



STAATSINSTITUT FÜR SCHULQUALITÄT
UND BILDUNGSFORSCHUNG
MÜNCHEN

FORMELSAMMLUNG

PHYSIK
TECHNOLOGIE/NATURWISSENSCHAFTEN
CHEMIE

München 2019



Physik

1	Grundlagen	12
1.1	Dichte	12
1.2	Gewichtskraft	12
1.3	Hooke'sches Gesetz	12
1.4	Druck	12
1.5	Hydrostatischer Druck	13
1.6	Auftriebskraft	13
1.7	Reibungskraft	13
1.8	Drehmoment	14
2	Geradlinige Bewegungen	15
2.1	Mittlere und momentane Geschwindigkeit	15
2.2	Geradlinige Bewegung mit konstanter Geschwindigkeit	15
2.3	Mittlere und momentane Beschleunigung	16
2.4	Geradlinige Bewegung mit konstanter Beschleunigung	16
3	Newton'sche Gesetze	17
3.1	Trägheitssatz (1. Newton'sches Gesetz)	17
3.2	Grundgesetz der Mechanik (2. Newton'sches Gesetz)	17
3.3	Wechselwirkungsprinzip (3. Newton'sches Gesetz)	18
3.4	Gravitationsgesetz von Newton	18
4	Arbeit, Energie, Leistung und Wirkungsgrad	19
4.1	Arbeit	19
4.2	Mechanische Energie	20
4.3	Energieerhaltungssatz der Mechanik	20
4.4	Mittlere und momentane Leistung	21
4.5	Wirkungsgrad einer kontinuierlich arbeitenden Maschine	21

5	Impuls, Kraftstoß, Stoßvorgänge	22
5.1	Impuls	22
5.2	Kraftstoß	22
5.3	Impulserhaltungssatz	22
6	Dynamik von Flüssigkeiten und Gasen	23
6.1	Volumenstrom	23
6.2	Strömungsgeschwindigkeit	23
6.3	Bernoulligleichung	23
7	Kreisbewegung mit konstanter Winkelgeschwindigkeit	24
7.1	Winkel im Bogenmaß	24
7.2	Winkelgeschwindigkeit	24
7.3	Frequenz und Umlaufdauer	24
7.4	Zusammenhänge zwischen Winkelgeschwindigkeit, Frequenz und Umlaufdauer	24
7.5	Bahngeschwindigkeit	25
7.6	Zentripetalbeschleunigung und Zentripetalkraft	25
8	Mechanische Schwingungen	26
8.1	Lineares Kraftgesetz bei einer ungedämpften, harmonischen linearen Schwingung	26
8.2	Differenzialgleichung einer harmonischen Schwingung	26
8.3	Allgemeine Lösung der Differenzialgleichung einer harmonischen Schwingung	26
8.4	Periodendauer einer harmonischen Schwingung	27
9	Mechanische Wellen – Akustik	28
9.1	Fortschreitende Wellen	28
9.2	Interferenz zweier Kreiswellen	29
9.3	Beugung und Interferenz am Mehrfachspalt	30
9.4	Stehende Wellen	31



10 Grundlagen der Wärmelehre	33
10.1 Längen- und Volumenänderungen von Körpern bei Temperaturänderungen	33
10.2 Zustandsgleichung eines idealen Gases	34
10.3 Wärme und Wärmekapazität	34
11 Grundlagen der Elektrizitätslehre	35
11.1 Elektrische Stromstärke	35
11.2 Elektrischer Widerstand	35
11.3 Elektrische Arbeit und Leistung eines konstanten Gleichstroms	35
11.4 Reihen- und Parallelschaltung elektrischer Widerstände	36
12 Elektrisches Feld	37
12.1 Coulomb-Gesetz	37
12.2 Elektrische Feldstärke, Spannung und Potenzial	37
12.3 Elektrische Feldstärke im radialsymmetrischen elektrischen Feld einer Punktladung (Coulomb-Feld)	38
12.4 Homogenes elektrisches Feld eines Plattenkondensators	38
12.5 Kondensator	39
13 Magnetisches Feld und Induktion	40
13.1 Kraft auf einen stromdurchflossenen, geraden Leiter im homogenen Magnetfeld	40
13.2 Magnetische Flussdichte in einer lang gestreckten, stromdurchflossenen Spule ..	40
13.3 Kraft auf ein geladenes Teilchen im homogenen Magnetfeld (Lorentzkraft)	40
13.4 Magnetische Induktion	41
13.5 Spule im Stromkreis	42
14 Elektromagnetischer Schwingkreis	43
14.1 Differenzialgleichung einer ungedämpften elektromagnetischen Schwingung ..	43
14.2 Allgemeine Lösung der Differenzialgleichung der ungedämpften elektromagnetischen Schwingung	43
14.3 Thomson-Gleichung für die Periodendauer der ungedämpften elektromagnetischen Schwingung	43

15	Elektromagnetische Wellen	44
	15.1 Fortschreitende, linear polarisierte elektromagnetische Welle im Vakuum	44
	15.2 Dipolschwingungen	46
16	Geometrische Optik	47
	16.1 Reflexion und Brechung	47
	16.2 Abbildungsgleichungen für dünne Linsen	47
17	Spezielle Relativitätstheorie	48
	17.1 Lorentzfaktor	48
	17.2 Geschwindigkeitsabhängigkeit der Masse	48
	17.3 Relativistischer Impuls	48
	17.4 Relativistische Energie	48
18	Quantenphysik	50
	18.1 Photonen	50
	18.2 Äußerer lichtelektrischer Effekt (Einstein-Gleichung)	50
	18.3 Wellenlänge einer Materiewelle (de Broglie-Welle)	51
	18.4 Heisenberg'sche Unbestimmtheitsrelation (Unschärferelation)	51
	18.5 Eindimensionale, zeitunabhängige Schrödingergleichung	51
19	Atomphysik	52
	19.1. Energiestufen des Elektrons im Wasserstoffatom	52
	19.2. Allgemeine Serienformel für das Linienspektrum im Wasserstoffatom	52
	19.3. Moseley-Gesetz für die K_{α} -Linie im Röntgenspektrum	52
	19.4. Bragg-Bedingung für ein Kristallgitter	53
20	Kernphysik	54
	20.1 Berechnung des Massendefekts eines Atomkerns aus Atommassen	54
	20.2 Radioaktivität	54



Technologie/Naturwissenschaften

1	Technische Mechanik – Statik	58
1.1	Grundgleichungen	58
1.2	Kräftezerlegung in zueinander senkrechten Komponenten	58
1.3	Ersatzkraft und Ersatzmoment bei Einzelkräften	59
1.4	Ersatzkraft bei Streckenlasten	59
1.5	Kräftepaare	60
1.6	Statische Bestimmtheit ebener Kräftesysteme	60
1.7	Statische Bestimmtheit ebener Fachwerke	60
2	Technische Mechanik – Festigkeitslehre	61
2.1	Zug- und Druckbeanspruchung	61
2.2	Scherbeanspruchung	62
2.3	Biegebeanspruchung	62
2.4	Torsionsbeanspruchung	63
2.5	Knickung (nach Euler)	64
2.6	Flächenpressungen	65
3	Energietechnik	67
3.1	Mechanischer Wirkungsgrad	67
3.2	Energieformen	67
3.3	Leistung, Erträge und Kenngrößen von technischen Systemen	69
4	Thermodynamik	73
4.1	Thermische Zustandsgleichungen	73
4.2	Spezifische Wärmekapazitäten idealer Gase	74
4.3	Adiabate Zustandsänderung idealer Gase	74
4.4	Hauptsätze der Thermodynamik	75
4.5	Innere Energie, Wärme und Arbeit thermodynamischer Prozesse	76

Chemie

1	Quantitative Aspekte	82
1.1	Teilchenzahl	82
1.2	Masse	82
1.3	Volumen idealer Gase	82
1.4	Stoffmengenkonzentration	82
1.5	Massenkonzentration	82
1.6	Massenanteil	83
2	Mittlere Reaktionsgeschwindigkeit	83
3	Massenwirkungsgesetz	84
3.1	Massenwirkungsgesetz, konzentrationsbezogen	84
3.2	Massenwirkungsgesetz, druckbezogen	84
3.3	Gibbs-Helmholtz-Gleichung	84
4	Säure-Base-Gleichgewichte	85
4.1	Ionenprodukt des Wassers	85
4.2	Säurekonstante und Säureexponent	85
4.3	Basekonstante und Baseexponent	85
4.4	pH-Wert	86
4.5	pOH-Wert	86
4.6	pH-Wert in sauren Lösungen	87
4.7	Henderson-Hasselbalch-Gleichung	87
5	Redox-Gleichgewichte	88
5.1	Leerlaufspannung eines galvanischen Elements	88
5.2	Nernst'sche Gleichung	89



Tabellen – Physik

1	Ausgewählte Konstanten	92
2	Ruhmassen und Ruheenergien ausgewählter Teilchen	93
3	Weitere wichtige physikalische Größen und ihre Einheiten	94
4	Umrechnung von Einheiten ausgewählter Größen	97
5	SI-Vorsätze und griechisches Alphabet	98
6	Elektromagnetisches Spektrum	99
7	Schaltzeichen im Physikunterricht	100

Tabellen – Technologie/Naturwissenschaften

1	Gaskonstanten M , c_p , c_v , R_i und κ	101
2	Heizwerte	102
3	Spezifische Wärmekapazitäten c von Flüssigkeiten und Feststoffen (bei 20° C)	103
4	Flächenmomente 2. Ordnung und Widerstandsmomente	104
5	Eisen-Kohlenstoff-Diagramm	105



Tabellen – Chemie

1	Säurekonstanten und Basekonstanten	106
2	Elektrochemische Spannungsreihe der Metalle	107
3	Elektrochemische Spannungsreihe der Nichtmetalle	108
4	Elektrochemische Spannungsreihe weiterer Halbreaktionen ...	109

	Stichwortverzeichnis	112
--	----------------------------	-----

Anhang

	Merkhilfe Mathematik Technik	120
	Periodensystem	130

Physik



1 Grundlagen

1.1 Dichte

- ρ ist die Dichte eines Körpers/einer Flüssigkeit/eines Gases,
 m die Masse des Körpers/der Flüssigkeit/des Gases,
 V das zugehörige Volumen.

$$\rho = \frac{m}{V}$$

1.2 Gewichtskraft

- F_G ist der Betrag der auf einen Körper wirkenden Gewichtskraft \vec{F}_G ,
 m die Masse des Körpers,
 g der Ortsfaktor (Betrag der Fallbeschleunigung).

$$F_G = m \cdot g$$

1.3 Hooke'sches Gesetz

- F ist der Betrag der Kraft \vec{F} , mit der eine Feder gedehnt/gestaucht wird,
 D die Federkonstante (Federhärte),
 s die Länge der Dehnung/Stauchung der Feder.

$$F = D \cdot s$$

1.4 Druck

- p ist der Druck,
 F_N der Betrag der Kraft \vec{F}_N , die senkrecht auf eine Fläche wirkt (Normalkraft),
 A der Flächeninhalt.

$$p = \frac{F_N}{A}$$

1.5 Hydrostatischer Druck

- p_h ist der hydrostatische Druck,
 h die Höhe der Flüssigkeitssäule,
 ρ die Dichte der Flüssigkeit,
 g der Ortsfaktor (Betrag der Fallbeschleunigung).

$$p_h = \rho \cdot g \cdot h$$

1.6 Auftriebskraft

- F_A ist der Betrag der Auftriebskraft \vec{F}_A ,
 ρ die Dichte des Mediums (Flüssigkeit oder Gas),
 in das ein Körper ganz oder teilweise eingetaucht ist,
 V das Volumen des verdrängten Mediums,
 g der Ortsfaktor (Betrag der Fallbeschleunigung).

$$F_A = \rho \cdot g \cdot V$$

1.7 Reibungskraft

Reibungskraft zwischen zwei Festkörpern

- F_R ist der Betrag der Reibungskraft \vec{F}_R ,
 F_N der Betrag der Normalkraft \vec{F}_N , mit der ein Körper auf eine
 Unterlage gedrückt wird,
 μ die Reibungszahl.

$$F_R = \mu \cdot F_N$$

Reibungskraft bei laminarer Strömung (Gesetz von Stokes)

- F_R ist der Betrag der Reibungskraft \vec{F}_R ,
 r der Radius einer Kugel,
 v der Betrag der Geschwindigkeit \vec{v} , mit der sich die Kugel in einem Medium (Flüssigkeit
 oder Gas) bewegt,
 η die Viskosität (Zähigkeit) des Mediums.

$$F_R = 6\pi \cdot \eta \cdot r \cdot v$$



Reibungskraft bei turbulenter Strömung

- F_R ist der Betrag der Reibungskraft \vec{F}_R ,
 v der Betrag der Geschwindigkeit \vec{v} eines Körpers,
 A der Flächeninhalt der angeströmten Querschnittsfläche des Körpers,
 c_W der Widerstandsbeiwert,
 ρ die Dichte des Mediums.

$$F_R = \frac{1}{2} c_W \cdot A \cdot \rho \cdot v^2$$

1.8 Drehmoment

- M ist der Betrag des Drehmoments \vec{M} ,
 F der Betrag der Kraft \vec{F} ,
 l der Hebelarm.

$$M = F \cdot l$$

2 Geradlinige Bewegungen

Ein Körper (Massenpunkt) bewegt sich längs der x -Achse eines kartesischen Koordinatensystems.

2.1 Mittlere und momentane Geschwindigkeit

Betrachtet wird die Bewegung des Körpers im Zeitintervall $[t; t + \Delta t]$.

\bar{v}_x ist die Koordinate der mittleren Geschwindigkeit \vec{v} des Körpers in diesem Zeitintervall,

Δt die Länge des Zeitintervalls,

Δx die Änderung der Koordinate des Ortes \vec{r} des Körpers in diesem Zeitintervall.

$$\bar{v}_x = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

$v_x(t)$ ist die Koordinate der momentanen Geschwindigkeit \vec{v} des Körpers in Abhängigkeit von der Zeit t .

$$v_x(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{d}{dt} x(t) = \dot{x}(t)$$

2.2 Geradlinige Bewegung mit konstanter Geschwindigkeit

$x(t)$ ist die Koordinate des Ortes \vec{r} des Körpers in Abhängigkeit von der Zeit t ,

x_0 die Koordinate des Ortes \vec{r} des Körpers zum Zeitpunkt $t_0 = 0$,

v_x die Koordinate der konstanten Geschwindigkeit \vec{v} des Körpers.

$$\begin{aligned} x(t) &= x_0 + v_x \cdot t \\ v_x &= \text{konst.} \end{aligned}$$

2.3 Mittlere und momentane Beschleunigung

Betrachtet wird die Bewegung des Körpers im Zeitintervall $[t; t + \Delta t]$.

\bar{a}_x ist die Koordinate der mittleren Beschleunigung $\bar{\vec{a}}$ in diesem Zeitintervall,

Δt die Länge des Zeitintervalls,

Δv_x die Änderung der Koordinate der Geschwindigkeit \vec{v} des Körpers in diesem Zeitintervall.

$a_x(t)$ ist die Koordinate der momentanen Beschleunigung \vec{a} , die der Körper erfährt, in Abhängigkeit von der Zeit t .

$$\bar{a}_x = \frac{\Delta v_x}{\Delta t}$$

$$a_x(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v_x}{\Delta t} = \frac{d}{dt} v_x(t) = \dot{v}_x(t) = \ddot{x}(t)$$

2.4 Geradlinige Bewegung mit konstanter Beschleunigung

$x(t)$ ist die Koordinate des Ortes \vec{r} des Körpers in Abhängigkeit von der Zeit t ,

x_0 die Koordinate des Ortes \vec{r} des Körpers zum Zeitpunkt $t_0 = 0$.

$v_x(t)$ ist die Koordinate der momentanen Geschwindigkeit \vec{v} in Abhängigkeit von der Zeit t ,

$v_{0,x}$ die Koordinate der Geschwindigkeit \vec{v} zum Zeitpunkt $t_0 = 0$,

a_x die Koordinate der konstanten Beschleunigung \vec{a} , die der Körper erfährt.

$$\begin{aligned} x(t) &= x_0 + v_{0,x} \cdot t + \frac{1}{2} a_x \cdot t^2 \\ v_x(t) &= v_{0,x} + a_x \cdot t \\ a_x &= \text{konst.} \\ v_x^2 - v_{0,x}^2 &= 2a_x(x - x_0) \end{aligned}$$

3 Newton'sche Gesetze

3.1 Trägheitssatz (1. Newton'sches Gesetz)

Ist die Summe aller an einem Körper angreifenden Kräfte gleich Null, so bleibt der Körper im Zustand der Ruhe oder bewegt sich mit konstanter Geschwindigkeit weiter.

3.2 Grundgesetz der Mechanik (2. Newton'sches Gesetz)

Grundgesetz bei konstanter Masse eines Körpers

\vec{F} ist die resultierende Kraft, die einen Körper beschleunigt,

Δt die Länge des Zeitintervalls, während dessen der Körper beschleunigt wird,

$\Delta \vec{v}$ die Änderung der Geschwindigkeit des Körpers im Zeitintervall $[t; t + \Delta t]$,

m die konstante Masse des Körpers,

\vec{a} die Beschleunigung, die der Körper erfährt.

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a}$$

$$\vec{F} \cdot \Delta t = m \cdot \Delta \vec{v}$$

Verallgemeinerung des Grundgesetzes

$\vec{F}(t)$ ist die resultierende Kraft auf einen Körper in Abhängigkeit von der Zeit t ,

$\vec{p}(t)$ der Impuls des Körpers in Abhängigkeit von der Zeit t ,

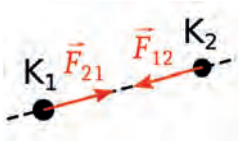
$\dot{\vec{p}}(t)$ die zeitliche Ableitung des Impulses \vec{p} in Abhängigkeit von der Zeit t .

$$\vec{F}(t) = \frac{d}{dt} \vec{p}(t) = \dot{\vec{p}}(t)$$

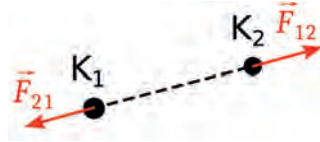
3.3 Wechselwirkungsprinzip (3. Newton'sches Gesetz)

Übt ein Körper K_1 auf einen Körper K_2 eine Kraft \vec{F}_{12} aus, so erfährt umgekehrt auch der Körper K_1 stets eine Kraft \vec{F}_{21} , die der Körper K_2 auf ihn ausübt.

Es gilt: $\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$



anziehende Kräfte



abstoßende Kräfte

3.4 Gravitationsgesetz von Newton

F_G ist der Betrag der Gravitationskraft \vec{F}_G , mit der sich die Körper K_1 und K_2 gegenseitig anziehen,

m_1, m_2 sind die Massen der Körper K_1 und K_2 ,

r ist der Abstand ihrer Massenschwerpunkte,

G die Gravitationskonstante.

$$F_G = G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$$

4 Arbeit, Energie, Leistung und Wirkungsgrad

4.1 Arbeit

W_{12} ist die Arbeit, die von der konstanten Kraft \vec{F} an einem Körper bei dessen Verschiebung vom Punkt P_1 zum Punkt P_2 verrichtet wird,

\vec{F} die konstante Kraft, durch die der Körper verschoben wird,

\vec{s} der lineare Weg vom Punkt P_1 zum Punkt P_2 ($\vec{s} = \overrightarrow{P_1P_2}$),

α der eingeschlossene Winkel zwischen \vec{F} und \vec{s} .

$$W_{12} = \vec{F} \circ \vec{s}$$

$$W_{12} = |\vec{F}| \cdot |\vec{s}| \cdot \cos \alpha$$

W ist die Arbeit, die die konstante Kraft \vec{F} am Körper bei dessen Verschiebung entlang der Strecke \vec{s} verrichtet,

F der Betrag der konstanten Kraft \vec{F} in Richtung der Strecke \vec{s} ,

s der Betrag der Strecke \vec{s} in Richtung der Kraft \vec{F} .

$$W = F \cdot s$$

Ein Körper wird längs der x -Achse eines Koordinatensystems durch eine ortsabhängige Kraft \vec{F} verschoben.

W_{12} ist die Arbeit, die von der Kraft \vec{F} an diesem Körper bei dessen Verschiebung von x_1 nach x_2 verrichtet wird,

x_1 die Koordinate des Ortes des Körpers vor der Verschiebung,

x_2 die Koordinate des Ortes des Körpers nach der Verschiebung,

$F_x(x)$ die x -Koordinate der Kraft \vec{F} in Abhängigkeit von x .

$$W_{12} = \int_{x_1}^{x_2} F_x(x) dx$$



4.2 Mechanische Energie

Arbeit-Energie-Prinzip

W ist die an einem Körper verrichtete Arbeit,
 ΔE die Änderung der Gesamtenergie des Körpers.

$$W = \Delta E$$

Kinetische Energie

E_{kin} ist die kinetische Energie eines Körpers,
 m die Masse des Körpers,
 v der Betrag seiner Geschwindigkeit \vec{v} .

$$E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} m \cdot v^2$$

Potenzielle Energie der Erdanziehung

E_{pot} ist die potenzielle Energie der Erdanziehung eines Körpers,
 m die Masse des Körpers,
 h seine Höhe gegenüber dem Bezugsniveau,
 g der Ortsfaktor (Betrag der Fallbeschleunigung).

$$E_{\text{pot}} = m \cdot g \cdot h$$

Potenzielle Energie der Elastizität

E_{pot} ist die potenzielle Energie der Elastizität einer Feder,
 D die Federkonstante,
 s die Dehnung/Stauchung der Feder.

$$E_{\text{pot}} = \frac{1}{2} D \cdot s^2$$

4.3 Energieerhaltungssatz der Mechanik

In einem abgeschlossenen System, in dem keine Reibungskräfte auftreten, bleibt die mechanische Gesamtenergie, d. h. die Summe aus kinetischer und potenzieller Energie, erhalten.