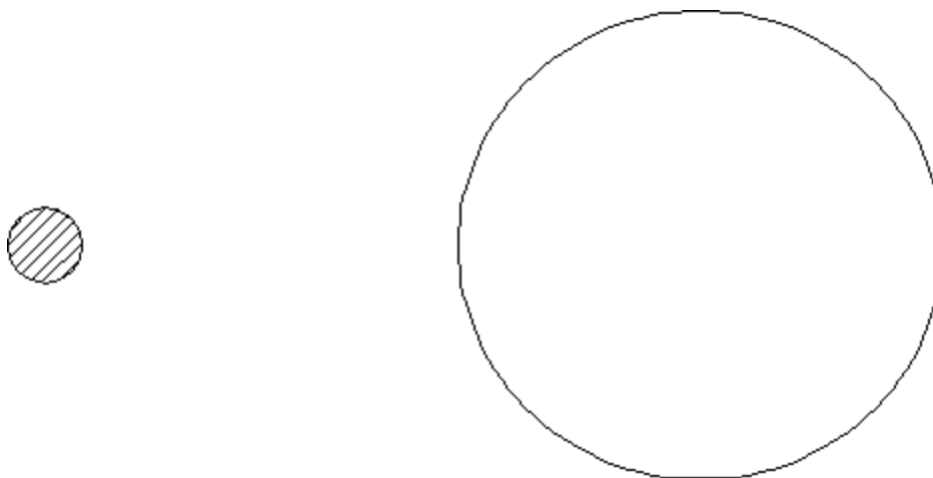
3. Bestimmung einer weiteren Feldverteilung nach Wahl:

3a. Messen und berechnen Sie die Äquipotentiallinien der beiden Elektrodenanordnungen. Die Berechnung kann mit Hilfe der Bildladungsmethode durchgeführt werden.

3a.1.

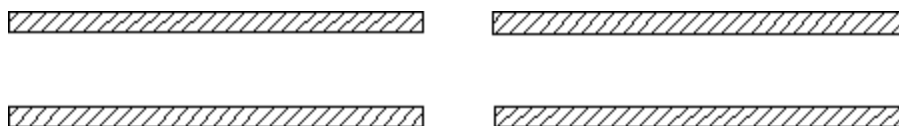


3a.2.

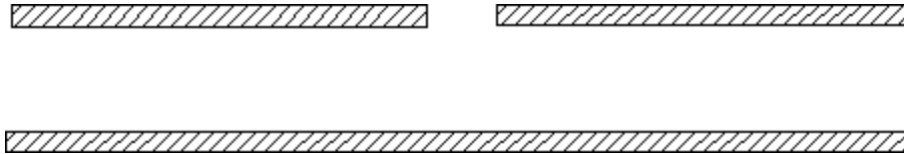


3b. Messen Sie die Potentialverteilung einer elektrostatischen Linse (Gerthsen). Diskutieren Sie das zugehörige optische Analogon und schätzen Sie die Brennweite ab.

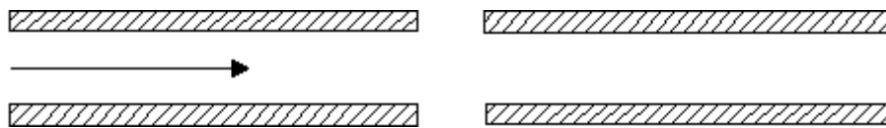
3b.1. Lochblendenlinse



## 3b.2. Immersionslinse



## 3b.3. Rohrlinse (Näherung achsnaher Strahlen)

**Literatur:**

Gerthsen, Kneser	Physik
Kohlrausch	Praktische Physik Bd.2
Pohl;	Elektrizitätslehre
K.Simonyi	Theoretische Elektrotechnik
Feynman, Leighton, Sands	The Feynman Lectures on Physics Vol.2

**Stichworte zur Vorbereitung:**

- Elektrolyse
- Ionenleitung in Flüssigkeiten
- Ohm'sches Gesetz bei der elektrolytischen Leitung
- Maxwellgleichungen
- Grundgleichungen der Elektrostatik
- Konforme Abbildung
- Bild- oder Spiegelladungsmethode
- Elektronenoptik (elektrostat. Linsen)