

Fakultät für Physik der
Albert-Ludwigs-Universität
Freiburg

Physikalisches Praktikum für Mediziner

Assistentenanleitungen

Wintersemester 2000/2001

in ständiger Bearbeitung

Inhalt

| | | |
|----|---|----|
| 1 | Versuch 2: Druck und Auftrieb in Flüssigkeiten, Dichte / Elastische Schwingungen | 1 |
| 2 | Versuch 8: Schallwellen | 4 |
| 3 | Versuch 9: Messung der Viskosität aus dem Durchströmen einer Kapillare | 7 |
| 4 | Versuch 14: Äquivalenz von mechanischer Energie und Wär- meenergie, Wärmekapazität | 10 |
| 5 | Versuch 19: Elektrolyse | 13 |
| 6 | Versuch 23: Wheatstone'sche Brücke | 15 |
| 7 | Versuch 30: e/m-Bestimmung | 17 |
| 8 | Versuch 33: Messungen mit einem Kathodenstrahloszillo- graphen | 19 |
| 9 | Versuch 34: Innenwiderstand und Leerlaufspannung einer Spannungsquelle | 21 |
| 10 | Versuch 40: Brennweite von Linsen und Linsenkombinatio- nen | 23 |
| 11 | Versuch 42: Brechung, Totalreflexion, Prismenspektrometer | 25 |
| 12 | Versuch 45: Mikroskop | 27 |
| 13 | Versuch 64: Absorption von γ -Strahlen, Beobachtung von statistischen Schwankungen | 29 |

1 Versuch 2: Druck und Auftrieb in Flüssigkeiten, Dichte / Elastische Schwingungen

Zur Einleitung:

- Newtonsches Gesetz, Einheiten von Kraft, Masse, Beschleunigung, Geschwindigkeit.
- Archimedisches Prinzip, Auftrieb am Beispiel eines Zylinders, Taucher.
- Hooksche Feder.
- Beispiel aus dem Leben, Auto beim Beschleunigen mal voll beladen, mal fast leer.

Aufgabe a):

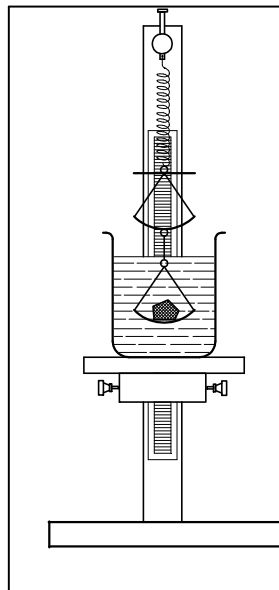


Abbildung 1: Jolly'sche Federwaage

Die Jollysche Federwaage soll kalibriert und ihre Federkonstante D bestimmt werden. Dazu wird mit Hilfe der vorhandenen Gewichte ein Kraft-Weg-Diagramm aufgenommen.

Lösung:

Zum Ablesen des Ortes der Waage kann der Spiegel neben dem Maßstab verwendet werden. Man peilt hierzu entlang der Unterkante des Gewichtsträgers auf das Spiegelbild desselben.

Die Meßergebnisse werden auf Millimeterpapier in ein Diagramm eingetragen und aus der Steigung der per Auge bestimmten Ausgleichsgeraden wird die Federkonstante bestimmt. Beim Auftragen der Messergebnisse sollte darauf geachtet werden, daß möglichst ein ganzes Blatt für das Diagramm verwendet wird, um die Ablesegenauigkeit der Geradensteigung zu erhöhen.

$$D \simeq 2 \frac{N}{m}$$

Aufgabe b):

Volumen und Dichte einiger Probenkörper sollen bestimmt werden.

Lösung:

Die untere Waagschale muß stets in der gleichen Tiefe in die Flüssigkeit eingetaucht sein (z.B. bis zur Oberkante der Öse des Verbindungsdrahtes zur oberen Schale). Es werden zwei Wägungen für jeden Körper durchgeführt und jeweils die Höhe notiert. Abgelesen wird wieder mit dem Spiegel und einem (immer derselbe!!) der waagerechten Drähte mit farbiger Markierung.

1. Der Körper liegt auf der oberen Waagschale. x_1 wird notiert.
2. Der Körper liegt auf der unteren Waagschale. x_2 wird notiert.

Aus

$$\rho_K = \frac{x_1 \cdot \rho_F}{x_1 - x_2}$$

und

$$V = \frac{D \cdot x_1}{\rho_K \cdot g}$$

werden Dichte und Volumen der Körper bestimmt.

$$\rho_{Al} \simeq 2699 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$
$$V \simeq 1 \text{ cm}^3$$

Aufgabe c):

Der Zusammenhang von Masse und Schwingungsdauer soll untersucht und die Federkonstante dynamisch bestimmt werden.

Lösung:

Es ist darauf zu achten, daß die Gewichte keine Drehschwingung ausführen. Die Auslenkung der Feder sollte nicht zu groß gewählt werden, da sie sonst im oberen Umkehrpunkt zu stark entlastet sein könnte und das Kraft-Weggesetz nicht mehr gültig ist. Am besten wird das Gewicht leicht angehoben und dann fallengelassen. Bei kleinen Massen sollten 20–30 Schwingungsperioden gemessen werden, bei großen 10–20.

2 Versuch 8: Schallwellen

Zur Einführung:

- Bildgebende Untersuchungen des Menschen:
 1. Radiowellen (Kernspintomographie)
 2. Röntgenstrahlung (Computertomographie, Röntgenbilder)
 3. Schallwellen (Ultraschall bzw. Sonographie)
- Weitere Anwendungen von Ultraschall in der Medizin:
 1. Nierensteinzertrümmerung
 2. Flußbestimmung mittels Dopplersonographie (Arterienverkalkung, Krampfadern)
- Frequenzbereich des menschlichen Gehörs 20 Hz – 20000 Hz
- Unterschied Schallwellen \longleftrightarrow elektromagnetische Wellen (Schall an Materie gebunden)
- Stehende Wellen
- Resonanz
- Ultraschall oberhalb 20000 Hz bis in den GHz-Bereich

Quinckesches und Kundtsches Rohr:

Kundtsches Rohr:

- Sender auf ca. 1.5 kHz einstellen ($\lambda \simeq 22$ cm)
- Rohr mit Korkpulver um ca. 40° drehen um Haftung des Korkpulvers durch Feuchtigkeit zu verringern
- mit Stopfen Resonanz im Rohr erzeugen

Quincksches Rohr:

- Sender auf 2 kHz einstellen ($\lambda \simeq 17 \text{ cm}$)
- es können statt der Resonanzstellen auch die Stellen kleinster Lautstärke zur Bestimmung der Wellenlänge benutzt werden

Ultraschallversuche:

Bestimmung der Wellenlänge aus der Phasenverschiebung

- Anstatt die Signale von Sender und Empfänger auf Kanal A und B zu legen kann auch die X/Y-Darstellung gewählt werden. Hier ist die Gleichphasigkeit an der entstehenden Geraden leichter zu erkennen als bei der gemeinsamen Darstellung beider Signale.
- Man kann durch Atemluft die starke Temperaturabhängigkeit bzw. deren großen Einfluß auf das Experiment demonstrieren. Es ist demnach eine Erwärmung der Luft durch Körpertemperatur zu vermeiden.

Bestimmung der Wellenlänge aus der Laufzeit

- Reflexionsschirm senkrecht zum Sender/Empfänger
- Auch die durch Mehrfachreflexion entstehenden Echos können theoretisch zur Bestimmung der Wellenlänge herangezogen werden (man beachte die abnehmende Intensität der Echos)
- Der Schallgeber ist im Sender etwas eingelassen, so daß beim Messen der Entfernung ein systematischer Fehler auftritt. Wenn bei verschiedenen Entfernungen die Laufzeit gemessen und über dem Abstand aufgetragen wird, kann diese Länge graphisch am Schnittpunkt mit der x-Achse bestimmt werden (theoretisch!!).
- Das Gerät zur Ultraschall-Untersuchung ist zwar recht leicht zu bedienen, trotzdem sollte man sich vorher damit beschäftigen. Eine Bedienungsanleitung ist vorhanden! Mit dem Meßkopf können Gegenstände (Schraube, Schlüssel, Plastikteile) in einem Wassergefäß offen oder verdeckt untersucht werden. Man muß nicht unbedingt den Glibber verwenden, um eine Armschlagader zu sehen. Etwas Wasser tut's auch. Wichtig ist, daß der Meßkopf mit der ganzen Fläche im Wasser ist, bzw. auf der Körperoberfläche ohne Luftspalt aufliegt.

- Im Anschluß an den dritten Teil des Schallversuches ist bisweilen noch Zeit genug, damit die StudentInnen selbst ihr Glück mit dem Untersuchungsgerät versuchen können. Manchmal ist ein Experte dabei, der auf Anhieb sein Herz schlagend auf den Schirm bringt.

3 Versuch 9: Messung der Viskosität aus dem Durchströmen einer Kapillare

Theoretisches

- Was heißt Viskosität auf deutsch? (Zähigkeit)
- Bei der Formel erklären/fragen:
 - A^2 bzw. r^4 ist etwas besonderes. Erläutern durch Haftung am Rand und Verhältnis der Teilchen ($\sim r$) am Rand zur Gesamtzahl ($\sim r^2$). Fragen/motivieren warum Länge und Viskosität im Nenner stehen, Druck im Zähler
 - Was bewirkt eine Verringerung des Radius um 10% (klassische Arterienverkalkung)? Welche Druckerhöhung muß das Herz ausgleichen?
 - Blutdruck in der Aorta ist 13 kPa, in einer Kapillare am Anfang: 4-5 kPa am Ende: 1.2–2.5 kPa, Durchmesser: 3–10 μm (Nähere Information: Hoppe,... **Biophysik**, Springer Verlag, S. 649) Viskosität von Blut $3\text{--}7 \times 10^{-3}$ Poise, Achtung: anomales Verhalten, Blut ist nicht für alle Kapillardurchmesser Newtonsche Flüssigkeit. Bedingt durch Anteil der Blutkörperchen am Gesamtvolumen (Hämatokrit), Viskosität nimmt mit zunehmendem Hämatokrit zu, und mit kleinerem Kapillardurchmesser **ab!**
 - 10 Poise = 1 N s m⁻²
- hydrostatischer Druck:
 - klassische Frage: warum ist der Druck unabhängig von der Form des Gefäßes? – Zeichnen und über Gewichtskraft, Masse der Wassersäule ... ausrechnen lassen.
- Die Formel wird umgeformt zu:

$$I = \frac{V}{t} = \frac{\pi \cdot \Delta p}{8\eta} \cdot \frac{r^4}{l} = \frac{\pi \rho h g}{8\eta} \cdot \frac{r^4}{l}$$

- Aus der Steigung m wird die Viskosität berechnet:

$$\eta = \frac{\pi \rho h g}{8m}$$

- Der Literaturwert der Viskosität ist $\eta = 1.005 \times 10^{-2}$ Poise bei $20\text{ }^\circ\text{C}$ (Gerthsen). $10\text{ Poise} = 1\text{ Pa}\cdot\text{s}$.

η ist stark temperaturabhängig; laut Walcher gilt:

$$\eta(20\text{ }^\circ\text{C} + \Delta T) \approx \eta(20\text{ }^\circ\text{C}) \frac{1}{(1 + 0.026 \cdot \Delta T)}$$

Praktisches

- Beim Wechseln der Kapillare auf geschlossenen Hahn achten. Vorsicht, manche Hähne sind sehr schwer beweglich. Praktikumsleiter informieren.
- Bitte achtet drauf, daß die Kapillaren **trocken** hinterlassen werden, d.h. mit Gummiblaseball durchpusten.– sonst gibt es Kalkablagerungen und damit Riesenfehler!
- **Luftblasen** vor oder hinter dem Steigrohr kann man entfernen, indem Ihr den Wasserbehälter leicht nach vorne oder hinten kippt. Vorsicht, daß der Gummistopfen nicht herausgedrückt wird.
- Die Höhe der Wassersäule sollte von der Mitte der Kapillare aus gemessen werden, Fluktuationen durch Luftblasen beachten.
- Nur destilliertes Wasser nachfüllen.
- **2 cm Wasserhöhe über Ausgleichsrohrende** reichen für die Messung völlig aus. Sonst wird der hydrostatische Druck zu klein \implies Versuch dauert länger (linear!).
- Sagt den Studenten, daß sie **erst anfangen sollen** zu messen, wenn die **erste Luftblase unten aus dem Ausgleichsröhrchen kommt**. Bei den dünnen Kapillaren am Anfang entsprechend vorsichtig Wasser durch Herausziehen der Kapillare ablassen.

- Unbedingt betonen, daß der obere Gummistopfen während des gesamten Versuches nicht bewegt werden darf!! – Darauf hinweisen, daß das Wasser zwischen den Messungen **nicht** wieder in den Behälter gefüllt werden darf.
- Den Standzylinder zwischen den Messungen in das Becherglas leeren. **Minimale Ablesemenge: 5 ml.**
- Falls Kapillare verstopft sind, die von den anderen Gruppen benutzen. Es gibt zwei langsame (5 ml $\hat{=}$ ca. 20 min), zwei mittlere und zwei schnelle pro Versuch.
- Der Versuch wird erheblich beschleunigt, wenn die Studenten permanent messen und währenddessen rechnen. Mit den dicken Kapillaren anfangen.

Standardfehler

- Achtung: Klassischer Fehler: Dichte von Wasser ist 1! (in welcher Einheit?)
- Es wird mit dem Durchmesser statt mit dem Radius gerechnet.
- Bei der Berechnung des Druckes auf korrekte Einheiten achten (ca. 1000 Pa)
- Umrechnung von mm in m und ml in m³ wird oft falschgemacht. (auch bei Zeitumrechnung werden oft Fehler gemacht.)
- Auf der x-Achse soll r^4/l aufgetragen werden, auf der Y-Achse der Volumenstrom. Größenordnung 10^{-14}m^3 als Einheit für r^4/l herausziehen. Achtung: Meßwerte variieren ca. um Faktor 50. Für das Volumen auf der Y-Achse 10^{-7}m^3 herausziehen.
- Die Steigung sollte **mit den Einheiten** berechnet werden.

4 Versuch 14: Äquivalenz von mechanischer Energie und Wärmeenergie, Wärmekapazität

Theoretisches

Was ist die Wärmekapazität? Was ist die spezifische Wärmekapazität? Was ist die molare Wärmekapazität?-Führt man einem Körper die Wärmemenge ΔQ zu, so steigt seine Temperatur ϑ bzw. T um $\Delta\vartheta = \Delta T$ an, vorausgesetzt, daß er seinen Aggregatzustand beibehält, also nicht schmilzt, verdampft, sublimiert oder eine Phasenumwandlung erleidet, z.B. seine Kristallform ändert. Den Quotienten

$$\Gamma = \frac{\Delta Q}{\Delta\vartheta} = \frac{\Delta Q}{\Delta T}; \quad [\Gamma] = \text{J K}^{-1} \quad (14.1)$$

nennt man die Wärmekapazität des Körpers. Sie hängt manchmal nur ganz geringfügig von ϑ bzw. T ab und kann dann praktisch als konstant betrachtet werden, manchmal ist ihre Temperaturabhängigkeit beträchtlich und muß dann sehr wohl berücksichtigt und experimentell und theoretisch untersucht werden.

Γ ist zur Masse m bzw. Stoffmenge ν des Körpers proportional. Bezieht man die Wärmekapazität auf die Masse, so erhält man die stoffabhängige spezifische Wärmekapazität

$$c = \frac{\Gamma}{m} = \frac{1}{m} \frac{\Delta Q}{\Delta\vartheta} = \frac{1}{m} \frac{\Delta Q}{\Delta T}; \quad [c] = \text{J kg}^{-1}. \quad (14.2)$$

Bezieht man die Wärmekapazität auf die Stoffmenge, so erhält man die stoffabhängige molare Wärmekapazität

$$C_{molar} = \frac{\Gamma}{\nu} = \frac{1}{\nu} \frac{\Delta Q}{\Delta\vartheta} = \frac{1}{\nu} \frac{\Delta Q}{\Delta T}; \quad [C_{molar}] = \text{J mol}^{-1}\text{K}^{-1} \quad (14.3)$$

An GL. (14.2) schließt sich die historische Definition der Einheit der Wärmemenge, genannt Kilokalorie [kcal], an; sie ist "diejenige Wärmemenge, welche beim Normdruck $P_n = 1033.25$ mbar ein Kilogramm Wasser von $\vartheta =$

14.5 °C auf $\vartheta = 15.5$ °C, also um $\Delta\vartheta = 1$ K erwärmt". Diese "Satzdefinition" ergibt zusammen mit GL. (14.2) die Definitionsgleichung

$$c_{wasser}(14.5 \text{ °C} \dots 15.5 \text{ °C}) = 1 \text{ kcal kg}^{-1}\text{K}^{-1} \quad (14.4)$$

Die spezifische Wärmekapazität von Wasser ist weitgehend temperaturunabhängig, sie hat z.B. bei $\vartheta = 40$ °C den Wert

$$c_{wasser} = 0.9977 \text{ kcal kg}^{-1}\text{K}^{-1} = 4.1772 \cdot 10^3 \text{ J kg}^{-1}\text{K}^{-1}$$

(1 kcal = 1000 cal = 4.1868 · 10³ J).

Für die molare Wärmekapazität fester Körper gilt die Dulong-Petit-Regel. Sie besagt, daß bei nicht zu niedrigen Temperaturen (Zimmertemperatur und darüber)

$$C_{molar} \approx 3R \quad (14.5)$$

unabhängig vom Stoff ist. R ist die universelle Gaskonstante

$$R = 8.314 \text{ J mol}^{-1}\text{K}^{-1} = 0.00198 \text{ kcal mol}^{-1}\text{K}^{-1} \quad (14.6)$$

Der Energieerhaltungssatz ist nur für ein geschlossenes System gültig.

$$\Delta T \cdot (m_{cu} \cdot C_{cu} + m_{H_2O} \cdot C_{H_2O}) = A \quad (14.7)$$

Man muß beachten: ΔT – die Temperaturänderung soll ca. 5 – 6 °C sein, d.h. bei Beginn der Messung soll die Wassertemperatur ca. 3 °C unter und bei Ende ca. 3 °C über der Zimmertemperatur liegen. So wird der Meßfehler kleiner. Die mechanische (Hub-)Arbeit $A = n \cdot 2\pi r \cdot mg$ wird durch n Umdrehungen der Trommel gegen die Reibungskraft geleistet und in die Wärmeenergie umgesetzt. Bei Drehung der Trommel soll so schnell wie möglich sein, damit kann der Meßfehler kleiner werden.

Praktisches

- Das Nylonband wird mehrfach um das Kalorimetergefäß geschlungen und an seinem freien Ende mit Masse $m = 5$ kg balastet, so daß die Gewichtskraft G wirkt. Im Kalorimetergefäß befindet sich eine zuvor eingewogene Masse $m_{H_2O} \approx 50$ g Wasser.

$$G = m \cdot g = 5 \text{ kg} \cdot 9.81 \text{ m/s}^2 = 49.05 \text{ N} \approx 49 \text{ N}$$

- Diese Arbeit A wird umgesetzt in Reibungswärme Q

$$Q = \Delta T \cdot (m_{cu} \cdot C_{cu} + m_{H_2O} \cdot C_{H_2O}) = A$$

oder

$$n \cdot 2\pi r \cdot mg = \Delta T \cdot (m_{cu} \cdot C_{cu} + m_{H_2O} \cdot C_{H_2O})$$

- Es erwärmt sich nicht nur das Kupfergefäß (und selbstverständlich das darin befindliche Wasser), sondern auch das Nylonband und das Thermometer, die zwar schlecht leiten, aber pauschal in die Rechnung durch einen geringen Zuschlag beim Kupferkalorimeter eingehen (siehe Anleitung).
- Bestimmen wir also die Masse m_{cu} des Kupfergefäßes, so können wir mit der bekannten spezifischen Wärmekapazität $C_{cu} = 383 \text{ J kg}^{-1}\text{K}^{-1}$ des Kupfers die spezifische Wärmekapazität des Wassers C_{H_2O} ausrechnen.

$$C_{H_2O} = \frac{1}{m_{H_2O}} \cdot \left(\frac{n \cdot 2\pi r \cdot mg}{\Delta T} - m_{cu} \cdot C_{cu} \right)$$

Standardfehler

Die Thermometer sind batteriebetrieben und zeigen Ausfälle: wenn die Batterie leer ist, wenn sie sich aus der Halterung löst (Thermometer fällt hin). Weiter neigen sie dazu, auf einer festen Anzeige zu beharren: sie müssen geöffnet und die Batterie kurzzeitig herausgenommen werden, damit ein 'reset' eintritt. Wird der Kupferbehälter vollständig mit Wasser gefüllt, so hat das beim Einschrauben des Thermometers verdrängte Wasser nur eine Möglichkeit: es begibt sich in das Thermometer, wo es natürlich nichts zu suchen hat.

5 Versuch 19: Elektrolyse

Theoretisches:

Zustandsgleichung idealer Gase, Faradaykonstante

$$p \cdot V = n \cdot N_l \cdot k \cdot T = n \cdot R \cdot T$$

$$R = 8,3 \text{ J mol}^{-1}\text{K}^{-1}$$

$$k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J K}^{-1}$$

$$F = e \cdot N_l$$

Die Zustandsgleichung idealer Gases ist fundamental für viele thermodynamische Phänomene.

- Wärmekraftmaschinen
- Luftpumpe wird nicht nur durch Reibung warm!
- Reifendruck am Auto bei betriebswarmen Reifen messen!

Praktisches

- Da doppelt soviel Wasserstoff wie Sauerstoff erzeugt wird, liefert daher das Ablesen und Auswerten der abgeschiedenen Wasserstoffmenge den genaueren Wert für die Faradaykonstante. Weiterhin löst sich der Sauerstoff im Elektrolyt.
- Beachten, daß 2 Elektronen 1 H₂ abscheiden.
- Bei der Bestimmung des Drucks muß neben dem äußeren Luftdruck auch der hydrostatische Druck der Flüssigkeitssäule berücksichtigt werden. Hierzu bringt man das Ausgleichsgefäß auf das Niveau der abzulesenden Flüssigkeitssäule.
- Die Stromstärke ändert sich eventuell. Daher sollten die Praktikanten von Zeit zu Zeit die Spannung nachregeln, so daß über den Versuchszeitraum ein möglichst konstanter Strom fließt. Falls verfügbar werden Geräte mit geregelter Maximalstromstärke eingesetzt, bei denen manuelles Nachregeln entfällt.
- Die Schwefelsäure ist ersetzt durch Natriumsulfat, mit dem Vorteil, daß keine Verätzungen auftreten können und mit erhöhter Elektrolytkonzentration gefahren werden kann. Auslaufendes Elektrolyt trocknet im

Gegensatz zur Schwefelsäure jetzt zu einem weißen Pulver, das leicht weggewischt werden kann. Die Elektrolyseprodukte sind natürlich die gleichen. (Im SS 96 ist ein Apparat vollständig ausgelaufen, die Reinigung war problemlos.)

- Die Temperatur des Elektrolyten erhöht sich infolge des Stromdurchgangs.

Ergebnisse:

$$e \cdot N_l \simeq 9.64846 \cdot 10^4 \text{ C/mol}$$

Klassische Fehler und worauf zu achten ist:

- Beim Ablesen: Gasblasen im Rohr. Beim Ablesen bei laufender Elektrolyse sind die Blasen, die noch in der Flüssigkeit unterwegs sind, nicht erfaßt. Ermittelt man jedoch die Zunahme der Gasmenge in Abhängigkeit von der Zeit, so haben die Blasen keinen Einfluß, da ihre Menge in etwa konstant bleibt. Die Faradaykonstante ist dabei natürlich aus der Steigung der Geraden zu ermitteln und nicht aus der nach einer gewissen Zeit erhaltenen Gasmenge!
- Zeitweise lagen die Resultate regelmäßig um mehr als 10% daneben. Als Übeltäter stellten sich alte Strommeßgeräte (Typ Vorschalt) heraus, die einfach falsch anzeigten, wie ein Vergleich mit neuen Multimetern ergab.
- Auf konstante Stromstärke achten, da sonst die Ladungsmenge nicht genau bestimmt werden kann, sie jedoch oben.

6 Versuch 23: Wheatstone'sche Brücke

Theoretisches:

- Reihen- und Parallelschaltung von Widerständen erklären/abfragen
- Maschen- und Knotenregel erklären/abfragen
- Formel für R_x herleiten und erklären. Da Brücke stromlos, liegen beide Anschlüsse des Strommeßgerätes auf dem gleichen Potential. Die Gesamtspannung wird also von R_x und R_b im gleichen Verhältnis wie von R_1 und R_2 geteilt. Daraus folgt:

$$R_x = R_b \cdot \frac{R_1}{R_2}$$

Dies entspricht der Maschenregel für die Masche R_1, R_2, R_b, R_x , der Maschenregel für R_2, R_b , sowie der Knotenregel für einen Anschlußpunkt des Strommeßgerätes.

- Da $R_1 = \rho \cdot \frac{l}{A}$ und $R_2 = \rho \cdot \frac{10.00-l}{A}$ und zur Auswertung des Versuchs $\frac{\rho}{A}$ gekürzt wird, kann sich ein systematischer Fehler ergeben, falls $\frac{\rho}{A}$ nicht über die gesamte Länge des Widerstandes konstant ist. Vermeidung: Zusätzliche Messung mit vertauschten Widerständen R_1, R_2 und Mittelwertbildung.
- Wenn $R_b \simeq R_x \rightarrow \frac{\Delta R_x}{R_x}$ wird minimal

Praktisches:

- Drehpotentiometer ist eingeteilt in Skalenwerte von 0.00 bis 10.00. R_1 ist dabei dem Skalenwert proportional, R_2 dem Wert (10.00 – Skalenwert).
- Vor der Messung Drehpotentiometer auf den Skalenwert 5.00 einstellen und dann ein R_b auswählen, so daß der geringste Strom durch die Brücke fließt. Dadurch wird eine Beschädigung des Ampèremeters vermieden, sowie der relative Fehler minimiert. Jetzt durch Drehen am Potentiometer die Brücke stromlos machen.

- Widerstandswerte: $R_{x1} = 520$ - Toleranz der Widerstände $\pm 2\%$
 $R_{x2} = 1025$ -
 $R_{x3} = 1515$ -

Klassische Fehler:

- Vertauschung von R_1 und R_2
- Falsche Verdrahtung bei Serien- und Parallelschaltung der unbekannt
Widerstände

7 Versuch 30: e/m-Bestimmung

Theoretisches:

- \vec{E} -Feld: Kraftvektor liegt parallel zu den Feldlinien: $\vec{F} = q \cdot \vec{E} \Rightarrow$ Elektronen nehmen kinetische Energie auf.
- \vec{B} -Feld: Kraftvektor steht senkrecht zu den Feldlinien $\vec{F} = q \cdot \vec{v} \times \vec{B} \Rightarrow$ Elektronen nehmen keine kinetische Energie auf, lediglich der Geschwindigkeitsvektor wird gedreht.
- Vorsicht: Die Rechte-Hand-Regel für das Kreuzprodukt gilt nur für die technische Stromrichtung, d.h für positive Ladungsträger (zur Erklärung der Skizze im Skript).

- Gleichheit von kinetischer und potentieller Energie:

$$E_{pot} = W = \int \vec{F} d\vec{s} = \int q \cdot \vec{E} d\vec{s} = q \cdot \int \frac{U}{d} ds = q \cdot U$$

- Definition des Helmholtzspulenpaares: Abstand der parallelen Spulen ist gleich ihrem Radius
 \Rightarrow großer (fast) homogener Bereich des Magnetfelds zwischen den Spulen.
- SI-Einheit der magnetischen Feldstärke: $1 \text{ T} = \frac{\text{Vs}}{\text{m}^2}$
- Der Radius und der Induktionsstrom gehen quadratisch in die Berechnung ein. $\frac{e}{m} = \frac{2U}{r^2 \cdot B^2}$. Deshalb ist es wichtig r und B möglichst genau zu bestimmen.

Praktisches:

- Die Hochspannungsstecker müssen richtig einrasten.
- Meßgeräte:
 1. Meßbereich des Amperemeters: 10 A DC (Eingänge: 10 A und COM).
 2. Meßbereich des Voltmeters: 1000 V DC (Hochspannungseingänge).

3. Worauf zu achten ist: Falls "BAT" in der Anzeige erscheint, Batterien wechseln. Trotz scheinbar normalem Betrieb ergeben sich möglicherweise falsche Meßwerte.
 4. Unbedingt beachten: Meßgeräte nach dem Versuch ausschalten. Sie besitzen keine Ausschaltautomatik.
- Alle Ströme und Spannungen vor dem Ein- und Ausschalten auf Null drehen, insbesondere den Spulenstrom (Induktionsstoß).
 - Der Elektronenstrahl ist erst ab ca. 190 V Beschleunigungsspannung sichtbar.
 - Die Röhre ist drehbar um die Längsachse gelagert \Rightarrow der Strahl sollte senkrecht nach oben austreten und in sich selbst geschlossen sein (keine Spirale).
 - Die Ablesung des Durchmessers sollte parallaxefrei mit Hilfe des Spiegels geschehen: die Augenhöhe ist so einzurichten, daß der Ring (genauer jeweils sein oberer bzw. unterer Bereich) mit dem zugehörigen Spiegelbild zur Deckung kommt. ~~Tip: Dazu ist es günstig, nicht über die "Einstellbacken" zu peilen. Stattdessen sollte man diese Backen ganz auseinander schieben, das Maßband dahinter einklemmen und den Durchmesser über die Differenz des oberen und unteren am Maßband abgelesenen Werte bestimmen.~~

Klassische Fehler:

- Oft wird mit dem Durchmesser statt dem Radius gerechnet.
- Der Radius wird oft nicht in Meter umgerechnet.
- Gerade bei diesem Versuch machen sich Rundungsfehler bemerkbar (s.o. Theoretisches, letzter Punkt). Deshalb die Formel zur e/m-Bestimmung komplett in den Taschenrechner eintippen.

Allgemein:

- Der Versuch ermöglicht eine sehr genaue e/m-Bestimmung. Der Fehler liegt im Prozentbereich.
- Literaturwert: $\frac{e}{m} = 1.7588 \cdot 10^{11} \frac{\text{As}}{\text{kg}}$

8 Versuch 33: Messungen mit einem Kathodenstrahloszillographen

Theoretisches

- steht alles in der Studentenanleitung.

Praktisches

- Die Frequenz des Generators soll zwischen 1 und 20 kHz gewählt werden. Achten Sie darauf, daß die Frequenz nicht zu groß ist, sonst kann der Kondensator nicht total entladen und dann aufgeladen werden. Manchmal muß die Frequenz des Generators nach unten geschoben werden, wenn die Studenten mit dem größten Widerstand (R_3) die Entladung des Kondensators messen.

- Am Anfang kann man das Oszilloskop auf eine Zeitsskala von $10 \mu\text{s}$ stellen.

- Berechnung der Steigung auf halblogarithmischem Papier:

$$\ln V(t_1) = \ln V_0 - t_1/\tau$$

$$\ln V(t_2) = \ln V_0 - t_2/\tau$$

$$\frac{1}{\tau} = \frac{\ln V(t_1) - \ln V(t_2)}{t_1 - t_2}$$

d.h sie sollen die V und t Werte aus der gezeichneten Gerade ablesen und μ so berechnen.

- Man kann es auch anders schreiben (für Härtefälle):

$$\frac{V_1}{V_2} = e^{-(t_1-t_2)/\tau} \rightsquigarrow \ln\left(\frac{V_1}{V_2}\right) = -(t_1 - t_2) / \tau$$

- Man kann auch die Steigung auf halblogarithmischem Papier mit der folgenden Methode bestimmen: wenn $V(t) = 0.368 \cdot V_0$, dann ist $t = \tau$, da $0.368 = e^{-1} = e^{-t/\tau}$.

- Man kann auch die Halbwertszeit, nach der die Spannung auf den halben Wert der Anfangsspannung abgefallen ist, messen:

$$V(t_{1/2}) = 0.5 \cdot V_0 . \text{ Diese Zeit ist } t_{1/2} = \tau \cdot \ln 2.$$

- Fast immer haben die Studenten Probleme zu verstehen, was 1 V/cm oder 50 $\mu\text{s}/\text{cm}$ bedeutet. Auf dem Schirm des Oszilloskops ist 1 Kästchen gleich 1 cm. Man kann auch von Skaleneinheiten oder Kästchen reden.
- Der Schalter bei der Verstärkung sollte auf AC oder DC stehen nicht auf GND. Der Schalter für die variable Verstärkung sollte ganz am Anschlag stehen, d.h. ausgeschaltet sein, sonst wird die Signalamplitude falsch bestimmt.
- Zum Ausmessen der Exponentialfunktion kann entweder die variable Verstärkung benutzt oder die Signalamplitude verändert werden, bis das Signal zwischen 100% und 0% liegt.
- Am besten benutzt man die einfachen Kabel und die Verteilerstecker, nicht unbedingt die BNC-Kabel und den Meßfühler mit der Klammer (sie sind oft kaputt).
- Ein wichtiges, wenn nicht das wichtigste Ziel ist es, daß die Studenten von den Schirm richtig ablesen, d.h. Kästchen in Einheiten übersetzen, und Linien den einzelnen Kanälen zuordnen können. Das wird auch von Medizinern immer wieder gefordert werden.

Ergebnisse

- Die Widerstände sind nicht alle gleich. Aber es ist immer so, daß $R_1 < R_2 < R_3$. Die Widerstände können nachgemessen werden!
- Die Zeitkonstanten haben eine Größenordnung von 20 – 200 μs .

9 Versuch 34: Innenwiderstand und Leerlaufspannung einer Spannungsquelle

Theoretisches:

- Aus dem Ersatzschaltbild des Aufbaus und der Maschenregel folgt:
 $U_0 = U_i + U_a$
- Durch R_i und R_a fließt der gleiche Strom $I = \frac{U_0}{R_i + R_a}$
- Für die Klemmenspannung U_{Kl} gilt: $U_{Kl} = U_0 - U_i = U_0 - R_i \cdot I$
- Aus der Auftragung von U_{Kl} gegen I und obiger Formel folgt

1. für $I = 0$: $U_{Kl} = U_0$ (Leerlaufspannung)
2. für $U_{Kl} = 0$: $I_K = \frac{U_0}{R_i}$ (Kurzschlußstrom)

- Die Leistungsabgabe P der realen Spannungsquelle (U_0 mit R_i) beträgt:

$$P = U_a \cdot I = (U_0 - U_i) \cdot I = U_0 \cdot I - R_i \cdot I^2$$

- Durch Extremwertbildung folgt für den Strom bei maximaler abgegebener Leistung

$$I_{\max} = \frac{U_0}{2R_i}.$$

Die maximale Leistung beträgt dann

$$P_{\max} = \frac{U_0^2}{4R_i}.$$

Vergleicht man den maximalen Strom mit obiger allgemeiner Formel für den Strom, so folgt direkt $R_a = R_i$ als Bedingung für die maximale abgegebene Leistung (Leistungsanpassung). Die Klemmenspannung beträgt dann gerade

$$U_{Kl} = \frac{1}{2}U_0.$$

Praktisches:

- Gleichstrom- bzw. Gleichspannungsskala bei den Meßgeräten verwenden (richtige Eingänge und richtige Skala benutzen!)
- Bei den alten schwarzen Meßgeräten muß auch der Umschalter in der richtigen Position sein (Vorsicht Wackelkontakt!)
- Werden bei der Verdrahtung an der Spannungsquelle Bananenstecker in Bananenstecker gesteckt, so ist ein Kurzschluß möglich.
- Werte der Widerstände (Toleranz: 5%):

| | | | | | | | |
|-------|-----|------|----|----|-----|-----|-----|
| Nr. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| R [-] | 10k | 5.2k | 2k | 1k | 530 | 230 | 165 |

- Angaben zu den Spannungsquellen:

| U_0 [V] | I_K [mA] | R_i [-] | P_{\max} [mW] |
|-----------|------------|-----------|-----------------|
| 26,0 | 35,5 | 732 | 231 |
| 26,6 | 33,5 | 794 | 222 |
| 26,6 | 35,1 | 758 | 233 |

Klassische Fehler:

- Falsche Benutzung der Meßgeräte (s.o.)

10 Versuch 40: Brennweite von Linsen und Linsenkombinationen

Ergebnisse

Zu untersuchen sind zwei Sammellinsen und eine Streulinse. Messungen der Autoren ergaben für die Sammellinsen Brennweiten von 28 cm bzw. 49 cm, also von 3.5 bzw. 2 Dioptrien. Die 2 Dioptrien lassen sich nur mit dem Autokollimationsverfahren messen. Die Streulinse hat etwa -1 D (gemessen wurde -1.2 und -0.92). Man sollte bedenken, daß aufgrund der reziproken Terme die Fehler recht groß sein können. So ergibt die Fehlerrechnung für die Streulinse einen Gesamtfehler von 2.0 D, was die Streuung der Meßwerte erklären kann.

Typische Fehlerquellen:

Ausrichtung

Die Theorie gilt nur, wenn die einzelnen Elemente (Linse etc.) auf der gleichen Achse liegen. Zuerst ist deshalb die Lampe mit den Schrauben auf der Rückseite so auszurichten, daß der Strahl parallel zur optischen Bank auf den Schirm fällt. Das Bild der Glühwendel läßt sich durch Verschieben des Lampengehäuses scharf auf den Schirm abbilden. Alle Linsen müssen derart in die Reiter eingeschraubt werden, daß ihre Mittelpunkte auf derselben Höhe wie die Lichtquelle liegen. Natürlich sollen die Linsen senkrecht zur optischen Achse stehen.

Position des Gegenstandes

Als abzubildender Gegenstand dient das auf Glas gezeichnete Kreuz oder die Spaltblende vor der Lampe. Das Kreuz soll möglichst nah an die Lampe gestellt werden, da sonst das Abbild leicht zu lichtschwach wird. Der Spalt muß mittig eingestellt werden.

Ablesen der Reiterpositionen

Die Reiter haben ein Ablesefenster, durch das die Skala der optischen Bank abgelesen werden kann. Weil der Raum abgedunkelt ist, empfiehlt es sich, die Tischlampe zu verwenden. Bei Linsenkombination sind die schmalen Reiter zu verwenden, so daß die Linsen möglichst nahe beieinander stehen (die Formel $\frac{1}{f} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2}$ gilt ja nur für kleine Abstände). Die Position ist am Berührungspunkt der Reiter abzulesen¹.

¹Dazu müssen die beiden Reiter so gedreht werden, daß die Feststellschrauben für die

Schatteneffekt

Bei der Abbildung auf den Schirm werden oft falsche Gegenstands- bzw Bildweiten gemessen, wenn die Gegenstand und Linse *zu dicht aufeinander* und gleichzeitig *weit von der Lampe* entfernt stehen. Da passiert folgendes: Auf das Kreuz fällt (nahezu) paralleles Licht und wird zum Teil abgeschattet. Die Linse bricht die Lichtstrahlen zum Brennpunkt hin. Bringt man nun den Schirm zwischen Linse und Brennebene, so erkennt man eine verkleinerten Schatten des Gegenstandes, der dann für das gesuchte Bild gehalten werden kann.

Autokollimation

Oft wird bei der Autokollimation ein falsches Abbild beobachtet, welches auf Reflexionen an den Linsenoberflächen zurückzuführen ist; wird der Spiegel bewegt oder entfernt, so bleibt dieses Geisterbild unverändert. Die Position des korrekt erzeugten Bildes läßt sich durch Drehen des Spiegels bewegen. Es ist zweckmäßig, den Spiegel möglichst nah hinter die zu untersuchende Linse(nkombination) zu stellen, damit das reflektierte Licht nicht an der Linse vorbeigeht.

Ergänzung:

Im Nebenraum kann mit Hilfe des PCs der Strahlengang demonstriert werden.

11 Versuch 42: Brechung, Totalreflexion, Prismenspektrometer

Theorie und Werte

Der minimale Ablenkwinkel δ beim Prisma ist dadurch charakterisiert, daß der Strahl im Prisma parallel zur Grundseite des Prismas verläuft, das heißt, der Strahlengang ist symmetrisch bezüglich der Mittelsenkrechten. Nach Abbildung im Gerthsen gilt:

$$\gamma = \alpha_2 + \alpha'_2$$

$$\delta = \alpha_1 - \alpha_2 + \alpha'_1 - \alpha'_2$$

Mit

$$n = \frac{\sin \alpha'_1}{\sin \alpha'_2} = \frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2}$$

folgt als Bedingung für den minimalen Ablenkwinkel:

$$\begin{aligned}\delta &= \arcsin(n \cdot \sin(\gamma - \alpha_2)) + \alpha_1 - \gamma \\ \frac{d\delta}{d\alpha_1} &= \frac{-1}{\sqrt{1 - n^2 \sin^2(\gamma - \alpha_2)}} \cdot n \cdot \cos(\gamma - \alpha_2) \cdot \frac{d\alpha_2}{d\alpha_1} + 1 \\ &= -\frac{\cos \alpha'_2}{\cos \alpha'_1} \cdot n \cdot \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{\sin^2 \alpha_1}{n^2}}} \cdot \frac{\cos \alpha_1}{n} + 1 \\ &= 1 - \frac{\cos \alpha_1}{\cos \alpha'_1} \cdot \frac{\cos \alpha'_2}{\cos \alpha_2} = 0\end{aligned}$$

Also: $\alpha'_1 = \alpha_1$ und $\alpha'_2 = \alpha_2$.

Die Brechzahl für Plexiglas ist 1.49^2 . Brechungsindex n und Grenzwinkel der Totalreflexion α_g sind über

$$n = \frac{1}{\sin \alpha_g}$$

miteinander verknüpft. Damit ergibt sich für den Grenzwinkel:

$$\alpha_g = 42.2^\circ$$

²Walcher, Praktikum der Physik, Tabellenanhang

Durchführung:

- a) Man richtet Lampe, Linse und optische Scheibe aus, indem zuerst die Spaltblende eingestellt wird (ohne Linse), so daß der Strahl mittig auf die Scheibe projiziert wird. Dann die Linse so einsetzen, daß der Strahl möglichst scharf ist. Die Scheibe sollte horizontal sein.
- b) Um den minimalen Ablenkwinkel δ abzulesen, ist zunächst die Scheibe derart zu fixieren, daß der Lichtstrahl ohne Prisma durch den Mittelpunkt (am Besten entlang der durchgezogenen Linie) verläuft. Die Position des Prismas ist bei fixierter Scheibe zu variieren, um den Ablenkwinkel zu minimieren. Dabei ist zu beachten, daß die (gedachte) rückwärtige Verlängerung des auslaufenden Strahls durch den Mittelpunkt der Scheibe läuft.
- c) Der Spalt des Spektrometers sollte möglichst nahe an der Helium- bzw. Neonröhre sein. Den Spalt weit öffnen (~ 1 mm) und seine Position so lange variieren, bis das Spektrum ganz zu sehen ist. Dann mit dem Objektiv die Schärfe maximieren. Zum Schluß die Spaltbreite derart verkleinern, daß die Linien scharf sind (aber nicht zu lichtschwach).

12 Versuch 45: Mikroskop

Assistent und StudentInnen sollten sich mit den Gegenständen und ihren Bezeichnungen in der Anleitung vertraut machen. Bei der ersten Teilmessung, der direkten Messung der Vergrößerung, ist darauf zu achten, daß der Blick auf das Lineal den halbdurchlässigen Spiegel nicht durch herabhängende Haare (Frauen, Hippies, etc.) verdeckt wird. Es kann sein, daß die Beleuchtung durch die Objektlampe zu stark ist. Diese dämpft man praktischerweise mit einem Stück Papier über der Lampe ab, wenn der Regelbereich nicht ausreicht.

Falls die Beleuchtung nicht will: eines der Mikroskope hat drei (!) Ein-/Ausschalter; einen am Netzgerät, einen im Kabel und einen direkt an der Lampe /Drehring).

Manchmal verwechseln StudentInnen die Meßskala im Okular mit dem Objektmikrometer.

Die Okularskala sollte bei herausgenommenem Okular durch Drehen der Oberen Okularlinse scharf gestellt werden (dabei gegen eine beleuchtete Wand halten). Wenn dies nicht geht, haben möglicherweise Scherzkekse die Linsen verschiedener Okulare vertauscht. Wenn man die Skala bei eingesetztem Okular vornimmt, so ist dies sehr schwierig wenn die Blende des Beleuchtungssystems geschlossen und damit die Tiefenschärfe groß ist.

Brillenträger können, außer beim ersten Versuchsteil, die Brille abnehmen und die Fehlsichtigkeit durch die beschriebene Okular-Einstellung ausgleichen. Okularskala und Mikrometerskala (und auch das Bild des Haares) sollten, wenn alles richtig eingestellt ist, parallaxenfrei gesehen werden, d.h. sich nicht gegeneinander seitlich verschieben wenn man das Auge etwas seitlich bewegt.

Für Interessierte StudentInnen: Bei den Mikroskopen liegen einige Dünnschnitt-Präparate von Gewebeproben (Nervensystem).

Auch wenn man bei MedizinstudentInnen nicht damit rechnet: ein geschickter (und zerstörungsfreier) Umgang mit einem Mikroskop kann nicht vorausgesetzt werden.

Also: die Präparate und insbesondere die teuren Objektmikrometer sollten weder beim Fixieren in der Halterung zerbrochen noch beim Scharfstellen zermatscht werden. Nicht alle Mikroskope haben einen Anschlag, der dies

verhindert. Zum Schluß sollten alle Zubehörteile wieder bei dem Mikroskop liegen, bei dem sie vorgefunden wurden.
Die Mikroskope haben auch einen Feintrieb zum exakten Scharfstellen.

13 Versuch 64: Absorption von γ -Strahlen, Beobachtung von statistischen Schwankungen

Theoretisches:

Radioaktiver Zerfall / Schwächungsgesetz:

- Das Zählrohr ist ein Geiger-Müller-Zählrohr, welches je nach anliegender Spannung folgende Bereiche hat, die für Messungen sind zu benutzen: Proportionalitätsbereich, Geiger-Müller-Plateau und Durchschlagbereich.
- Das Geiger-Müller-Plateau des Zählrohres beginnt je nach Alter des Zählrohres und eingestellter Empfindlichkeit der Meßelektronik zw. 470 und 650 V und geht ziemlich konstant bis etwa 1000 V. Die Zählrohrspannung sollte also um 750 – 800 V gewählt werden.
- Im Plateau-Bereich beeinflusst dabei die Wahl der Empfindlichkeit die Zählrate nicht.

Beobachtung statistischer Schwankungen:

- Poisson-Verteilung hat nur einen freien Parameter: den Mittelwert \bar{N} :

$$p_x = \frac{e^{-\bar{N}} \cdot \bar{N}^x}{x!}$$

- Für große \bar{N} geht die Verteilung in eine Gaußverteilung, die normalerweise zwei freie Parameter \bar{N} und σ^2 hat, mit $\sigma^2 = \bar{N}$ über. Daher kommt in diesem Experiment $\sigma = \sqrt{\bar{N}}$.

$$p_x = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(x-\bar{N})^2}{2\sigma^2}}$$

- Wenn \bar{N} genügend groß ist ($\bar{N} \approx 20$), kommt die Poissonverteilung einer Gaußverteilung nahe; Details seht ihr in einem Statistikbuch.

$$\sigma^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i^2 - 2\bar{x}x_i + \bar{x}^2) = \langle x^2 \rangle - \bar{x}^2$$

Praktisches

- Hinweis für altgediente Assistenten: Achtung, die Kobaltquellen sind alle durch Cäsium-Quellen ersetzt worden.

Die Praktikumsanleitung ist dementsprechend geändert.

- Betonen, daß **jeder Punkt nur einmal** gemessen wird; auch für die dicken Absorber, wenn eventuell der Wert für den dickeren Absorber größer als der für den dünneren ist.
- Der Wert für den unabgeschwächten Strahl wird/muß immer oberhalb der Ausgleichsgeraden liegen, da hierzu nicht nur die direkte γ -Strahlung aus dem Sekundärprozess des Zerfalls beiträgt, sondern auch andere Strahlung (Compton-Streuung an der Bleiabschirmung, β^- -Strahlung, ...), die bei eingelegten Aluminium/Kupfer-Platten herausgefiltert wird.
- **Untergrund** bitte in einer **langen Messung** (10 min) messen (es ist besser, mit dieser Messung anzufangen).
- Die verwendende Meßzeit ist so zu wählen, daß beim Zählen mit dem unabgeschwächten Strahl die Zahlrates zwischen 900 und 1000 liegt. In diesem Fall ist der statistische Fehler etwas größer als 3% , aber man braucht nur eine Dekade auf logarithmischem Papier (es sei denn, man normiert die Meßwerte durch Division mit dem Ergebnis aus der unabgeschwächten Messung).
- Der Untergrund (N_{unter}) ist auf die kürzere Meßzeit umzurechnen, ebenso dessen Fehler:

$$N^* = N_{unter} \cdot \text{Meßzeit} / \text{Zeit der langen Messung}$$

$$\Delta N^* = \sqrt{N_{unter}} \cdot \text{Meßzeit} / \text{Zeit der langen Messung}$$

- Für jede Messung ist der Untergrund abzuziehen:
 $N_0 e^{-\mu x} + N^*$ ergibt keine Gerade auf log-Papier!!
- $N_{Quelle}(x) = N_{Messung}(x) - N^*$
 $\Delta N_{Quelle}(x) = \sqrt{N_{Messung}(x) + (\Delta N^*)^2} \approx \sqrt{N_{Messung}(x)}$
das letzte \approx gilt nur wenn ΔN^* sehr klein ist, also bei einer deutlich längeren Untergrundmessung als die spätere Meßzeit.
- Berechnung der Steigung auf halblogarithmischem Papier:
 1. Bei Auftragen von $N(x) = N_{Messung}(x) - N^*$:
 $\ln N(x_1) = \ln N_0 - \mu x_1$
 $\ln N(x_2) = \ln N_0 - \mu x_2$
 $\implies \mu = \frac{\ln N(x_1) - \ln N(x_2)}{x_1 - x_2}$
d.h sie sollen die N und x Werte aus der gezeichneten Gerade ablesen und μ so berechnen.
 2. Bei Auftragen von $N(x)/N(0)$:
 $\ln(N(x)/N(0)) = -\mu x$, da $N(0)/N(0) = 1$ und $\ln 1 = 0$.
- Man kann es auch anders schreiben (für Härtefälle):
 $\frac{N_1}{N_2} = e^{-\mu(x_1-x_2)} \implies \ln\left(\frac{N_1}{N_2}\right) = -\mu(x_1 - x_2)$
- Nachfragen: Wenn ihr aus der 1 auf logarithmischem Papier eine 10 macht, was ist dann die 2 darüber und was ist die 2 darunter?

Ergebnisse:

- Für Kupfer erhält man für den Absorptionskoeffizient: $\mu \approx 0.6 \text{ cm}^{-1}$
für Aluminium ergibt sich: $\mu \approx 0.15 \text{ cm}^{-1}$
- Der Massenschwächungskoeffizient ist ca. $\mu^* = \frac{\mu}{\rho} \approx 0.06 \text{ cm}^2/\text{g}$

Klassische Fehler und worauf zu achten ist:

- Der Untergrund wird beim ersten Versuchsteil (Schwächungsgesetz) nicht oder falsch abgezogen.
- Zwischen zwei Messungen sollte die Empfindlichkeit der Zähl Elektronik und die Betriebsspannung des Zählrohres nicht geändert werden, da das Geiger-Müller-Plateau von Zählrohr zu Zählrohr unterschiedlich ausgeprägt sein kann und die oben genannten Werte nur als Anhaltspunkt dienen sollen.
- Das Steigungsdreieck zur Bestimmung von μ wird in der Regel eher zu klein anstatt maximal groß gewählt.
- Der erste Meßpunkt (ohne Absorber) sollte bei der Absorptionsmessung bei der Bestimmung der Ausgleichsgeraden nicht berücksichtigt werden: er liegt regelmässig deutlich "zu hoch". Weshalb?