

FORMELSAMMLUNG

für

Laboranten

INHALT

A	Allgemeines
B	Flächen- und Körperberechnungen
C	Bewegungsvorgänge
D	Kraft, Druck
E	Drehmoment, Einf. Maschinen
F	Arbeit, Energie, Leistung
G	Dichte
H	Hydrostatik, Hydrodynamik
I	Aerostatik
J	Kalorik
K	Elektrik
L	Technologie
M	Chemisches Rechnen
N	Chem. - physikal. Rechnen
Z	zusätzliche Umstellungen

Tabellenanhang

Basisgrößen und Basiseinheiten (SI)**A1**

Basisgröße		Basiseinheit	
Länge	l	Meter	m
Masse	m	Kilogramm	kg
Zeit	t	Sekunde	s
el. Stromstärke	I	Ampere	A
Temperatur	T	Kelvin	K
Stoffmenge	n	Mol	mol
Lichtstärke	I_v	Candela	cd

Größen mit ihren Formelzeichen und Einheiten**MECHANIK**

Strecke, Weg	s	m
Länge, Hebelarm	l	m
Höhe, Fallhöhe	h	m
Radius	r	m
Durchmesser	d	m
Fläche	A	m^2
Rauminhalt, Volumen	V	m^3
Masse	m	kg
Gewichtskraft	F_G	N
Dichte	ρ	kg/m^3
Zeit	t	s
Geschwindigkeit	v	m/s
Beschleunigung	a	m/s^2

Größen mit ihren Formelzeichen und Einheiten**A2**

Fallbeschleunigung	g	m/s^2
Drehfrequenz	f	1/s
Winkelgeschwindigkeit	ω	1/s
Kraft	F	N
Federkonstante	D	N/m
Reibungskraft	F_R	N
Reibungszahl	μ	-
Normalkraft	F_N	N
Hangabtriebskraft	F_H	N
Drehmoment	M	Nm
Arbeit,	W	J
Energie	E	J
potentielle Energie	E_{pot}	J
kinetische Energie	E_{kin}	J
Leistung	P	W
Wirkungsgrad	η	-
Zentrifugalkraft	F_f	N
Zentripetalkraft	F_p	N
Druck	p	Pa
mechanische Spannung	σ	Pa
Dehnung	ε	-
Bodendruckkraft	F_B	N
Seitendruckkraft	F_S	N
Aufdruckkraft	F_D	N
Auftriebskraft	F_A	N
hydrostatischer Druck (Schweredruck)	ρ_{hy}	Pa
Luftdruck	ρ_L	Pa

Größen mit ihren Formelzeichen
und Einheiten**A3****KALORIK**

Temperatur	T	K, °C
Temperaturdifferenz	ΔT	K
Längenausdehnungskoeff.	α	1/K
Raumausdehnungskoeff.	γ	1/K
Wärmemenge	Q	J
Wärmekapazität	C	1/K
spez. Wärmekapazität	c	J/kg K
spez. Schmelzwärme	q	J/kg
spez. Verdampfungswärme	r	J/kg
Brennwert (Heizwert)	H	J/kg
Wärmeleitfähigkeit	λ	W/m*K
Wärmeübergangskoeffiz.	α	W/m ² *K
Wärmedurchgangskoeffiz.	K	W/m ² *K

WELLEN UND SCHWINGUNGEN

Frequenz	f	1/s
Fortpflanzungsgeschw.	c	m/s
Wellenlänge	λ	m

OPTIK

Lichtstrom	Φ	lm
Lichtstärke	I_v	cd
Beleuchtungsstärke	E	lx
Brechzahl	n	-
Brennweite	f	m

Größen mit ihren Formelzeichen
und Einheiten**A4****ELEKTRIK**

elektrische Ladung	Q	C
Stromstärke	I	A
Spannung	U	V
Kapazität	C	F
Widerstand	R	Ω
Widerstandsänderung	ΔR	W
Leitwert	G	S
spezifischer Widerstand	ρ	(Ω *mm ²)/m
elektrische Feldstärke	E	N/C
elektrische. Arbeit	W	J
elektrische Energie	E	J

TECHNOLOGIE

Volumenstrom	\dot{V}	m ³ /s
Massenstrom	\dot{m}	kg/s
Füllzeit v. Behältern	t	s
Querschnitt Rohrleitung	A	m ²
Nennweite Rohrleitung	d	mm

Dezimale Teile und Vielfache von Einheiten

A5

TEILE

10^{-18}	Atto	a
10^{-15}	Femto	f
10^{-12}	Piko	p
10^{-9}	Nano	n
10^{-6}	Mikro	μ
10^{-3}	Milli	m
10^{-2}	Zenti	c
10^{-1}	Dezi	d

VIELFACHE

10^1	Deka	da
10^2	Hekto	h
10^3	Kilo	k
10^6	Mega	M
10^9	Giga	G
10^{12}	Tera	T
10^{15}	Peta	P
10^{18}	Exa	E

LÄNGENEINHEITEN

m	dm	cm	mm
1	10	100	1 000
0,1	1	10	100
0,01	0,1	1	10
0,001	0,01	0,1	1

Dezimale Teile und Vielfache von Einheiten

A6

FLÄCHENEINHEITEN

m^2	dm^2	cm^2	mm^2
1	100	10 000	1 000 000
0,01	1	100	10 000
0,000 1	0,01	1	100
0,000 001	0,000 1	0,01	1

VOLUMENEINHEITEN

m^3	dm^3	cm^3	mm^3
1	1 000	1 000 000	10^9
0,001	1	1 000	1 000 000
0,000 001	0,001	1	1 000
10^{-9}	0,000 001	0,001	1

MASSENEINHEITEN

t	kg	g	mg
1	1000	1 000 000	10^9
0,001	1	1 000	1 000 000
0,000 001	0,001	1	1 000
10^{-9}	0,000 001	0,001	1

Griechisches Alphabet

A7

Alpha	α	A
Beta	β	B
Gamma	γ	Γ
Delta	δ	Δ
Epsilon	ε	E
Zeta	ζ	Z
Eta	η	H
Theta	θ	Θ
Jota	ι	I
Kappa	κ	K
Lampda	λ	Λ
My	μ	M
Ny	ν	N
Xi	ξ	Ξ
Omikron	ο	O
Pi	π	Π
Rho	ρ	P
Sigma	σ	Σ
Tau	τ	T
Ypsilon	υ	Υ
Phi	φ	Φ
Chi	χ	X
Psi	ψ	Ψ
Omega	ω	Ω

Römische Zahlen

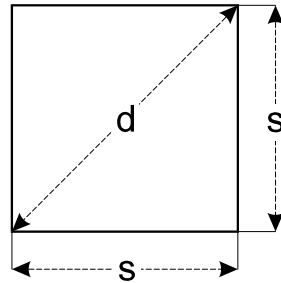
A8

1	I	60	LX
2	II	70	LXX
3	III	80	LXXX
4	IV	90	XC
5	V	100	C
6	VI	200	CC
7	VII	300	CCC
8	VIII	400	CD
9	IX	500	D
10	X	600	DC
20	XX	700	DCC
30	XXX	800	DCCC
40	XL	900	CM
50	L	1000	M

Flächenberechnungen I

B1

QUADRAT

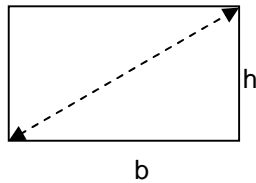


$$A = s \cdot s = s^2$$

$$U = 4s$$

$$d = s\sqrt{2}$$

RECHTECK



$$A = b \cdot h$$

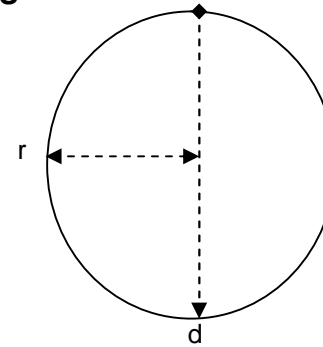
$$d = \sqrt{b^2 + h^2}$$

$$U = 2(b+h)$$

Flächenberechnungen II

B2

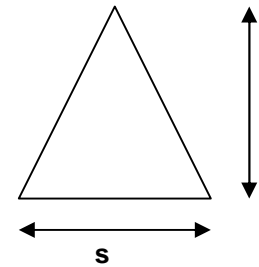
KREIS



$$A = r^2 \cdot \pi = d^2 \cdot \frac{\pi}{4}$$

$$U = 2 \cdot r \cdot \pi = d \cdot \pi$$

DREIECK

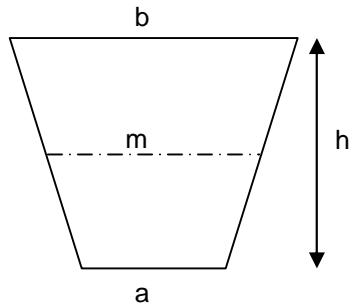


$$A = \frac{s \cdot h}{2}$$

Flächenberechnungen III

B3

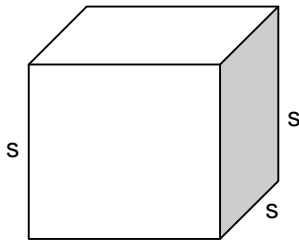
TRAPEZ



$$A = m \cdot h = \frac{a+b}{2} \cdot h$$

Körperberechnungen

WÜRFEL



$$V = s \cdot s \cdot s = s^3$$

$$A_0 = 6 \cdot s \cdot s = 6s^2$$

Körperberechnungen

B4

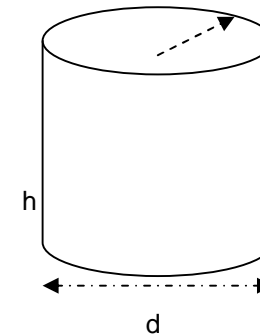
QUADER



$$V = l \cdot b \cdot h$$

$$A_0 = 2(lb + lh + bh)$$

ZYLINDER



$$V = A \cdot h = r^2 \cdot \pi \cdot h \quad A_M = d \cdot \pi \cdot h$$

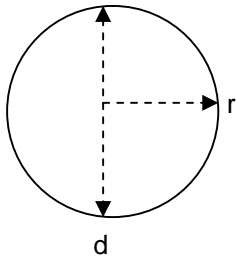
$$A_0 = \pi \cdot \left(d \cdot h + \frac{d^2}{2} \right) = \pi \cdot (2r \cdot h + 2r^2)$$

$$d = 2r$$

Körperberechnungen

B5

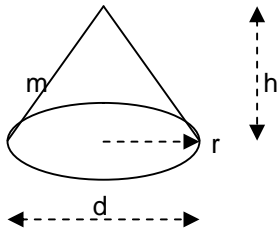
KUGEL



$$V = \frac{4}{3} \cdot r^3 \cdot \pi = \frac{1}{6} \cdot d^3 \cdot \pi$$

$$A_O = 4 \cdot r^2 \cdot \pi = d^2 \cdot \pi$$

KEGEL



$$V = \frac{r^2 \cdot \pi \cdot h}{3} \quad A_M = r \cdot \pi \cdot m$$

$$A_O = r \cdot \pi \cdot (m + r)$$

Bewegung

C1

GESCHWINDIGKEIT

Gleichförmige Geschwindigkeit

$$v = \text{konst}$$

$$a = 0$$

$$v = \frac{s}{t} \quad [m/s]$$

$$[cm/s]$$

$$[km/h]$$

$$\left[\frac{m}{s} \right] \cdot 3,6 = \left[\frac{km}{h} \right]$$

$$\left[\frac{km}{h} \right] : 3,6 = \left[\frac{m}{s} \right]$$

Bewegung

C2

BESCHLEUNIGUNG, VERZÖGERUNG

Gleichförmige Beschleunigung (Verzögerung)

$$a = \text{konst.} \quad v_0 = 0$$

$$a = \frac{v}{t} \quad \left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right]$$

$$a = \frac{2s}{t^2}$$

$$a = \frac{v^2}{2s}$$

FREIER FALL

$$g = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \quad v_0 = 0$$

$$g = \frac{v}{t} \quad \left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right]$$

$$g = \frac{2h}{t^2}$$

$$g = \frac{v^2}{2h}$$

$$v = \frac{2h}{t}$$

Bewegung

C3

UMFANGSGESCHWINDIGKEIT

$$v_u = \frac{d \cdot \pi \cdot n}{t} = d \cdot \pi \cdot f \quad \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$$

n = Zahl der Umläufe

t = dafür benötigte Zeit

T = Periodendauer

f = Frequenz

GLEICHMÄSSIGE DREHBEWEGUNG

(DREHFREQUENZ)

$$f = \frac{n}{t} = \frac{1}{T} \quad [\text{Hz}]$$

WINKELGESCHWINDIGKEIT

$$\omega = \frac{v}{r} = \frac{2 \cdot r \cdot \pi \cdot f}{r}$$

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f \quad [\text{Hz}]$$

Kraft; Druck

D1

KRAFT

$$F = m \cdot a \quad [\text{N}], \left[\frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2} \right]$$

GEWICHTSKRAFT

$$F_G = m \cdot g \quad [\text{N}]$$

REIBUNGSZAHL

Reibungszahl

$$\mu = \frac{F_R}{F_N} = \frac{F_R}{F_G} \quad (\text{waagrechte Fläche})$$

F_R = Reibungskraft [N]

F_N = Normalkraft [N]

F_G = Gewichtskraft [N]

DRUCK

$$p = \frac{F}{A} \quad [\text{Pa}], \left[\frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right]$$

Drehmoment

E1

Einfache Maschine

HEBEL

$$F_1 \cdot l_1 = F_2 \cdot l_2$$

L = Länge des Hebelarms

DREHMOMENT

$$M = F \cdot l \quad [\text{Nm}]$$

Momentgleichgewicht

$$\sum M_{\text{links}} = \sum M_{\text{rechts}}$$

Drehmoment

E2

Einfache Maschinen

Feste Rolle

ohne Wirkungsgrad

$$F_1 = F_2$$

$$s_1 = s_2$$

mit Wirkungsgrad

$$F_1 = \frac{F_2}{\eta}$$

Lose Rolle

ohne Wirkungsgrad

$$F_1 = \frac{F_2}{2}$$

$$s_1 = 2 \cdot s_2$$

mit Wirkungsgrad

$$F_1 = \frac{F_2}{2 \cdot \eta}$$

F_1 = Haltekraft, Zugkraft [N]
 $F_2 = G$ = Gewichtskraft der Last [N]
 s_1 = Kraftweg [m]
 s_2 = Lastweg [m]

Drehmoment

E3

Einfache Maschinen

Flaschenzug

ohne Wirkungsgrad

$$F_1 = \frac{F_2}{n}$$

mit Wirkungsgrad

$$F_1 = \frac{F_2}{n \cdot \eta}$$

$$s_1 = s_2 \cdot n$$

F_1 = Haltekraft, Zugkraft [N]
 $F_2 = G$ = Gewichtskraft der Last [N]
 s_1 = Kraftweg [m]
 s_2 = Lastweg [m]
 n = Anzahl der tragenden Seile

Drehmoment
Einfache Maschinen

E4

Übersetzungsverhältnisse:

$$d_1 \cdot n_1 = d_2 \cdot n_2$$

$$\frac{d_2}{d_1} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{z_2}{z_1} = i$$

d_1 = Durchmesser treibende Scheibe	[m]
n_1 = Drehzahl „ „	$\left[\frac{1}{s} \right]$
z_1 = Zähnezahl „ „	
d_2 = Durchmesser getriebene Scheibe	[m]
n_2 = Drehzahl „ „	$\left[\frac{1}{s} \right]$
z_2 = Zähnezahl „ „	

Drehmoment
Einfache Maschinen

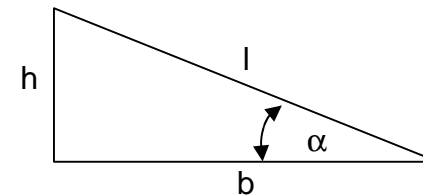
E5

Geneigte Ebene (Schiefe Ebene)

$$\frac{F_H}{F_G} = \frac{h}{l} \quad F_H = F_G \cdot \sin \alpha$$

$$F_N = \frac{F_G}{l} \cdot b \quad F_N = F_G \cdot \cos \alpha$$

F_H = Hangabtriebskraft	[N]
F_G = Gewichtskraft	[N]
F_N = Normalkraft	[N]
h = Höhe der schiefen Ebene	[m]
l = Länge „ „	[m]
b = Basis „ „	[m]
α = Steigungswinkel „	[°]



Arbeit, Energie, Leistung **F1**

Arbeit

Mechanische Arbeit

$$W_{\text{mech}} = F \cdot s \quad [1\text{J} = 1\text{Ws} = 1\text{Nm}]$$

Hubarbeit

$$W_{\text{hub}} = F_G \cdot h \quad [\text{J}]$$

Verschiebearbeit

$$W_{\text{versch}} = F_R \cdot s \quad [\text{J}]$$

$$= \mu \cdot F_N \cdot s \quad [\text{J}]$$

μ = Reibungszahl

F_R = Reibungskraft

Arbeit, Energie, Leistung **F2**

Energie

Potentielle Energie

$$E_{\text{pot}} = W_{\text{hub}} \quad [1\text{J} = 1\text{Ws} = 1\text{Nm}]$$

$$= F_G \cdot h \quad [\text{J}]$$

$$= m \cdot g \cdot h \quad [\text{J}]$$

Kinetische Energie

$$E_{\text{kin}} = W_{\text{beschl}} \quad [\text{J}]$$

$$= \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \quad [\text{J}]$$

Arbeit, Energie, Leistung

F3

Leistung

$$P = \frac{W}{t} \quad [1W = 1 \left[\frac{J}{s} \right] = 1 \left[\frac{Nm}{s} \right]]$$

$$P = \frac{F \cdot s}{t} \quad [W]$$

$$P = F \cdot v \quad [W]$$

Wirkungsgrad

$$\eta = \frac{W_{ab}}{W_{zu}}$$

Index „ab“: abgegeben, effektiv, Nutz...
Index „zu“: zugeführt, indiziert, Antriebs...

$$\eta = \frac{P_{ab}}{P_{zu}}$$

Dichte

G1

Dichte

$$\rho = \frac{m}{V} \quad \left[\frac{kg}{m^3} \right], \left[\frac{kg}{dm^3} \right], \left[\frac{g}{cm^3} \right]$$

Dichtebestimmung

Festkörper (Hydrostatische Waage)

$$\rho = \frac{F_{G(K)}}{F_{G(K)} - F_{G(KFI)}} \cdot \rho_{FI} \quad \left[\frac{kg}{m^3} \right]$$

Flüssigkeit (Vergleichsmethode)

$$\rho = \frac{F_{G(K)} - F_{G(KFI)}}{F_{G(K)} - F_{G(KW)}} \cdot \rho_W \quad \left[\frac{kg}{m^3} \right]$$

- $F_{G(K)}$ = Gewichtskraft des Körpers an der Luft
- $F_{G(KFI)}$ = „ „ in der Flüssigkeit
- $F_{G(KW)}$ = „ „ in Wasser
- ρ_{FI} = Dichte der zu bestimmenden Flüssigkeit
- ρ_W = Dichte des Wassers

Hydrostatik; Hydrodynamik **H1**

Hydrostatischer Druck

$$\rho_{hy} = \rho \cdot h \cdot g \quad [\text{Pa}]$$

Flüssigkeitsdruckkräfte

Bodendruckkraft

$$\begin{aligned} F_B &= A \cdot \rho_{hy} & [\text{N}] \\ &= A \cdot \rho \cdot h \cdot g \end{aligned}$$

Seitendruckkraft

$$\begin{aligned} F_S &= A \cdot \rho_{hy;m} & [\text{N}] \\ &= A \cdot \rho \cdot h_m \cdot g \end{aligned}$$

Aufdruckkraft

$$\begin{aligned} F_D &= A \cdot \rho_{hy} & [\text{N}] \\ &= A \cdot \rho \cdot h \cdot g \end{aligned}$$

Hydrostatik; Hydrodynamik **H2**

Auftriebskraft

$$\begin{aligned} F_A &= F_{G(\text{FI})} & [\text{N}] \\ &= \rho_{\text{FI}} \cdot V_{\text{FI}} \cdot g & [\text{N}] \\ &= \rho_{\text{FI}} \cdot A \cdot h \cdot g & [\text{N}] \\ &= F_{G(\text{K})} - F_{G(\text{KFI})} & [\text{N}] \end{aligned}$$

jeweils einsetzbar:

$$\begin{aligned} F_{G(\text{K})} &= \rho_K \cdot V_K \cdot g \\ F_{G(\text{KFI})} &= \rho_K \cdot V_{\text{KFI}} \cdot g \quad (V_{\text{KFI}} = \text{Tauchvolumen}) \end{aligned}$$

SCHWIMMBEDINGUNG

$$\begin{aligned} F_{G(\text{K})} &= \rho_K \cdot V_{\text{KFI}} \cdot g & [\text{N}] \\ &= \rho_{\text{FI}} \cdot A \cdot h_{\text{FI}} \cdot g & [\text{N}] \end{aligned}$$

TAUCHTIEFE SCHWIMMENDER KÖRPER

$$h_{\text{FI}} = \frac{\rho_K \cdot h_K}{\rho_{\text{FI}}} \quad [\text{m}]$$

Kommunizierende Gefäße

$$p_{hy1} = p_{hy2}$$

$$\rho_1 \cdot h_1 \cdot g = \rho_2 \cdot h_2 \cdot g$$

$$\frac{h_1}{h_2} = \frac{\rho_2}{\rho_1}$$

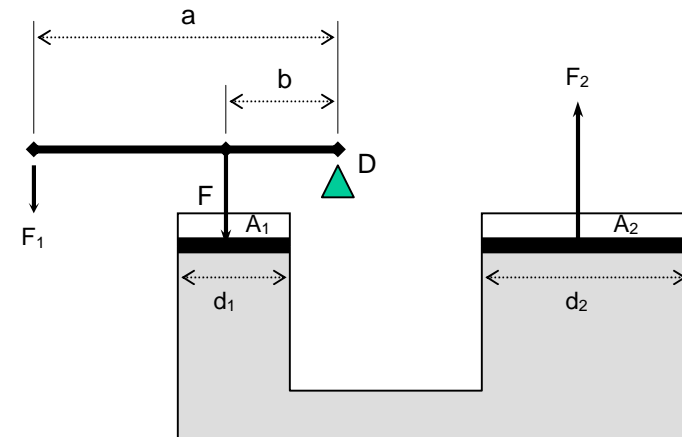
Strömungsgesetz (Bernoulli)

$$A_1 \cdot v_1 = A_2 \cdot v_2$$

A1, A2 = Leitungsquerschnitt

v1, v2 = Strömungsgeschwindigkeit

Hydraulische Presse



- F₁ = Handkraft [N]
- F₂ = Kraft am Lastkolben [N]
- F = Kraft am Kraftkolben [N]
- a = Hebellänge Handkraft [m]
- b = Hebellänge Kraftkolben [m]
- d₁ = Durchmesser Kraftkolben [m]
- d₂ = Durchmesser Lastkolben [m]
- A₁ = Fläche Kraftkolben [m²]
- A₂ = Fläche Lastkolben [m²]
- D = Drehpunkt

Hydrostatik; Hydrodynamik

H5

Hydraulische Presse (I)

(ohne Hebelkraft und Wirkungsgrad)

$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2}$$

Hydraulische Presse (II)

(mit Hebelkraft und Wirkungsgrad)

$$\frac{F_1 \cdot a \cdot \eta}{A_1 \cdot b} = \frac{F_2}{A_2}$$

$$\frac{F_1 \cdot a \cdot \eta}{d_1^2 \cdot b} = \frac{F_2}{d_2^2}$$

Aerostatik

I1

Luftdruck

$$p_{\ddot{u}} = p_{\text{abs}} - p_l$$

$$p_u = p_l - p_{\text{abs}}$$

$p_{\ddot{u}}$ = Überdruck

p_u = Unterdruck

p_{abs} = absoluter Druck

p_l = Bezugsdruck (herrschender Luftdruck)

Isothermengesetz (Boyle-Mariotte)

(T = konstant)

$$p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2$$

p_1 = Druck vor der Zustandsänderung

p_2 = Druck nach der Zustandsänderung

V_1 = Volumen vor der Zustandsänderung

V_2 = Volumen nach der Zustandsänderung

Aerostatik **I2**

Gasgemische, Partialdrucke

$$V_{\text{ges}} = V_1 + V_2 + V_3 + \dots$$

V_1, V_2, V_3 Partialvolumina der einzelnen Gase

$$p_{\text{ges}} = p_1 + p_2 + p_3 + \dots$$

p_1, p_2, p_3 Partialdrucke der einzelnen Gase

$$\frac{p_{\text{ges}}}{p_1} = \frac{V_{\text{ges}}}{V_1}$$

Gase über wässrigen Lösungen

$$p_{\text{ges}} = p_1 + p_2 + p_3 + \dots + p_{\text{H}_2\text{O}}$$

$p_{\text{H}_2\text{O}}$ = Partialdruck des Wassers (s. Tabelle 14)

Abhängigkeit der Dichte eines Gases vom Druck

$$\frac{p_1}{\rho_1} = \frac{p_2}{\rho_2}$$

Aerostatik, Gasgesetze **I3**

Allgemeine Gasgleichung

$$p_1 \cdot V_1 = n(x) \cdot R \cdot T_1$$

evtl. n ersetzen

$$n(x) = \frac{m(x)}{M(x)} \quad \text{bei Gasen:} \quad n(x) = \frac{V_0}{22,4 \frac{\text{l}}{\text{mol}}}$$

allgemeine Gaskonstante

$$R = \frac{V_0 \cdot p_0}{T_0 \cdot n_0} = 0,08314 \quad \left[\frac{\text{l} \cdot \text{bar}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \right] \quad \text{bzw.}$$

$$= 83,14 \quad \left[\frac{\text{l} \cdot \text{hPa}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \right] \quad \text{bzw.}$$

$$= 8,314 \quad \left[\frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \right]$$

p_1, V_1, T_1 = Druck, Volumen, Temperatur bei geg. Bedingungen

p_0, V_0, T_0 = Druck, Volumen, Temperatur Normalbedingungen

$n(x)$ = Stoffmenge in mol

$m(x)$ = Masse des Stoffes x

$M(x)$ = Molare Masse des Stoffes x

Aerostatik, Gasgesetze

14

Raumausdehnung der Gase

Isobarengesetz (Gay-Lussac) 1.Form

(p = konstant)

Erwärmung des Gases

$$V_T = V_0 \left(1 + \frac{1}{273} \cdot \Delta T \right)$$

Abkühlung eines Gases

$$V_T = V_0 \left(1 - \frac{1}{273} \cdot \Delta T \right)$$

V_T = Gasvolumen bei T Kelvin [m³]

V_0 = Gasvolumen bei 273 K [m³]

$\frac{1}{273}$ = Raumausdehnungszahl $\left[\frac{1}{K} \right]$

Aerostatik, Gasgesetze

15

Druckänderung der Gase

Isochorengesetz 1.Form

(V = konstant)

Erwärmung des Gases

$$p_T = p_0 \left(1 + \frac{1}{273} \cdot \Delta T \right)$$

Abkühlung eines Gases

$$p_T = p_0 \left(1 - \frac{1}{273} \cdot \Delta T \right)$$

p_T = Gasdruck bei T Kelvin [Pa]

p_0 = Gasdruck bei 273 K [Pa]

$\frac{1}{273}$ = Raumausdehnungszahl $\left[\frac{1}{K} \right]$

Aerostatik, Gasgesetze **I6**

Isothermengesetz (Boyle-Mariotte), $T = \text{konstant}$

$$p_0 \cdot V_0 = p_1 \cdot V_1 = \text{konstant}$$

Isobarengesetz (Gay-Lussac), $p = \text{konstant}$

$$\frac{V_0}{T_0} = \frac{V_1}{T_1} = \text{konstant}$$

Isochorengesetz, $V = \text{konstant}$

$$\frac{p_0}{T_0} = \frac{p_1}{T_1} = \text{konstant}$$

Zustandsgleichung der Gase

$$\frac{p_0 \cdot V_0}{T_0} = \frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \text{konstant}$$

p_0 = Druck vor der Zustandsänderung [hPa]

p_1 = Druck nach der Zustandsänderung [hPa]

V_0 = Volumen vor der Zustandsänderung [l, ml, m³]

V_1 = Volumen nach der Zustandsänderung [l, ml, m³]

T_0 = Temperatur vor der Zustandsänderung [K]

T_1 = Temperatur nach der Zustandsänderung [K]

Kalorik **J1**

Längenausdehnung (Festkörper)

$$l_T = l_0 + \Delta l$$

$$l_T = l_0 + l_0 \cdot \alpha \cdot \Delta T$$

$$\Delta l = l_0 \cdot \alpha \cdot \Delta T$$

ΔT = Temperaturänderung [K]

l_T = Länge nach der Erwärmung [m]

l_0 = Länge vor der Erwärmung [m]

α = Längenausdehnungskoeffizient $\left[\frac{1}{K} \right]$

Raumausdehnung (Festkörpern, Flüssigkeiten)

(Gase siehe auch I₄)

$$V_T = V_0 + \Delta V$$

$$V_T = V_0 + V_0 \cdot \gamma \cdot \Delta T$$

$$\Delta V = V_0 \cdot \gamma \cdot \Delta T$$

$$\gamma = 3 \cdot \alpha$$

V_T = Volumen nach der Erwärmung [m³]

V_0 = Volumen vor der Erwärmung [m³]

ΔT = Temperaturänderung [K]

γ = Raumausdehnungskoeffizient $\left[\frac{1}{K} \right]$

Kalorik

J2

Wärmemenge

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T \quad [\text{J}]$$

Wärmekapazität

$$C = \frac{Q}{\Delta T} \quad \left[\frac{\text{J}}{\text{K}} \right]$$

$$C = c \cdot m \quad \left[\frac{\text{J}}{\text{K}} \right]$$

Spezifische Wärmekapazität

$$c = \frac{Q}{m \cdot \Delta T} \quad \left[\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right]$$

Spezifische Verdampfungs-/Kondensationswärme

$$r = \frac{Q}{m} \quad \left[\frac{\text{J}}{\text{kg}} \right]$$

Spezifische Schmelz-/Erstarrungswärme

$$q = \frac{Q}{m} \quad \left[\frac{\text{J}}{\text{kg}} \right]$$

Kalorik

J3

Brennwert (Spezifischer Heizwert)

Feste und flüssige Brennstoffe

$$H = \frac{Q}{m} \quad \left[\frac{\text{J}}{\text{kg}} \right]$$

Gasförmige Brennstoffe

$$H = \frac{Q}{V_N} \quad \left[\frac{\text{J}}{\text{m}^3} \right]$$

Verbrennungswärme

$$Q = m \cdot H \quad [\text{J}]$$

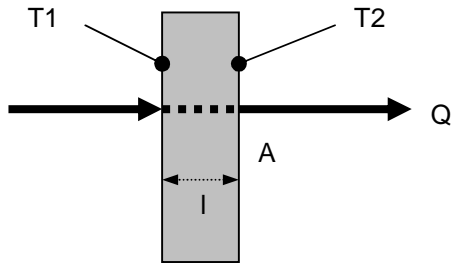
$$Q = V_N \cdot H \quad [\text{J}]$$

H = Brennwert

Q = frei gewordene Wärmemenge (entstandenes Wasser in Dampfform)

V_N = Normalvolumen des verbrannten Gases

Wärmeleitung



$$Q = \frac{\lambda \cdot A \cdot t \cdot \Delta T}{l} \quad [\text{J}]$$

Q = transportierte Wärmemenge [J]

λ = Wärmeleitfähigkeit $\left[\frac{\text{J}}{\text{m} \cdot \text{s} \cdot \text{K}} \right], \left[\frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \right]$

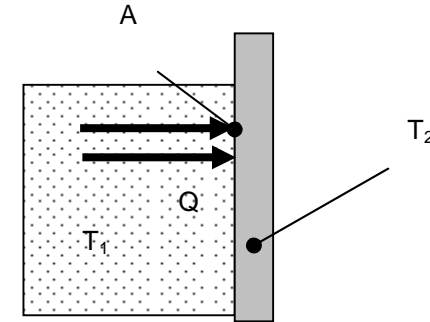
A = Querschnittsfläche des Leiters [m²]

ΔT = Temperaturgefälle (T1 – T2) [K]

l = Leiterlänge, Schichtdicke [m]

t = Zeitdauer des Überganges [s]

Wärmeübergang



$$Q = \alpha \cdot A \cdot t \cdot \Delta T \quad [\text{J}]$$

Q = Durch die Grenzfläche tretende Wärmemenge [J]

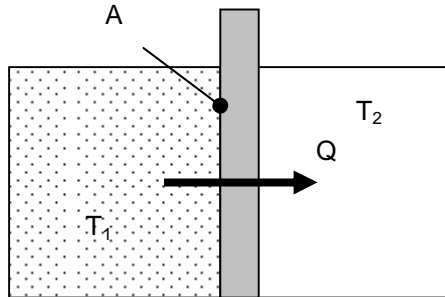
α = Wärmeübergangskoeffizient $\left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \right]$

A = Übergangsfläche [m²]

ΔT = Temperaturdifferenz (T1 – T2) [K]

t = Zeitdauer des Überganges [s]

Wärmedurchgang



$$Q = k \cdot A \cdot t \cdot \Delta T \quad [\text{J}]$$

Q = Durch die Wand übertragene Wärmemenge [J]

k = Wärmedurchgangskoeffizient $\left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \right]$

A = Durchgangsfläche [m²]

ΔT = Temperaturdifferenz (T1 – T2) [K]

t = Zeitdauer des Durchganges [s]

Wärmetausch (I)

ohne Zustandsänderung

m₁; c₁; T₁ = Größen des Zustandes 1
(Höherer Energiezustand, heiß)

m₂; c₂; T₂ = Größen des Zustandes 2
(Niedrigerer Energiezustand, kalt)

T_m = Mischtemperatur

$$Q_{\text{ab}} = Q_{\text{zu}}$$

Wärmeabgabe = Wärmeaufnahme

$$m_1 \cdot c_1 \cdot (T_1 - T_m) = m_2 \cdot c_2 \cdot (T_m - T_2)$$

heiß kalt

$$T_m = \frac{m_1 \cdot c_1 \cdot T_1 + m_2 \cdot c_2 \cdot T_2}{m_1 \cdot c_1 + m_2 \cdot c_2} \quad [\text{K}]$$

Kalorik

J8

Wärmetausch (I)

ohne Zustandsänderung

$$m_1 = \frac{m_2 \cdot c_2 \cdot (T_m - T_2)}{c_1 \cdot (T_1 - T_m)} \quad [\text{kg}]$$

$$m_2 = \frac{m_1 \cdot c_1 \cdot (T_1 - T_m)}{c_2 \cdot (T_m - T_2)} \quad [\text{kg}]$$

$$c_1 = \frac{m_2 \cdot c_2 \cdot (T_m - T_2)}{m_1 \cdot (T_1 - T_m)} \quad \left[\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right]$$

$$c_2 = \frac{m_1 \cdot c_1 \cdot (T_1 - T_m)}{m_2 \cdot (T_m - T_2)} \quad \left[\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right]$$

$$T_1 = \frac{m_2 \cdot c_2 \cdot (T_m - T_2)}{m_1 \cdot c_1} + T_m \quad [\text{K}]$$

$$T_2 = T_m - \frac{m_1 \cdot c_1 \cdot (T_1 - T_m)}{m_2 \cdot c_2} \quad [\text{K}]$$

Kalorik

J9

Wärmetausch (II)

Berücksichtigung der Wärmekapazität des Mischgefäßes

C = Wärmekapazität des Mischgefäßes $\left[\frac{\text{J}}{\text{K}} \right]$

$$m_1 \cdot c_1 \cdot (T_1 - T_m) = (m_2 \cdot c_2 + C) \cdot (T_m - T_2)$$

$$T_m = \frac{(m_1 \cdot c_1 \cdot T_1) + T_2 \cdot (m_2 \cdot c_2 + C)}{m_1 \cdot c_1 + m_2 \cdot c_2 + C} \quad [\text{K}]$$

Berücksichtigung der Wärmekapazität des Mischgefäßes und der Verluste an die Umgebung

Q_V = an die Umgebung abgegebene Wärmemenge [K]

$$m_1 \cdot c_1 \cdot (T_1 - T_m) = (m_2 \cdot c_2 + C) \cdot (T_m - T_2) + Q_V$$

$$T_m = \frac{(m_1 \cdot c_1 \cdot T_1) + T_2 \cdot (m_2 \cdot c_2 + C) - Q_V}{m_1 \cdot c_1 + m_2 \cdot c_2 + C} \quad [\text{K}]$$

Kalorik

J10

Wärmetausch (III)

mit Änderung des Aggregatzustandes

$$Q_{ab} = Q_{zu}$$

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 = Q_4 + Q_5 + Q_6$$

$$\text{Wärmeabgabe} = \text{Wärmeaufnahme}$$

oder

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 = Q_4 + Q_5 + Q_6$$

Q_1 = Abkühlung des Dampfes auf Kondensationstemperatur

Q_2 = Kondensation des Dampfes

Q_3 = Abkühlung der Flüssigkeit auf Mischtemperatur

Q_4 = Erwärmung des Feststoffes auf Schmelztemperatur

Q_5 = Schmelzen des Feststoffes

Q_6 = Erwärmung der Flüssigkeit auf Mischtemperatur

Kalorik

J11

Wärmetausch (III)

**mit Änderung des Aggregatzustandes
bezogen auf Wasserdampf / Wasser / Eis**

r = spezifische Kondensationswärme bzw. spezifische

$$\text{Verdampfungswärme von H}_2\text{O:} \quad 2256 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right]$$

q = spezifische Erstarrungswärme bzw. spezifische

$$\text{Schmelzwärme von H}_2\text{O:} \quad 333 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right]$$

$$c_{\text{Dampf}} = \text{Spez. Wärmekapazität des Dampfes:} \quad 1,93 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right]$$

$$c_{\text{H}_2\text{O}} = \text{Spez. Wärmekapazität von Wassers:} \quad 4,19 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right]$$

$$c_{\text{Eis}} = \text{Spez. Wärmekapazität von Eis:} \quad 2,11 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right]$$

Kalorik

J12

Wärmetausch (III)

mit Änderung des Aggregatzustandes
bezogen auf Wasserdampf / Wasser / Eis

Berechnungsformel:

$$m_1 \cdot c_{\text{Dampf}} \cdot (T_1 - T_K) + m_1 \cdot r + m_1 \cdot c_{\text{H}_2\text{O}} \cdot (T_K - T_m) = \\ m_2 \cdot c_{\text{Eis}} \cdot (T_{\text{Sm}} - T_2) + m_2 \cdot q + m_2 \cdot c_{\text{H}_2\text{O}} \cdot (T_m - T_{\text{Sm}})$$

Es ist empfehlenswert, die gegebenen Zahlenwerte in diese Gleichung einzusetzen, danach so weit wie möglich Teilberechnungen durchzuführen und erst dann nach der gesuchten Größe umzustellen.

m_1	=	Masse überhitzter Dampf / Kondensat	[kg]
m_2	=	Masse unterkühltes Eis / Schmelzwasser	[kg]
T_1	=	Temperatur überhitzter Dampf	[K]
T_2	=	Temperatur unterkühltes Eis	[K]
T_m	=	Mischtemperatur nach dem Wärmetausch	[K]
T_K	=	Kondensations- / Siedetemperatur	[K]
T_{Sm}	=	Erstarrungs- / Schmelztemperatur	[K]

Elektrik

K1

Elektrische Ladung

$$Q = I \cdot t$$

[As]

1 As = 1C (Coulomb)

Ohm'sches Gesetz

$$R = \frac{U}{I}$$

[Ω]

R = Widerstand

[Ω]

U = Spannung

[V]

I = Stromstärke

[A]

Elektrik

K2

Spezifischer elektrischer Widerstand

$$\rho = \frac{R \cdot A}{L} \quad \left[\frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}} \right]$$

Drahtwiderstand

$$R = \frac{\rho \cdot L}{A} \quad [\Omega]$$

R = Widerstand [Ω]

A = Leiter-Querschnitt [mm^2]

L = Länge [m]

Leitwert

$$G = \frac{1}{R} \quad \left[\frac{1}{\Omega} = \text{S} \right]$$

Elektrik

K3

Spezifische Leitfähigkeit

$$\kappa = \frac{1}{\rho} \quad \left[\frac{\text{m}}{\Omega \cdot \text{mm}^2} \right]$$

κ = Spezifische Leitfähigkeit [$\frac{\text{m}}{\Omega \cdot \text{mm}^2}$]

ρ = spezifischer Widerstand [$\frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$]

Transformator

$$U_1 \cdot n_2 = U_2 \cdot n_1$$

$$I_1 \cdot n_1 = I_2 \cdot n_2$$

Primärspule: Index „1“

Sekundärspule: Index „2“

n = Windungszahl

Elektrik

K4

Schaltung von Widerständen

1. Reihenschaltung (I = konstant)

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2}$$

$$R_G = R_1 + R_2 + R_3 \dots\dots$$

$$U_G = U_1 + U_2 + U_3 \dots\dots$$

2. Parallelschaltung (U = konstant)

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1}$$

$$\frac{1}{R_G} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \dots\dots\dots$$

$$I_G = I_1 + I_2 + I_3 \dots\dots\dots$$

$$R_G = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

Elektrik

K5

Elektrische Arbeit

$$W_{el} = U \cdot I \cdot t \quad [Ws], [J]$$

$$W_{el} = P \cdot t \quad [Ws], [J]$$

$$W_{el} = I^2 \cdot R \cdot t \quad [Ws], [J]$$

$$W_{el} = \frac{U^2}{R} \cdot t \quad [Ws], [J]$$

$$1Ws = 1J = 1Nm$$

Elektrische Leistung

$$P_{el} = \frac{W_{el}}{t} \quad [W]$$

$$P_{el} = U \cdot I \quad [W]$$

$$P_{el} = I^2 \cdot R \quad [W]$$

$$P_{el} = \frac{U^2}{R} \quad [W]$$

$$1W = 1 \frac{J}{s} = 1 \frac{Nm}{s}$$

Technologie

L1

Volumenstrom in Rohrleitungen

$$\dot{V} = \frac{V}{t} = A \cdot v = \frac{A \cdot l}{t} \quad \left[\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right]$$

$$\dot{V} = d^2 \cdot 0,785 \cdot v \quad \left[\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right]$$

Massenstrom in Rohrleitungen

$$\dot{m} = \frac{m}{t} = \rho \cdot A \cdot v \quad \left[\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right]$$

$$\dot{m} = \rho \cdot d^2 \cdot 0,785 \cdot v \quad \left[\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right]$$

Strömungsgeschwindigkeit an Verengungen

$$v_1 A_1 = v_2 A_2$$

$$v_1 d_1^2 = v_2 d_2^2$$

Index „1“: vor der Verengung

Index „2“: nach der Verengung

Technologie

L2

Füllzeit von zylinderförmigen Behältern

$$t = \frac{V}{\dot{V}} \quad [\text{s}]$$

$$t = \frac{d_T^2 \cdot h_T}{d_R^2 \cdot v} \quad [\text{s}]$$

Index „T“: Tank

Index „R“: Rohrleitung

Wirkungsgrad von Pumpen

$$\eta = \frac{P_{ab}}{P_{zu}}$$

Index „ab“: von der Pumpe abgegebene Leistung

Index „zu“: der Pumpe zugeführte Leistung

Technologie

L3

Effektive Leistung von Kolbenpumpen

$$P_{ab} = \dot{V} \cdot \rho \cdot g \cdot h \quad [W]$$

$$P_{ab} = \frac{V \cdot \rho \cdot g \cdot h}{t} \quad [W]$$

Volumenstrom von Kolbenpumpen

$$\dot{V} = d^2 \cdot 0,785 \cdot s \cdot f \cdot z \cdot \lambda \quad \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

$$\dot{V} = \text{Volumenstrom} \quad \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

d = Durchmesser Kolben

s = Kolbenhub

f = Drehfrequenz der Kurbelwelle

z = Anzahl der Zylinder

λ = Ausnutzungsgrad der Pumpe

Technologie

L4

Volumenstrom von Kreiselpumpen

$$\dot{V} = \frac{V}{t} \quad \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

$$\dot{V} = \frac{P_{zu} \cdot \eta_{ges}}{\rho \cdot g \cdot h} \quad \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

Leistungsaufnahme von Kreiselpumpen

$$P_{zu} = \frac{\dot{V} \cdot \rho \cdot g \cdot h}{\eta_{ges}} \quad [W]$$

Technologie

L5

Einfluss der Drehzahländerung bei Kreiselpumpen

Volumenstrom

$$\frac{\dot{V}_1}{\dot{V}_2} = \frac{f_1}{f_2}$$

Förderhöhe

$$\frac{h_1}{h_2} = \left(\frac{f_1}{f_2} \right)^2$$

Leistungsaufnahme

$$\frac{P_{zu;1}}{P_{zu;2}} = \left(\frac{f_1}{f_2} \right)^3$$

Mischungsrechnen

M1

Konzentrationsangaben von Mischungen

Massenanteil w

$$w(x) = \frac{m(x)}{m(\text{Lsg})}$$

x = reiner gelöster Stoff

Lsg = Lösung, Mischung

$$\text{Prozentgehalt} = w(x) \cdot 100\%$$

Massenkonzentration β

$$\beta(x) = \frac{m(x)}{V(\text{Lsg})} \quad \left[\frac{\text{g}}{\text{l}} \right], \left[\frac{\text{mg}}{\text{ml}} \right]$$

$$\beta(x) = w(x) \cdot \rho(\text{Lsg}) \quad \text{Einheiten beachten!}$$

Volumenanteil φ

$$\varphi(x) = \frac{V(x)}{V(x) + V(\text{Lm})} \quad \text{Lm = Lösungsmittel}$$

Volumenkonzentration σ

$$\sigma(x) = \frac{V(x)}{V(\text{Lsg})}$$

Mischungsrechnen

M2

Stoffmenge n

$$n(x) = \frac{m(x)}{M(x)} \quad [\text{mol}]$$

$n(x)$ = Anzahl von Molen der Teilchen x [mol]

$m(x)$ = Masse der Stoffportion des Stoffes x [g]

$M(x)$ = Molare Masse der Teilchen x [mol/l]

Stoffmengenkonzentration c

$$c(x) = \frac{n(x)}{V(\text{Lsg})} \quad \left[\frac{\text{mol}}{\text{l}} \right]$$

$$c(x) = \frac{\beta(x)}{M(x)} \quad \left[\frac{\text{mol}}{\text{l}} \right]$$

$$c(x) = \frac{w(x) \cdot \rho(\text{Lsg})}{M(x)} \quad \left[\frac{\text{mol}}{\text{l}} \right] \quad \text{Einheiten beachten!}$$

Die Teilchen (x) müssen immer genau bezeichnet werden!

ppm (parts per million)

Massenteile in 1 Million Gesamtmassenteile

z.B.: $\left[\frac{\text{mg}}{\text{kg}} \right]$ oder

Volumenteile in 1 Million Gesamtvolumenteile

z.B.: $\left[\frac{\text{ml}}{\text{m}^3} \right]$

Mischungsrechnen

M3

Mischungsgleichung

$$m_1 \cdot w_1 + m_2 \cdot w_2 + \dots = (m_1 + m_2 + \dots) \cdot w_M$$

m_1 = Masse der Lösung 1 [g], [kg], [t]

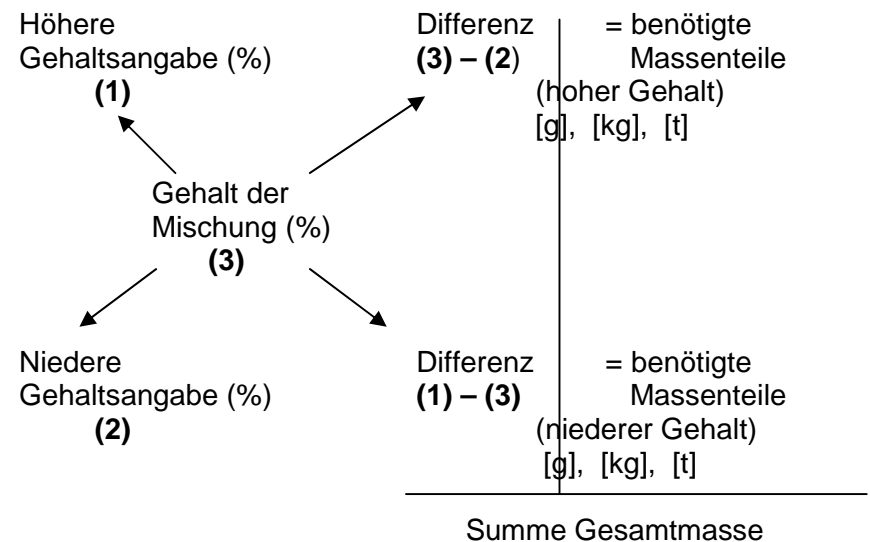
m_2 = Masse der Lösung 2 [g], [kg], [t]

w_1 = Massenanteil der Lösung 1

w_2 = Massenanteil der Lösung 2

w_M = Massenanteil der Mischung

Mischungskreuz (Andreaskreuz)



Analytisches Rechnen

M4

Gewichtsanalyse (Gravimetrie)

Analytischer Faktor

$$\text{Analytischer Faktor} = \frac{a \cdot M(\text{gesuchter Stoff})}{b \cdot M(\text{gefundenener Stoff})}$$

a, b : Koeffizienten aus der Reaktionsgleichung
Faktoren für viele Stoffpaare siehe Tabellenbuch

Masse des gesuchten Stoffes

$$m(\text{gesuchter Stoff}) = m(\text{gefundenener Stoff}) \cdot \text{analyt. Faktor}$$

Massenanteil in %

$$w(x) \text{ in \%} = \frac{\text{Auswaage} \cdot \text{anal. Faktor} \cdot \text{Verdünnung} \cdot 100\%}{\text{Einwaage}}$$

Analytisches Rechnen

M5

Maßanalyse (Volumetrie)

1 ml Maßlösung, $c(x) = 1 \frac{\text{mol}}{\text{l}}$ $\hat{=}$ maßanalytisches
Äquivalent des zu
bestimmenden Stoffes
(siehe **Tabellenbuch**)

Titer von Maßlösungen

$$\text{Theoretischer Verbrauch} = \frac{\text{Einwaage Ur titersubs tan z}}{\text{Maßanal. Äquivalent}}$$

$$\text{Titer} = \frac{\text{theoretische Verbrauch}}{\text{praktischer Verbrauch}}$$

Titrationsgleichung

$$V_1 \cdot t_1 \cdot \tilde{c}_1 = V_2 \cdot t_2 \cdot \tilde{c}$$

$$\tilde{c}(x) \cdot t = c(x)$$

$\tilde{c}(x)$ = ungefähre Stoffmengenkonzentration von x [mol/l]

Analytisches Rechnen

M6

Maßanalytische Gehaltsbestimmung

Masse zu bestimmender Stoff

$$m(x) = V(\text{Maßlsg}) \cdot t \cdot \{\tilde{c}\} \cdot m\ddot{A} \cdot \text{Verdünnungsfaktor}$$

Massenanteil in %

$$w(x) = \frac{V(\text{Maßlsg}) \cdot t \cdot \{\tilde{c}\} \cdot m\ddot{A} \cdot \text{Verdünnungsfaktor} \cdot 100\%}{m(\text{Einwaage})}$$

$w(x)$ = Massenanteil des Stoffes x [%]

$V(\text{Maßlsg})$ = Titrationsverbrauch Maßlösung [ml]

t = Titer der Maßlösung

$\{\tilde{c}\}$ = Zahlenwert der ungefähren Stoffmengenkonzentration der Maßlösung (ohne Maßeinheit!)

$m\ddot{A}$ = maßanalytisches Äquivalent (zu best. Stoff) [mg/ml]

$m(\text{Einwaage})$ = Einwaage Analysensubstanz [mg]

Achtung:

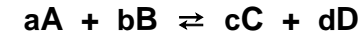
Die **Tabellenwerte** für das $m\ddot{A}$ sind in der Regel auf eine Stoffmengenkonzentration von **0,1 mol/l** bezogen! Deshalb die **Tabellenwerte** mit dem **Faktor 10** multiplizieren!

Physikalisch-chemisches Rechnen

N1

Massenwirkungsgesetz (MWG)

für die allgemeine chem. Reaktion



a, b, c, d = ganzzahlige Koeffizienten

$$K_c = \frac{c^c(C) \cdot c^d(D)}{c^a(A) \cdot c^b(B)}$$

K_c = Gleichgewichtskonstante

$c(A), c(B)$ = Gleichgewichtskonzentrationen der Edukte

$c(C), c(D)$ = Gleichgewichtskonzentrationen der Produkte

Dissoziationsgrad α

$$\alpha = \frac{c(\text{dissoziierte Moleküle})}{c_0(\text{Moleküle gesamt})}$$

c_0 = Anfangskonzentration

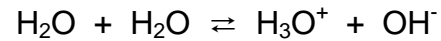
Protolysegrad α von Säuren

$$\alpha = \frac{c(\text{H}_3\text{O}^+)}{c_0(\text{Säure})}$$

Physikalisch-chemisches Rechnen **N2**

Protolysegleichgewicht des Wassers, pH-Wert

Autoprotolyse des Wassers



Ionenprodukt des Wassers

$$K_W = c(\text{H}_3\text{O}^+) \cdot c(\text{OH}^-) = 10^{-14} \left[\frac{\text{mol}}{\text{l}} \right]^2$$

pH-Wert

$$\text{pH} = -\lg c(\text{H}_3\text{O}^+)$$

pOH-Wert

$$\text{pOH} = -\lg c(\text{OH}^-)$$

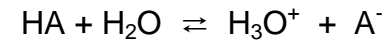
Für verdünnte wässrige Lösungen gilt

$$\text{pH} + \text{pOH} = 14$$

Physikalisch-chemisches Rechnen **N3**

Säurestärke, Basenstärke

Säurekonstante K_S einer Säure HA

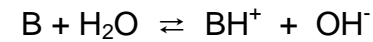


$$K_S = \frac{c(\text{H}_3\text{O}^+) \cdot c(\text{A}^-)}{c(\text{HA})}$$

p K_S -Wert

$$\text{p}K_S = -\lg K_S$$

Basenkonstante K_B einer Base B



$$K_B = \frac{c(\text{BH}^+) \cdot c(\text{OH}^-)}{c(\text{B})}$$

p K_B -Wert

$$\text{p}K_B = -\lg K_B$$

Physikalisch-chemisches Rechnen **N4**

**Zusammenhang zwischen K_c , α und c_0
(Ostwald'sches Verdünnungsgesetz)**

$$K_s = \frac{\alpha^2 \cdot c_0}{1 - \alpha} \quad K_B = \frac{\alpha^2 \cdot c_0}{1 - \alpha}$$

bei schwachen Elektrolyten ($K_c < 10^{-5}$) kann die „Näherungsformel“ angewandt werden:

$$K_s = \alpha^2 \cdot c_0 \quad K_B = \alpha^2 \cdot c_0$$

Daraus ergibt sich für pH bzw. pOH:

$$pH = \frac{pK_s - \log c_0 - \text{Säure}}{2}$$

$$pOH = \frac{pK_B - \log c_0 - \text{Base}}{2}$$

Physikalisch-chemisches Rechnen **N5**

Salzprotolyse

Salz einer schwachen Säure und einer starken Base

$$pH = 7 + \frac{pK_s + \lg c(\text{Salz})}{2}$$

Salz einer starken Säure und einer schwachen Base

$$pH = 7 - \frac{pK_B + \lg c(\text{Salz})}{2}$$

Salz einer schwachen Säure und einer schwachen Base

$$pH = 7 + \frac{pK_s - pK_B}{2}$$

Abstumpfen

Saure Lösung

$$c(H^+) = K_s \cdot \frac{c(\text{Säure})}{c(\text{Salz})}$$

$$pH = pK_s + \lg \frac{c(\text{Salz})}{c(\text{Säure})}$$

Alkalische Lösung

$$c(OH^-) = K_B \cdot \frac{c(\text{Base})}{c(\text{Salz})}$$

$$pH = 14 - pK_B + \lg \frac{c(\text{Salz})}{c(\text{Base})}$$

Physikalisch-chemisches Rechnen **N6**

Löslichkeitsprodukt L

für die gesättigte Lösung eines Salzes A^+B^-

$$L(AB) = c(A^+) \cdot c(B^-)$$

für die gesättigte Lösung eines Salzes $A^+_x B^-_y$

$$L(A_x B_y) = x^x \cdot y^y \cdot c(A_x B_y)^{x+y}$$

Gelöste Stoffmengenkonzentration $c(A_x B_y)$

$$c(A_x B_y) = \sqrt[x+y]{\frac{L(A_x B_y)}{x^x \cdot y^y}}$$

Physikalisch-chemisches Rechnen **N7**

Bestimmung der molaren Masse

Gefrierpunktserniedrigung (Kryoskopie)

$$M_2 = \frac{E_G \cdot m_2 \cdot 1000 \text{ [g/kg]}}{\Delta T \cdot m_1}$$

Siedepunktserhöhung (Ebullioskopie)

$$M_2 = \frac{E_S \cdot m_2 \cdot 1000 \text{ [g/kg]}}{\Delta T \cdot m_1}$$

M_2 = molare Masse des gelösten Stoffes [g/mol]

ΔT = Gefrierpunktserniedrigung
bzw. Siedepunktserhöhung [g/mol]

m_1 = Masse Lösungsmittel [g]

m_2 = Masse gelöster Stoff [g]

E_G = kryoskopische Konstante
des Lösungsmittels [K · kg/mol]

E_S = ebullioskopische Konstante
des Lösungsmittels [K · kg/mol]

Physikalisch-chemisches Rechnen

N8

**Bestimmung der molaren Masse
nach Viktor Meyer**

$$M = \frac{m \cdot R \cdot T}{(p_L - p_{H_2O} - p_{WS}) \cdot V}$$

- m = Masse Probe [g]
M = molare Masse Probe [g/mol]
R = allgemeine Gaskonstante 83,14 $\left[\frac{\text{l} \cdot \text{hPa}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \right]$
T = Versuchstemperatur [K]
p_L = Luftdruck [hPa]
p_{H₂O} = Dampfdruck des Wassers bei T [hPa]
p_{WS} = hydrostat. Druck der Wassersäule [hPa]
V = Gasvolumen [l]

Physikalisch-chemisches Rechnen

N9

Osmotischer Druck π

$$\pi = c(x) \cdot R \cdot T \quad [\text{bar}]$$

c(x) = Stoffmengenkonzentration [mol/l]

T = Temperatur [K]

R = allgemeine Gaskonstante 83,14 $\left[\frac{\text{l} \cdot \text{hPa}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \right]$

Oberflächenspannung σ

$$\sigma = \frac{W}{A} \quad \left[\frac{\text{J}}{\text{m}^2} \right] = \left[\frac{\text{N}}{\text{m}} \right]$$

W = Arbeit [KJ]

A = Fläche [m²]

Physikalisch-chemisches Rechnen **N10**

Photometrie

Lambert-Beer'sches Gesetz

$$E = \epsilon_c \cdot c(x) \cdot d \qquad E = \epsilon_\beta \cdot \beta(x) \cdot d$$

E = gemessene Extinktion

c(x) = Stoffmengenkonzentration [mol/l]

$\beta(x)$ = Massenkonzentration [g/l]

d = Schichtdicke [cm]

ϵ_c = molarer Extinktionskoeffizient $\left[\frac{l}{\text{mol} \cdot \text{cm}} \right]$

ϵ_β = „Massen“ Extinktionskoeffizient $\left[\frac{l}{\text{g} \cdot \text{cm}} \right]$

Transmission T (Lichtdurchlässigkeit)

$$T = \frac{I}{I_0}$$

I = durchgehendes Licht

I_0 = eingestrahlt Licht

Extinktion E (Lichtabsorption)

$$E = -\lg T = \lg \frac{I_0}{I}$$

Physikalisch-chemisches Rechnen **N11**

Elektrochemie

Abscheidungs Menge (Elektrolyse)

$$m = I \cdot k \cdot t \cdot \eta$$

m = abgeschiedene Masse [mg], [g]

I = Stromstärke im Elektrolyt [A]

t = Dauer des Stromflusses [s], [h]

k = elektrochemisches Äquivalent [mg/As], [g/Ah]

(Tabellenbuch!)

η = Stromausbeute (Wirkungsgrad)

oder

$$m = \frac{I \cdot t \cdot M \cdot \eta}{z \cdot F}$$

z = Anzahl der abgegebenen oder aufgenommenen Elektronen

F = Faraday-Konstante (96 485 As/mol)

M = Molare Masse des abgeschiedenen Stoffes

Gasabscheidung

$$V = \frac{I \cdot t \cdot R \cdot T \cdot \eta}{z \cdot F \cdot p}$$

R = allgemeine Gaskonstante 83,14 $\frac{l \cdot \text{hPa}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$

T = Temperatur des Gases [K]

P = Gasdruck (meist Luftdruck) [hPa]

Physikalisch-chemisches Rechnen**N12****EMK – Berechnung**

$$U_0 = \Delta E = E(\text{Kathode}) - E(\text{Anode})$$

E = Einzelpotential [V]

Einzelpotential (Nernst'sche Gleichung)

$$E = E_0 + \frac{0,059}{n} \cdot \lg \frac{c(\text{Ox})}{c(\text{Red})}$$

E = Einzelpotential [V]

E₀ = Normalpotential (s. Spannungsreihe) [V]

n = Wertigkeit (Zahl der beteiligten Elektronen)

c(Ox) = Stoffmengenkonzentration des Oxidationsmittels [mol/l]

c(Red) = Stoffmengenkonzentration des Reduktionsmittels [mol/l]

Zusätzliche Formeln**Z1**

Wichtige Formeln zum umstellen und einsetzen:

Konzentration (c):

$$c = \frac{n}{V} \quad c = \frac{m}{M \cdot V} \quad c = \frac{\beta}{M} \quad \left[\frac{\text{mol}}{\text{L}} \right]$$

Masse (m):

$$m = c \cdot V \cdot M \quad m = n \cdot M \quad m = \beta \cdot V \quad [\text{g}]$$

Molare Masse (M):

$$M = \frac{m}{n} \quad M = \frac{m}{c \cdot V} \quad M = \frac{\beta}{c} \quad \left[\frac{\text{g}}{\text{mol}} \right]$$

Massenkonzentration (β):

$$\beta = c \cdot M \quad \beta = \frac{m}{V} \quad \beta = \frac{n \cdot M}{V} \quad \left[\frac{\text{g}}{\text{L}} \right]$$

Stoffmenge (n):

$$n = \frac{m}{M} \quad n = c \cdot V \quad n = \frac{\beta \cdot V}{M} \quad [\text{mol}]$$

Volumen (V):

$$V = \frac{n}{c} \quad V = \frac{m}{\beta} \quad V = \frac{m}{M \cdot c} \quad [\text{L}]$$

Zusätzliche Formeln**Z2****Volumetrie****Rücktitration:**

$$n_{\text{Ä}} = n_{\text{Ä_Masslösung_1_Überschuss}} - n_{\text{Ä_Masslösung_2_Rücktitration}}$$

Bsp.:

$$n(\text{Säure}) = \tilde{c} \cdot t \cdot V$$

$$n(\text{Lauge}) = \tilde{c} \cdot t \cdot V$$

$$\Delta n = n(\text{Säure}) - n(\text{Lauge}) = n(x)$$

$$m(x) = n(x) \cdot M(x)$$

$$\beta(x) = \frac{m(x)}{V(\text{Lsg.})}$$

n-Überschuss n-Rückstand

$$w(\text{KS}) = \frac{[(\tilde{c} \cdot t \cdot V)(\text{Säure}) - (\tilde{c} \cdot t \cdot V)(\text{Lauge})] \cdot M(M_{\text{Ä}} - \text{ges. Stoff(KS)}) \cdot \text{Verd.} \cdot 100\%}{m(\text{Einwaage})}$$

Indirekte Titration:

$$m(\text{Base}_1) = \frac{[m(\text{Probe}) - c(\text{eq-ML}) \cdot V(\text{ML}) \cdot M(\text{Base}_2)] \cdot M(\text{Base}_1)}{M(\text{Base}_1) - M(\text{Base}_2)}$$

Zusätzliche Formeln**Z3****Kurvenbestimmung – potentiometrische Titration:****1. Anfangs pH errechnen**

$$\text{pH} = \frac{\text{pks} - \log(c(\text{wenn_nötig_c}(\text{verd.})))}{2}$$

$$c(\text{verd.}) = \frac{n}{V(\text{verd.})} = \frac{c_0 \cdot V_0}{V(\text{verd.})}$$

2. Verbrauch Lauge am ÄP errechnen

$$V(\text{Lauge_ÄP}) = \frac{c(\text{Säure}) \cdot V(\text{Säure})}{c(\text{Lauge})}$$

3. 1/2 ÄP = pKs = pH à aus Tabelle (hier Puffer)**4. V(Lauge) im Überschuss immer gleiches Volumen wie bis zu ÄP**

$$c(\text{Lauge_am_Endpkt.}) = \frac{V(\text{Überschuss_über_ÄP}) \cdot c(\text{Lauge})}{V(\text{ges. Lsg. am Ende})}$$

5. pH-Wert am Endpunkt

$$\text{pOH} = -\log(c(\text{Lauge_am_Endpkt.}))$$

$$14 - \text{pOH} = \text{pH}$$

Zusätzliche Formeln**Z4**

Die Variablen A und B sind je durch Säure bzw. Lauge zu ersetzen!

Allgemein:

$$n = c \cdot V \cdot (t)$$

$$n(A) = n(B)$$

$$c(A) \cdot V(A) \cdot t(A) = c(B) \cdot V(B) \cdot t(B)$$

Titerbestimmung:

$$t(A) = \frac{\tilde{c}(B) \cdot t(B) \cdot V(B)}{\tilde{c}(A) \cdot V(A)} \quad t(A) = \frac{m(B) / \text{Einwaage}}{M(B) \cdot c(A) \cdot V(A)}$$

mÄ(Säure) $\hat{=}$ 1mL _Lauge

m(Säure) $\hat{=}$ x(x = V(th. _ Verbrauch)

$$\text{Titer} = \frac{\text{theoretischer_Verbrauch}}{\text{praktischen_Verbrauch}}$$

Komplexometrie:

$$c(\text{Probe}) = \frac{c(\text{EDTA}) \cdot c(\text{EDTA})}{c(\text{Probe})}$$

$$w(x) = \frac{[(c \cdot t \cdot V)_{\text{EDTA}} - (c \cdot t \cdot V)_{\text{Lsg.}}] \cdot M(x) \cdot \text{Verd.}}{m(\text{Probe})}$$

Zusätzliche Formeln**Z5****Stoffmenge:**

$$n(A_{\text{zugegeben}}) = c(A) \cdot V(A) = n(B_{\text{verbr.}})$$

$$n(A_{\text{Rest}}) = (c(A_{\text{Anfang}}) \cdot V(A_{\text{Anfang}})) - n(A_{\text{verd.}})$$

$$\frac{n(A)}{n(B)} = \frac{\tilde{c}(A) \cdot t(A) \cdot V(A)}{\left(\frac{m(B)}{M(B)}\right)} \quad n(A) = \frac{p \cdot V(A)}{R \cdot T}$$

$$n(A) = \frac{w(A) \cdot \rho(\text{Lösung}) \cdot V(\text{Lösung})}{M(A)}$$

Masse:

$$m(A) = \tilde{c}(B) \cdot t(B) \cdot V(B) \cdot M(A) \cdot \text{Verdünnung}$$

$$m(A) = \frac{m(B) \cdot M(A)}{M(B) \cdot w(A) \cdot \eta} \quad \eta = \frac{m(B) \cdot M(A)}{M(B) \cdot w(A) \cdot m(A)}$$

$$m(A) = \frac{n(A) \cdot M(A)}{w(A)} \quad m(A) = c(A) \cdot V(A) \cdot M(A)$$

Volumen:

$$V(A) = \frac{c(B) \cdot V(B)}{c(A)}$$

$$V(A) = \frac{n(\text{mol}) \cdot R \left(\frac{\text{bar} \cdot \text{L}}{\text{K} \cdot \text{mol}}\right) \cdot T(\text{K})}{p(\text{bar})}$$

$$V(A) = \frac{m(B)}{M(B) \cdot c(A) \cdot t(A)}$$

$$V(A) = \frac{n(B)}{\tilde{c}(A) \cdot t(A)}$$

Zusätzliche Formeln**Z6****Stoffmengenkonzentration:**

$$c(A_Ende_Titration) = \frac{n(A_Überschuss)}{V(B + A + Wasser)}$$

$$c(A) = \frac{n(A)}{V(Verdünnung)}$$

$$c(A_verd.) = \frac{c(A_gegeben) \cdot V(A_gegeben)}{V(A_gesamt / verd.)}$$

$$c(A_aktuell) = \frac{n(A_Rest)}{V(A_verd. + B_verbraucht)}$$

$$c(A) = \frac{\tilde{c}(B) \cdot V(B) \cdot t(B)}{V(A)} \quad c(A) = \frac{m(B)}{M(B) \cdot V(A)}$$

Massenkonzentration:

$$\beta(A) = \frac{m(A)}{V(A_Probe)}$$

$$\beta(A) = \frac{\tilde{c}(B) \cdot t(B) \cdot V(B) \cdot M(A) \cdot Verdünnung}{V(A_Probe)}$$

Massenanteil:

$$w(x) = \frac{V(Maßlsg.) \cdot t \cdot \tilde{c} \cdot m\ddot{A}(Wert \cdot 10) \cdot Verd. \cdot 100\%}{m(Einwaage)}$$

$$w(A) = \frac{m(A)}{m(Lösung)} = \frac{n(A) \cdot M(A)}{\rho(Lösung) \cdot V(Lösung)}$$

$$w(Glühverlust) = \frac{M(entfernter_Stoff)}{M(Stoff_vor_Glühen)}$$

$$w(A) = \frac{m(B) \cdot M(A) \cdot Verdünnung}{M(B) \cdot m(Probe)}$$

Zusätzliche Formeln**Z7****pH-Wert allgemein**

$$c(X) = \frac{\beta(X)}{M(X)} \quad c(H_3O^+) = \sqrt{K_{S(SEITE_150)} \cdot c(X)}$$

$$\text{è } pH = -\log(c(H_3O^+)) \quad \text{è } c(H_3O^+) = 10^{-pH} \frac{\text{mol}}{L}$$

$$\text{è } pOH = -\log(c(OH^-)) \quad \text{è } c(OH^-) = 10^{-pOH} \frac{\text{mol}}{L}$$

pH-Wert eines Säure-Base-Gemisches

$$c(\text{schwache_Säure}) = \frac{\beta(\text{schwache_Säure})}{M(\text{schwache_Säure})}$$

$$c(\text{schwache_Base}) = \frac{\beta(\text{schwache_Base})}{M(\text{schwache_Base})}$$

$$\text{è } c(H_3O^+) = K_S(\text{schwache_Säure}) \cdot \left(\frac{c(\text{schwache_Säure})}{c(\text{schwache_Base})} \right)$$

$$\text{è } pH = -\log(c(H_3O^+))$$

pH-Wert einer schwachen Säure (Base)

$$c(\text{Säure}) = \frac{m(\text{Säure})}{M(\text{Säure}) \cdot V(\text{Säure})}$$

$$\text{oder } c(\text{Säure}) = \frac{n(\text{Säure})}{V(Verd.)}$$

$$\text{è } pH = \frac{pK_S(\text{Säure}) - \log(c(\text{Säure}))}{2}$$

Zusätzliche Formeln**Z8****Puffergleichung für schwache Säuren (gleich bei Base)**

$$\text{pH} = \text{pK}_s(\text{Säure}) + \log\left(\frac{c(\text{Salz_oder_Lauge})}{c(\text{Säure})}\right)$$

$$\text{pH} = \text{pK}_s(\text{Säure}) - \log\left(\frac{c(\text{Säure})}{c(\text{Salz_oder_Lauge})}\right)$$

$$c(\text{OH}^-) = \sqrt{\frac{K_w \cdot c(A)}{K_s(B)}}$$

$$\text{è } \text{pOH} = -\log(c(\text{OH}^-))$$

$$\text{è } \text{pH} = 14 - \text{pOH}$$

Alternative:

$$\text{pK}_B = 14 - \text{pK}_S$$

$$\text{pOH} = \frac{(\text{pK}_B - \log c_0)}{2}$$

pH-Wert einer Starke Säure

$$\text{pH} = -\log(c(\text{Säure})) \quad \text{è } c(\text{Säure}) = 10^{-\text{pH}}$$

7.) pH-Wert einer Starke Base

$$\text{pOH} = -\log(c(\text{Lauge})) \quad \text{è } \text{pH} = 14 - \text{pOH}$$

Zusätzliche Formeln**Z9****Ionenprodukt bei 22°C**

$$c(\text{H}_3\text{O}^+) \cdot c(\text{OH}^-) = 10^{-14} \left(\frac{\text{mol}}{\text{L}}\right)^2$$

$$\text{pH} + \text{pOH} = 14$$

Säurekonstante

$$K_S = \frac{c(\text{H}_3\text{O}^+) \cdot c(\text{A}^-)}{c(\text{HA})}$$

Basenkonstante

$$K_B = \frac{c(\text{OH}^-) \cdot c(\text{BH}^+)}{c(\text{B})}$$

$$K_B = c(\text{OH}^-) \cdot \frac{c(\text{Salz})}{c(\text{Base})} \quad \text{à} \quad c(\text{OH}^-) = K_B \cdot \frac{c(\text{Base})}{c(\text{Salz})}$$

11.) Säureexponent

$$\text{pK}_S = -\log(K_S)$$

$$K_S = 10^{-\text{pK}_S}$$

12.) Basenexponent

$$\text{pK}_B = -\log(K_B)$$

$$K_B = 10^{-\text{pK}_B}$$

$$\text{è } \text{pK}_S + \text{pK}_B = \text{pK}_W = 14$$

Zusätzliche Formeln**Z10****Faktor für Gravimetrie**

$$f = \frac{M(\text{gesuchter_Stoff})}{M(\text{gegebener_Stoff})}$$

$$m(A) = m(AB) \cdot f_{A(\text{Tabelle_ab_Seite_94})}$$

Löslichkeit**Für die Massenbestimmung**

$$c(X) = \sqrt{K_{L(\text{SEITE_174})}}$$

$$\text{è } m(X) = c(X) \cdot V(X) \cdot M(X)$$

Für Volumen- & Stoffmengenbestimmung

$$K_L = c(A^+) \cdot c(B^-) = c^2(A^+) = c^2(AB)$$

$$c(AB) = \sqrt{K_L(AB)}$$

$$\text{è } n(AB) = c(AB) \cdot V(\text{Lösung})$$

$$\text{è } V(\text{Lösung}) = \frac{m(AB)}{M(AB) \cdot c(AB)}$$

allgemein

$$c(A^+) = \frac{K_L(A^+B^-)}{c(B^-)}$$

Zusätzliche Formeln**Z11****Optik – Spektroskopie**

$$\text{Lichtgeschwindigkeit } c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s} \quad c = \lambda \cdot f$$

$$\text{Ausbreitungsgeschwindigkeit} = \frac{1}{\text{Dichte}}$$

$$\text{Frequenz } f = \frac{\text{Anzahl_Schwingungen}}{\text{Zeit}}$$

$$\left[\frac{1}{s} \right] = [Hz]$$

$$\text{Wellenlänge } \lambda \text{ in nm}$$

$$\text{Wellenzahl } \bar{\nu} : \text{Anz. Schwingungen pro cm (in } \frac{1}{\text{cm}})$$

$$\text{Energie } E: \quad E = h \cdot f$$

$$\text{Plancksches Wirkungsquantum } h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$$

Wellenlängenbereiche: Komplementärfarben:

Rot	à	800 – 620 nm	violett - orange
Orange	à	620 – 595 nm	blau - gelb
Gelb	à	595 – 560 nm	grün - rot
Grün	à	560 – 500 nm	
Blau	à	500 – 430 nm	
Violett	à	430 – 400 nm	

Zusätzliche Formeln**Z12**

Transmission T $T = 10^{-\text{Extinktion}}$

$$T = \frac{\text{Licht_nach_Probe}}{\text{Licht_vor_Probe}} = \frac{I}{I_0} \rightarrow \text{Wert_von_0-1}$$

Extinktion:

$$E = -\log(T) = \log\left(\frac{1}{T}\right) = \log\left(\frac{I_0}{I}\right) \quad (E \text{ soll } \leq 1)$$

Absorptionsgrad: $\alpha = 1 - T$

Lambert-Beersches-Gesetz: $E = \frac{\epsilon \cdot c \cdot d}{\text{Verd.}}$ $E = \frac{\epsilon_\beta \cdot m \cdot d}{V}$

Molarer Extinktionskoeffizient: $\epsilon_c = \frac{E}{c \cdot d}$ è $\text{Verd.} = \frac{\epsilon_\beta \cdot \beta \cdot d}{E}$

Extinktionskoeffizient $\epsilon_\beta = \frac{E}{\beta \cdot d}$ $\epsilon_\beta = \frac{\epsilon_c}{M}$ è $m = \frac{E \cdot V \cdot \text{Verd.}}{\epsilon_\beta \cdot d}$

Grundfarben Monitor: Additive Mischung

RGB (rot, grün, Blau)

Grundfarben Farbdruck: Substraktive Farbmischung

YMCK (yellow, magenta, cyan, black)

Optische Dichte

Luft / Wasser $\alpha > \beta \rightarrow n = \frac{\sin_\alpha}{\sin_\beta} = \text{Konst.}$

Konstanten: $N_A = 6,022 \cdot 10^{23} \text{ } \frac{1}{\text{mol}}$

$$h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$$

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

Zusätzliche Formeln**Z13**

Bindungsenthalpie H

$$H = E \cdot N_A$$

Energie E

$$E = h \cdot f \quad E = \frac{h \cdot c}{\lambda} \quad E = \frac{H}{N_A} \quad [J]$$

Frequenz f

$$f = c \cdot \bar{\nu} \quad f = \frac{c}{\lambda} \quad f = \frac{E}{h} \quad \left[\frac{1}{s}\right] = \text{Hz}$$

Wellenlänge λ

$$\lambda = \frac{h \cdot c}{E} \quad \lambda = \frac{c}{f} \quad [nm]$$

Wellenzahl $\bar{\nu}$

$$\bar{\nu} = \frac{1}{\lambda} \quad \left[\frac{1}{cm}\right]$$

Zusätzliche Formeln**Z14****Zersetzungsspannung:**

$$U_{\text{Zersetzung}} = E^0(\text{Anode}) - E^0(\text{Kathode}) \quad [V]$$

Spannung Std. H-Elektrode:

$$E(\text{Std.H - Elektr.}) = E^0 - 0,0592 \cdot \text{pH}$$

$$\text{Faraday'sche Konstante: } F = 96485 \frac{\text{A} \cdot \text{s}}{\text{mol}} = 96485 \frac{\text{C}}{\text{mol}}$$

Ladungsmenge (Q) für Abscheidung:

$$Q_{\text{Ladungsmenge}} = n(x)_{\text{Stoffmenge}} \cdot z(x)_{\text{Wertigkeit}} \cdot F_{\text{Konstante}}$$

$$Q = \frac{m}{m_{\dot{A}} \cdot \eta} \quad Q = \frac{W}{U}$$

$$\text{Tabellenbuch S.148 } \dot{m}_{\dot{A}}(x) = \frac{M(x)}{z \cdot F}$$

Faradaysches Gesetz:

$$m = \frac{I \cdot t \cdot M}{z \cdot F} \cdot \eta \quad m(x) = I \cdot t \cdot m_{\dot{A}} \cdot \eta = Q \cdot m_{\dot{A}} \cdot \eta$$

$$I = \frac{m}{t \cdot m_{\dot{A}} \cdot \eta} \quad t = \frac{m}{m_{\dot{A}} \cdot \eta \cdot I} \quad \eta = \frac{m}{I \cdot t \cdot m_{\dot{A}}}$$

Volumen:

$$R = 0,08314 \frac{\text{L} \cdot \text{bar}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$$

$$T = 273\text{K} = 0^\circ\text{C}$$

$$p = 1,045\text{bar}$$

$$V = \frac{m(x) \cdot R \cdot T}{M(x) \cdot p}$$

Zusätzliche Formeln**Z15****Leistung (Arbeit)**

$$W \text{ in kWh: } W = U \cdot I \cdot t = \frac{m(x) \cdot U}{m_{\dot{A}}}$$

KL-Bestimmung**Spannung Halbzelle A (Kathode +)**

$$E_{\text{Halbzelle}_A} = E_0 + \frac{0,0592\text{V}}{z} \cdot \log(c(X))$$

Spannung Halbzelle B (Anode -)

$$E_{\text{Anode}} = E_{\text{Kathode}} - E\Delta$$

(à Elektrodenpotenzial Halbzelle B)

Konzentration (X^{z+}):

$$E_{\text{Anode}} = E_0(X^{z+}) + \frac{0,0592\text{V}}{z} \cdot \log(c(X^{z+})) \quad \text{---} / - E_0(X^{z+})$$

$$E_{\text{Anode}} - E_0(X^{z+}) = \frac{0,0592\text{V}}{z} \cdot \log(c(X^{z+})) \quad \text{---} / \div \frac{0,0592}{z}$$

$$Y = \log(c(X^{z+}))$$

$$c(X^{z+}) = 10^{-Y} \frac{\text{mol}}{\text{L}}$$

KL-Bestimmung:

$$KL(X^{z+} B^{z-}) = c(X^{z+}) \cdot c(B^{z-})$$

Zusätzliche Formeln

Z16

Verteilungskoeffizient:

$$K = \frac{c(\text{stationäre Phase})}{c(\text{mobile Phase})}$$

Retentionsfaktor (RF-Wert):

$$RF = \frac{\text{Laufstrecke Substanz}}{\text{Laufstrecke Laufmittel}}$$

Eluotrope Reihe:

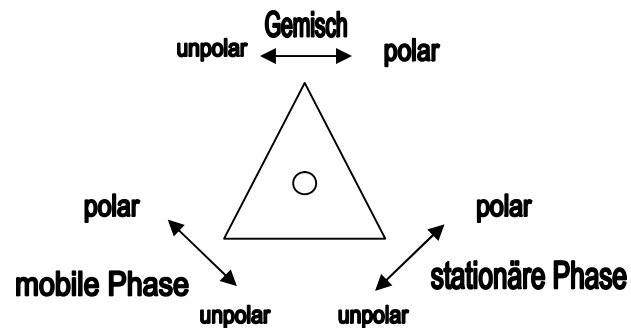
Wasser > MeOH > EtOH > PropOH > Aceton > Ester > Ether > Toluol > Benzol > CCl₄ > Cyclohexan > Pentan > Hexan > Heptan

Responsefaktor (RF_i)

$$RF_i = \frac{W_i}{A_i}$$

W_i = Substanzmenge der Komponente
A_i = Flächenwert der Komponente

Stahlsches Dreieck:



Zusätzliche Formeln

Z17

Technische Kennzahlen

Säurezahl (SZ)

$$SZ = \frac{m(KOH)}{m(Fett)}$$

$$m(KOH) = \tilde{c} \cdot t \cdot V(KOH) \cdot M(KOH)$$

Verseifungszahl (VZ)

$$VZ = \frac{m(KOH)}{m(Fett)}$$

$$V(KOH) = (V \cdot t)KOH - (V \cdot t)HCl$$

$$m(A) = [\tilde{c}(A) \cdot V(A) \cdot t(A) - \tilde{c}(B) \cdot V(B) \cdot t(B)] \cdot M(A)$$

$$VZ = \frac{m(A) \cdot 1000}{m(Fetteinwaage)}$$

Esterzahl

$$EZ = VZ - SZ$$

Iodzahl

$$IZ = \frac{m(Iod)}{m(Probe)}$$

Zusätzliche Formeln

Z18

Elektrik

Wirkungsgrad = η

$$\eta = \frac{W_{ab}}{W_{zu}}$$

Index „ab“: abgegeben, effektiv, Nutz....

Index „zu“: zugeführt, indiziert, Antriebs...

$$\eta = \frac{P_{ab}}{P_{zu}}$$

Elektrische Ladung = Q

$$Q = I \cdot t \quad [\text{As}]$$

Elektrische Feldstärke = E

$$E = \frac{F}{Q}$$

Ohm'sches Gesetz

$$R = \frac{U}{I} \quad [\Omega; \text{V/A}]$$

$$U = R \cdot I \quad I = \frac{U}{R}$$

Zusätzliche Formeln

Z19

Spezifischer elektrischer Widerstand = ρ

$$\rho = \frac{R \cdot A}{l} \quad \left[\frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}} \right]$$

Drahtwiderstand

$$R = \frac{\rho \cdot L}{A} \quad A = \frac{\rho \cdot L}{R} \quad A = d^2 \cdot \frac{\pi}{4} = r^2 \cdot \pi$$

$$L = \frac{R \cdot A}{\rho}$$

R = Widerstand [Ω]

A = Leiter-Querschnitt [mm^2]

L = Länge [m]

Elektrisches Feld = Coulomb'sches Gesetz

$$F = f \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{d^2}$$

Zusätzliche Formeln

Z20

Leitwert = G

$$G = \frac{1}{R} \quad \left[1 \frac{1}{\Omega} = 1S \right]$$

Spezifische Leitfähigkeit = κ

$$\kappa = \frac{1}{\rho} = G \cdot C \quad 1 \left[\frac{m}{\Omega \cdot mm^2} \right] = 1 \left[\frac{mS}{cm} \right]$$

Zellkonstante = C

$$C = \frac{\text{Abs tan d}_{_} \text{Elektrode}}{\text{Fläche}_{_} \text{Elektrode}}$$

Transformator

$$U_1 \cdot n_2 = U_2 \cdot n_1$$

$$I_1 \cdot n_1 = I_2 \cdot n_2$$

Primärspule: Index „1“

Sekundärspule: Index „2“

n = Windungszahl

Zusätzliche Formeln

Z21

Schaltung von Widerständen

Reihen- / Spannungsteilerschaltung

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2}$$

$$R_G = R_1 + R_2 + R_3$$

$$U_G = U_1 + U_2 + U_3$$

(I = konst.)

Parallel- / Stromteilerschaltung

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1}$$

$$\frac{1}{R_G} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

$$R_G = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \quad (\text{bei zwei Widerständen})$$

$$I_G = I_1 + I_2 + I_3$$

(U = konst.)

Zusätzliche Formeln**Z22****Spannung = U**

$$U = \frac{P_{el}}{I} \quad U = \frac{W}{t \cdot I} \quad U = R \quad U = \sqrt{R \cdot P}$$

$$U = \frac{W}{Q} \quad U = \frac{F \cdot s}{Q} \quad U = E \cdot s$$

Stromstärke = I

$$I = \frac{P_{el}}{U} \quad I = \sqrt{\frac{P_{el}}{R}} \quad I = \frac{U}{R}$$

$$I = \sqrt{\frac{W}{R \cdot t}} \quad I = \frac{W}{U \cdot t} \quad I = \frac{Q}{t}$$

Widerstand = R

$$R = \frac{W}{t \cdot I^2} \quad R = \frac{P}{I^2} \quad R = \frac{U^2}{P} \quad R = \frac{U}{I}$$

Zeit = t

$$t = \frac{W}{P} \quad t = \frac{W}{U \cdot I} \quad t = \frac{Q}{I}$$

Zusätzliche Formeln**Z23****Elektrische Arbeit**

$$W_{el} = U \cdot I \cdot t \quad [1 \text{ Ws} = 1 \text{ J} = 1 \text{ Nm}]$$

$$W_{el} = P \cdot t \quad [1 \text{ W} = 1 \frac{\text{J}}{\text{s}} = 1 \frac{\text{Nm}}{\text{s}}]$$

$$W_{el} = I^2 \cdot R \cdot t \quad [1 \text{ kWh} = 3\,600\,000 \text{ AVs}]$$

$$W_{el} = \frac{U^2}{R} \cdot t \quad [1 \text{ AVh} = 1 \text{ Wh}]$$

$$W_{el} = F \cdot s$$

Elektrische Leistung = P_{el}

$$P = \frac{W_{el}}{t} \quad [\text{W}]$$

$$P_{el} = U \cdot I \quad [\text{W}]$$

$$P_{el} = I^2 \cdot R \quad [\text{W}]$$

$$P = \frac{U^2}{R} \quad [\text{W}]$$

$$P = \frac{F \cdot s}{t} \quad [\text{W}]$$

$$P = F \cdot f \quad [\text{W}]$$

Zusätzliche Formeln

Z24

Elektrik

Widerstandsänderung = ΔR

$$\Delta R = \alpha \cdot \Delta v \cdot R_0$$

= Materialwert · Temp.änderung · Ausgangswiderstand

$$R_1 = R_0 + \Delta R$$

$$R_1 = R_0 + \alpha \cdot \Delta v \cdot R_0$$

$$R_1 = R_0 (1 + \alpha \cdot \Delta v)$$

Strommessung großer Ströme

$$\begin{aligned} I_{\text{Ges}} &= I_M + I_N \\ &= I_{\text{Messung}} + I_{\text{umgeleitet}} \end{aligned}$$

$$\frac{I_M}{I_N} = \frac{R_N}{R_M}$$

R_N = Widerstand auf den Umgeleitet

R_M = Widerstand Messgerät

$$R_N = \frac{I_M}{I_N} \cdot R_M \quad R_N = \frac{U_N}{U_M} \cdot R_M$$

Zusätzliche Formeln

Z25

Wheatstonesche Brückenschaltung

$$R_x = \frac{R_1 \cdot R_4}{R_3} = \frac{R_1 \cdot L_4}{L_3}$$

Wenn $U = 0$ dann

$$\frac{R_1}{R_x} = \frac{R_3}{R_4} = \frac{l_3}{l_4}$$

Dichte von Stoffgemischen:

$$\rho_1 \cdot V_1 + \rho_2 \cdot V_2 = \rho_{\text{Ges}} \cdot V_{\text{Ges}}$$

$$\frac{m_1}{\rho_1} + \frac{m_2}{\rho_2} = \frac{m_{\text{Ges.}}}{\rho_{\text{Ges.}}}$$

Zusätzliche Formeln**Z26****MSR****Flüssigkeitsthermometer:**

$$\Delta v = v_0 \cdot \gamma \cdot \Delta T (\Delta \vartheta) \quad \left| \gamma_{Hg} = 2 \cdot 10^{-4} \frac{1}{K} \right.$$

Druckmessung:

$$p = \frac{F}{A} = \frac{m \cdot g}{A} \quad p_{hyd} = g \cdot \rho \cdot h \quad \begin{array}{l} 1Pa = 1 \frac{N}{m^2} \\ 1Pa = 10^{-5} bar \\ 1hPa = 1mbar \end{array}$$

Widerstandsthermometer:

$$R_w = R_k \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta \vartheta)$$

Für dynamischen Druck:

$$p_{dyn} = \frac{\rho}{2} \cdot v^2$$

Indirekte Messung über Verdrängungskörper:

à für Auftriebskraft

$$F_A = \rho \cdot g \cdot A \cdot h_{Fl}$$

Durchflussmessung:

$$V = A \cdot l = A \cdot l \cdot \frac{t}{t} = A \cdot v \cdot t$$

à für Volumenstrom

$$\dot{V} = \frac{V}{t} = \frac{A \cdot l \cdot t}{t} = A \cdot v$$

Zusätzliche Formeln**Z27****Aerostatik, Gasgesetze**

$$p_1 \cdot V = n(x) \cdot R \cdot T$$

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2} = \frac{p_n \cdot V_n}{T_n}$$

$$p \cdot V = \frac{m \cdot R \cdot T}{M} = n \cdot R \cdot T$$

Falls n(x) ersetzt werden muss

$$n(x) = \frac{m(x)}{M(x)} \quad \text{bei Gasen gilt:} \quad n(x) = \frac{V_0}{22,4 \frac{L}{mol}}$$

Umgestellt:

$$V_1 = \frac{V_0 \cdot T_1 \cdot p_0}{p_1 \cdot T_{01}}$$

$$V_0 = \frac{V_1 \cdot T_0 \cdot p_1}{p_0 \cdot T_{11}}$$

$$V = \frac{m \cdot R \cdot T}{p \cdot M}$$

$$M = \frac{m \cdot R \cdot T}{p \cdot V}$$

$$m = \frac{p \cdot V \cdot M}{R \cdot T} \quad p = \frac{m \cdot R \cdot T}{V \cdot M} \quad n = \frac{p \cdot V}{R \cdot T}$$

Tabellen**1****Konstante Grössen**

Avogadro-Konstante	$N_A = 6,022 \cdot 10^{23}$ Teilchen/mol
Elektrische Elementarladung	$e = 1,6022 \cdot 10^{-19}$ C
Faraday'sche Konstante	$F = 96485$ As/mol
Lichtgeschwindigkeit Im Vakuum	$c = 2,998 \cdot 10^8$ m/s
Molvolumen idealer Gase	$V_{M,N} = 22,414$ L/mol
Normfallbeschleunigung	$g = 9,81$ m/s ²
Allgemeine Gaskonstante	$R = 8,3143$ J/(mol K) $= 0,08314$ L bar/(mol K) $= 83,14$ L hPa/(mol K)
Atomare Masseneinheit	$1 u = 1,6606 \cdot 10^{-27}$ kg

Tabellen**2****Dichte fester Körper (ρ in kg/dm³)**

Aluminium	2,70
Blei	11,34
Bronze	8,7 ... 8,9
Diamant	3,5 ... 3,6
Eis (0°C)	0,92
Eisen, rein	7,88
Glas	2,4 ... 3,0
Gold	19,29
Graphit	2,0 ... 2,5
Gußeisen	7,25
Iod	4,93
Konstantan	8,89
Kupfer	8,93
Magnesium	1,74
Messing	8,4 ... 8,7
Nickel	8,9
Platin	21,45
Polyamide PA	1,13
Polyethylen PE	0,92
Polytetrafluorethylen	2,2
Polyvinylchlorid PVC	1,34 ... 1,36
Porzellan	2,45
Quarzglas	2,2
Roheisen	6,7 ... 7,8
Silber	10,5
Stahl	7,85
Tantal	16,6
Titan	4,53
Wolfram	19,3
Zink	7,13
Zinn	7,28

Tabellen**3****Dichte von Flüssigkeiten** ρ in kg/dm³ bei 20°C

Aceton	0,791
Anilin	1,022
Benzol	0,879
Brombenzol	1,495
Chloroform	1,489
Diethylether	0,714
Dioxan	1,034
Essigsäure	1,049
Ethanol	0,789
Flußsäure	0,99
Glycerin	1,261
Methanol	0,791
Motorenbenzin	0,79
Quecksilber	13,546
Salpetersäure $\omega=65\%$	1,391
Salzsäure $\omega=36\%$	1,179
Schwefelsäure $\omega=98\%$	1,836
Toluol	0,866
Trichlorethylen	1,469

Tabellen**4****Dichte von Gasen** ρ_N in kg/m³; $T_N =$ bei 273,15 K und $p_N = 1013$ hPa

Ammoniak	0,77
Argon	1,78
Chlor	3,22
Chlorwasserstoff	1,64
Ethen	1,26
Ethin	1,18
Generatorgas	1,14
Gichtgas	1,28
Helium	0,18
Kohlendioxid	1,98
Kohlenmonoxid	1,25
Luft, atmosphär.	1,293
Methan	0,72
Propan	2,02
Sauerstoff	1,43
Schwefeldioxid	2,93
Stickstoff	1,25
Wasserdampf	0,77
Wasserstoff	0,09
Xenon	5,89

Tabellen**5****Schmelz- und Siedepunkte I**in °C, bei $p_N = 1013 \text{ hPa}$

Feststoffe	F	Kp
Aluminium	658	2270
Blei	327	1730
Eisen, rein	1530	2500
Stahl	≈ 1520	
Gold	1063	2700
Gußeisen	≈ 1200	
Kohlenstoff	3540	4000
Kupfer	1083	2330
Magnesium	650	1110
Nickel	1455	3000
Platin	1773	3800
Tantal	3000	
Titan	1800	
Zink	419	907

Flüssigkeiten	F	Kp
Aceton	- 94	56
Anilin	- 6	184
Benzol	+ 6	80
Brom	- 7	59
Brombenzol	- 31	156
Chloroform	- 64	61

Flüssigkeiten	F	Kp
Essigsäure	+ 17	118
Diethylether	- 116	34,5
Ethanol	- 115	78
Methanol	- 98	65
Methylenchlorid	- 96,5	40
Quecksilber	- 39	357
Salpetersäure	- 41	86
Schwefelkohlenstoff	- 112	46
Schwefelsäure	+ 11	
Toluol	- 95	111

Gase	F	Kp
Ammoniak	- 78	- 33
Argon	- 189	- 186
Chlor	- 103	-35
Chlorwasserstoff	-112	- 85
Ethan	- 172	- 88,5
Ethen	- 170	- 104
Helium		- 269
Kohlendioxid	- 56	- 79
Kohlenmonoxid	- 205	- 192
Methan	- 183	- 162
Neon	- 249	- 246
Propan	- 190	- 43
Sauerstoff	- 219	- 183
Schwefeldioxid	- 75	- 10
Stickstoff	- 210	- 196
Wasserstoff	- 259	- 253

Tabellen**6****Spezifische Schmelzwärme**q in kJ/kg; bei $p_N = 1013 \text{ hPa}$

Aluminium	356
Blei	24
Eis	336
Eisen, rein	272
Gußeisen, grau	96
Gold	67
Kupfer	209
Nickel	293
Platin	113
Quecksilber	12
Schwefel	42
Silber	105

Spezifische Verdampfungswärmer in kJ/kg; bei $p_N = 1013 \text{ hPa}$

Ammoniak gasförmig	1370
Aceton	523
Anilin	448
Benzol	396
Chlor	260
Chloroform	247
Diethylether	360
Ethanol	842
Methanol	1101
Quecksilber	301
Sauerstoff	213
Toluol	356
Trichlorethylen	239
Wasser	2260
Wasserstoff	461

Tabellen**7****Spezifische Wärmekapazität (I)** c_m in kJ/kg K; zwischen $t=0$ und 100°C **Feststoffe**

Aluminium	0,908
Blei	0,130
Eis (0°C)	2,11
Eisen, rein	0,465
Stahl	0,477
Cr-Ni-Stahl	0,477
Grauguß	0,540
Normalglas	0,766
Jena'er Glas	0,779
Pyrex-Glas	0,775
Quarzglas	0,729
Graphit, natürlich	0,837
Kohlenstoff	0,796
Kunststoffe	1,2 ... 2,5
Kupfer	0,389
Bronze	0,352
Konstantan	0,410
Messing	0,381
Natrium (20°C)	1,206
Nickel	0,452
Platin	0,134
Quarz	0,783
Tantal	0,183

Tabellen**8****Spezifische Wärmekapazität (II)**

c in kJ/kg K; bei t= 20°C

Flüssigkeiten

Aceton	2,160
Anilin	2,064
Benzol	1,738
Brom	0,46
Chloroform	0,96
Diethylether	2,328
Essigsäure	2,031
Ethanol	2,470
Glycerin	2,37
Methanol	2,47
Methylenchlorid	1,21
Quecksilber	0,138
Salpetersäure	1,717
Schwefelkohlenstoff	1,017
Toluol	1,67
Wasser	4,183

Tabellen**9****Spezifische Wärmekapazität (III)**c_p in kJ/kg K; bei t=0°C**Gase**

Ammoniakgas	2,059
Chlor	0,502
Chlorwasserstoff	0,812
Ethen	1,465
Helium	5,23
Kohlendioxid	0,825
Kohlenmonoxid	1,051
Luft, atmosphär.	1,001
Methan	2,178
Sauerstoff	0,913
Schwefeldioxid	0,632
Stickstoff	1,043
Wasserdampf bei t=100°C	1,93
Wasserstoff	14,235

Tabellen**10****Längenausdehnungskoeffizient** α in $1/10^5$ K; zwischen $t=0$ und 100°C

Aluminium	2,38
Blei	2,90
Bronze	1,75
Gold	1,42
Grauguß	1,04
Konstantan	1,52
Kupfer	1,65
Messing	1,84
Nickel	1,30
Platin	0,90
Quarzglas	0,05
Silber	1,95
Stahl	1,19

Volumenausdehnungskoeffizient γ in $1/10^3$ K; bei $t=18^\circ\text{C}$

Benzol	1,16
Diethylether	1,62
Ethanol	1,10
Glycerin	0,50
Petroleum	0,96
Quecksilber	0,18
Schwefelkohlenstoff	1,18
Tetrachlorkohlenstoff	1,23
Wasser	0,19

Tabellen**11****Wärmeleitfähigkeit** λ in W/K m; $t=20^\circ\text{C}$

Aluminium	229
Eis (0°C)	1,9
Fensterglas	1,2
Glaswolle	0,03
Graphit	140
Kesselstein	1,4
Kork	0,03
Kunstharzschaum	0,03
Kupfer	383
Platin	71
Quecksilber	10
Schamottestein	1,2
Schlackenwolle	0,4
Schnee	2 ... 0,08
Silber	418
Wasser fl.	0,59
Ziegel	0,5

Tabellen**12****Wärmedurchgangskoeffizient**K in $W/m^2 \cdot K$

	Dicke der Isolierschicht in cm							
	0,3	1	2	5	12	25	38	51
Eisenbeton				4,3	3,5			
Glas	5,8	5,5						
Holz wand			3,8	2,4	1,7			
Kalksandstein					3,1	2,2	1,7	1,4
Kiesbeton				4,1	3,4	2,3		
Schlackenbeton					2,7	1,7	1,4	1,0
Ziegelstein					2,9	2,0	1,5	1,3

Einfachfenster	5,8
Doppelfenster, verkittet	2,9 – 2,3
Ziegeldach	5,8

Tabellen**13****Spezifische elektrischer Widerstand** ρ in $\Omega \cdot mm^2/m$; bei $t=20^\circ C$

Aluminium	0,0278
Eisen rein	0,10
Graphit	8,0
Kohle	40
Konstantan	0,48
Kupfer (E-Kupfer)	0,01775
Nickel	0,5
Quecksilber	0,941
Silber	0,016

Isolatoren (in $\Omega \cdot mm^2/m$)

Glas	10^{19}
Hartgummi	10^{20}
Plexiglas	10^{19}
Polystyrol	10^{22}
Wasser, entionisiert	10^{11}

Tabellen

16

Wellenablg. in cm ⁻¹	Schwingungstyp	Verbindungen
1675...1630 m 1650...1620 m 1650...1550 s	-C=C-Valenz NH ₂ -Deform. N-H-Deform.	Aromaten, Olefin primäre Säureamide (Amidbande II) aliphatische und sekundäre Amine
1630...1515 m 1630...1590 m	H-O-H-Deform. Ringschwingung	Kristallwasser in Hydraten Acetonen
1600...1560 s 1600...1575 1500	-CO-Valenz in COO ⁻ NH ₂ -Deform.	Salze von Carbonsäuren Ammoniumsalze (2 Banden)
1570...1510 m 1560...1515 s	-N-H-Deform. NO ₂ -Valenz	sekundäre Säureamide (Amidbande II) Nitroalkane und aromatische Nitroverbindungen
1500...1480 m 1470...1460 s m	Ringschwingung CH ₂ - u. CH ₂ -Deform.	Aromaten gesättigte Kohlenwasserstoffe und Kohlenwasserstoffester
1470...1370 s 1470-1300 s 1390...1370 s	SO ₂ -Valenz -CO-Valenz in COO ⁻ CH ₂ -Deform.	organische Sulfonylverbindungen Salze von Carbonsäuren gesättigte Kohlenwasserstoffe und Kohlenwasserstoffester
1360...1050 m-s 1350...1240 s 1200...1115 s 1200...1020 m s 1200...1090 1275...1200 s 1075...1020 s 1050...1090 s	-C-N-Valenz -NO ₂ -Valenz -SO ₂ -Valenz C-O-Valenz C-O-Valenz -C-O-C-Valenz C-O-C-Valenz	Amide, Azide Aliphatische und aromatische Nitroverbindungen organische Sulfonylverbindungen Ether, Ester, Anhydride, Acetale gesättigte Ester, Amide (2 Banden) aromatische und Vinyl ether (2 Banden) alkalische und alkyalische Ether
1260...1200 s 1260...1150 s 1150...1100 m 1050...1000 s 1030...1090 s 970...960 s 935...965 s 915...965 s 920 b	-C-O-Valenz C-O-Valenz -C-O-Valenz C-O-Valenz S-O-Valenz -C-H-Deform. -C-H-Deform.	Phenole tertiäre Alkohole sekundäre Alkohole primäre Alkohole Sulfoxide 1,2-disubstituierte Ethylene (trans) monosubstituierte Ethylene (2 Banden) Carbonsäuren (dimer)
810...750 s 710...690 s 690 s 640...610 s	-C-H-Deform. -C-H-Deform. -C-H-Deform.	1,2-disubstituierte Benzene (2 Banden) 1,1-disubstituierte Ethylene 1,4-disubstituierte Benzene
600...500 m-s	-C-Hal-Valenz	aromatische und aliphatische Halogenverbindungen
720...735 s	-C-H-Deform.	1,2-disubstituierte Benzene
720...730 s 710...690 s 780...720 m 800...600 m w	-C-H-Deform. C-S-Valenz	monosubstituierte Benzene (5 Banden) n-Paraffine mit mehr als 4 CH ₂ -Gruppen organische Schwefelverbindungen (Thiole, Disulfide usw.)
730...680 m 670 s	-C-H-Deform. =C-H-Deform.	1,2-disubstituierte Ethylene (cis) Benzene

D = s = sehr stark, s = stark, m = mitte, w = schwach, b = breit, ds = sehr breit.

Tabellen

17

Häufige Fragmente im MS

Masse					Formel	Verbindungstyp	
76	80	104	118	132	C ₆ H ₅ -	R-phenyl	
77	81	105	119	133	C ₆ H ₅ C ₂ H ₅	Phenylalkylverbindungen	
		105	119	133	C ₆ H ₅ -C ₆ H ₄ -CO	Benzoyl Verbindungen, unges. oder ges. Phenoxy-Verbindungen	
63	77	51			C ₆ H ₅ -O ₂	ROCOFOR Abspaltung von R-2H	
49	63	77	51	105	C ₆ H ₅ Cl	Chloralkyl, mit m/z = 91 am intensivsten	
77	81	105	119	133	C ₆ H ₅ -N	R-pyridyl, R-phenyl-N(R)	
	52	106	120	134	C ₆ H ₅ -	R-phenyl-CR'R''	
	52	106	120	134	C ₆ H ₅ -O	O-phenyl-R	
78	82	106	120	134	C ₆ H ₅ NC ₆ H ₅	Pyridyl-Verbindungen, Aminoaromaten	
79	83	107	121	135	C ₆ H ₅ -	Terpene und Derivate	
		107	121	135	C ₆ H ₅ -C ₆ H ₄ -O	HOC ₆ H ₄ -CHR-Y	
				149	C ₆ H ₄ -C ₆ H ₄ -H	Phthalate	
	53	107	121	135	C ₆ H ₅ -Br	Bromalkene, mit m/z = 135 am intensivsten	
		54	108	122	C ₆ H ₅ -C ₆ H ₄ -Cl	R-phenyl-O-Z-H	
66	80	54			C ₆ H ₅ -S ₂	Disulfide	
66	80	54	108	122	C ₆ H ₅ -	Cycloalkanon, Cycloalken	
53	67	81	55	109	123	C ₆ H ₅ -	Diene, Alkine, Cycloalkene
	81	55	109		C ₆ H ₅ -O	Trialkylverbindungen, mehrfach unges. O-Verbind. (Ether, Alkohole, Aldehyde)	
54	68	82	56	110	124	C ₆ H ₅ -	Retin-Diels-Alder
54	68	82	56	110	124	C ₆ H ₅ -	subst., cycl., unges., Ketone oder Ether
54	68	82	56	110	124	C ₆ H ₅ -CN	Arylcyanide, Cycloalkenylamine, Bicyclamine
	83	57	111	125	C ₆ H ₅ SC ₆ H ₅	Thiophen (spezifisch), Thiophenylverbindungen	
55	69	83	57	111	125	C ₆ H ₅ -	Alkene, Cycloalkene

Tabellen

18

Häufige Fragmentationen II

Masse						Formel	Verbindungstyp		
55	69	83	97	111	125	139	$C_3H_{2n+1}CO$	Alkenyl- und Cycloalkylcarbonyl-Verbindungen	
55	69	83	97	111	125	139	$C_3H_{2n+1}N$	Alkylcyanide (unspezifisch), Cycloazalkene	
				125	140	C_2H_{2n+14}	2-naphthyl IV		
56	70	84	98	112	126	140	C_2H_{2n}	Alken, Cycloalken	
56	70	84	98	112	126	140	$C_3H_{2n+2}O$	2-Alkylcycloalkanone, Cyclobutanone; <i>m/z</i> 98 aus Y	
							$(CH_2)_{m-1}-CO-Y$	cyclische, unges. Ester, Deketone	
	70	84	98	112	126	140	$C_3H_{2n+4}O_2$	2-thienyl	
				98	112	126	140	$C_2H_{2n+1}S$	
56	70	84	98				$C_3H_{2n}N$	Alkenyl- und Cycloalkylamine, cycl. Amine, Imine	
56	70	84	98	112	126		$C_2H_{2n}NCO$	Alkylisocyanate	
15	29	43	57	71	85	99	C_2H_{2n+1}	Alkylgruppen	
	29	43	57	71	85	99	$C_3H_{2n+1}CO$	ges. Carbonylverbindungen, cycl. Ether, Cycloalkanole	
		85	99	113			$C_3H_{2n+1}NO$	Alkylisocyanate	
		44	58	72	86	100	$C_2H_{2n}O$	Cycloalkanole	
30	44	58	72	86	100	114	$C_2H_{2n+2}N$	Alkylamine	
30							NO	Nitrite (bei Nitroverbind. klein)	
	44	58	72	86	100		$C_2H_{2n+2}NCO$	Amide, Harnstoffe, Carbonate	
				72	86	100	114	$C_2H_{2n+1}NCS$	Alkylisothiocyanate
31	45	59	73	87	101		$C_3H_{2n+1}O$	aliphatische Alkohole, Ether, doppelte H-Wandernng höherer Ketone	
							$C_3H_{2n+1}O_2$	Säuren, Ester, cycl. Acetale, Ketal	
31	45	59	73	87	101		$C_2H_{2n+3}Si$	Alkylsilane mit <i>m/z</i> = 73 in Me ₃ SiOR	
	45	59	73	87	101		$C_2H_{2n+1}S$	Thiacycloalkane, unges., subst. Schwefelverbindungen	
				101	115		$C_3H_{2n+1}NS$	Alkylisothiocyanate	

Tabellen

19

Häufige Fragmentationen III

Masse						Formel	Verbindungstyp	
	59	73	87	101	115	$C_2H_{2n+1}NO$	Amide	
			192	116	130	C_2H_{2n+11}	unges., cycl. Arylverbindungen	
46	60	74				C_2H_{2n}	cycl. Sulfide	
	60	74	88	102		$C_2H_{2n}O$	Ester	
46	60	74	88	102		$C_2H_{2n+2}NO$	Umlagerungen von prim. und sek. Amiden	
						$C_2H_{2n}NO$	R-CR ₂ -ONO (spezifisch)	
30	46					NO ₂	Nitrate, Ar-NO ₂ , R-ONO	
		75	89	103	117	131	C_2H_{2n+9}	unges., cycl. Arylverbindungen
19	33	47	61	75	89	103	$C_2H_{2n+3}O$	Alkohole, Polyole
19	33	47	61	75	89	103	$C_2H_{2n+1}O_2$	spezifische Umlagerung von Estern
							$C_2H_{2n+1}S$	Alkylthiole, Sulfide
	47	61	75	89	103	117	$C_2H_{2n+3}SiO$	Me ₃ SiOCHR-R'

Quelle: Vorlesung Massenspektrometrie von Prof. Dr. J. Hartmann

