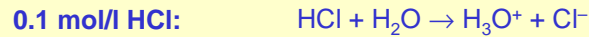
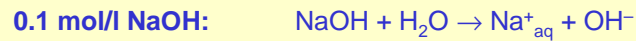


pH-Wert Berechnung für starke Säuren / Basen



starke Säure, vollständige Dissoziation

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-1} \text{ mol/l}; \quad \text{pH} = 1$$



starke Base, vollständige Dissoziation

$$[\text{OH}^-] = 10^{-1} \text{ mol/l}; \quad \text{pOH} = 1; \text{pH} = 13$$



starke Säure, vollständige Dissoziation

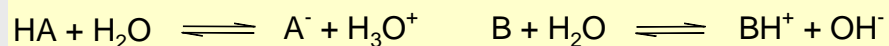
$$[\text{H}_3\text{O}^+] = 2 \cdot 0.005 \text{ mol/l} = 0.01 \text{ mol/l} = 10^{-2} \text{ mol/l}; \quad \text{pH} = 2$$

Die Säure- und Base-Gleichgewichte

Die Stärke einer Säure oder einer Base ist durch ihre Neigung zur Protonenaufnahme oder -abgabe gekennzeichnet.



Die Stärke von Säuren und Basen lässt sich nicht absolut sondern nur relativ bestimmen. Bezugsgröße ist Wasser:

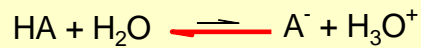


Die Säure- und Base-Gleichgewichte

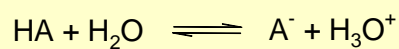
Starke Säuren und Basen: „vollständig“ dissoziiert



Schwache Säuren und Basen



Säure- und Base-Gleichgewichte: Quantitative Beschreibung

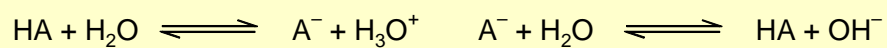


Anwendung des Massenwirkungsgesetzes:

$$\frac{[\text{H}_3\text{O}^+] \cdot [\text{A}^-]}{[\text{HA}] \cdot [\text{H}_2\text{O}]} = K_c \quad \frac{[\text{H}_3\text{O}^+] \cdot [\text{A}^-]}{[\text{HA}]} = K_c \cdot [\text{H}_2\text{O}] = K_s$$

$$\boxed{\text{p}K_s = -\log K_s}$$

Für konjugierte Säure-Base Paare gilt:



$$\boxed{\text{p}K_s + \text{p}K_B = \text{p}K_W}$$

je stärker eine Säure, desto schwächer ist die konjugierte Base

pK_S-Werte einiger Säuren

Essigsäure (CH₃COOH) als typisches Beispiel für schwache Säure

Mehrprotonige Säure (z.B. Kohlensäure, H₂CO₃): ein pK_S pro Deprotonierungsschritt

pK _S	Säure	korrespondierende Base	pK _B
vollständige Protonenabgabe	HClO ₄	ClO ₄ ⁻	keine Protonenaufnahme
	HI	I ⁻	
	HCl	Cl ⁻	
	H ₂ SO ₄	HSO ₄ ⁻	
-1.74	H ₃ O ⁺	H ₂ O	15.74
-1.32	HNO ₃	NO ₃ ⁻	15.32
1.92	HSO ₄ ⁻	SO ₄ ²⁻	12.08
2.13	H ₃ PO ₄	H ₂ PO ₄ ⁻	11.87
2.22	[Fe(H ₂ O) ₆] ³⁺	[Fe(OH)(H ₂ O) ₅] ²⁺	11.78
3.14	HF	F ⁻	10.86
3.35	HNO ₂	NO ₂ ⁻	10.65
3.75	HCOOH	HCOO ⁻	10.25
4.75	CH ₃ COOH	CH ₃ COO ⁻	9.25
4.85	[Al(H ₂ O) ₆] ³⁺	[Al(OH)(H ₂ O) ₅] ²⁺	9.15
6.52	H ₂ CO ₃	HCO ₃ ⁻	7.48
6.92	H ₂ S	HS ⁻	7.08
7.00	HSO ₃ ⁻	SO ₃ ²⁻	7.00
7.20	H ₂ PO ₄ ⁻	HPO ₄ ²⁻	6.80
9.25	NH ₄ ⁺	NH ₃	4.75
9.40	HCN	CN ⁻	4.60
10.40	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	3.60
12.36	HPO ₄ ²⁻	PO ₄ ³⁻	1.64
13.00	HS ⁻	S ²⁻	1.00
15.74	H ₂ O	OH ⁻	-1.74
keine Protonenabgabe	C ₂ H ₅ OH	C ₂ H ₅ O ⁻	vollständige Protonenaufnahme
	NH ₃	NH ₂ ⁻	
	OH ⁻	O ²⁻	
	H ₂	H ⁻	

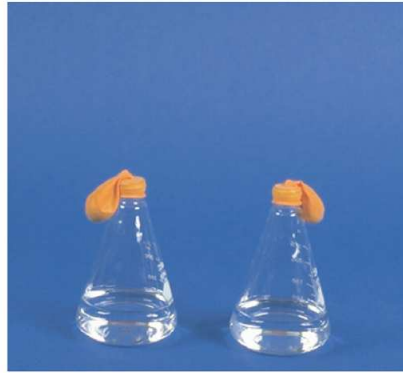
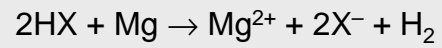
Säurestärke nimmt zu

Basenstärke nimmt zu

Die Säure- und Base-Konstante

sehr starke Säure (Base)	pK _S (pK _B) ≤ - 1.74
starke Säure (Base)	- 1.74 < pK _S (pK _B) ≤ 4.5
schwache Säure (Base)	4.5 < pK _S (pK _B) ≤ 9.5
sehr schwache Säure (Base)	9.5 < pK _S (pK _B) ≤ 15.74
extrem schwache Säure (Base)	pK _S (pK _B) ≥ 15.74

Reaktivität starken und schwacher Säuren



1M CH₃COOH

1M HCl

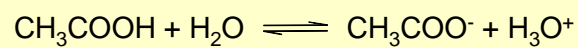


1M CH₃COOH

1M HCl

pH-Wert Berechnung für schwache Säuren / Basen

schwache Säure, unvollständige Dissoziation – Beispiel Essigsäure:



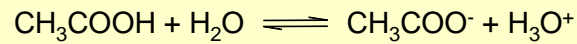
$$\frac{[H_3O^{+}] \cdot [CH_3COO^{-}]}{[CH_3COOH]} = K_s = 1.8 \cdot 10^{-5} M$$

$$[H_3O^{+}] = [CH_3COO^{-}]$$

$$\blacktriangleright [H_3O^{+}] = \sqrt{K_s \cdot [CH_3COOH]}$$

pH-Wert Berechnung für schwache Säuren / Basen

0.1 mol/l CH_3COOH :



$$[\text{CH}_3\text{COOH}] = [\text{CH}_3\text{COOH}]_0 - [\text{H}_3\text{O}^+] \approx [\text{CH}_3\text{COOH}]_0$$

$$\bullet \quad [\text{H}_3\text{O}^+] = \sqrt{K_s \cdot [\text{CH}_3\text{COOH}]_0}$$

$$\text{pH} = \frac{1}{2} (\text{p}K_s - \log([\text{CH}_3\text{COOH}]_0))$$

$$\text{pH} = \frac{1}{2} (4,75 + 1) = 2,87$$

Formeln zur pH-Wert Berechnung I

Starke Säure: $[\text{HA}] = [\text{H}_3\text{O}^+]$
 $\Rightarrow \text{pH} = -\log c_0$ (Säure)

Starke Base: $[\text{B}] = [\text{OH}^-]$
 $\Rightarrow \text{pOH} = -\log c_0$ (Base)
 $\Rightarrow \text{pH} = 14 - \text{pOH}$

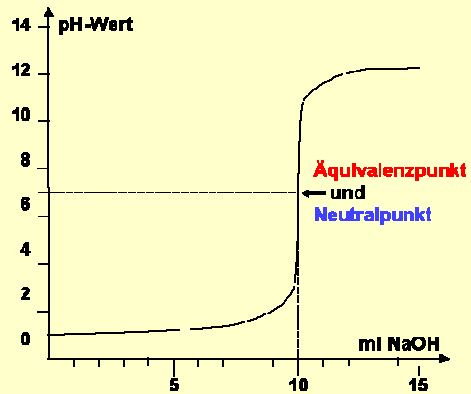
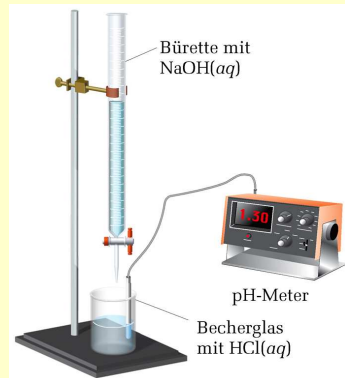
Schwache Säure: $[\text{H}_3\text{O}^+] < [\text{HA}]$
 $\Rightarrow \text{pH} = \frac{1}{2} (\text{p}K_s - \log c_0)$ (Säure)

Schwache Base: $[\text{OH}^-] < [\text{B}]$
 $\Rightarrow \text{pOH} = \frac{1}{2} (\text{p}K_B - \log c_0)$ (Base)
 $\Rightarrow \text{pH} = 14 - \text{pOH}$

Titration

Titration: allmähliche Zugabe einer Base zu einer Säure (Alkalimetrie) oder umgekehrt einer Säure zu einer Base (Azidimetrie).

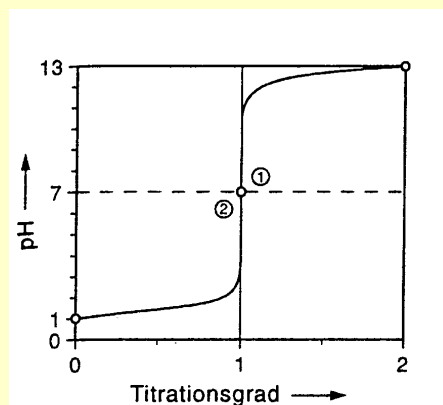
Titrationsskurve: Messkurve des pH-Werts während des Fortschritts der Titration



Titration

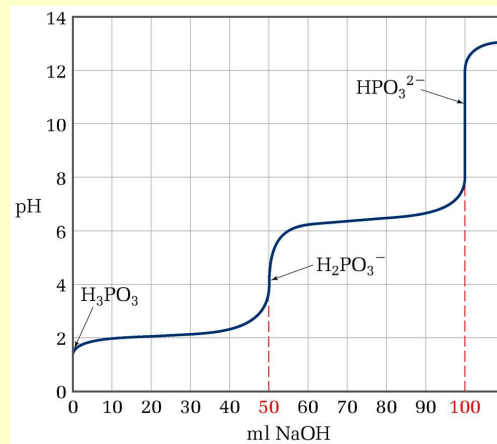
Der **Titritationsgrad** entspricht dem Molverhältnis der zugegebenen Base und der vorgelegten Säure (bzw. umgekehrt).

- 1 = Äquivalenzpunkt
pH bei Titritationsgrad = 1
- 2 = Neutralpunkt
(definitionsgemäß pH = 7)



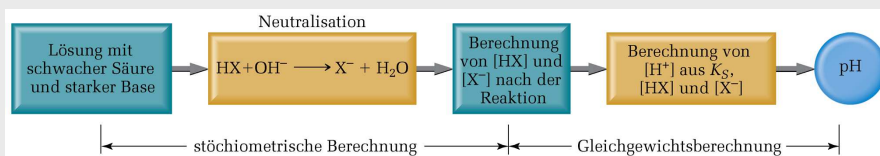
Titration

Bei mehrprotonigen Säuren / mehrbasigen Basen gibt es mehrere Äquivalenzpunkte



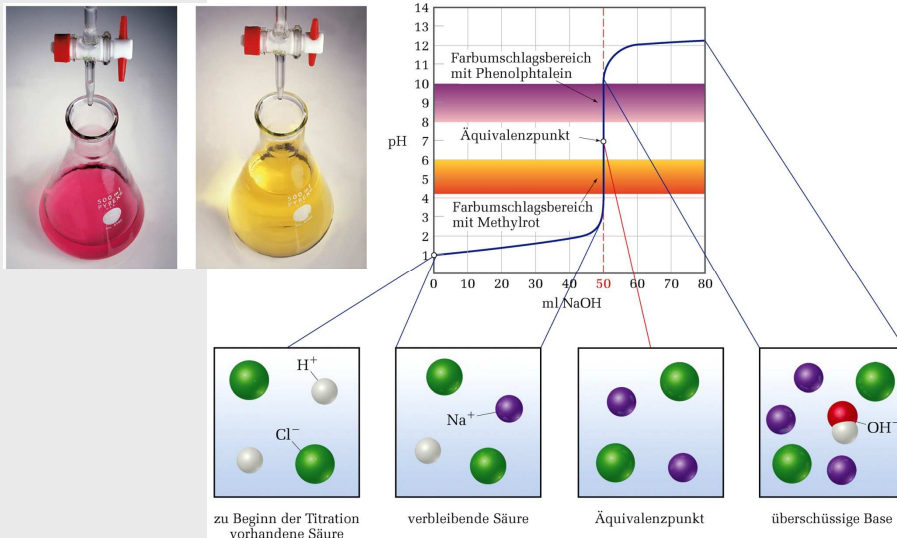
Titration

Generelles Vorgehen zum Berechnen von pH-Werten für unterschiedliche **Titrationsgrade**



Neutralisation → Titrationskurve

Reaktion einer **starken Säure** (HCl) mit einer **starken Base** (NaOH)



Neutralisation → Titrationskurve

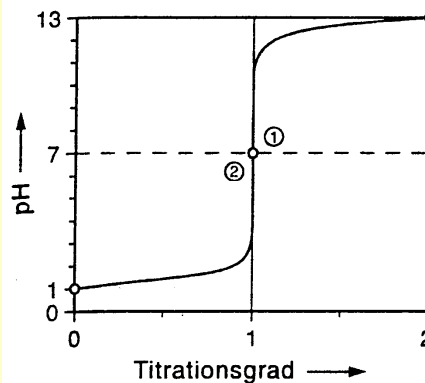
Reaktion einer **starken Säure** (HCl) mit einer **starken Base** (NaOH)

(Vernachlässigung des Volumeneffektes)

Start: 0,1 M HCl
 $\Rightarrow \text{pH} = -\log 10^{-1}$
 $= 1$

1: 0,1 M NaCl-Lösung
 $\Rightarrow \text{pH} = 7$

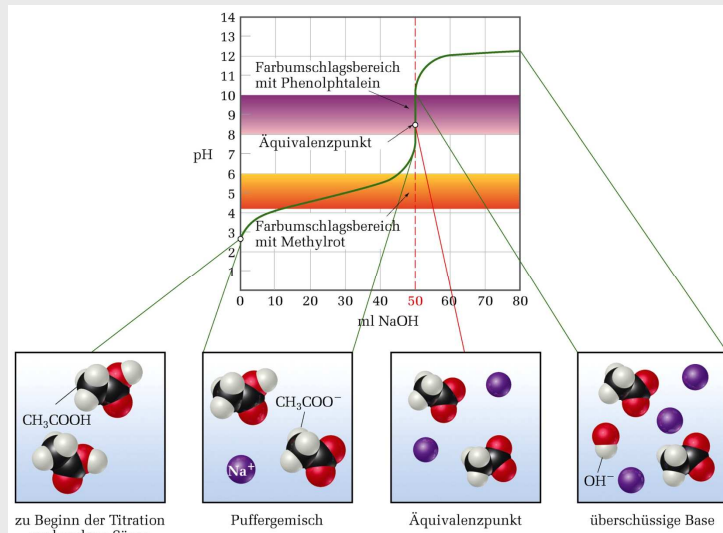
Ende: 0,1 M NaOH
 $\Rightarrow \text{pOH} = -\log 10^{-1}$
 $= 1$
 $\Rightarrow \text{pH} = 14 - \text{pOH} = 13$



1 = Äquivalenzpunkt; 2 = Neutralpunkt (pH = 7)

Neutralisation

Reaktion: **schwache Säure** (Essigsäure) mit **starker Base** (NaOH)



Neutralisation

Reaktion: **schwache Säure** (Essigsäure) mit **starker Base** (NaOH)

Start: 0,1 M CH_3COOH

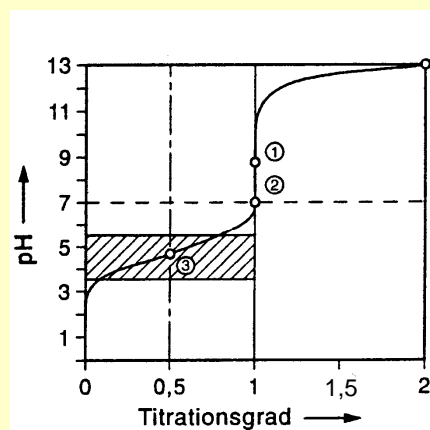
$$\begin{aligned} \Rightarrow \text{pH} &= \frac{1}{2} (\text{p}K_S - \log C_0) \\ &= \frac{1}{2} (4,75 - (-1)) \\ &= 2,9 \end{aligned}$$

1: 0,1 M NaCH_3COO -Lösung

$$\begin{aligned} \Rightarrow \text{pOH} &= \frac{1}{2} (\text{p}K_B - \log C_0) \\ &= \frac{1}{2} (9,25 + 1) \end{aligned}$$

$$\Rightarrow \text{pH} = 14 - 5,1 = 8,9$$

3 = Pufferpunkt; $\text{pH} = \text{p}K_S$
 schraffiert: Pufferbereich ($\text{p}K_S \pm 1$)



1 = Äquivalenzpunkt; 2 = Neutralpunkt ($\text{pH} = 7$)

Pufferlösungen

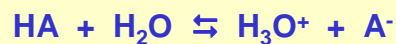
Mischungen aus gleichen Anteilen einer schwachen Säure und ihrer korrespondierenden (starken) Base, bzw. aus einer schwachen Base und ihrer korrespondierenden Säure werden Pufferlösungen genannt.

Sie sind in der Lage sowohl H^+ - als auch OH^- -Ionen zu binden und halten daher den pH-Wert in weiten Konzentrationsbereichen „konstant“ (nur geringe Änderungen).

Quantitativ werden Pufferlösungen durch die Henderson-Hasselbalch-Gleichung beschrieben.

Pufferformel - Henderson-Hasselbalch-Gleichung

Die Puffergleichung nach **Henderson-Hasselbalch** ergibt sich aus der Protolyse einer schwachen Säure:



$$\frac{[H^+] \cdot [A^-]}{[HA]} = K_S \quad \Longrightarrow \quad [H^+] = \frac{[HA]}{[A^-]} \cdot K_S$$

$$\text{Henderson-Hasselbalch} \quad pH = pK_S + \lg \frac{[A^-]}{[HA]}$$

$$\text{Äquimolare Mengen: } [A^-] = [HA] \Rightarrow [H^+] = K_S \quad pH = pK_S$$

Eigenschaften von Puffersystemen

$$\text{pH} = \text{pK}_S + \lg \frac{[\text{A}^-]}{[\text{HA}]}$$

- der pH-Wert von Pufferlösungen bleibt beim Verdünnen konstant

Pufferbereich:

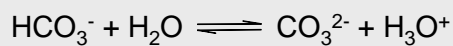
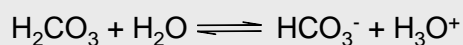
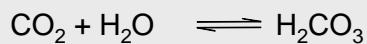
Einsatzbereich von Pufferlösungen: $\text{pH} = \text{pK}_S \pm 1$

Pufferkapazität:

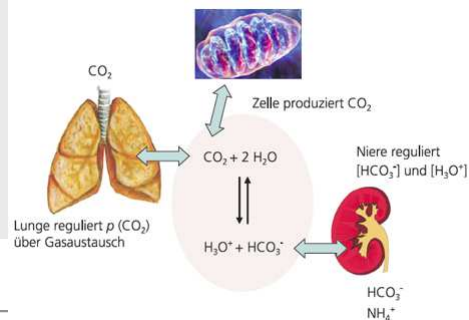
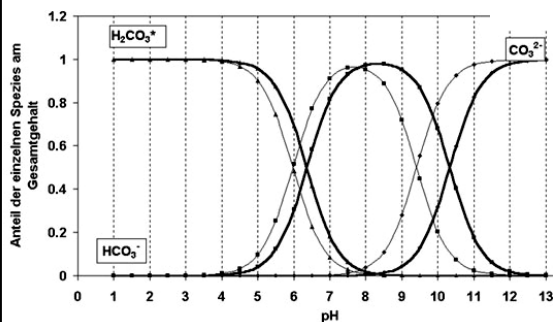
- Menge an Säure oder Base, die zugegeben werden muss, um pH-Wert um eine Einheit zu verändern.
- Gleiche Volumina verschieden konzentrierter Pufferlösungen unterscheiden sich in ihrer Pufferkapazität
- !Je größer die Konzentration der Puffersubstanzen, umso größer die Pufferkapazität !

Ein wichtiges Puffersystem: Kohlensäure / Carbonat

$\text{H}_2\text{CO}_3 / \text{HCO}_3^-$ puffert biologische und geologische Systeme bei pH-6-7:



Carbonatgleichgewichte (25°C)
fett: ideale Lösung dünn: Meerwasser



wichtige Begriffe:

Stärke von Säuren und Basen

pK_S - und pK_B -Wert

pH-Wert Berechnung für starke / schwache Säuren und Basen

Titrationenkurven, Äquivalenzpunkt, Neutralpunkt

Puffer, Pufferbereich, Pufferkapazität,

Henderson-Hasselbalch-Gleichung