

# Vorlesung Physik I (Wintersemester 1999/2000) für Nebenfach Biologie, Chemie LA, Lök

## Inhaltsverzeichnis und Stichworte

**Anmerkung:** Dieses Verzeichnis soll einen Überblick über den vermittelten Stoff geben. Um den Stoff zu strukturieren sind die Stichworte nach Definitionen, Gesetzen, Formeln, Beispielen, Begriffen und Anmerkungen unterschieden. Die Formeln sind selbst nicht enthalten und können der eigenen Mitschrift oder den einschlägigen Textbüchern entnommen werden.

## 0 Einleitung

### 0.1 Was ist Physik?

**Definitionen:** Physikalisches Experiment, physikalisches Gesetz, physikalische Theorie

**Beispiele:** Newton's Gravitationstheorie; Licht: Welle-Teilchen Dualismus

### 0.2 Physikalische Größen und Einheiten

**Definition:** Physikalische Messung: Vergleich mit Maßeinheit

**Definition:** Basiseinheiten 1 Sekunde, 1 Meter, 1 Kilogramm

**Anmerkung:** Formeln für Periodendauer eines mathematischen Pendels und eines Federpendels (Messung der Masse)

**Begriffe:** SI-Einheitensystem

Vorsilben für Zehnerpotenzen: Tera-, Giga-, Mega, Kilo-, usw. bis Atto-

### 0.3 Meßgenauigkeit und Meßfehler

**Definition:** Fehlerarten („grobe“, systematische und zufällige Fehler)

### 0.4 Fehlerrechnung

**Definition:** Stichprobe

**Beispiel:** Nagelbrett: deterministisch, sensitiv auf kleine Änderung der Anfangsbedingung

**Definition:** arithmetisches Mittel

**Definition:** „wahrer“ Wert als Grenzwert des arithmetischen Mittels für Stichprobengröße  $n \rightarrow \infty$  (unendlich)

**Definition:** Varianz; Standardabweichung der Einzelmessung; Standardabweichung des Mittelwerts („Standardfehler“)

**Begriff:** Histogramm, Übergang zur Verteilungsfunktion

**Definition:** Gaussche Glockenkurve

**Gesetz:** Gaussches Fehlerfortpflanzungsgesetz

**Anmerkung:** Formel der Exponentialfunktion; Formel und Beispiele für Ableitung und partielle Ableitung

**Anmerkung:** Anzahl signifikanter Stellen beachten

## 1 Mechanik

### 1.1 Modell des Massenpunkts

**Definition:** Massenpunkt

#### 1.1.1 Ortsvektor und Bahnkurve

**Definition:** Ortsvektor, Bahnkurve, Vektordarstellung in 3-dimensionalen kartesischen Koordinaten

**Formel:** Länge/Betrag eines Vektors (Pythagoras):

**Anmerkung:** Addition und Subtraktion von Vektoren (Formel in 3 Dimensionen)

#### 1.1.2 Geschwindigkeit und Beschleunigung

**Definition:** Geschwindigkeit als Ableitung des Ortes nach der Zeit (1-dimensional und 3-dimensional)

**Definition:** Beschleunigung als Ableitung der Geschwindigkeit nach der Zeit (1-dimensional und 3-dimensional)

**Anmerkung:** Formel für Ableitung in 3 Dimensionen

**Beispiele:** Geschwindigkeits-Zeit-Funktionen für gleichförmige Bewegung

Geschwindigkeits-Zeit-Funktionen für konstante Beschleunigung

gleichförmige Kreisbewegung  
**Definition:** Umlaufdauer/Periode auf Kreisbahn, Winkelgeschwindigkeit  
**Formeln:** Geschwindigkeit und Beschleunigung bei gleichförmiger Kreisbewegung („Zentripetalbeschleunigung“)

## 1.2 Kräfte und Newtonsche Axiome

**Begriffe:** Darstellung von Kräften als Vektoren; Kräfteaddition als Vektoraddition, Zerlegung von Kräften („Kräfteparallelogramm“)  
**Definition:** Impuls  
**Definition:** Definition der Kraft als Ableitung des Impulses nach der Zeit, Maßeinheit 1 N (Newton)  
**Axiome:**  
1. Newtonsches Axiom: Konstanz des Impulses freier Massenpunkte  
2. Newtonsches Axiom: Äußere Kräfte als Ursache für Impulsänderung  
3. Newtonsches Axiom: Actio gleich Reactio  
**Anmerkung:** Impulserhaltung in abgeschlossenen Systemen (ohne äußere Kräfte)  
**Beispiele:** Massenanziehung zwischen Apfel und Erde  
Kräfte auf Kreisbahn (gleichförmige Kreisbewegung)  
**Formeln:** Zentripetalkraft und Zentrifugalkraft bei gleichförmiger Kreisbewegung

## 1.3 Newtonsches Gravitationsgesetz

**Gesetz:** Newtonsches Gravitationsgesetz, Gravitationskonstante  $\gamma$  als Naturkonstante  
**Definition:** Erdbeschleunigung  $g$   
**Beispiele:** Gewichtskraft einer Tafel Schokolade  
Planetenbahnen (Kepler)  
**Anmerkung:** träge und schwere Masse

## 1.4 Energiesatz der Mechanik

### 1.4.1 Arbeit und Leistung

**Definition:** Arbeit entlang eines kurzen Wegstücks in 1 und 3 Dimensionen  
Gesamtarbeit in Integraldarstellung, Maßeinheit 1 J (Joule)  
**Anmerkung:** Definition und Formel für das Skalarprodukt in 3 Dimensionen  
Arbeit ist gleich 0, falls Weg und Kraft senkrecht zueinander stehen  
Arbeit ist ein Skalar  
Bewegung gegen eine Kraft: Arbeit ist negativ, d.h. Arbeit wird verrichtet  
**Definition:** Konservatives Kraftfeld: Wegunabhängigkeit der Arbeit  
(Beispiel: Gravitation)  
**Beispiel:** Hochheben eines Gewichts gegen die Gravitationskraft (Hubarbeit)  
**Definition:** Leistung als Arbeit pro Zeit, Maßeinheit 1 W (Watt)

### 1.4.2 potentielle und kinetische Energie

**Definition:** Energie als Menge an Arbeit, die von einem Körper verrichtet werden kann  
**Definition:** Potentielle Energie in konservativen Kraftfeldern  
**Anmerkung:** Vorzeichen der pot. Energie so gewählt, daß sie zunimmt, falls Arbeit verrichtet wird ( $W < 0$ )  
Nullpunkt der pot. Energie ist nicht festgelegt  
**Beispiel:** Hochheben eines Gewichts gegen die Gravitationskraft (Hubarbeit  $\leftrightarrow$  potentielle Energie)  
**Definition:** Definition und Formel für die kinetische Energie

### 1.4.3 Energiesatz

**Definition:** mechanische Gesamtenergie als Summe aus potentieller und kinetischer Energie  
**Gesetz:** Konstanz der mechanischen Gesamtenergie in konservativen Kraftfeldern  
**Beispiel:** freier Fall: Formel für Endgeschwindigkeit aus Energiesatz berechnet (Unabhängigkeit von der Masse)  
**Anmerkung:** Inelastische Verformung/Erwärmung kann nicht in mechanische Energie zurückverwandelt werden  
(Beispiel: Auto prallt auf Wand)

## 1.5 Systeme von Massenpunkten

**Gesetz:** Impuls- und Energieerhaltung in abgeschlossenen Systemen

### 1.5.1 Stöße zwischen 2 Teilchen

**Formeln:** Impuls- und Energiesatz für Stoß zwischen 2 Teilchen  
**Begriff:** innere Energie  $Q$  als weitere Energieform (Molekülschwingungen/Wärme)  
**Definition:** elastischer, inelastischer und superelastischer Stoß  
**Anmerkung:** Masseänderung bei reaktiven Stößen muß einbezogen werden  
**Beispiele:** zentraler, elastischer Stoß mit Billardkugeln

zentraler, inelastischer Stoß mit Eisenbahnwaggons  
 „Pendelapparat“: Warum gehen links so viele Kugeln weg wie rechts anstoßen?  
 Bild: Protonenstöße in Nebelkammer

## 1.6 Mechanik starrer Körper

- Definition:** Starrer Körper als Summe von Massenpunkten mit fester räumlicher Anordnung  
**Begriffe:** Aufteilung der Bewegung in Translation des Massenschwerpunkts (durch Modell des Massepunkts zu beschreiben) und Rotation um den Schwerpunkt  
**Beispiel:** Stroboskop-Bild eines fliegenden Schraubenschlüssels, Skizze eines fliegenden Baseballs im Vergleich zu einem fliegenden Baseball-Schläger  
**Formeln:** Gesamtvolumen als Summe über Volumenelemente und in Integraldarstellung  
 Gesamtmasse als Summe über die Massen aller Massenpunkte/Volumenelemente und in Integraldarstellung (Begriff der Dichte)

### 1.6.1 Massenschwerpunkt

- Formel:** Massenschwerpunkt als gewichtete Summe über die Massenpunkte sowie in Integraldarstellung  
**Beispiel:** Formel für Massenschwerpunkt einer Hantel mit verschiedenen Massen am linken und rechten Ende  
 Skizze mit Massenschwerpunkt eines Bumerangs: Kann außerhalb des Körpers selbst liegen

### 1.6.2 Drehmoment

- Definition:** Drehmoment nach Betrag und Richtung (rechte-Hand-Regel) sowie mathematisch als Kreuzprodukt  
**Anmerkung:** Formel für Kreuzprodukt  
**Gesetz:** Stabilität eines starren Körpers bei Aufhängung um eine Achse durch den Massenschwerpunkt (Summe der Drehmomente aller Massenpunkte verschwindet)  
**Beispiele:** Drehmomente an Balkenwaage: Waage dreht sich nicht, wenn Summe der Drehmomente verschwindet  
 Bild: Drehen einer Schraube mit Schraubenschlüssel: Abhängigkeit des Drehmoments von Länge und Winkel

### 1.6.3 Drehimpuls und Trägheitsmoment

- Definition:** Trägheitsmoment als gewichtete Summe über Massepunkte und in Integraldarstellung  
 Drehimpuls als Produkt aus Trägheitsmoment und Winkelgeschwindigkeit  
**Beispiel:** Drehimpuls eines einzelnen Masselementes in einem starren Körper  
**Anmerkung:** Analogie der Formeln von Impuls (Translationsbewegung) und Drehimpuls (Rotation).

### 1.6.4 Newtonsche Bewegungsgleichung für Rotationsbewegung eines starren Körpers / Drehimpulserhaltung

- Gesetz:** Ableitung des Drehimpulses nach der Zeit ist gleich wirkendem Gesamt-Drehmoment (aus 2. Newtonschen Axiom abgeleitet)  
 Bei freier Rotation (Drehmoment ist Null) bleibt der Drehimpuls konstant (Drehimpulserhaltung)  
**Beispiel:** Bild von einem Artisten mit Gewichten an den Armen auf Drehteller: Winkelgeschwindigkeit steigt bei Anziehen der Arme und umgekehrt

### 1.6.5 Rotationsenergie

- Formel:** Rotationsenergie  
**Anmerkung:** Die Rotationsenergie berechnet sich aus der Summe der kinetischen Energien aller Massepunkte des starren Körpers

### 1.6.6 Vergleich zwischen Translations- und Rotationsbewegung

Tabelle mit jeweils analogen Größen:

Translation	Rotation
Länge $L$	Winkel $\varphi$
Masse $m$	Trägheitsmoment $\Theta$
Geschwindigkeit $\underline{v}$	Winkelgeschwindigkeit $\underline{\omega}$ (Anmerkung: Richtung nach Rechter-Hand-Regel)
Impuls $\underline{p}=m \cdot \underline{v}$	Drehimpuls $\underline{L}=\Theta \cdot \underline{\omega}$
Kraft $\underline{F}$	Drehmoment $\underline{D}=\underline{r} \times \underline{F}$
Bewegungsgleichung $\underline{F}=\underline{dp}/dt$ (2. Newtonsches Axiom)	Bewegungsgleichung $\underline{D}=\underline{dL}/dt$
kinetische Energie $E_{\text{kin}}=1/2 \cdot m \cdot v^2$	Rotationsenergie $E_{\text{rot}}=1/2 \cdot \Theta \cdot \omega^2$

Anmerkung: vektorielle Größen sind unterstrichen

## 2 Elektrizität

**Begriffe:** Unterscheidung nach: ruhenden Ladungen (→ Elektrostatik), gleichförmig bewegten Ladungen (→ Gleichstrom und statische Magnetfelder) und beschleunigt bewegten Ladungen (→ Wechselstrom und zeitlich veränderliche Magnetfelder, Elektrodynamik)

### 2.1 Elektrostatik

#### 2.1.1 Grundtatsachen

**Begriffe:** Elementarladung  $+e$  und  $-e$ ; Ladungsanziehung und -abstoßung  
**Definition:** Das Coulomb (1 C) als Einheit der Ladung; Zusammenhang mit Elementarladung  $e$   
**Gesetz:** Ladungserhaltung im abgeschlossenen System

#### 2.1.2 Coulombsches Kraftgesetz

**Gesetz:** Coulombsches Kraftgesetz (Formel)  
**Definition:** Dielektrizitätskonstante  $\epsilon_0$   
**Anmerkung:** Analogie zum Gravitationsgesetz, jedoch Krafrichtung unterschiedlich bei Abstoßung  
**Begriff:** Einheitsvektor zur Angabe der Krafrichtung

#### 2.1.3 Elektrisches Feld

**Begriff:** Elektrisches Feld als Konstrukt zur Beschreibung der Wirkung von Ladungen  
**Definition:** Elektrische Feldstärke als Kraft pro Probeladung  
**Begriff:** Feldlinien zur grafischen Veranschaulichung des el. Feldes: Geben in jedem Punkt die Krafrichtung an  
**Beispiel:** Feldlinien einer Punktladung, Feldlinien bei Dipolen mit Ladungen gleichen und ungleichen Vorzeichens  
Feldlinien und Feldstärke im Plattenkondensator (2 unendlich ausgedehnte planparallele Platten)

#### 2.1.4 Elektrostatisches Potential

**Begriff:** Elektrisches Feld als konservatives Kraftfeld; Begriff des Vektorfeldes  
**Definition:** elektrostatisches Potential  
**Anmerkung:** Analogie zur mechanischen potentiellen Energie  
Das Potential fällt immer in Richtung des el. Feldes ab  
**Beispiel:** Potential einer Punktladung

#### 2.1.5 Elektrische Spannung

**Definition:** Elektrische Spannung als Arbeit pro Ladung; Maßeinheit 1 V (Volt)  
**Formel:** El. Spannung als Potentialdifferenz und als Wegintegral der Feldstärke  
**Anmerkung:** Einheit der Feldstärke als Volt/Meter  
**Definition:** Energieeinheit „Elektronenvolt“ (1 eV)  
**Begriffe:** Plus- und Minuspol: Pluspol hat höheres Potential als Minuspol  
**Anmerkung:** Verschiebung einer Probeladung im el. Feld: Zusammenhang zwischen aufgewandter Arbeit, potentieller Energie und Spannung  
**Beispiele:** Gleichspannungsquelle: wendet Arbeit auf, um Elektronen vom Plus- zum Minuspol zu transportieren (ideale Quelle: liefert beliebig viele Elektronen nach)  
Kathodenstrahlröhre: Formel für Auftreffgeschwindigkeit auf Anode (aus Energiesatz berechnet)

#### 2.1.6 Äquipotentialflächen

**Definition:** Äquipotentialflächen als Flächen senkrecht zu den Feldlinien, d.h. mit konstantem Potential  
**Anmerkung:** Spannung zwischen allen Punkten auf einer Äquipotentialfläche ist gleich 0  
**Beispiel:** Äquipotentialflächen bei einer Punktladung

#### 2.1.7 Influenz

**Begriff:** Influenz als Ladungstrennung; Aufbau eines Gegenfeldes  
**Beispiel:** Faradayscher Käfig

#### 2.1.8 Kapazität eines Plattenkondensators

**Begriff:** Kapazität als Größe zur Herstellung eines Zusammenhangs zwischen Feld, Spannung und Ladung  
**Formeln:** Ladung ist proportional der Spannung; Kapazität als Proportionalitätsfaktor  
Kapazität eines Plattenkondensators; Maßeinheit 1 F (Farad)  
**Beispiel:** Wie wird die Kapazität eines Kondensators maximiert: große Fläche, kleiner Abstand

## 2.1.9 Dielektrika im elektrischen Feld

- Formel:** Kapazität eines Plattenkondensators bei Einfügung eines Dielektrikums  
**Begriffe:** Dielektrische Polarisation; relative Dielektrizitätszahl  
**Beispiel:** Liste der rel. Dielektrizitätszahlen verschiedener Stoffe (z.B. Titanoxid, Porzellan)

## 2.1.10 Molekulare Dipolmomente

- Begriffe:** permanentes Dipolmoment durch Ladungsverteilung in Molekülen  
Polarisation durch Ausrichtung der Dipolmomente im el. Feld  
**Beispiele:** resultierendes Dipolmoment von CO<sub>2</sub> und H<sub>2</sub>O  
Ausrichtung von Molekülen mit permanentem Dipolmoment im Feld eines Plattenkondensators

## 2.1.11 Kontaktspannung

- Begriffe:** Austrittsarbeit  
**Definition:** Kontaktspannung als Differenz der Austrittsarbeiten zweier in Kontakt befindlicher Materialien  
**Beispiel:** Kontaktspannung zwischen Zinn und Platin

## 2.2 gleichförmig bewegte Ladungen

- Begriffe:** Gleichstrom, elektronische Leitung, Ionenleitung, Potentialdifferenz als Ursache für Ladungstransport, Verrichtung von Arbeit durch Ladungstransport  
**Definition:** Stromrichtung (in Richtung fallenden Potentials (Bewegungsrichtung positiver Ladungen))

### 2.2.1 Stromstärke

- Definition:** Stromstärke als Ladungen pro Sekunde; Maßeinheit 1 A (Ampere)

### 2.2.2 elektrischer Widerstand

- Begriff:** Behinderung des Stromtransports z.B. durch Stöße; Zusammenhang mit Wärme  
**Definition:** el. Widerstand als Spannung durch Strom; Maßeinheit 1  $\Omega$  (Ohm)  
**Gesetz:** Ohmsches Gesetz: Konstanz des el. Widerstandes, Unabhängigkeit von der Spannung  
**Definition:** Ohmscher Leiter

### 2.2.3 Ionenleitung

- Begriffe:** Elektrolyt, Anode, Kathode, Dissoziation  
Elektrischer Strom zwischen Anode und Kathode als Ionenstrom  
**Beispiel:** Kupfersulfatlösung

#### 2.2.3.1 Beweglichkeit

- Begriff:** Beweglichkeit der Ionen in einem Elektrolyten  
**Formel:** Proportionalität zwischen Ionengeschwindigkeit und Feldstärke; Beweglichkeit  $\mu$  als Proportionalitätsfaktor  
**Formel:** Beweglichkeit eines Ions in Abhängigkeit von Viskosität des Elektrolyten, Wertigkeit und effektivem Radius der Ionen

#### 2.2.3.2 Stromdichte, Leitfähigkeit und spezifischer Widerstand

- Begriff:** Begriff des Volumenleiters; Stromdichte als auf die Fläche bezogener Strom  
**Formel:** Proportionalität zwischen Ionengeschwindigkeit und Stromdichte; Ladungsdichte  $\rho$  als Proportionalitätsfaktor  
**Formel:** Proportionalität zwischen Feldstärke und Stromdichte; Leitfähigkeit  $\sigma$  als Proportionalitätsfaktor  
**Definition:** spezifischer Widerstand  $\rho$  als Kehrwert der Leitfähigkeit  $\sigma$ .  
**Formel:** Beweglichkeit eines Ions in Abhängigkeit von Viskosität des Elektrolyten, Wertigkeit und effektivem Radius der Ionen

#### 2.2.3.3 Faradaysche Gesetze

- Begriff:** Zusammenhang zwischen Ladungs- und Massentransport  
**Formeln:** 1. und 2. Faradaysches Gesetz

### 2.2.4 Elektrische Leistung

- Formel:** elektrische Leistung als Spannung mal Strom

## 2.3 statische Magnetfelder

### 2.3.1 Geschichtlicher Abriss /Phänomenologisches

- Begriffe:** Permanentmagnet, Nord- und Südpol, Ausrichtung von „Probemagneten“; Feldlinien  
**Beispiel:** Erdmagnetfeld, Kompaß  
**Begriff:** molekularer Kreisstrom; Kreisströme als Ursache eines Magnetfelds

### 2.3.2 Magnetische Kraftwirkung, magn. Feldstärke

- Definition:** Definition der magnetischen Feldstärke  $H$  über die Kraftwirkung  
**Beispiel:** Torsionswaage mit Probemagneten  
**Begriffe:** magnetische Feldstärke  $H$  und magnetische Induktion  $B$   
**Formel:** Proportionalität zwischen  $B$  und  $H$ ; Permeabilität als Proportionalitätskonstante  
**Beispiele:** Stärke des Erdmagnetfelds, eines Hufeisenmagneten und eines supraleitenden Magneten

### 2.3.3 Magnetfeld stationärer Ströme

- Gesetz:** Amperesches Gesetz  
**Formel:** Magnetfeld eines unendlich langen geraden Leiters  
**Beispiel:** Magnetfeld einer Leiterschleife durch kreisförmiges Anordnen eines geraden Leiters  
**Formel:** Magnetfeld einer Zylinderspule

### 2.3.4 Lorentzkraft

- Formel:** Lorentzkraft nach Betrag und Richtung („Rechte-Hand-Regel“) sowie als Kreuzprodukt geschrieben  
**Anmerkung:** zur Maßeinheit des  $B$ -Feldes: Definition der Maßeinheit über die Lorentzkraft  
**Formel:** Kraft auf einen stromdurchflossenen geraden Leiter im homogenen Magnetfeld  
**Formel:** Kraft auf eine Punktladung im homogenen Magnetfeld, Bahnradius; Zyklotronfrequenz  
**Beispiel:** Massenspektrograph; Formel für Messung des Verhältnisses aus Masse und Ladung

### 2.3.5 Hall-Effekt

- Begriff:** Erzeugung eines elektrischen Feldes durch Lorentzkräfte auf Ladungsträger zur Messung magnetischer Felder  
**Formel:** Hallspannung

## 2.4 Zeitlich veränderliche Magnetfelder

### 2.4.1 Prinzip eines Motors

- Begriff:** Wechselstrom  
**Beispiel:** Änderung der Krafrichtung auf stromdurchflossenen Leiter in einem Magnetfeld (Hufeisenmagnet) durch Änderung der Stromrichtung  
Kräfte auf Leiterschleife im Magnetfeld; permanente Drehung durch Umpolung der Stromrichtung

### 2.4.2 elektromagnetische Induktion

- Begriff:** Induktion: Phänomenologische Einführung  
**Beispiel:** Induktion einer Spannung über einer Zylinderspule durch „Hineintauchen“ eines Magneten

### 2.4.3 Der magnetische Fluß

- Formel:** magnetischer Fluß in Integraldarstellung  
**Begriff:** Flächennormale  
**Beispiel:** Magn. Fluß durch eine Leiterschleife bei homogenem Magnetfeld

### 2.4.4 Das Faradaysche Induktionsgesetz

- Gesetz:** Faradaysches Induktionsgesetz  
**Beispiel:** Induktionsspannung einer drehenden Leiterschleife im homogenem Magnetfeld  
**Begriffe:** Begriff der „sichtbaren“ Fläche; Generatorprinzip

### 2.4.5 Lenzsche Regel

- Begriff:** Interpretation des negativen Vorzeichens des Induktionsgesetzes

### 2.4.6 Selbstinduktion

- Begriff:** Selbstinduktion als Folge von Ampereschem Gesetz, Induktionsgesetz und Lenzscher Regel

**Beispiel:** Erzeugung einer hohen Induktionsspannung durch Abschalten eines Stroms durch eine Spule

### 3 Anmerkungen zu Praktikumsversuchen

#### 3.1 Versuch 2 (Dichte, Druck, Auftrieb)

**Definition:** Dichte als Quotient aus Probemasse und Probenvolumen sowie in Differentialdarstellung  
Druck als Kraft pro Fläche sowie in Differentialdarstellung

**Begriffe:** Reindichte und Rohdichte

**Begriff:** Archimedisches Prinzip

**Formel:** hydrostatischer Druck (aus Gewicht der Flüssigkeitssäule berechnet)

**Formel:** Auftriebskraft eines Körpers (aus Differenz der hydrostatischen Drücke von Ober- und Unterseite berechnet)

**Anmerkung:** Klärung der Frage, ob ein Körper sinkt oder steigt: Vergleich von Auftriebs- und Gewichtskraft sowie Richtung der resultierenden Gesamtkraft

#### 3.2 Versuch 3 (Grenzflächenspannung und Viskosität)

**Begriffe:** Kohäsionskräfte; Arbeit nötig, um Molekül an die Oberfläche einer Flüssigkeit zu bringen  
→ Oberflächenenergie

**Definition:** spezifische Oberflächenenergie

**Begriff:** Viskosität als Maß für innere Reibung in Flüssigkeiten

**Gesetz:** Gesetz von Hagen-Poiseuille

**Anmerkung:** Formel für Differentialgleichung 1. Ordnung, Lösung durch Exponentialansatz, Bestimmung des Koeffizienten durch Logarithmierung und Anpassung einer Geraden (Steigungsbestimmung)

#### 3.3 Versuch 4 (Gleichspannungen, Gleichströme, Widerstände)

**Definitionen:** Schaltungssymbole für verschiedene Bauelemente (Ohmscher Widerstand, Kondensator, Spannungsquelle, idealer Leiter)

**Begriffe:** Stromkreis als Verschaltung idealisierter Bauelemente  
Beschreibung realer Bauelemente als Verschaltung idealisierter Bauelemente

**Formeln:** Maschen- und Knotenregel; Zählpfeile für Spannung und Strom  
Differentialgleichung für die Aufladung eines Kondensators über einen Widerstand und Lösung durch Exponentialansatz