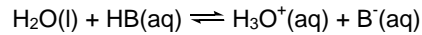


Ungefähre Gleichgewichtslagen wichtiger Säuren und Basen in wässriger Lösung

T1

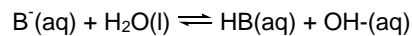
Für schwache Säuren und Basen ist das ungefähre Teilchenzahl-Verhältnis des jeweiligen Säure/Base-Paars angegeben, wenn diese in Ausgangskonzentrationen von 1 bis 10^{-2} mol/L in Wasser aufgelöst werden.

Säuren: Die $c(\text{H}_3\text{O}^+, \text{aq})$ entspricht der Konzentration der deprotonierten Form



Salzsäure $\text{HCl}(\text{aq})$	In Lösung praktisch nur H_3O^+ - und Cl^- -Ionen (praktisch vollst. dissoziierend)
Essigsäure CH_3COOH	$c(\text{CH}_3\text{COOH}, \text{aq})/c(\text{CH}_3\text{COO}^-, \text{aq})$ etwa 100/1
Ammonium-Ion NH_4^+	$c(\text{NH}_4^+, \text{aq})/c(\text{NH}_3, \text{aq})$ etwa 10 000/1
Schwefelsäure H_2SO_4	In Lösung praktisch nur H_3O^+ - und SO_4^{2-} -Ionen (praktisch vollst. dissoziierend)
Hydrosulfat-Ion HSO_4^-	In Lösung praktisch nur H_3O^+ - und SO_4^{2-} -Ionen (praktisch vollst. dissoziierend)
Phosphorsäure H_3PO_4	In Lösung praktisch nur H_3O^+ - und H_2PO_4^- -Ionen (praktisch vollst. dissoziierend)
Dihydrogenphosphat-Ion H_2PO_4^-	$c(\text{H}_2\text{PO}_4^-, \text{aq})/c(\text{HPO}_4^{2-}, \text{aq})$ etwa 1000/1
Salpetersäure HNO_3	In Lösung praktisch nur H_3O^+ - und NO_3^- -Ionen (praktisch vollst. dissoziierend)
Kohlensäure $\text{H}_2\text{CO}_3(\text{aq})$	$c(\text{H}_2\text{CO}_3, \text{aq})/c(\text{HCO}_3^-, \text{aq})$ etwa 100/1 (aber $c(\text{H}_2\text{CO}_3, \text{aq})$ immer sehr klein)

Basen: Die $c(\text{OH}^-, \text{aq})$ entspricht der Konzentration der protonierten Form



Acetat-Ion CH_3COO^-	$c(\text{CH}_3\text{COO}^-, \text{aq})/c(\text{CH}_3\text{COOH}, \text{aq})$ etwa 10 000/1
Ammoniak NH_3	$c(\text{NH}_3, \text{aq})/c(\text{NH}_4^+, \text{aq})$ etwa 100/1
Hydrogenphosphat-Ion HPO_4^{2-}	$c(\text{HPO}_4^{2-}, \text{aq})/c(\text{H}_2\text{PO}_4^-, \text{aq})$ etwa 1000/1
Phosphat-Ion PO_4^{3-}	In Lösung praktisch nur HPO_4^{2-} - und OH^- -Ionen (praktisch vollständig reagierend)
Hydrogencarbonat-Ion HCO_3^-	$c(\text{HCO}_3^-, \text{aq})/c(\text{H}_2\text{CO}_3, \text{aq})$ etwa 1000/1
Carbonat-Ion CO_3^{2-}	In Lösung praktisch nur HCO_3^- und OH^- -Ionen (praktisch vollständig reagierend)

pK_s-Werte wichtiger Säuren

Formel	Name	pK _s	korrespondierende Base
HCl	Chlorwasserstoff	-6	Cl ⁻ (Chlorid-Ion)
CO ₂ (aq)	Kohlensäure H ₂ CO ₃	6,46	HCO ₃ ⁻ (Hydrogencarbonat-Ion)
HCO ₃ ⁻	Hydrogencarbonat-Ion	10,4	CO ₃ ²⁻ (Carbonat-Ion)
COOHCOOH	Oxalsäure	1,23	COOHCOO ⁻ Hydrogenoxalat-Ion
COOHCOO ⁻	Hydrogenoxalat-Ion	4,19	COO ⁻ COO ⁻ Oxalat-Ion
CH ₃ COOH	Essigsäure	4,76	CH ₃ COO ⁻ (Acetat-Ion)
HCN	Cyanwasserstoff	9,4	CN ⁻ (Cyanid-Ion)
NH ₄ ⁺	Ammonium-Ion	9,21	NH ₃ (Ammoniak)
HNO ₃	Salpetersäure	-1,32	NO ₃ ⁻ (Nitrat-Ion)
H ₃ O ⁺	Hydroxonium-Ion	-1,74	H ₂ O (Wasser)
H ₂ O	Wasser	15,74	OH ⁻ (Hydroxid-Ion)
OH ⁻	Hydroxid-Ion	24	O ²⁻ (Oxid-Ion)
H ₃ PO ₄	Phosphorsäure	1,96	H ₂ PO ₄ ⁻ (Dihydrogenphosphat-Ion)
H ₂ PO ₄ ⁻	Dihydrogenphosphat-Ion	7,21	HPO ₄ ²⁻ (Hydrogenphosphat-Ion)
HPO ₄ ²⁻	Hydrogenphosphat-Ion	12,32	PO ₄ ³⁻ (Phosphat-Ion)
H ₂ SO ₄	Schwefelsäure	-3	HSO ₄ ⁻ (Hydrosulfat-Ion)
HSO ₄ ⁻	Hydrosulfat-Ion	1,92	SO ₄ ²⁻ (Sulfat-Ion)
H ₂ S	Schwefelwasserstoff	7.06	HS ⁻ (Hydrosulfid-Ion)
HS ⁻	Hydrosulfid-Ion	12.89	S ²⁻ (Sulfid-Ion)

Einige Standard-Elektrodenpotentiale:

T2

(Genannt auch: „Standardpotential“, „Normalpotential“, „Spannungsreihe“ und „Redoxreihe“)

Standard-Bedingungen: 25 °C, Druck beteiligter Gase 1,013 bar, Konzentration $c(\text{aq})$ beteiligter Ionen

1 mol/L. Aufgeführt sind die Teilpartikelgleichungen des Redoxpaares einer Halbzelle. Die Partikeln sind Teile von Stoffen, deren Aggregatzustand in einer Halbzelle in Klammern hinter den jeweiligen Partikeln vermerkt ist.

Bei Ionen von festen Verbindungen sind zudem die Verbindungsformeln angegeben.

Redox-Paar	E° in Volt [V]
$\text{Li}^+(\text{aq}) + \text{e}^- \rightleftharpoons \text{Li}(\text{s})$	-3,045
$\text{Na}^+(\text{aq}) + \text{e}^- \rightleftharpoons \text{Na}(\text{s})$	-2,714
$\text{Mg}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Mg}(\text{s})$	-2,37
$\text{Al}^{3+}(\text{aq}) + 3\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Al}(\text{s})$	-1,66
$\text{Mn}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Mn}(\text{s})$	-1,18
$2 \text{H}_2\text{O}(\text{l}) + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{H}_2(\text{g}) + 2 \text{OH}^-(\text{aq})$	-0,83
$\text{Zn}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Zn}(\text{s})$	-0,76
$\text{Cr}^{3+}(\text{aq}) + 3\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Cr}(\text{s})$	-0,74
$\text{Fe}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Fe}(\text{s})$	-0,44
$\text{Cd}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Cd}(\text{s})$	-0,402
$\text{Pb}^{2+}(\text{in PbSO}_4(\text{s})) + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Pb}(\text{s})$	-0,36
$\text{Co}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Co}(\text{s})$	-0,28
$\text{Ni}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Ni}(\text{s})$	-0,25
$\text{Sn}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Sn}(\text{s})$	-0,136
$\text{Pb}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Pb}(\text{s})$	-0,126
$2 \text{H}^+(\text{aq}) + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{H}_2(\text{g})$	0
$\text{Sn}^{4+}(\text{aq}) + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Sn}^{2+}(\text{aq})$	0,154
$\text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Cu}(\text{s})$	0,34
$\text{O}_2(\text{g}) + 2 \text{H}_2\text{O}(\text{l}) + 4\text{e}^- \rightleftharpoons 4 \text{OH}^-(\text{aq})$	0,4
$\text{Ni}^{3+}(\text{NiOOH}(\text{s})) + \text{O}^{2-}(\text{NiOOH}(\text{s})) + \text{OH}^-(\text{NiOOH}(\text{s})) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) + \text{e}^- \rightleftharpoons \text{Ni}^{2+}(\text{Ni}(\text{OH})_2(\text{s})) + 2 \text{OH}^-(\text{NiOOH}(\text{s})) + \text{OH}^-(\text{aq})$	0,49
$\text{I}_2(\text{s}) + 2\text{e}^- \rightleftharpoons 2 \text{I}^-(\text{aq})$	0,536
$\text{Fe}^{3+}(\text{aq}) + \text{e}^- \rightleftharpoons \text{Fe}^{2+}(\text{aq})$	0,771
$\text{Ag}^+(\text{aq}) + \text{e}^- \rightleftharpoons \text{Ag}(\text{s})$	0,8
$\text{Mn}^{4+}(\text{MnO}_2(\text{s})) + 2 \text{O}^{2-}(\text{MnO}_2(\text{s})) + \text{H}^+(\text{aq}) + \text{e}^- \rightleftharpoons \text{Mn}^{3+}(\text{MnOOH}(\text{s})) + \text{O}^{2-}(\text{MnOOH}(\text{s})) + \text{OH}^-(\text{MnOOH}(\text{s}))$	1,014
$\text{Br}_2(\text{l}) + 2\text{e}^- \rightleftharpoons 2 \text{Br}^-(\text{aq})$	1,065
$\text{O}_2(\text{g}) + 4 \text{H}^+(\text{aq}) + 4\text{e}^- \rightleftharpoons 2 \text{H}_2\text{O}(\text{l})$	1,24
$\text{Au}^{3+}(\text{aq}) + 3\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Au}(\text{s})$	1,33
$\text{Cl}_2(\text{g}) + 2\text{e}^- \rightleftharpoons 2 \text{Cl}^-(\text{aq})$	1,36
$\text{Pb}^{4+}(\text{in PbO}_2(\text{s})) + 2 \text{O}^{2-}(\text{in PbO}_2(\text{s})) + 4 \text{H}^+(\text{aq}) + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Pb}^{2+}(\text{in PbSO}_4(\text{s})) + 2 \text{H}_2\text{O}(\text{l})$	1,68
$\text{F}_2(\text{g}) + 2\text{e}^- \rightleftharpoons 2 \text{F}^-(\text{aq})$	2,65

Formelsammlung

Energetisches

$$\Delta G = \Delta H - T \times \Delta S$$

Säuren-Basen

Henderson-Hasselbalchsche Gleichung:

$$\text{pH} = \text{pK}_s(\text{HB}) - \lg \frac{c(\text{HB}, \text{aq})}{c(\text{B}^-, \text{aq})}$$

oder

$$c(\text{H}_3\text{O}^+, \text{aq}) = K_s(\text{HB}) \times \frac{c(\text{HB}, \text{aq})}{c(\text{B}^-, \text{aq})}$$

$$K_s(\text{HB}) = \frac{c(\text{H}_3\text{O}^+, \text{aq}) \times c(\text{B}^-, \text{aq})}{c(\text{HB}, \text{aq})}$$

$$K_b(\text{B}^-) = \frac{c(\text{OH}^-, \text{aq}) \times c(\text{HB}, \text{aq})}{c(\text{B}^-, \text{aq})}$$

Gleichgewichte

$$K = \frac{c(\text{Produkt}_1) \times c(\text{Produkt}_2) \times \dots \times c(\text{Produkt}_n)}{c(\text{Edukt}_1) \times c(\text{Edukt}_2) \times \dots \times c(\text{Edukt}_n)}$$

Thermodynamische Daten

anorganische Verbindungen	Zu-stand	$\Delta_f H_m^\circ$	$\Delta_f G_m^\circ$	S_m°
		$\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$	$\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$	$\text{J} \cdot \text{mol}^{-1}$
Ag	s	0	0	43
Ag ⁺	aq	106	77	73
AgCl	s	-127	-110	96
Al ₂ O ₃	s	-1676		
Br ₂	g	31	3	245
Br ₂	l	0	0	152
Br ⁻	aq	-122		
C	g	717	671	158
C (Graphit)	s	0	0	6
C (Diamant)	s	2	3	2
CO	g	-111	-137	197
CO ₂	g	-393	-394	213
Ca ²⁺	aq	-543	-554	-53
CaCO ₃	s	-1207	-1129	93
CaCl ₂ · 6 H ₂ O	s	-2607		
CaO	s	-635	-604	40
CaSO ₄	s	-1434	-1322	107
CaSO ₄ · 2 H ₂ O	s	-2033	-1797	194
Cl ₂	g	0	0	223
Cl	g	121	105	165
Cl ⁻	g	-244		
Cl ⁻	aq	-167	-131	57
Cu	s	0	0	33
Cu ²⁺	aq	65	66	-100
CuS	s	-53	-54	66
CuSO ₄	s	-771	-662	109
CuSO ₄ · 5 H ₂ O	s	-2280	-1880	300
CuO	s	-157		
FeS	s	-100		
Fe ₂ O ₃	s	-824		
H	g	218	203	115
H ⁺	aq	0	0	0
H ₂	g	0	0	130
HF	g	-271	-273	174
HCl	g	-92	-95	187
HCl	aq	-167	-131	56
HBr	g	-36	-53	199
HI	g	26	2	206
H ₂ O	g	-242	-229	189
H ₂ O	l	-286	-237	70
H ₂ O ₂	l	-188	-120	109
H ₂ S	g	-21	-34	206
H ₂ SO ₄	l	-814	-690	157
H ₂ Se	g	30	16	219
H ₂ Te	g	100		
I ₂	g	62	19	261
I ₂	s	0	0	116
K	g	90	61	160
K ⁺	aq	-251	-282	101
KCl	s	-436	-408	83
Mg	s	0	0	33
Mg ²⁺	aq	-467	-455	-138
MgCl ₂	s	-642	-592	90
MgO	s	-601	-570	27
MgSO ₄	s	-1288	-1171	92
MgSO ₄ · 7 H ₂ O	s	-3388	-2872	372
N ₂	g			191
NH ₃	g	-46	-16	192
NH ₃	aq	-81		110
NH ₄ ⁺	aq	-132	-79	113
NH ₄ Cl	s	-314	-203	95
NH ₄ NO ₃	s	-366	-184	151
N ₂ O	g	82	104*	220
NO	g	90	87	211
NO ₂	g	33	51	240
NO ₃ ⁻	aq	-207	-111	146
N ₂ O ₄	g	9		
N ₂ H ₄	g	95		
Na	s			51
Na	g	109	78	154
Na ⁺	g	64		
Na ⁺	aq	-240	-262	60
NaCl	s	-411	-384	72
NaOH	s	-427	-381	64
Na ₂ SO ₄	s	-1384	-1267	149
Na ₂ SO ₄ · 10H ₂ O	s	-4324	-3644	593
O ₂	g	0	0	204
O ₃	g	143	163	239

anorganische Verbindungen	Zu-stand	$\Delta_f H_m^\circ$	$\Delta_f G_m^\circ$	S_m°
		$\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$	$\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$	$\text{J} \cdot \text{mol}^{-1}$
OH ⁻	aq	-230	-157	-11
S (rhombisch)	s	0	0	32
SO ₂	g	-297	-300	248
SO ₄ ²⁻	aq	-909	-745	20
Se	g	227	187	177
Se	s	0	0	42
Te	g	197	157	183
Te	s	0	0	50
Zn	s	0	0	42
Zn ²⁺	aq	-154	-147	-112
ZnO	s	-350		
organische Verbindungen				
Methan	g	-75	-51	186
Ethan	g	-85	-33	230
Propan	g	-104	-24	270
Butan	g	-126	-17	310
Pentan	g	-146	-8	349
Pentan	l	-183		
Hexan	l	-199	8	428
Octan	g	-208	16	467
Nonan	g	-229	25	506
Nonan	l	-275		
Ethen	g	52	68	229
(Ethylen)				
Ethin (Acetylen)	g	227	209	201
Benzol	g	83	130	269
Benzol	l	49	125	173
Cyclohexen	g	-5	107	311
Cyclohexen	l	-39		
Cyclohexa-1,3-dien	g	108		
Brommethan	g	-38	-28	246
Chlormethan	g	-86	-63	235
Fluormethan	g	-234	-210	223
Iodmethan	g	14	16	254
1,2-Dibromethan	g	-39	-11	330
1,2-Dibromethan	l	-81		
Methanol	g	-201	-163	240
Methanol	l	-239		
Ethanol	g	-235	-168	283
Ethanol	l	-277		
Methanal (Formaldehyd)	g	-116	-110	219
Ethanal (Acetaldehyd)	g	-166	-133	264
Propanon (Aceton)	g	-218	-153	295
Methansäure (Ameisensäure)	g	-379	-351	249
Ethansäure (Essigsäure)	g	-435	-377	283
Stearinsäure (Octadecansäure)	s	-949		
Harnstoff	s	-333		105
Glycin	s	-529	-369	104
Glucose	s	-1260		289
Glucose	aq			264

$\Delta_f H_m^\circ$: molare Standard-Bildungsenthalpie (25 °C)
 $\Delta_f G_m^\circ$: molare freie Standard-Bildungsenthalpie (25 °C)
 S_m° : molare Standard-Entropie (25 °C)

Bindungsenthalpien in kJ/mol-Bindungen

Einfachbindungen				
	C	H	O	N
C	347	415	357	293
H	415	437	465	392
O	357	465	152	201
N	293	392	201	163
F	462	567	193	278
Cl	336	432	208	192
Br	290	365	234	
I	231	298	234	
P	264	323	335	
S	272	367		
Si	285	318	451	

Mehrfachbindungen		
C=C 612	N=N 418	C≡C 838
C=O 748	S=C 536	C≡N 891
C=O 806 in CO ₂		

Bindungsenthalpien von zweiatomigen Molekülen		
H-F 567	F-F 155	C-F 489
H-Cl 432	Cl-Cl 248	C-Cl 339
H-Br 365	Br-Br 193	C-Br 285
H-I 298	I-I 151	C-I 218
H-H 437		
NO 634	N≡N 949	O=O 500
	C≡O 1075	

Gitterenthalpien einiger Ionenverbindungen in kJ/mol

	F ⁻	Cl ⁻	Br ⁻	I ⁻
Li ⁺	1034	845	808	753
Na ⁺	917	778	741	695
K ⁺	812	707	678	640
Rb ⁺	774	678	653	615
Cs ⁺	728	649	624	590

Hydratisierungsenthalpien einiger Ionen in kJ/mol

Li ⁺ (aq) -508	Mg ²⁺ (aq) -1908	F ⁻ (aq) -551
Na ⁺ (aq) -398	Ca ²⁺ (aq) -1578	Cl ⁻ (aq) -376
K ⁺ (aq) -314	Sr ²⁺ (aq) -1431	Br ⁻ (aq) -342
Rb ⁺ (aq) -289	Ba ²⁺ (aq) -1289	I ⁻ (aq) -298

Aggregatzustandsänderungen und Wärmekapazität bei Wasser in J/g

Schmelzenthalpie:	334 J/g
H ₂ O (l, 0°C) → H ₂ O (l, 100°C):	418 J/g
Verdampfungsenthalpie:	2259 J/g