

# Essentielles zur Physik Klausur

Alle Angaben ohne Gewähr, kein Anspruch auf Vollständigkeit

29. Januar 2014

## 1 Versuch 11: Hagen-Poiseuillesches Gesetz, Dopplersonographie

### 1.1 Die wichtigsten Formeln

Der **Druck** ist definiert als die senkrecht auf eine Fläche  $A$  wirkende Kraft  $F$

$$p = \frac{F}{A} \quad (1)$$

mit Einheit Pascal,  $1 \text{ Pa} = 1 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$ .

Der **Schweredruck** ist der Druck in einer Tiefe  $h$  in einer Flüssigkeit und es gilt

$$p(h) = \rho \cdot g \cdot h \quad (2)$$

wobei  $g$  die Erdbeschleunigung ( $9,81 \text{ m/s}^2$ ) und  $\rho = \frac{m}{V}$  die Dichte (d. h. Masse pro Volumen) der Flüssigkeit ist.

Die **Kontinuitätsgleichung** besagt, dass die pro Zeiteinheit  $t$  durch ein Rohr fließende Flüssigkeitsmenge  $V$  überall im Rohr gleich groß und unabhängig vom Rohrquerschnitt an einer speziellen Stelle ist

$$\frac{V}{t} = \text{const.} \quad (3)$$

Die **Bernoulli Gleichung** beschreibt den Druck in einer inkompressiblen, reibungsfreien Flüssigkeit und es gilt

$$p + \frac{1}{2} \rho v^2 = \text{const.} \quad (4)$$

was man durch Division durch das Volumen  $V$  aus dem **Energieerhaltungssatz**

$$p \cdot V = \frac{1}{2} m v^2 = \text{const.} \quad (5)$$

erhält.

Das **Gesetz von Hagen und Poiseuille** beschreibt für laminare Strömungen in homogenen Flüssigkeiten mit Viskosität  $\eta$  in zylindrischen Rohren mit Radius  $r$  und Länge  $l$  den Volumenstrom  $I_V \equiv \frac{V}{t}$  wenn zwischen den Rohrenden eine Druckdifferenz  $\Delta p$  herrscht. Das Gesetz lautet unter diesen Voraussetzungen

$$I_V = \frac{\pi r^4 \Delta p}{8 \eta l}. \quad (6)$$

Mit der Definition des Strömungswiderstandes

$$R_{HP} \equiv \frac{8 \eta l}{\pi r^4} \quad (7)$$

lässt sich das Gesetz von Hagen-Poiseuille auch darstellen als

$$I_V = \frac{\Delta p}{R_{HP}}, \quad (8)$$

was formal gleich ist zum Ohmschen Gesetz (siehe Abschnitt 6, Gesetze zu Reihen- und Parallelschaltung ebenfalls dort), wobei die Druckdifferenz mit der Spannung und der Volumstrom mit dem elektrischen Strom identifiziert wird und die Widerstände (logischerweise) miteinander.

## 1.2 Sonstige Begriffe die man kennen sollte

Hydrostatisches Paradoxon, Hydrodynamisches Paradoxon, Viskosität, Laminare und turbulente Strömung, Reynoldszahl, Dopplereffekt

# 2 Versuch 14: Schallgeschwindigkeit in Luft, abbildende Sonographie, Oszilloskop

## 2.1 Die wichtigsten Formeln

Schwingung: Zeitlich zeitlich periodische Änderung einer physikalischen Größe. Wenn  $T$  die Zeit ist, die für eine Wiederholung gebraucht wird ist die **Frequenz** gegeben durch:

$$f = \frac{1}{T}. \quad (9)$$

mit der Einheit  $[Hz] = \frac{1}{s}$  und gibt die Anzahl Wiederholungen pro Zeiteinheit (Standard: Sekunde) an.

Welle: zeitliche und räumliche Periodische Änderung einer physikalischen Größe, zwischen Ausbreitungsgeschwindigkeit  $c$ , Wellenlänge  $\lambda$  und Frequenz  $f$  besteht der Zusammenhang

$$c = \lambda \cdot f. \quad (10)$$

**Schallwellen** sind longitudinale **Druckwellen**.

Die Schallintensität  $I$  beschreibt die Menge Energie  $E$  die von einer Schallwelle pro Zeit  $t$  durch eine Fläche transportiert wird:

$$I = \frac{E}{t \cdot A} = \frac{P}{A}. \quad (11)$$

Die Schalleistung  $P$  (und Leistung generell) ist Energie pro Zeit.

Um die Skala für Schallintensität an das ungefähr logarithmische empfinden des Menschlichen Gehörs anzupassen wird der Schallintensitätspegel  $L_I$  eingeführt:

$$L_I = 10 \log \left( \frac{I}{I_0} \right) \text{ dB}. \quad (12)$$

Die Bezugsschallgröße  $I_0$  ist dabei definiert als  $1 \frac{\text{pW}}{\text{m}^2}$ .

Das **Snelliussche Brechungsgesetz** beschreibt, in welche Richtung sich eine Welle beim Übergang zwischen zwei Medien mit unterschiedlichen Ausbreitungsgeschwindigkeiten, fort-pflanzt:

$$\frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2} = \frac{c_1}{c_2} = \frac{n_2}{n_1}. \quad (13)$$

Wobei der Brechungsindex  $n$  definiert ist als das Verhältnis der Ausbreitungsgeschwindigkeit der Welle im Vakuum  $c_0$  zur Ausbreitungsgeschwindigkeit im Medium  $c$ :

$$n = \frac{c_0}{c}. \quad (14)$$

Zur Definition insbesondere der Winkel siehe Abbildung 1.

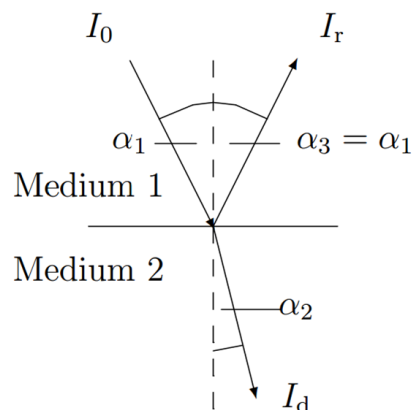


Abbildung 1: Zur Definition des Snelliusschen Brechungsgesetzes

Wellen verlieren Intensität bei Ausbreitung in einem Medium, der Intensitätsverlust wird beschrieben durch einen exponentiellen Abfall:

$$I(z) = I_0 \exp(-\mu \cdot z) \quad (15)$$

der materialabhängige Absorptionskoeffizient  $\mu$  gibt die Stärke der Absorption an,  $z$  ist die Eindringtiefe.

## 2.2 Sonstige Begriffe die man kennen sollte

Schwingung, harmonische Schwingung, longitudinal, transversal, Polarisation, Infraschall, Ultraschall, Ton, Klang, Geräusch, Schalldruckpegel, Lautstärkepegel, Lautheit, Reflexion, Beugung, linearer und logarithmischer Maßstab, Ultraschallsonographie, Braunsche Röhre, Ablesen von einem Oszilloskop

## 3 Versuch 21: Linsengesetze und Linsenfehler

### 3.1 Die wichtigsten Formeln

Lichtgeschwindigkeit im Vakuum  $\approx 300.000 \frac{km}{s}$ .

Die Linsenmachergleichung beschreibt, für dünne Linsen, den Zusammenhang zwischen Bildweite  $b$ , Gegenstandsweite  $g$  und Brennweite  $f$  und lautet:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{g} + \frac{1}{b} \quad (16)$$

Zur Definition siehe Abbildung 2. Parallel zur Optischen Achse einfallende Strahlen treffen sich im Brennpunkt.

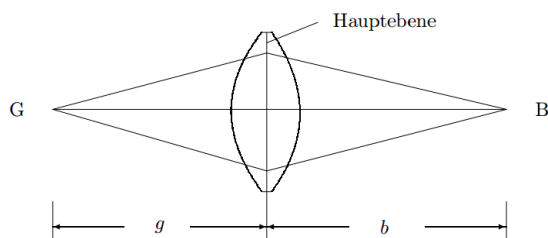


Abbildung 2: Abbildung eines Punktes mit Hilfe einer dünnen Sammellinse.  $g$ : Abstand des Gegenstandes von der Hauptebene,  $b$ : Abstand des Bildes von der Hauptebene.

Für ein reelles Bild gilt für die Größe der Abbildung  $B$  eines Gegenstands  $G$  der Abbildungsmaßstab  $\beta$ :

$$\beta \equiv \frac{B}{G} = \frac{b}{g} \quad (17)$$

Für ein virtuelles Bild wird die Vergrößerung  $V$  definiert als subjektiv empfundene Bildgröße zur Gegenstandsgröße. Subjektiv bedeutet hier die Größe der Abbildung auf der Netzhaut. Für

die Vergrößerung gilt:

$$V \equiv \frac{\tan \alpha}{\tan \alpha_0} \quad (18)$$

Hierbei ist  $\tan \alpha_0 = \frac{G}{l_0}$ , wobei  $l_0$  die sog. deutliche Sehweite von 25 cm vor dem Auge ist.  $\alpha$  ist der Sehwinkel, zur Definition siehe Abbildung 3.

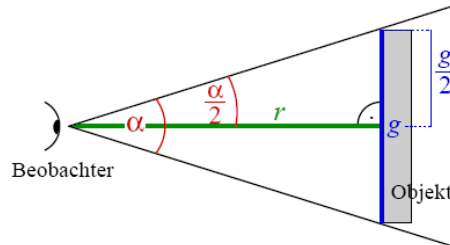


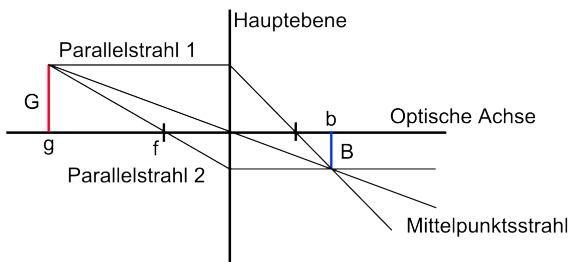
Abbildung 3: Zur Definition des Sehwinkels  $\alpha$ .

Besselsche Methode:

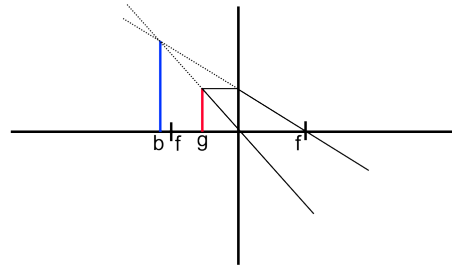
$$f = \frac{e^2 - a^2}{4e} \quad (19)$$

Zur Konstruktion der Strahlengänge siehe Abbildung 4.

a) Sammellinse, Gegenstandsweite  $g >$  Brennweite  $f$   
reelles Bild



b) Sammellinse,  $g <$  f, "Lupe"  
virtuelles Bild



c) Streulinse,  $g <$  f, "Lupe"  
virtuelles Bild, gleiches Vorgehen für  $g >$  f

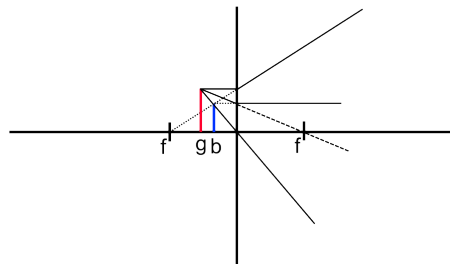


Abbildung 4: Konstruktion der Strahlengänge bei dünnen Linsen. Durchgezogene Linien sind der tatsächliche Strahlenverlauf. Bei b) und c) sind die gestrichelten Linien der **scheinbare** Strahlenverlauf, der zur Entstehung des virtuellen Bildes führt. Der gestrichelte Strahl der durch den Brennpunkt in c) geht ist nur eine Hilfslinie.

### 3.2 Sonstige Begriffe die man kennen sollte

Dünne Linsen, Dicke Linsen, Linsenfehler: sphärische Abberation, Axialer Astigmatismus, Farbfehler

## 4 Versuch 22: Beugung des Lichts und Abbesche Theorie der Auflösungsgrenze optischer Geräte

### 4.1 Die wichtigsten Formeln

Die Bedingungen für Minima und Maxima an Einzelspalt, Doppelspalt und Gitter:

	<b>Maxima</b> k = 0, 1, 2, ...	<b>Minima</b> k = 1, 2, ...
<b>Einzelspalt</b>	$\sin \alpha_{k \neq 0} = \frac{2k+1}{2} \frac{\lambda}{d}$ (0 für k=0)	$\sin \alpha_k = \frac{k \cdot \lambda}{d}$
<b>Doppelspalt</b>	$\sin \alpha_k = \frac{k \cdot \lambda}{d}$	$\sin \alpha_k = \frac{2k-1}{2} \frac{\lambda}{d}$
<b>Gitter</b>	$\sin \alpha_k = \frac{k \cdot \lambda}{d}$	-

Für ein Objektiv, in das die erste Beugungsordnung eines Gitters mit Gitterkonstante  $d$  fallen soll gilt daher die Minimalanforderung an die Öffnungsgröße:

$$d = \frac{\lambda}{\sin \alpha} \quad (20)$$

### 4.2 Sonstige Begriffe die man kennen sollte

Elektromagnetische Welle, Huygensches Prinzip, Interferenz, Gangunterschied, Beugungsbilder, Auflösungsgrenze/Abbesche Theorie.

## 5 Versuch 23: Lichtmikroskop, Köhlersches Beleuchtungsprinzip

### 5.1 Die wichtigsten Formeln

Die optimale Auflösungsgrenze eines Mikroskops ist gegeben durch

$$g = \frac{\lambda}{2 \cdot n \cdot \sin \alpha_{Obj}} = \frac{\lambda}{2 \cdot A_{Obj}} \quad (21)$$

$A_{Obj} = n \cdot \sin \alpha_{Obj}$  heißt **Apertur**.

### 5.2 Sonstige Begriffe die man kennen sollte

Aufbau eines Mikroskops, schräge Beleuchtung, Köhlersches Beleuchtungsprinzip

## 6 Versuch 31: EKG und Wheatstonesche Brücke

### 6.1 Die wichtigsten Formeln

Erfährt eine Masse  $m$  eine Beschleunigung  $\mathbf{a}$  so wirkt auf sie eine **Kraft**, definiert als

$$\boxed{\mathbf{F} = m \cdot \mathbf{a}}. \quad (22)$$

Die Einheit der Kraft ist das Newton:  $1 \text{ N} = \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2}$  (am besten lesen als "Meter pro Sekunde pro Sekunde"). Zwischen zwei Ladungen  $q_1$  und  $q_2$  wirkt die **Coulombkraft**, es gilt das **Coulombgesetz**:

$$\boxed{F_C = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2}}. \quad (23)$$

Das **elektrische Feld** ist definiert als die Kraft pro Probeladung  $q$  an einem Ort  $\mathbf{x}$ :

$$\boxed{\mathbf{E}(\mathbf{x}) = \frac{\mathbf{F}(\mathbf{x})}{q}}. \quad (24)$$

Arbeit ist definiert als Kraft  $\mathbf{F}$  in Wegerichtung mal Weg  $\mathbf{s}$ :

$$\boxed{W = \int_{P_0}^{P_1} \mathbf{F} \cdot d\mathbf{s}}, \quad (25)$$

dabei ist  $P_0$  der Startpunkt des Weges,  $P_1$  dessen Endpunkt.

Das elektrische Potential an einem Punkt  $P$  ist definiert als die Arbeit pro Ladung, die verrichtet werden muss, um eine Ladung in einem elektrischen Feld von einem Bezugspunkt  $P_0$  zu dieser Position zu bewegen (der Bezugspunkt  $P_0$  für das Potential ist im wesentlichen frei wählbar):

$$\phi_{P_0}(P) = \frac{W_{pot}}{q} = - \int_{P_0}^P \mathbf{E} d\mathbf{s}. \quad (26)$$

Die **elektische Spannung** ist definiert als die Potentialdifferenz zwischen zwei Punkten im elektrischen Feld,

$$\boxed{U \equiv \phi(B) - \phi(A)}. \quad (27)$$

Der **elektrische Strom** ist die pro Zeiteinheit  $t$  durch einen Leiterquerschnitt fließende Ladungsmenge  $q$ :

$$\boxed{I = \frac{q}{t}}. \quad (28)$$

Strom und Spannung hängen über das **Ohmsche Gesetz** zusammen. Herrscht zwischen den Endpunkten eines elektrischen Leiters eine Potentialdifferenz (Spannung)  $U$  so gilt für den fließenden Strom

$$\boxed{U = R \cdot I}. \quad (29)$$

Der elektrische Widerstand  $R$  ist eine Materialkonstante, für einen zylindrischen Leiter mit Querschnittsfläche  $A$ , spezifischem Widerstand  $\rho$  und Länge  $l$  gilt  $R = \rho \frac{l}{A}$ .

Schaltet man  $N$  Widerstände **in Reihe** fließt durch jeden Widerstand der selbe Strom und für den Gesamtwiderstand gilt:

$$R_{ges} = \sum_{i=0}^N R_i. \quad (30)$$

Bei einer **Parallelschaltung** von  $N$  Widerständen fällt über jeden Widerstand die gleiche Spannung ab und es addieren sich die Kehrwerte der Einzelwiderstände zum Kehrwert des Gesamtwiderstandes:

$$R^{-1} = \sum_{i=0}^N R_i^{-1}. \quad (31)$$

## 6.2 Sonstige Begriffe die man kennen sollte

Elektrisches Feld einer Punktladung, eines Dipols, Potentielle Energie, Äquipotentiallinien, Äquipotentialflächen, Knotenregel, Maschenregel, Reihenschaltung, Parallelschaltung, Elektrokardiogramm (einzelne Phasen!), Integraler Dipolvektor

# 7 Versuch 41: Bohrsches Atommodell, experimenteller Nachweis stationärer Atomzustände nach Franck und Hertz

## 7.1 Die wichtigsten Formeln

Licht kann Energie nur in natürlichen Vielfachen des Planckschen Wirkungsquantums  $h$  mal der Frequenz des Lichtes abgeben. Das heißt, Licht kann Energie nur in Vielfachen von

$$E = h \cdot f \quad (32)$$

abgeben.

Für die Frequenz des Lichtes das beim Übergang vom  $n$ -ten ins  $m$ -te Energieniveau abgegeben wird, oder das absorbiert wird für eine Anregung vom  $m$ -ten ins  $n$ -te Energieniveau (wobei  $n > m$  und  $n, m \in \mathbb{N}$ ), gilt:

$$f_{n,m} = (E_n - E_m) / h. \quad (33)$$

Durchläuft ein Elektron mit Ladung  $e$  eine Spannung  $U$  so gewinnt es eine Energiemenge

$$E = e \cdot U. \quad (34)$$

(Für beliebige Ladungen  $q$ :  $E = q \cdot U$ )

## 7.2 Sonstige Begriffe die man kennen sollte

Rutherford'sches Atommodell, Bohrsches Atommodell, diskrete Energien, Photoeffekt, Franck-Hertz Versuch



## 8 Versuch 42: Messung der Reichweite von Alpha- und Beta-Strahlen und der Schwächung von $\gamma$ -Strahlen durch Materie

### 8.1 Die wichtigsten Formeln

Der Radioaktive Zerfall wird beschrieben durch ein Exponentialgesetz:

$$N(t) = N_0 \cdot \exp(-\lambda t). \quad (35)$$

$N$  ist die Zahl der noch nicht zerfallenen radioaktiven Kerne,  $N_0$  die Anzahl ursprünglich vorhandener Kerne,  $\lambda$  die Zerfallswahrscheinlichkeit. Die Aktivität ist die zeitliche Änderung der noch nicht zerfallenen Kerne, also die Ableitung des Zerfallsgesetzes:

$$A(t) = \lambda \cdot N_0 \cdot \exp(-\lambda t) = A_0 \cdot \exp(-\lambda t). \quad (36)$$

Aus Gleichung 35 lässt sich die Halbwertszeit  $T_{1/2}$ , die Zeit, nach der die Hälfte der Ursprünglich vorhandenen Kerne im Mittel zerfallen sind, herleiten:

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}. \quad (37)$$

Für jede Art Strahlung nimmt die Intensität (das heißt Energie pro Zeit und Fläche) mit dem Quadrat des Abstands  $r$  von einer Punktförmigen Quelle ab (**Abstandquadratgesetz**):

$$I \propto \frac{1}{r^2}. \quad (38)$$

Die **Intensität**  $I$  ist allgemein die senkrecht durch eine Fläche tretende Energie pro Zeit und Fläche:

$$I = \frac{E}{t \cdot A}. \quad (39)$$

Der Zusammenhang zwischen Zählrate und Intensität ist gegeben durch

$$I = n \cdot \frac{E_Q}{A}. \quad (40)$$

$n$  ist die Zählrate ("counts" pro Zeit),  $E_Q$  die Energie der abgestrahlten Strahlung.

Auch für Elektromagnetische Strahlung gilt ein Schwächungsgesetz in Exponentialform:

$$I(x) = I_0 \cdot \exp(-\mu \cdot x), \quad (41)$$

dabei ist  $x$  die Eindringtiefe ins Medium,  $I_0$  die ungeschwächte Intensität und  $\mu$  der materialabhängige, lineare Schwächungskoeffizient.

Energie und Masse sind proportional zueinander, die Proportionalitätskonstante ist das Quadrat der Lichtgeschwindigkeit:

$$E = m \cdot c^2. \quad (42)$$

## 8.2 Sonstige Begriffe die man kennen sollte

Grundkräfte,  $\alpha$ -,  $\beta$  und  $\gamma$ -Zerfall und -Strahlung, Wechselwirkungen zwischen geladenen Teilchen und Materie, Wechselwirkungen zwischen elektromagnetische Strahlung und Materie, Aktivität, Halbwertsdicke

# 9 Versuch 43: Schwächung und Dosimetrie von Röntgenstrahlen

## 9.1 Die wichtigsten Formeln

Bei der **Grenzenergie** wird die gesamte kinetische Energie ( $E = eU$ ) des beschleunigten Elektrons in elektromagnetische Strahlung umgewandelt, daher gilt:

$$\lambda_{\text{Grenz}} = \frac{c}{f_{\text{Grenz}}} = \frac{h \cdot c}{E_{\text{kin}}} = \frac{h \cdot c}{e \cdot U} \quad (43)$$

Die **Energiedosis** beschreibt die pro Masseneinheit aufgenommene Energie:

$$D = \frac{W}{m} \quad (44)$$

(genauer:  $D = \frac{dW}{dm}$ , wird im Folgenden vernachlässigt!). Die Einheit der Energiedosis ist  $[D] = 1 \frac{\text{Joule}}{\text{kg}} \equiv 1 \text{Gy} = 1 \text{Gray}$ . Die Energiedosisleistung ist die pro Zeiteinheit aufgenommene Energiedosis:

$$\dot{D} = \frac{dD}{dt} \quad (45)$$

Einfacher zu Handhaben sind **Ionendosis** und **Ionendosisleistung**. Die Ionendosis ist die durch eine Strahlung gebildete Menge elektrische Ladung  $q$  in einem Massenelement Luft:

$$J = \frac{q}{m_{\text{Luft}}} \quad (46)$$

Die Ionendosis hat daher die Einheit Coulomb pro Kilogramm ( $[J] = 1 \frac{\text{C}}{\text{kg}}$ ). Die Ionendosisleistung ist wieder die zeitliche Ableitung der Ionendosis. Aus der Ionendosis wird die Energiedosis mit Hilfe von Dosisumrechnungsfaktoren  $f$  berechnet. Einfachster Fall:  $D = f \cdot J_s$ .

Die Äquivalentdosis  $H$  bezieht die unterschiedliche Schädlichkeit verschiedener Strahlungsarten ein und ist daher relevant für Strahlenschutz Zwecke. Die hängt mit der Energiedosis über einen Qualitätsfaktor  $Q$  zusammen, es gilt

$$H = Q \cdot D \quad (47)$$

Die Einheit ist das Sievert (Sv), im wesentlichen das gleiche wie Gray, nur um deutlich zu machen, dass die Schädlichkeit der Strahlung bei der Äquivalentdosis mit einbezogen wurde. Die Äquivalentdosisleistung ist Analog zur Energiedosisleistung die Äquivalentdosis pro Zeit.

## 9.2 Sonstige Begriffe die man kennen sollte

Elektromagnetisches Spektrum, kontinuierliches und diskretes Spektrum, Aufbau einer Röntgenröhre, Maßnahmen zum Schutz des Patienten, Dosimetrie, Entstehung eines Röntgenbildes, Entstehung eines CT Bildes, Qualitätsfaktoren.

## 10 Versuch 44: Magnetische Kernresonanz

Die Energiedifferenz zwischen den beiden Einstellungen des magnetischen Momentes wird beschrieben durch:

$$\Delta E = \hbar \cdot \gamma \cdot B_0. \quad (48)$$

Die **Larmor-Frequenz** ist gegeben durch

$$\boxed{\omega_L = \gamma \cdot B_0} \quad (49)$$

### 10.1 Sonstige Begriffe die man kennen sollte

Freier Induktionsabfall, Spin-Spin, Spin-Gitter Wechselwirkung, Relaxation, Ortskodierung, Informationsgehalt des Kernresonanzsignals, Chemische Verschiebung