

# **Kompendium zur Studienordnung des Mono-BSc Physik**

---

Die im Wintersemester 2014/2015 in Kraft getretene Studienordnung des Monobachelor Physik stellt eine grundlegende Überarbeitung der vorherigen Studienordnung dar, in der insbesondere die Physikausbildung nun in einem doppelgleisigen Prinzip aus Grundlagenvorlesungen Physik I-IV und zeitlich nachgelagerten Vorlesungen zur Theoretischen Physik I-V erfolgt. Die Task Force Studienreform hat deshalb zur Unterstützung dieses Übergangs eine detailliertere Aufstellung der Vorlesungsinhalte der physikalischen Grundlagenmodule in diesem Kompendium erstellt, die über die stichpunktartigen Inhalte in den offiziellen Modulbeschreibungen hinausgeht und eine Abstimmung der Module untereinander ermöglicht. Sie soll der Orientierung der Lehrenden und Lernenden dienen.

## **Modul P0: Mathematische Grundlagen**

---

### **I Differential- und Integralrechnung**

- Ableitung, Taylorentwicklung
- Integration, Kurvenlänge

### **II Differentialgleichungen**

- Differentialgleichungen erster Ordnung, Separation der Variablen
- Differentialgleichungen zweiter Ordnung (einfache Spezialfälle )
- Lineare Differentialgleichungen erster und zweiter Ordnung

### **III Elementare Vektorrechnung**

- Vektoren in der Physik, Skalar- und Kreuzprodukt
- Komponenten, Basen, Koordinatensysteme

### **IV Krummlinige Koordinaten**

- Polar, Zylinder und Kugelkoordinaten
- Divergenz, Gradient und Rotation in Polar, Zylinder und Kugelkoordinaten

### **V Komplexe Zahlen**

- Definition und Rechenregeln
- Polardarstellung
- Exponentialfunktion

# Modul Physik I: Mechanik und Wärmelehre

---

## I. Einführung

- I.1 Allgemeine Vorbemerkungen
- I.2 Messen und Einheiten

## II. Newtonsche Mechanik von Massenpunkten

- II.1 Punktmechanik eines Massenpunktes in einer Raumdimension
  - Massenpunkt als mathematische Idealisierung
  - Kinematik der eindimensionalen Bewegung eines Massenpunktes
  - Dynamik der eindimensionalen Bewegung eines Massenpunktes
  - Harmonischer Oszillator
- II.2 Punktmechanik eines Massenpunktes in 3 Raumdimensionen
  - Formulierung der Kinematik
  - Ebene Kreisbewegung
  - Dynamik in 3 Raumdimensionen
  - Schiefer Wurf
  - Kräfte und Felder (Gravitationsgesetz, Coulombgesetz, Lorentzkraft)
  - Energie und Arbeit
  - Drehimpuls und Drehmoment

## III. Newtonsche Mechanik kontinuierlicher Systeme

- III.1 Eigenschaften realer Festkörper
  - Reibung
  - Deformation von Festkörpern
- III.2 Statische Eigenschaften von Flüssigkeiten und Gasen
  - Grenzflächen idealer Flüssigkeiten
  - Statischer Druck
  - Die Grundgleichung der Hydro-/Aerostatik
  - Kompressibilität
  - Auftrieb
  - Grenzflächen einer (realen) Flüssigkeit
- III.3 Strömungslehre
  - Grundbegriffe
  - Massenerhaltung und Kontinuitätsgleichung
  - Die reibungsfreie Strömung
  - Viskosität
  - Die Dynamik der viskosen Flüssigkeit
- III.4 Wellen in kontinuierlichen Systemen
  - Gekoppelte Schwingungen
  - Systeme mit  $n$  gekoppelten Oszillatoren
  - Kontinuumsmodelle am Beispiel der schwingenden Saite
  - Lösung der 1-dimensionalen Wellengleichung
  - Wellen in endlich ausgedehnten Systemen — Randbedingungen am Beispiel der schwingenden Saite
  - Wellengleichung in mehr als einer Raumdimension
  - Typische Wellenphänomene am Beispiel von Wasserwellen — Huygenssches Prinzip
  - Schallwellen

## IV. Systeme mit vielen Freiheitsgraden und ihr Verhalten im Mittel: Wärmelehre

### IV.1 Gleichgewichtszustand und Zustandsgleichungen

- Grundbegriffe der Wärmelehre — Definitionen und Begriffe
- Messung von Druck und Temperatur
- Ideales Gas
- Reales Gas
- Wärmetransport

### IV.2 Zustandsänderungen — Hauptsätze der Wärmelehre

- 1. Hauptsatz der Thermodynamik
- Anwendungen des 1. Hauptsatzes
  - a) Wärmekapazität eines idealen Gases
  - b) Adiabatische Zustandsänderung eines idealen Gases
  - c) Adiabatische Kompressibilität
  - d) Der Carnotsche Kreisprozeß — Modell einer Wärmekraftmaschine
- 2. Hauptsatz der Thermodynamik
  - a) Gleichung von Clausius-Clapeyron
  - b) Innere Energie eines idealen Gases
  - c) Maximaler Wirkungsgrad einer zyklisch arbeitenden Wärmekraftmaschine

# Modul Theoretische Physik I: Klassische Mechanik und Spezielle Relativitätstheorie:

---

## I. Newtonschen Mechanik

### I.1 Grundbegriffe:

- Euklidische Geometrie des Raumes, Galilei-Newtonscher Zeitbegriff, Inertialsysteme, Gallileisches Relativitätsprinzip
- Träge Masse
- Äußere Kräfte, Newtonscher Kraftbegriff, Energie, Leistung, Arbeit, Energiesatz, Newtonsche Bewegungsgleichung

### I.2 Oszillatoren:

- 1-dim. harmonischer Oszillator
- Gedämpfte Schwingungen
- Erzwungene Schwingungen
- Harmonische Oszillatoren in der Ebene

### I.3 Rotationssymmetrische Potentiale

- Erhaltung des Drehimpuls
- Integration der Bewegungsgleichung
- Virialsatz
- Bewegung im Schwerfeld, schwere Masse, Bahnen im Gravitationsfeld, Kepler Gesetze, Runge-Lenz-Vektor

### I.4 Zwei-Körper-Probleme

- Erhaltungsgrößen
- Zwei-Körper-Zerfall
- Elastische Streuung

### I.5 N-Körper-Problem

- Gesamtimpuls und Schwerpunktbewegung, Drehimpuls und Drehmomente, Energieerhaltung

## II. Analytische Mechanik

### II.1 Zwangskräfte und d'Alembertsches Prinzip

- Treibende Kräfte und Zwangskräfte
- D'Alembertsches Prinzip
- Energiebilanz
- N-Teilchenbewegung bei Zwangsbedingungen
- Lagrangesche Gleichungen 1. Art
- Statische Gleichgewichte

### II.2 Lagrangesche Formulierung der Mechanik

- Verallgemeinerte Koordinaten
- Lagrangesche Gleichungen 2. Art
- Zyklische Koordinaten und Erhaltungsgrößen

### II.3 Das Wirkungsintegral

- Variation des Wirkungsintegral
- Lagrangesche Gleichungen und Wirkungsprinzip
- Noethertheorem

### II.4 Hamiltonsche Formulierung der Mechanik

- Hamilton-Funktion und kanonische Gleichungen
- Poisson-Algebra
- Kanonische Transformationen
- Liouville Theorem
- Hamilton-Jacobi Theorie

### II.5 Nicht-Inertialsysteme

- Rotierende Bezugssysteme

- Die Erde als rotierendes Bezugssystem
- Beliebige Beschleunigte Bezugssysteme

#### II.6 Der starre Körper

- Eulersche Winkel und Drehgeschwindigkeiten
- Kinetische Energie und Trägheitstensor
- Eulersche Kreiselgleichungen
- Schwerer symmetrischer Kreisel

#### II.7 Spezielle Relativitätstheorie

- Spezielle Lorentz-Transformation
- Impuls und Energie
- Äußere Kräfte auf ein relativistisches Teilchen, Lagrange und Hamiltonfunktion
- Lorentzgruppe, Vierervektoren und Tensoren

# Modul Physik II: Elektromagnetismus

---

## I. Elektrische Ladung, Felder und Potential

- Coulomb Gesetz
- Feld einer Punktladung, eines Dipols, einer geladene Linie, einer geladene Scheibe
- Verhalten einer Punktladung und eines Dipols in einem E-Feld
- Beziehung zwischen Potential und Feld

## II. Gaußscher Satz

- Gaußscher Satz in integralen und differentiellen Form
- Poisson Gleichung
- Anwendungen des Gaußschen Satzes in zylindrischen, ebenen und sphärischen Symmetrie

## III. Elektrisches Potential

- Potential eines Dipols, eines Quadrupols, einer kontinuierlichen Ladungsverteilung

## IV. Elektrische Kapazität

- Kapazität für Plattenkondensatoren
- Parallel- und Reihenschaltung von Kondensatoren
- Potenzielle Energie und Energiedichte
- Kapazität eines Kondensators mit Dielektrikum
- Gaußscher Satz mit Dielektrikum
- Dielektrische Verschiebung

## V. Elektrischer Strom, Widerstand und Stromkreise

- mikroskopisches Bild des Widerstandes
- Ohmsches Gesetz
- elektrische Leistung in Stromkreisen
- Halbleiter
- Kirchhoffsche Regel
- Amperemeter und Voltmeter
- Laden und Entladen eines Kondensators

## VI. Magnetostatik (Lorentzkraft und Ampere-Gesetz)

- Definition von B
- Lorentzkraft
- Hall Effekt
- Zyklotron und Synchrotron
- Magnetisches Dipol
- Ampere-Gesetz
- Biot-Savart Gesetz
- Zylinder- und Ringspulen

## VII. Magnetismus und Materie

- Magnetisierung
- Suszeptibilität, Permeabilität, H-Feld
- Ampere-Gesetz und Biot-Savart Gesetz mit Permeabilität
- Paramagnetismus und Diamagnetismus: Eigenschaften und Grundlagen
- Ferromagnetismus: Eigenschaften und Grundlagen

## **VIII. Induktion und Induktivität**

- Faraday-Effekt
- Maxwell-Korrektur zum Ampere-Gesetz
- Lenzsche Regel
- Induktion
- Induktivität
- Selbstinduktion
- Elektrische und magnetische Energie

## **IX. Elektromagnetische Felder: D, E, B und H**

- Randbedingungen für statische E und B-Felder
- Anwendungen von D und H-Feldern
- Randbedingungen für statische D und H-Felder

## **X. Elektromagnetische Schwingkreise und Wechselstrom**

- RC- und LR Schaltkreise
- LC-, und LRC-Schwingungen
- Wechselstrom
- Komplexwiderstand
- Resonanz und Q-Faktor
- Tiefpass-, Hochpass- und Bandpass-Filter
- Transformatoren

## **XI. Maxwell-Gleichungen und Elektromagnetische Wellen**

- gekoppelte Maxwell-Gleichungen
- Ebene Wellen Lösung
- Licht im Dielektrikum
- Poynting Vektor
- Strahlungsdruck
- Licht in Metallen

# Modul Theoretische Physik II: Elektrodynamik

---

## I. Wiederholung:

- Ladungen und Felder.
- Maxwell-Gleichungen in Vakuum in Integral- und in Differentialform. Skalarpotential und Vektorpotential.
- Maxwell-Gleichungen in Dielektrika.
- Leiter: Das Ohm'sches Gesetz.
- Kontinuitätsgleichung.

## II. Mathematische Grundlagen:

- Wiederholung (Analysis II):
- Rechenregel der Vektoranalysis,
- Integralsätze: Gauß, Green, Stokes.
- Neues: Delta-Funktion.

## III. Elektrostatik.

- Coulomb-Gesetz.
- Laplace- und Poissongleichungen in ganzen Raum.
- Eindeutigkeit der Lösungen.
- Randbedingungen in Elektrostatik.
- Oberfläche des Leiters und des Dielektrikum.

## IV. Spezielle Aufgaben:

- Leitender Kugel in homogenen E-Feld,
- dielektrische Kugel, kugelförmige Hohlraum in einem Dielektrikum.
- Spezialprobleme und Lösungseinsätze:
  - a) Lösung in Kugelkoordinaten. Variablenseparation. Mathematischer Einschub: Legendre-Polynome und Kugelflächenfunktionen
  - b) Green'sche Funktionen.
  - c) Multipolentwicklung. Multipole in äußerem Feld.
- Elektrostatische Energie in Vakuum und in Dielektrika. Spannungstensor in elektrischen Feld.

## V. Magnetostatik (zur Elektrostatik weitgehend parallel):

- Grundgesetze und Differenzialgleichungen von Magnetostatik.
- Magnetische Felder lokalisierter Stromverteilungen.
- Magnetisches Moment.
- Wechselwirkung der Magnetmomenten mit äußeren Feld.
- Magnetika. Randbedingungen der Magnetostatik.
- Lösungsmethoden für Randwertprobleme der Magnetostatik.
- Faraday'sches Induktionsgesetz.
- Energie des magnetischen Feldes.

## VI. Zeitabhängige elektromagnetische Felder. Elektromagnetische Wellen.

- Wellengleichung aus Maxwell-Gleichungen.
- Potentialbild.
- Eichinvarianz (Coulomb- und Lorentzgleichung).
- Lösung der Wellengleichung in Freiem Raum.
- Ebene Wellen.
- Polarisierung.

- Wellenpakete.
- Fourier-Zerlegung.
- Kugelwellen.
- Elektromagnetische Wellen in Materie.
- Dispersion.
- Gruppengeschwindigkeit.
- Wellen in leitenden Medien? Das Rest kommt in „Optik“
- Verhalten der EM-Felder an Grenzflächen.
- Brechung und Reflexion.
- Hohlleiter und optische Faser.
- Quasistationäre Felder und Telegraphengleichung

## **VII. Energie und Impuls des EM-Feldes.**

- Pointing-Theorem.
- Energiedichte des EM-Feldes.
- Impulsdichte.
- Maxwellscher Spannungstensor.

## **VIII. Ausstrahlung EM-Wellen.**

- Inhomogene Wellengleichung und die Green'sche Funktion der Wellengleichung.
- Retardierte Potentiale.
- Strahlung einer lokalisierter oszillierender Quelle.
- Klassische (elektrische) Dipolstrahlung.
- Höheren Multipole.

## **IX. Kovariante Formulierung der Elektrodynamik. (Voraussetzung: SRT in Mechanik).**

- Wiederholung: Vierervektoren und Lorentz-Transformation, Raumzeitabstände u.s.w.
- Doppler und Compton-Effekte als Beispiele.
- Transformationsverhalten der Felder.
- Feldtensor und duale Feldtensor. Feldinvarianten.
- Elektrodynamik in Tensorarstellung. Teilchen in EM-Feld.

## **X. Lagrange / Hamilton-Formulierung.**

- Lagrange-Funktion eines geladenen Teilchen in EM-Feld (relativistisch, könnte schon in der Mechanik kommen)
- Euler-Lagrange-Gl'en.
- Hamilton-Funktion.
- Wirkung und Lagrange-Dichte des EM-Feldes.
- Maxwell-Gl'en aus Lagrange-Dichte.
- Vollständiges System der Gl'en für Teilchen und Felder.
- Energie-Impuls-Tensor und die Hamilton-Dichte

# Modul Physik III:

## Optik

---

### I. Elektromagnetische Wellen

- Homogene Wellengleichung: ebene Wellen und Kugelwellen
- Das elektromagnetische Spektrum (Radio-, Mikrowellen, THz- und Infrarotstrahlung, das sichtbare Spektrum, Ultraviolett- und Röntgenstrahlung)
- Wellenpakete und endliche Pulse
- Gruppen- und Phasengeschwindigkeit
- Polarisation

### II. Lichtausbreitung in Materie, Absorption und Dispersion

- Maxwell-Gleichungen im Medium
- Die frequenzabhängige dielektrische Funktion und der dielektrische Tensor
- Absorption und Dispersion, Lichtausbreitung
- Wechselwirkung von Licht und Materie: starke und schwache Kopplung
- Dielektrika und Metalle
- Lichtquellen und Abstrahlung von Licht

### III. Licht an Grenzflächen (Fresnelsche Formeln)

- Reflexion- und Transmission, Brechungsgesetze (Intensität, Amplituden, Fermatsches Prinzip)
- Totalreflexion, evaneszente Felder

### IV. Wellenoptik (Interferenz, Kohärenz, Beugung)

- Kohärenzeigenschaften
- Interferenz weniger Strahlen (Doppelspalt, Mehrfachspalt)
- Interferometer
- Holographie
- Interferenz vieler Strahlen, Beugung (Fourier-, Fresnelbeugung)
- Abbildung

### V. Geometrische Optik, Gaußsche Optik und reale optische Systeme (Gauß-Bündel)

#### V.1 Optische Instrumente (Spiegel, Linsen, Auge, Lupe, Teleskop, Mikroskop)

- Gaußstrahlen, optische Moden
- Reale Instrumente (Abbildungsfehler, Auflösungsvermögen)
- Detektion von Licht
- Moderne Konzepte optischer Instrumente (Hochauflösung in Ort und Zeit)

#### V.2 Anisotrope Medien (Polarisationsoptik)

- Polarisiertes Licht
- Elektro- und Magnetooptik
- Optische Modulatoren und Displays

#### V.3 Geführtes Licht

- Wellenleiter
- Resonatoren
- Integrierte Optik
- Optische Kommunikation

### VI. Grundlagen der nicht-linearen Optik

- Nicht-lineare Medien
- Nicht-lineare Effekte zweiter und dritter Ordnung
- Frequenzmischen und Erzeugung von Harmonischen

## **VII. Quanteneffekte mit Licht**

- Plancksches Strahlungsgesetz
- Der Photoeffekt
- Energie und Impuls von Photonen
- Comptoneffekt

## **VIII. Weiterführende Themen / Moderne Anwendungen (optional):**

- Matrizenoptik
- Numerische Methoden / Software
- Metamaterialien, photonische Kristalle, Plasmonik
- Kurze Lichtimpulse
- Messen mit Licht
- Laser

Literatur: Hecht

# Modul Physik IV: Quanten-, Atom-, und Molekülphysik

---

## I. Grundlagen der Struktur der Materie

- Zahl der Teilchen pro Mengeneinheit / Avogadrokonstante
- Größe von Atomen und Molekülen
- Struktur von Atomen (Komponenten, Rutherford-Experiment, Spektroskopie)

## II. Quanteneffekte mit Materie

- Franck-Hertz-Versuch
- Röntgenbeugung
- Elektronenbeugung / De Broglie-Hypothese
- Elektronenoptik
- Materiewellen
- Doppelspalt

## III. Die Wellenfunktion

- Schrödingergleichung
- Zeitunabhängige Schrödingergleichung
- Tunneleffekt
- Anwendungen (Tunnelmikroskop, Doppelmuldenpotential etc.)
- Messungen in der Quantenphysik
- Unschärferelation

## IV. Das Wasserstoffatom

- Rutherfordsche Atommodell
- Empirisches Wasserstoffspektrum
- Bohr'sches Atommodell
- Quantenstruktur der Atome
- Wellenfunktion des Wasserstoffatoms

## V. Relativistische Korrekturen, Spin und äußere Felder

- Stationäre Störungen
- Normaler Zeeman-Effekt
- Relativistische Korrekturen
- Spin des Elektrons
- Stern-Gerlach-Experiment

## VI. Feinstruktur

- Anomaler Zeeman-Effekt
- Hyperfeinstruktur
- Lamb-Verschiebung

## VII. Wechselwirkung mit Licht

- 2-Niveau-Atom im elektromagnetischen Feld
- Rabi-Oszillationen
- Ausblick Mehrniveau-Systeme

## VIII. Elektronenhülle der Atome

- Symmetrie der Wellenfunktion
- Pauli-Prinzip
- Heliumatom
- Mehrelektronenatome, Hund'sche Regel
- Periodensystem der Elemente

## **IX. Moleküle**

- Molekülbindung (Linear combination of atomic orbitals [LCAO])
- Molekülorbitale
- Adiabatische Näherung und der Begriff des Molekülpotentials
- Born-Oppenheimer Näherung
- Molekülschwingungen (harmonisch und anharmonisch)
- IR-Spektroskopie
- Raman-Spektroskopie

\*: Optional

Literatur: Griffiths, Demtröder, Gerthsen.

# Modul Theoretische Physik III: Quantenmechanik

---

## I. Wellenfunktion und Schrödingergleichung

- Schrödingergleichung
- Operatoren und Skalarprodukte
- Impulsoperator im Ortsraum
- Eigenwertgleichungen
- Ehrenfestsches Theorem
- Kontinuitätsgleichung der Wahrscheinlichkeitsdichte

## II. Eindimensionale Probleme

- Algebraische Lösung des harmonischen Oszillators, kohärente Zustände
- Potentialsprünge und Anschlussbedingungen
- Schwelle und Stufe
- Endlicher Potentialtopf
- Kronig-Penney-Modell \*

## III. Grundlagen der Quantenmechanik (Dirac Formalismus)

- Zustandsbegriff
- Observable
- Hilbert-Raum
- Eigenwerte hermitescher Operatoren
- Vollständigkeitsrelation
- Dyadisches Produkt, Projektionsoperator, unitärer und inverser Operator

## IV. Statistischen Aussagen der Quantentheorie (Kopenhagener Interpretation)

- Postulate der Quantenmechanik
- Messprozess und Zustandsreduktion
- Verträgliche und nicht-verträgliche Observablen
- Orts- und Impulsdarstellung

## V. Der Drehimpuls und Zentralpotential

- Vertauschungsrelationen
- Algebraische Lösung des allgemeinen Eigenwertproblem
- Bahndrehimpuls und Kugelflächenfunktionen
- Allgemeine Aussagen für Zentralpotentiale

## VI. Der Spin und Addition von Drehimpulsen

- Spin  $\frac{1}{2}$
- Produktraum
- Pauli-Gleichung
- Addition von Drehimpulsen

## VII. Gemischte Zustände

- Reine und gemischte Zustände
- Statistischer Operator
- Von Neumann-Gleichung

## VIII. Verschränkung

- EPR-Paradox und Lokalität
- Bell'sche Ungleichungen

Literatur:

Schwabl, Nolting, Sakurai

# Modul Theoretische Physik IV: Fortgeschrittene Quantenmechanik

---

## I. Quantenmechanische Dynamik

- Schrödinger-, Heisenberg- und Wechselwirkungsbild
- Symmetrien und Erhaltungssätze
- Bloch Gleichungen (Dynamik eines 2-Niveausystems)

## II. Näherungsmethoden

- Entartete zeitunabhängige Störungstheorie
- Beispiele: Stark Effekt, Hyperfeinstruktur
- Quasiklassische Näherung und WKB
- Variationsmethoden (Beispiel:  $H_2^+$  Molekül)
- Dyson-Reihe und zeitabhängige Störungstheorie

## III. Bewegung im elektromagnetischen Feld

- Hamiltonoperator
- Konstantes Magnetfeld, normaler Zeeman Effekt
- Eichtransformation und Aharonov-Bohm Effekt
- Landau-Niveaus

## IV. Vielteilchensysteme

- Identische Teilchen
- Bosonen und Fermionen
- „Zweite Quantisierung“: Besetzungszahldarstellung
- Feldoperatoren und Impulsdarstellung
- Freies und schwach wechselwirkendes Elektronengas\*
- Schwach wechselwirkendes Bosonengas\*

## V. Atome und Moleküle

- Hartree-Fock Gleichungen
- Heliumatom und Korrelation
- Wasserstoffmolekül (Austauschwechselwirkung und chemische Bindung)
- Ausblick auf Mehrzentrenmoleküle

## VI. Relativistische Quantenmechanik

- Motivation
- Klein-Gordon Gleichung
- Dirac-Gleichung, nichtrelativistischer Grenzfall
- Lorentz-Kovarianz
- Allgemeine Lösung
- Relativistisches (skalares) Teilchen im Coulombpotential
- Kleinsches Paradoxon

## VII. Elemente der Streutheorie

- Lippmann-Schwinger Gleichung
- Differentieller Wirkungsquerschnitt
- Born'sche Reihe
- Partialwellenentwicklung

\*: Optional

Literatur: Schwabl, Nolting, Bjorken-Drell, Sakurai

# Modul Theoretische Physik V: Thermodynamik

---

## I. Grundlagen der Thermodynamik

### I.1 Thermodynamische Systeme und thermodynamisches Gleichgewicht.

- Isolierte, abgeschlossene und offene Systeme.
- Zustandsfunktionen. Intensive und extensive Größen. 0. Hauptsatz.
- Prozesse und Zustandsänderungen. Arbeit und Wärme.

### I.2 Hauptsätze der Thermodynamik.

- 1. Hauptsatz. Formulierung. Arbeitsdifferenziale.
- Entropie und 2. Hauptsatz. Wärmeaustausch bei einem reversiblen Prozess.
- Gibbs'sche Fundamentalgleichung.
- 3. Hauptsatz.

### I.3 Kalorische und thermische Zustandsgleichungen.

- Abhängigkeit zwischen kalorischer und thermischer Zustandsgleichung. Absoluttemperatur.
- Diskussion spezifischer Systeme: Idealgas, reale Gase, Magnetika und Dielektrika, Hohlraumstrahlung u.s.w.
- Wichtigste abgeleitete Größen: Spezifische Wärme, Kompressibilitäten, Ausdehnungskoeffizient, Suszeptibilitäten u.s.w.

### I.4 Kreisprozesse und Wärmekraftmaschinen. Alternative Formulierungen des 2. Hauptsatzes.

### I.5 Thermodynamische Potentiale

- Formale Einführung der TD Potentiale. Ihre natürlichen Variablen und ihre Bedeutung.
- Die Maxwell-Beziehungen. Anwendungsbeispiel: Joule-Thompson-Prozess. Thermodynamische Identitäten.
- TD Potentiale als homogene Funktionen. Gibbs-Duhem-Beziehung.

### I.6 Gleichgewichts- und Stabilitätsbedingungen.

- Extremaleigenschaften der Potentiale
- Thermodynamische Ungleichungen (für spezifische Wärmen, Kompressibilitäten u.s.w.).
- Le-Chatelier-Prinzip.

## II. Anwendungen der Thermodynamik

### II.1 Heterogene Einkomponentensysteme. Phasenübergänge.

- Schmelzen und Sieden. Clausius-Clapeyron-Gleichung.
- Modellrechnungen: Die Van-der-Waals-Gleichung. Spinodale, Koexistenzkurve und die Maxwell-Konstruktion.

### II.2 Mehrkomponentensysteme

- Die Mischungsentropie
- Chemische Reaktionen und Massenwirkungsgesetz
- Nicht-Chemische Umwandlungen. Osmotischer Druck
- Gibbs'sche Phasenregel

### II.3 Phasenübergänge 2. Art

- Ehrenfest-Klassifizierung der Phasenübergänge
- Landau-Theorie