Eine kleine Formelsammlung

[Mechanik 3](#_Toc364230973)

[Volumen und Dichte 3](#_Toc364230974)

[kraftumformende Einrichtungen 3](#_Toc364230975)

[Hebel 3](#_Toc364230976)

[geneigte Ebene 4](#_Toc364230977)

[Rollen 5](#_Toc364230978)

[Reibung 5](#_Toc364230979)

[gleichförmige Bewegung 6](#_Toc364230980)

[beschleunigte Bewegung 6](#_Toc364230981)

[gleichmäßig beschleunigt 6](#_Toc364230982)

[freier Fall 7](#_Toc364230983)

[ungleichmäßig beschl. 7](#_Toc364230984)

[Würfe 7](#_Toc364230985)

[senkrechter Wurf 7](#_Toc364230986)

[waagerechter Wurf 8](#_Toc364230987)

[schräger Wurf 8](#_Toc364230988)

[Drehbewegung 8](#_Toc364230989)

[Kräfte 9](#_Toc364230990)

[Federn 9](#_Toc364230991)

[Newtonsche Axiome 9](#_Toc364230992)

[Arbeit, Energie, Leistung 9](#_Toc364230993)

[Impuls und Stöße 10](#_Toc364230994)

[Rotation 11](#_Toc364230995)

[Trägheitsmoment 11](#_Toc364230996)

[Gravitation, Keplersche Gesetze 12](#_Toc364230997)

[Schwingungen 12](#_Toc364230998)

[Wellen 13](#_Toc364230999)

[Druck 13](#_Toc364231000)

[Relativitätstheorie 13](#_Toc364231001)

[Elektrizitätslehre 14](#_Toc364231002)

[einfacher Gleichstromkreis 14](#_Toc364231003)

[verzweigter und unverzweigter Gleichstromkreis 14](#_Toc364231004)

[Dreieck- und Sternschaltung 15](#_Toc364231005)

[Arbeit, Energie und Leistung 15](#_Toc364231006)

[elektrische Ladungen 15](#_Toc364231007)

[Kondensatoren 16](#_Toc364231008)

[Magnetfeld 16](#_Toc364231009)

[Induktion 17](#_Toc364231010)

[Trafo 17](#_Toc364231011)

[elektromagnetische Schwingungen und Wellen 17](#_Toc364231012)

[Wechselstrom 18](#_Toc364231013)

[Widerstände im Wechselstromkreis 18](#_Toc364231014)

[Leistung im Wechselstromkreis 19](#_Toc364231015)

[Optik 19](#_Toc364231016)

[Lichtausbreitung 19](#_Toc364231017)

[Reflexion 19](#_Toc364231018)

[Brechung 20](#_Toc364231019)

[dünne Linsen 20](#_Toc364231020)

[Interferenz am Spalt und Gitter 21](#_Toc364231021)

[Interferenz an dünnen Schichten 21](#_Toc364231022)

[Polarisation 21](#_Toc364231023)

[Atomphysik 22](#_Toc364231024)

[Quantenphysik 22](#_Toc364231025)

[Atomphysik 22](#_Toc364231026)

[Thermodynamik 23](#_Toc364231027)

[Längen- und Volumenänderung 23](#_Toc364231028)

[thermisches Verhalten des idealen Gases 23](#_Toc364231029)

[Wärme und Energie 24](#_Toc364231030)

[Wertetabellen 25](#_Toc364231031)

[Dichte 25](#_Toc364231032)

[feste Stoffe 25](#_Toc364231033)

[Flüssigkeiten 25](#_Toc364231034)

[Gase 25](#_Toc364231035)

[Reibungszahlen 25](#_Toc364231036)

[Haftreibungszahlen 25](#_Toc364231037)

[Gleitreibungszahlen 26](#_Toc364231038)

[Spezifische elektrische Widerstände 26](#_Toc364231039)

[relative Permittivität  26](#_Toc364231040)

[relative Permeabilität  26](#_Toc364231041)

[Hall-Konstante 27](#_Toc364231042)

[Brechzahl und Lichtgeschwindigkeit 27](#_Toc364231043)

[Austrittsarbeit 27](#_Toc364231044)

[Längenausdehnungskoeffizient 27](#_Toc364231045)

[spezifische Gaswerte 28](#_Toc364231046)

[spezifische Wärmekapazität von Feststoffen und Flüssigkeiten 28](#_Toc364231047)

[Genauigkeit und Fehler 29](#_Toc364231048)

[Genauigkeitsangaben 29](#_Toc364231049)

[gültige Ziffern 29](#_Toc364231050)

[Genauigkeit 30](#_Toc364231051)

[Fehler 31](#_Toc364231052)

[Fehlerarten 31](#_Toc364231053)

[Fehlerfortpflanzung 31](#_Toc364231054)

[Berechnung des absoluten und relativen Fehlers 31](#_Toc364231055)

[Beispiele 31](#_Toc364231056)

[Umstellen von Gleichungen und Einheiten 34](#_Toc364231057)

[Gleichungen 34](#_Toc364231058)

[Einheiten 35](#_Toc364231059)

# Mechanik

## Volumen und Dichte

|  |  |
| --- | --- |
| Quader    Kugel | a, b, c Kantenlängen eines Quaders (Meter, m)  r Radius der Kugel (Meter, r)  V Volumen (Kubikmeter, m³; Liter,  )  Dichte (Kilogramm je Kubikmeter, )  m Masse (Kilogramm, kg)  [**Wertetabelle**](#_Dichte) |

## kraftumformende Einrichtungen

|  |  |
| --- | --- |
| Hebel zweiseitig  for1  einseitig  for2  Der Hebel ist im Gleichgewicht, wenn gilt:    oder | s1, s2 Kraftarme (Meter, m)  F1, F2 Kräfte (Newton, N)  M1, M2 Drehmoment (Newtonmeter, Nm) |

|  |  |
| --- | --- |
| geneigte Ebene for3      *Normalkraft:* die Kraft, mit der der Körper senkrecht auf die Unterlage drückt | Neigungswinkel (Grad, °)  FG Gewichtskraft (Newton, N)  FN Normalkraft (Newton, N)  FH Hangabtriebskraft (Newton, N)  m Masse (Kilogramm, kg)  g Ortsfaktor () |

|  |  |
| --- | --- |
| Rollen feste Rolle  for4    lose Rolle  for5 | FG Gewichtskraft (Newton, N)  FZ Zugkraft (Newton, N)  FH Hubkraft (Newton, N)  sG Weg des Gewichtes (Meter, m)  sZ Zugweg (Meter, m)  sH Hubweg (Meter, m) |

## Reibung

|  |  |
| --- | --- |
| *Normalkraft:* die Kraft, mit der der Körper senkrecht auf die Unterlage drückt | FR Reibungskraft (Newton, N)  µ Reibungszahl  FN Normalkraft (Newton, N)  FG Gewichtskraft (Newton, N)  Neigungswinkel (Grad, °)  [**Wertetabelle**](#werte_reibung) |

## gleichförmige Bewegung

|  |  |
| --- | --- |
| **allgemein:**    Ist bereits ein Anfangsweg s0 zurückgelegt worden, gilt für den Gesamtweg: | s Weg (Meter, m)  t Zeit (Sekunde, s)  v Geschwindigkeit (Meter je Sekunde, ) |

## beschleunigte Bewegung

|  |  |
| --- | --- |
| gleichmäßig beschleunigt (a=konst.)    **allgemein**    Ist bereits ein Anfangsweg s0 zurückgelegt worden und (oder) eine Anfangsgeschwindigkeit v0 vorhanden, gilt: | s Weg (Meter, m)  t Zeit (Sekunde, s)  v Geschwindigkeit (Meter je Sekunde, )  a Beschleunigung (Meter je Quadratsekunde, ) |

|  |  |
| --- | --- |
| freier Fall Für den freien Fall  - ohne Luftreibung gilt:    - mit Luftreibung | g Ortsfaktor, Fallbeschleunigung  cw Widerstandsbeiwert  Dichte des Stoffes, in dem der Körper fällt  A Querschnittsfläche des fallenden Körpers  Fg Gewichtskraft des fallenden Körpers |

|  |  |
| --- | --- |
| ungleichmäßig beschl. ()  wenn a ~ t | k Beschleunigungsänderung (Meter je Kubiksekunde, )  a Beschleunigung (Meter je Quadratsekunde, )  t Zeit (Sekunde, s)  v Geschwindigkeit (Meter je Sekunde, )  s Weg (Meter, m) |

## Würfe

|  |  |
| --- | --- |
| senkrechter Wurf   Abwurf nach oben: v0 positiv  Abwurf nach unten: v0 negativ  **Steigzeit bis zum Gipfelpunkt:**    **Höhe des Gipfelpunktes:** | y Weg in y-Richtung (Meter, m)  t Zeit (Sekunde, s)  g Ortsfaktor ()  v0 Abwurfgeschwindigkeit (Meter je Sekunde, ) |

|  |  |
| --- | --- |
| waagerechter Wurf Wurfparabel:    Geschwindigkeit nach einer Zeit t: | y Weg in y-Richtung (Meter, m)  x Weg in x-Richtung (Meter, m)  t Zeit (Sekunde, s)  g Ortsfaktor ()  v0 Abwurfgeschwindigkeit (Meter je Sekunde, ) |

|  |  |
| --- | --- |
| schräger Wurf Wurfparabel:    Geschwindigkeit nach einer Zeit t:    **spezielle Formeln**  Wurfweite:  Wurfhöhe:  Steigzeit: | y Weg in y-Richtung (Meter, m)  x Weg in x-Richtung (Meter, m)  Abwurfwinkel (Grad, °)  t Zeit (Sekunde, s)  g Ortsfaktor ()  v0 Abwurfgeschwindigkeit (Meter je Sekunde, ) |

## Drehbewegung

|  |  |
| --- | --- |
|  | r Radius (Meter, m)  T Zeit für eine Umdrehung (Sekunde, s)  v Geschwindigkeit (Meter je Sekunde, )  n Anzahl der Umdrehungen je Sekunde ()  Winkelgeschwindigkeit () |

## Kräfte

|  |  |
| --- | --- |
| Sonderfälle: | F resultierende Kraft (Newton, N)  F1, F2 Teilkräfte (Newton, N)  Winkel zwischen den beiden Teilkräften (Grad, °) |

## Federn

|  |  |
| --- | --- |
| 2 Federn hintereinander    2 Federn nebeneinander | F Kraft, die die Feder spannt (Newton, N)  s Ausdehnung der Feder (Meter, m)  D Federkonstante (Newton je Meter, ) |

## Newtonsche Axiome

|  |  |
| --- | --- |
| **Grundgesetz**    **Trägheitsgesetz**  Wenn die Summe aller äußeren Kräfte auf einen Körper 0 ist, gilt:  oder    **Wechselwirkungsgesetz**    (actio = reactio) | F Kraft (Newton, N)  m Masse (Kilogramm, kg)  a Beschleunigung (Meter je Quadratsekunde, ) |

## Arbeit, Energie, Leistung

|  |  |
| --- | --- |
| Wenn F= konstant: | W Arbeit (Joule, J)  Energieänderung (Joule, J)  s Weg  Winkel zw. Kraft und Richtung der Bewegung (Grad, °)  P Leistung (Watt, W)  t Zeit (Sekunde, s) |

|  |  |
| --- | --- |
| **Hubarbeit**    🡪 potenzielle Energie | WH Hubarbeit (Joule, J)  FG Gewichtskraft (Newton, N)  h Höhe, um die der Körper gehoben wird (Meter, m)  m Masse des Körpers (Kilogramm, kg)  Epot potenzielle Energie (Joule, J)  g Ortsfaktor, Fallbeschleunigung () |
| **Beschleunigungsarbeit**    🡪 kinetische Energie | WB Beschleunigungsarbeit (Joule, J)  FB beschleunigende Kraft (Newton, N)  s Weg der Beschleunigung (Meter, m)  m Masse (Kilogramm, kg)  a Beschleunigung (Meter je Quadratsekunde, )  Ekin kinetische Energie (Joule, J)  v Geschwindigkeit (Meter je Sekunde, ) |
| **Federspannarbeit**    🡪 Energie einer gespannten Feder | WS Federspannarbeit (Joule, J)  FE Endkraft zum Spannen der Feder (Newton, N)  s Ausdehnung der Feder (Meter, m)  D Federkonstante (Newton je Meter, )  ES Federspannenergie (Joule, J) |
| **Reibungsarbeit**    🡪 Wärmeenergie | WR Reibungsarbeit (Joule, J)  FR Reibungskraft (Newton, N)  s Weg (Meter, m)  µ Gleitreibungszahl  FN Normalkraft (Newton, N)  m Masse Kilogramm, kg)  g Ortsfaktor ()  Neigungswinkel (Grad, °) |

## Impuls und Stöße

|  |  |
| --- | --- |
|  | p Impuls (Kilogramm Meter durch Sekunde, )  v Geschwindigkeit (Meter je Sekunde, )  I Kraftstoß (Newton Sekunde, Ns)  F Kraft (Newton, N)  Zeit, in der die Kraft wirkt (Sekunde, s) |

|  |  |
| --- | --- |
| **unelastischer gerader zentraler Stoß**  **Impuls:**    **Verringerung der kinetischen Energie**    **Geschwindigkeit nach dem Stoß:** | m1, m2 Massen der Körper (kg)  v1, v2 Geschwindigkeiten der Körper vor dem Stoß ()  u1, u2 Geschwindigkeit nach dem Stoß () |
| **elastischer gerader zentraler Stoß**  **Impuls:**    **Energie:**    **Geschwindigkeiten nach dem Stoß:** |  |

## Rotation

|  |  |
| --- | --- |
|  | FR Radialkraft (Newton, N)  m Masse (Kilogramm, kg)  v Geschwindigkeit (Meter je Sekunde, ) |

## Trägheitsmoment

|  |  |
| --- | --- |
| **Grundgesetz** | M Drehmoment (Newtonmeter, Nm)  J Trägheitsmoment (Kilogramm Quadratmeter, kg m²)  Winkelbeschleunigung (je Quadratsekunde, s-2) |
| **Trägheitsmoment**  **\* allgemein:**    **\* Massepunkt, dünner Kreisring:**    **\* Kugel:**    **\* langer, dünner Stab der Länge :**    **\* Vollzylinder:**    **Hohlzylinder:** | r Radius (Meter, m)  m Masse (Kilogramm, kg)  Länge (Meter, m)  ra, ri Außen- und Innenradius (Meter, m) |

## Gravitation, Keplersche Gesetze

|  |  |
| --- | --- |
|  | FG Gravitationskraft (Newton, N)  m1, m2 Massen (Kilogramm, kg)  r Abstand der Massenmittelpunkte(Meter, m)  Gravitationskonstante () |
| **1. keplersches Gesetz: Ein Planet bewegt sich auf einer elliptischen Bahn um seinen Stern. Der Stern steht in einem Brennpunkt der Ellipse.** | **2. keplersches Gesetz:** Der Leitstrahl Stern-Planet überstreicht in gleichen Zeiten gleiche Flächen.  **3. keplersches Gesetz:** Die Quadrate der Umlaufzeiten T zweier Planeten verhalten sich wie die dritten Potenzen der großen Halbachsen a ihrer Bahnen. |

## Schwingungen

|  |  |
| --- | --- |
| **Für eine harmonische Schwingung gilt:** | y Auslenkung, Elongation (Meter, m)  ymax max. Auslenkung, Amplitude (Meter, m)  Kreisfrequenz (je Sekunde, )  t Zeit (Sekunde, s)  Phasenwinkel  v Geschwindigkeit (Meter je Sekunde, )  a Beschleunigung (Meter je Quadratsekunde, ) |
| **Schwingungsdauer**  **\* Fadenpendel**    **\* Federschwinger**    **\* Torsionspendels**    **\* physisches Pendel**    **\* Flüssigkeitssäule** | T Schwingungsdauer (Sekunde, s)  Länge (Meter, m)  g Ortsfaktor ()  D [**Federkonstante**](#ferdern) (Newton je Meter, )  J [**Trägheitsmoment**](#trägheitsmoment) (Kilogramm Quadratmeter, kg m²)  a Abstand der Drehachse vom Schwerpunkt (Meter, m) |

## Wellen

|  |  |
| --- | --- |
|  | y Auslenkung, Elongation (Meter, m)  ymax max. Auslenkung, Amplitude (Meter, m)  t Zeit (Sekunde, s)  T Schwingungsdauer (Sekunde, s)  x Ort (Meter, m)  Wellenlänge (Meter, m)  c Ausbreitungsgeschwindigkeit (Meter je Sekunde, )  f Frequenz (Hertz, Hz) |

## Druck

|  |  |
| --- | --- |
|  | p Druck (Pascal, Pa)  F Kraft (Newton, N)  A Fläche (Quadtratmeter, m²)  FA Auftriebskraft (Newton, N)  Dichte (Kilogramm je Kubikmeter, )  V Volumen (Kubikmeter, m³)  g Ortsfaktor () |

## Relativitätstheorie

|  |  |
| --- | --- |
| Zeitdilatation    Längenkontraktion    relativistische Masse    Energie-Masse-Beziehung: | t Zeit der „ruhenden“ Uhr (Sekunde, s)  t’ Zeit der „bewegten Uhr“ (Sekunde, s)  v Relativgeschwindigkeit der Systeme zueinander (Meter je Sekunde, )  c Lichtgeschwindigkeit ()  Länge des „bewegten“ Körpers  Länge des „ruhenden“ Körpers  m0 Ruhemasse (Kilogramm, kg)  m Masse (Kilogramm, kg)  E Energie (Joule, J) |

# Elektrizitätslehre

## einfacher Gleichstromkreis

|  |  |
| --- | --- |
| **ohmsches Gesetz**  (wenn =konst.)  **Definition des Widerstandes:**  (wenn =konst.)  **Widerstandsgesetz:**    **Stromstärke:** | U Spannung (Volt, V)  I Stromstärke (Ampere, A)  Temperatur (Grad Celsius, °C)  R Widerstand (Ohm, )  [**spezifischer elektrischer Widerstand**](#werte_spez_widerstaende)  (Ohm mal Quadratmillimeter je Meter,  Länge (Meter, m)  A Querschnitt (Quadratmillimeter, mm²)  Q Ladung (Coulomb, C)  t Zeit (Sekunde, s) |

## verzweigter und unverzweigter Gleichstromkreis

|  |  |
| --- | --- |
| **Reihenschaltung von n Widerständen:**    **Parallelschaltung von n Widerständen:** | Ug Gesamtspannung (Volt, V)  U1...Un Teilspannungen (Volt, V)  Ig Gesamtstromstärke (Ampere, A)  I1...In Teilstromstärken (Ampere, A)  Rg Gesamt- oder Ersatzwiderstand (Ohm, )  R1...Rn Teilwiderstände (Ohm, ) |

## Dreieck- und Sternschaltung

|  |  |
| --- | --- |
| for7  Eine Dreieckschaltung lässt sich in eine Sternschaltung umwandeln und umgekehrt. | |
| Sternersatzwiderstände einer Dreieckschaltung | Dreieckersatzwiderstände einer Sternschaltung |

## Arbeit, Energie und Leistung

|  |  |
| --- | --- |
|  | P Leistung( Watt, W)  U Spannung (Volt, V)  I Stromstärke (Ampere, A)  W Arbeit (Wattsekunde, Ws)  t Zeit (Sekunde, s) |

## elektrische Ladungen

|  |  |
| --- | --- |
| für Punktladungen gilt:      für homogene elektrische Felder gilt: | F Kraft( Newton, N)  Q1, Q2 Ladungen (Coulomb, C)  r Abstand (Meter, m)  elektr. Feldkonstante ()  [**relative Permittivität**](formeln.docx#werte_permi)  E elektr. Feldstärke (Volt je Meter, )  FP Kraft auf eine Probeladung (Newton, N)  QP Probeladung (Coulomb, C)  U Spannung (Volt, V)  s Abstand (Meter, m) |

## Kondensatoren

|  |  |
| --- | --- |
|  | C Kapazität (Farad, F)  Q Ladung (Coulomb, C)  U Spannung (Volt, V)  elektr. Feldkonstante ()  [**relative Permittivität**](formeln.docx#werte_permi)  A Fläche einer Platte(Quadratmeter, m²)  d Abstand der Platten (Meter, m)  E Energie im Kondensator (Joule, J)  Zeitkonstante (Sekunde, s)  R Widerstand (Ohm, ) |
| **Reihenschaltung von n Kondensatoren:**    **Parallelschaltung von n Kondensatoren:** | Cg Gesamt- oder Ersatzkondensator (Farad, F)  C1…Cn Einzelkondensatoren (Farad, F) |

## Magnetfeld

|  |  |
| --- | --- |
| **mag. Flussdichte im innern einer langen stromdurchflossenen Spule:**        **Kraft auf einen stromdurchflossenen Leiter:** | B mag. Flussdichte (Tesla, T)  mag. Feldkonstante ()  [**Permeabilitätszahl**](#werte_perme)  N Windungszahl  I Stromstärke (Ampere, A)  Länge (Meter, m)  mag. Fluss (Weber, Wb)  A Fläche (Quadratmeter, m²)  FL Lorentzkraft (Newton, N)  Q Ladung (Coulomb, C)  v Geschwindigkeit (Meter je Sekunde, )  F Kraft (Newton, N) |
|  | UH HALL-Spannung (Volt, V)  V Volumen (Kubikmeter, m³)  N Anzahl der Ladungsträger  e Elementarladung ()  I Stromstärke (Ampere, A)  B mag. Flussdichte (Tesla, T)  s Dicke des Leiters (Meter, m)  RH [**Hall-Konstante**](#werte_hall) |

## Induktion

|  |  |
| --- | --- |
| **für eine Spule (Magnetfeld ändert sich gleichmäßig,** ():    **für einen bewegten Leiter** ():    **Selbstinduktionsspannung in einer Spule:**    **Induktivität einer langen Spule:** | Ui Induktionsspannung (Volt, V)  B mag. Flussdichte (Tesla, T)  mag. Feldkonstante ()  [**Permeabilitätszahl**](#werte_perme)  N Windungszahl  I Stromstärke (Ampere, A)  Länge (Meter, m)  mag. Fluss (Weber, Wb)  A Fläche (Quadratmeter, m²)  v Geschwindigkeit (Meter je Sekunde, )  L Induktivität (Henry, H) |

## Trafo

|  |  |
| --- | --- |
| **Spannungsübersetzung (Leerlauf**, ):    Stromstärkeübersetzung (Kurzschluss, ): | U1 Primärspannung (Volt, V)  U2 Sekundärspannung (Volt, V)  N1 Windungszahl Primärspule  N2 Windungszahl Sekundärspule  I1 Primärstromstärke (Ampere, A)  I2 Sekundärstromstärke (Ampere, A)  Wirkungsgrad  Pab abgegebene Leistung (Watt, W)  Pzu zugeführte Leistung (Watt, W) |

## elektromagnetische Schwingungen und Wellen

|  |  |
| --- | --- |
| **Thomsonsche Schwingungsgleichung:** | T Schwingungsdauer (Sekunde, T)  L Induktivität (Henry, H)  C Kapazität (Farad, F)  f Frequenz (Hertz, Hz)  c Lichtgeschwindigkeit ()  Wellenlänge (Meter, m) |

## Wechselstrom

|  |  |
| --- | --- |
|  | u Momentanwert der Spannung (Volt, V)  umax Maximalwert der Spannung (Volt, V)  Kreisfrequenz (je Sekunde, )  t Zeit (Sekunde, s)  Phasenwinkel (Grad, °)  U Effektivwert der Spannung (Volt, V)  i Momentanwert der Stromstärke (Ampere, A)  imax Maximalwert der Stromstärke (Ampere, A)  U Effektivwert der Stromstärke (Ampere, A) |

## Widerstände im Wechselstromkreis

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | R ohmscher Widerstand (Ohm, )  U Spannung (Volt, V)  I Stromstärke (Ampere, I)  [**spezifischer elektrischer Widerstand**](#werte_spez_widerstaende)  (Ohm mal Quadratmillimeter je Meter,  Länge (Meter, m)  A Querschnitt (Quadratmillimeter, mm²)  XL induktiver Widerstand (Ohm, )  Kreisfrequenz (je Sekunde, )  L Induktivität (Henry, H)  XC kapazitiver Widerstand (Ohm, )  C Kapazität (Farad, F) | |
| **Reihenschaltung:**    **Parallelschaltung:** | | X Blindwiderstand (Ohm, )  Z Scheinwiderstand (Ohm, )  Phasenwinkel (Grad, °) |

## Leistung im Wechselstromkreis

|  |  |
| --- | --- |
|  | S Scheinleistung (Voltampere, VA)  P Wirkleistung (Watt, W)  Q Blindleistung (Var [Volt-Ampère-réactif], var) |

# Optik

## Lichtausbreitung

|  |  |
| --- | --- |
|  | I Lichtintensität  r Abstand zur Lichtquelle |

## Reflexion

|  |  |
| --- | --- |
|  | Einfallswinkel (Grad, °)  Reflexionsgesetz (Grad, °) |
| **Hohlspiegel:**  **für randnahe Strahlen gilt**: | r Krümmungsradius (Meter, m)  f Brennweite (Meter, m)  g Gegenstandsweite (Meter, m)  b Bildweite (Meter, m)  B Bildgröße (Meter, m)  G Gegenstandsgröße (Meter, m)  A Abbildungsmaßstab |

## Brechung

|  |  |
| --- | --- |
|  | Einfallswinkel (Grad, °)  Brechungswinkel (Grad, °)  c1, c2 [**Lichtgeschwindigkeit**](#werte_brechzahl) (Meter je Sekunde, )  n [**Brechzahl**](#werte_brechzahl) |

## dünne Linsen

|  |  |
| --- | --- |
|  | f Brennweite (Meter, m)  g Gegenstandsweite (Meter, m)  b Bildweite (Meter, m)  B Bildgröße (Meter, m)  G Gegenstandsgröße (Meter, m)  A Abbildungsmaßstab  D Brechkraft (Dioptrie, dpt) |

## Interferenz am Spalt und Gitter

|  |  |
| --- | --- |
| es gilt:    **Spalt, Maxima**    **Spalt, Minima**    es gilt:    **Gitter, Maxima**    **Gitter, Minima** | for6  alle Maße in Meter, m  Wellenlänge (Meter, m) |

## Interferenz an dünnen Schichten

|  |  |
| --- | --- |
| **reflektiertes Licht Maxima**  **durchgehendes Licht Minima**      **reflektiertes Licht Minima**  **durchgehendes Licht Maxima** | d Schichtdicke (Meter, m)  Wellenlänge (Meter, m)  n [**Brechzahl**](#werte_brechzahl) |

## Polarisation

|  |  |
| --- | --- |
| Brewstersches Gesetz | Einfallwinkel (Grad, °)  n [**Brechzahl**](#werte_brechzahl) |

# Atomphysik

## Quantenphysik

|  |  |
| --- | --- |
| Einsteinsche Gleichung:    **de-Broglie-Wellenlänge:**    **Heisenbergsche Unschärfe:**    **Compton-Effekt:** | E Energie (Joule, J)  h Plancksches Wirkungsquantum ()  f Frequenz (Hertz, Hz)  c Lichtgeschwindigkeit ()  Wellenlänge (Meter, m)  m Masse eines Photons (Kilogramm, kg)  p Impuls eines Photons (Kilogramm Meter durch Sekunde, )  me Ruhemasse Elektron ()  v Geschwindigkeit (Meter je Sekunde, )  WA [**Austrittarbeit**](#werte_austritt)  Ortsunschärfe (Meter, m)  Impulsunschärfe (Kilogramm Meter durch Sekunde, )  Wellenlängenzunahme (Meter, m)  Streuwinkel (Grad, °) |

## Atomphysik

|  |  |
| --- | --- |
| **Spektralserien des Wassertoffatoms:** | f Frequenz (Hertz, Hz)  RH Rydberg-Konstante ()  c Lichtgeschwindigkeit ()  n, m Nummer der Energieniveaus |
|  | Massendefekt (Kilogramm, kg)  Z Kernladungszahl  mP Protonenmasse ()  N Neutronenzahl  mN Neutronenmasse ()  mk Kernmasse (Kilogramm, kg)  EB Kernbindungsenergie (Joule, J)  c Lichtgeschwindigkeit ()  u atomare Masseneinheit ( |
|  | A Aktivität (Becquerel, Bq)  Anzahl der zerfallenen Kerne  Zeitspanne (Sekunde, s)  A0 Aktivität (Becquerel, Bq)  Zerfallskonstante (je Sekunde, )  t Zeit (Sekunde, s)  Halbwertszeit (Sekunde, s)  N Anzahl der nicht zerfallenen Kerne  N0 Anzahl der Kerne zum Zeitpunkt 0 |

# Thermodynamik

## Längen- und Volumenänderung

|  |  |
| --- | --- |
|  | Längenänderung (Meter, m)  [**Längenausdehnungskoeffizient**](#werte_längenänderung)  Ausgangslänge (Meter, m)  Temperaturänderung (Kelvin, K)  Volumenänderung (Kubikmeter, m³)  Ausgangsvolumen (Kubikmeter, m³)  Volumenausdehnungskoeffizient  für feste Körper gilt: |

## thermisches Verhalten des idealen Gases

|  |  |
| --- | --- |
| **für eine abgeschlossene Gasmenge gilt:**    **Gesetz von Boyle und Mariotte (T=konst.):**    **Gesetz von Gay-Lussac (p=konst.):**    **Gesetz von Amontons (V=konst.):**    **Gesetz von Poisson (Q=0):** | p Druck (Pascal, Pa)  V Volumen (Kubikmeter, m³)  T Temperatur (Kelvin, K)  n Stoffmenge (Mol, mol)  R universelle Gaskonstante ()  m Masse (Kilogramm, kg)  RS [**spezifische Gaskonstante**](#werte_gaskonstante)  M molare Masse (Kilogramm je Mol, )  cp [**spez. Wärmekapazität bei konst. Druck**](#werte_gaskonstante)  cV [**spez. Wärmekapazität bei konst. Volumen**](#werte_gaskonstante)  Adiabatenkoeffizient  einatomige Gase  zweiatomige Gase |

## Wärme und Energie

|  |  |
| --- | --- |
| **Bedingung: es findet keine Aggregatzustandsänderung statt.**    **Für Gase:**  cp für p=konst.  cV für V=konst. | Q Wärme (Joule, J)  m Masse (Kilogramm, kg)  c [**spez. Wärmekapazität**](#werte_wärmekapazität)  Temperaturänderung (Kelvin, K)  cp [**spez. Wärmekapazität bei konst. Druck**](#werte_gaskonstante)  cV [**spez. Wärmekapazität bei konst. Volumen**](#werte_gaskonstante) |
| **Mischungsregel:** | Mischungstemperatur (Grad Celsius, °C)  Anfangstemperaturen (Grad Celsius, °C)  m1, m2 Massen der Körper (Kilogramm, kg)  c1, c2 [**spez. Wärmekapazitäten**](#werte_wärmekapazität) |
| **1. Hauptsatz**      **Wenn p=konstant:**    **Wenn T=konstant:** | Änderung der inneren Energie (Joule, J)  Q Wärme (Joule, J)  W Volumenarbeit (Joule, J)  p Druck (Pascal, Pa)  Volumenänderung (Kubikmeter, m³)  V Volumen (Kubikmeter, m³)  Ve Endvolumen (Kubikmeter, m³)  Va Abfangsvolumen (Kubikmeter, m³)  pe Anfangsdruck (Pascal, Pa)  pa Enddruck (Pascal, Pa) |

# Wertetabellen

## Dichte

### feste Stoffe

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Stoff | Dichte in g/cm³ | Stoff | Dichte in g/cm³ |
| Aluminium | 2,70 | Kork | 0,2...0,3 |
| Beton | 1,8 ... 2,4 | Kupfer | 8,96 |
| Blei | 11,35 | Messing | 8,5 |
| Diamant | 3,51 | Papier | 0,7...1,2 |
| Eis (0°C) | 0,92 | Sand | 1,6 |
| Eisen | 7,86 | Schnee (Pulver) | 0,1 |
| Glas | 2,4...2,7 | Schnee (Alt) | 0,3 |
| Gold | 19,32 | Silber | 10,50 |
| Holz (Eiche) | 0,86 | Stahl | 7,85 |
| Holz (Fichte) | 0,47 | Zink | 7,13 |
|  |  | Zinn | 7,29 |

### Flüssigkeiten

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Stoff | Dichte in g/cm³ | Stoff | Dichte in g/cm³ |
| Benzin | 0,70...0,78 | Spiritus | 0,83 |
| Diesel | 0,84...0,88 | Wasser (rein) | 1,00 |
| Quecksilber | 13,53 | Meerwasser | 1,02 |

### Gase

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Stoff | Dichte in kg/m³ | Stoff | Dichte in kg/m³ |
| Chlor | 3,21 | Methan | 0,72 |
| Helium | 0,18 | Ozon | 2,14 |
| Kohlenstoffdioxid | 1,98 | Propan | 2,02 |
| Kohlenstoffmonoxid | 1,25 | Sauerstoff | 1,43 |
| Luft | 1,29 | Wasserstoff | 0,09 |

## Reibungszahlen

Die Reibungszahlen sind nur Richtwerte und hängen immer von der gegebenen Bedingungen ab. (Quelle: Wikipedia, Reibungskoeffizient)

### Haftreibungszahlen

|  |  |
| --- | --- |
| Stoff | µH |
| Beton auf Sand | 0,6 |
| Mauerwerk auf Beton | 0,8 |
| Gummireifen auf trockenem Asphalt | < 0,9 |
| Gummireifen auf nassem Asphalt | < 0,5 |
| Gummireifen auf trockenem Beton | < 1,0 |
| Gummireifen auf nassem Beton | < 0,6 |
| Holz auf Holz | 0,7 |
| Ski auf Eis | 0,1 …0,3 |
| Stahl auf Eis | 0,02 |
| Teflon auf Teflon | 0,04 |

### Gleitreibungszahlen

|  |  |
| --- | --- |
| Stoff | µG |
| Gummireifen auf trockenem Asphalt | < 0,5 |
| Gummireifen auf nassem Asphalt | < 0,3 |
| Holz auf Holz | 0,5 |
| Stahl auf Eis | 0,01 |

## Spezifische elektrische Widerstände

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Stoff |  | Stoff |  |
| Aluminium | 0,028 | Bernstein |  |
| Eisen | 0,10 | Glas |  |
| Gold | 0,022 | Holz (trocken) |  |
| Konstantan | 0,50 | Papier |  |
| Kupfer | 0,017 | Porzellan |  |
| Silber | 0,016 | Wasser (destilliert) |  |
| Wolfram | 0,053 | Wasser (Meerwasser) |  |

## relative Permittivität

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Stoff |  | Stoff |  |
| Glas | 5 … 16 | Polypropylenfolie | 2,2 |
| Glimmer | 5 … 9 | Porzellan | 5 … 6,5 |
| Holz | 3 … 10 | Öl | 2,2 … 2,5 |
| Keramik | 10 … 50 000 | Vakuum | 1 |
| Luft | 1,000 6 | Wasser | 81 |
| Papier | 1,2 … 3,0 | Wasserstoff | 1,000 3 |
| Parafin | 2,0 |  |  |

## relative Permeabilität

|  |  |
| --- | --- |
| Stoff |  |
| Wasser | 0,999 991 |
| Aluminium | 1,000 02 |
|  |  |
| Cobalt | 80 … 200 |
| Dynamoblech | 200 …3 000 |
| Eisen | 250 … 680 |
| Nickel | 280 … 2 500 |

### Hall-Konstante

|  |  |
| --- | --- |
| Stoff |  |
| Aluminium |  |
| Kupfer |  |
| Silber |  |
| Silizium |  |

## Brechzahl und Lichtgeschwindigkeit

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Stoff | n |  |
| Diamant | 2,42 | 124 000 |
| Eis | 1,31 | 229 000 |
| Flintglas (leicht) | 1,61 | 186 000 |
| Flintglas (schwer) | 1,75 | 171 000 |
| Kronglas (leicht) | 1,51 | 199 000 |
| Kronglas (schwer) | 1,61 | 186 000 |
| Luft | 1,000 292 | 299 711 |
| Wasser | 1,33 | 225 000 |

## Austrittsarbeit

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Stoff |  |  |
| Aluminium | 4,20 | 6,73 |
| Barium | 2,52 | 4,04 |
| Cadmium | 4,04 | 6,47 |
| Caesium | 1,94 | 3,11 |
| Platin | 5,36 | 8,59 |
| Wolfram | 4,54 | 7,27 |
| Zink | 4,27 | 6,84 |

## Längenausdehnungskoeffizient

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Stoff |  | Stoff |  |
| Aluminium | 2,4 | Kupfer | 1,6 |
| Beton | 1,2 | Messing | 1,8 |
| Eis (bei 0°C) | 5,1 | Porzellan | 0,4 |
| Eisen | 1,2 | Silber | 2,0 |
| Glas | 1,0 | Stahl | 1,2 |
| Gold | 1,4 | Ziegelstein | 0,5 |
| Konstantan | 1,5 |  |  |

## spezifische Gaswerte

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Stoff |  |  |  |
| Ammoniak | 2,05 | 1,56 | 488 |
| Helium | 5,24 | 3,22 | 2 077 |
| Kohlenstoffdioxid | 0,85 | 0,65 | 189 |
| Luft | 1,01 | 0,72 | 287 |
| Sauerstoff | 0,92 | 0,65 | 260 |
| Stickstoff | 1,04 | 0,75 | 297 |
| Wasserstoff | 14,28 | 10,13 | 4 124 |

## spezifische Wärmekapazität von Feststoffen und Flüssigkeiten

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Feststoffe zw. 0°C und 100°C | | Flüssigkeiten bei 20°C | |
| Stoff |  | Stoff |  |
| Aluminium | 0,90 | Petroleum | 2,0 |
| Beton | 0,90 | Wasser | 4,19 |
| Eis (bei 0°C) | 2,09 |  |  |
| Glas | 0,86 |  |  |
| Kupfer | 0,39 |  |  |
| Porzellan | 0,73 |  |  |
| Ziegelstein | 0,86 |  |  |

# Genauigkeit und Fehler

## Genauigkeitsangaben

### gültige Ziffern

* Die Genauigkeit einer physikalischen Größe wird durch die Anzahl der gültigen Ziffern angegeben:  
  10 cm sagt etwas anderes aus als 10,0 cm!

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Schreibweise | Fehlerbereich | Bedeutung | Wert liegt zwischen |
| 10 cm | 1 cm | 10 cm ± 0,5 cm | 9,5 cm und 10,5 cm |
| 10,0 cm | 1 mm | 10 cm ± 0,05 cm =  10 cm ± 0,5 mm | 9,95 cm und 10,05 cm |
| 10,00 cm | 0,1 mm | 10 cm ± 0,005 cm =  10 cm ± 0,05 mm | 9,995 cm und 10,005 cm |

Den letzten Wert darf man also nur dann schreiben, wenn man auf 0,05 mm genau gemessen hat. Das geht nicht mit einem normalen Lineal.

* Für das Rechnen mit Messwerten muss die Anzahl der gültigen Ziffern bekannt sein:   
  Anzahl der gültigen Ziffern = Anzahl der angegebenen Ziffern ohne führende Nullen

|  |  |
| --- | --- |
| Zahl | gültige Ziffern |
| 17 | 2 |
| 17,0 | 3 |
| 0,17 | 2 |
| 0,017 | 2 |
| 0,170 | 3 |

* Das Ergebnis einer Punktrechnung hat genau so viele gültige Ziffern wie die Zahl mit den wenigsten gültigen Ziffern

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Zahl1 | gültige Ziffern | Zahl 2 | gültige Ziffern | Produkt | gültige Ziffern |
| 2,0 m | 2 | 3,0 m | 2 | 6,0 m² | 2 |
| 2 m | 1 | 3,0 m | 2 | 6 m² | 1 |

* Erklärung zur Tabelle:  
  2,0 m heißt, die Strecke wurde auf 5 cm genau gemessen, der
  + kleinste Wert ist 1,95 m
  + größte Wert ist 2,05

3,0 m heißt, die Strecke wurde auf 5 cm genau gemessen, der

* kleinste Wert ist 2,95 m
* der größte Wert ist 3,05 m

Damit berechnet sich der kleinste Flächeninhalt durch



und der größte Flächeninhalt durch



2 m heißt, die Strecke wurde auf 50 cm genau gemessen, der

* kleinste Wert ist 1,5 m
* der größte Wert ist 2,5 m

3 m heißt, die Strecke wurde auf 50 cm genau gemessen, der

* kleinste Wert ist 2,5 m
* größte Wert ist 3,5 m

Damit berechnet sich der kleinste Flächeninhalt durch



und der größte Flächeninhalt durch



Damit ist bei der zweiten Berechnung die Angabe einer

## Genauigkeit

* Jeder Messwert hat einen absoluten Fehler (Wer misst, misst Mist.)  
    
  Das Messergebnis ist der gemessene Wert mit Angabe der möglichen Abweichungen nach oben und unten.  heißt, dass die Masse zwischen 0,9 kg und 1,1 kg liegen kann.

Wie groß sind nun die absoluten Fehler einer Messung? Dafür gibt es klare Regelungen:

* Bei einer einfachen analogen Messung ist der absolute Fehler die Hälfte der kleinsten Skaleneinheit am Messgerät.
  + Lineal mit mm-Einteilung:  bedeutet, der wahre Wert der Messung liegt zwischen 24,25 cm und 24,35 cm.
* Bei digitaler Anzeige ist der absolute Fehler gleich 1 der letzten Ziffer.
  + Ein Thermometer zeigt an 20,4°C. Das heißt:  . Also liegt der wahre Wert zwischen 20,3°C und 20,5°C
* Bei elektrischen Messgeräten wird eine Genauigkeitsklasse angegeben, z.B. 2,5. Das bedeutet, der Fehler beträgt 2,5% vom Messbereichsendwert.
  + Messbereich: 10 V, der Fehler beträgt 2,5% von 10 V, also 0,25 V. Dieser Fehler gilt für den gesamten Messbereich. Also z.B. 9 V ± 0,25 V, aber auch 1 V ± 0,25 V. Im letzten Fall ist das natürlich viel schlimmer als im ersten Fall. Deshalb sollte ein Messgerät immer so eingestellt werden, dass der Zeiger im hinteren Bereich der Skale steht.
* Werden für eine physikalische Messgröße mehrere Messungen gemacht, kann der Fehler berechnet werden.
  + Bei wenigen Messwerten (n<10) gilt:   
    [Beispiel](formeln_f.docx#f1)
  + Bei 10 oder mehr Messwerten gilt:   
    [Beispiel](formeln_f.docx#f2)

## Fehler

### Fehlerarten

* absoluter Fehler   
  ist ein Maß für die Genauigkeit des Messwertes
* relativer Fehler   
  verdeutlicht die Abweichung in Bezug auf den Messwert
* prozentualer Fehler   
  ist der in Prozent angegebene relative Fehler

### Fehlerfortpflanzung

Ein physikalisches Ergebnis erhält man meistens durch eine Berechnung, in die mehrere Messgrößen eingehen. Jede Messgröße ist mit einem Fehler behaftet. Jeder dieser Fehler beeinflusst das Endergebnis.

Wie sich die Fehler auf das Ergebnis auswirken, zeigt die Übersicht

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Verknüpfung | Fehler |  |
| Summe  Differenz |  | Der absolute Fehler des Ergebnisses ist die Summe der einzelnen absoluten Fehler. |
| Produkt  Quotient |  | Der relative Fehler des Ergebnisses ist die Summe der einzelnen relativen Fehler. |
| Potenz |  | Der relative Fehler des Ergebnisses ist das Produkt aus dem relativen Fehler der Messung und dem Exponenten. |

### Berechnung des absoluten und relativen Fehlers

### Beispiele

Aufgabe 1

Eine Kugel rollt eine geneigte Ebene hinunter und führt danach mit der dabei erreichten Geschwindigkeit einen waagerechten Wurf aus. Es soll die Abwurfgeschwindigkeit v0 der Kugel und der absolute Fehler bestimmt werden.

1. In einer ersten Messung wird die Höhe h gemessen, aus der die Kugel herabrollt. Sie beträgt 23 cm und wurde mit einem Lineal mit mm-Einteilung bestimmt. (Die Rotationsenergie der Kugel am Ende der Anlaufebene soll vernachlässigt werden)

2. In einer zweiten Messung wird die Wurfweite x zu 0,95 m gemessen. Der Abwurftisch befand sich 1,0 m über dem Auftreffpunkt. Beide Werte wurden wieder mit einem Lineal mit mm-Einteilung bestimmt.

Berechnen Sie für die beiden Messverfahren die Abwurfgeschwindigkeit und bestimmen sie für jedes Ergebnis den absoluten Fehler.

Beachten Sie:



und



Lösung 1

zu 1. Die Geschwindigkeit wird über den Energieerhaltungssatz berechnet. Die Kugel wandelt beim Herabrollen potenzielle Energie in kinetische Energie um.



Fehler: Der absolute Fehler der Höhenmessung ist 0,5 mm, also die Hälfte der kleinsten Skaleneinteilung.



Der Fehler der Fallbeschleunigung ist vorgegeben.

Da aus den einzelnen Größen die Wurzel gezogen wird,



geht der Exponent 1/2 in die relativen Fehler mit ein. Sie werden mit 1/2 multipliziert. Damit gilt



Der absolute Fehler der Geschwindigkeit ist dann:



zu 2. Die Geschwindigkeit wird über die Wurfparabel berechnet:



Gleiche Geschwindigkeit wie bei 1. , das sollte auch so sein.

Jetzt der Fehler:



Damit ergibt sich ein relativer Fehler von:



Der absolute Fehler der Geschwindigkeit ist dann:



und kleiner als beim 1. Verfahren.

# Umstellen von Gleichungen und Einheiten

## Gleichungen

Stelle die Gleichungen 1 bis 11 ohne Hilfsmittel nach x um!

1. 

2. 

3. 

4. 

5. 

6. 

7. 

8.

9. 

10. 

11. 

12. Fasse die folgenden drei Gleichungen so zusammen, dass gilt: 



13. Stelle ohne Hilfsmittel nach t um!



[Lösungen](umformen.docx#umformen)

## Einheiten

Vereinfache die Einheiten so weit wie möglich.

1. 

2. 

3. 

[Lösungen](umformen.docx#einheit)