

## 1. Autoprotolyse des Wassers und Zustandekommen des Neutralpunkts (pH=7)

Wassermoleküle können untereinander, also mit ihresgleichen, eine Säure-Base-Reaktion eingehen. Das Ausmaß der Reaktion ist allerdings sehr gering, das heißt nur ein sehr kleiner Anteil der H<sub>2</sub>O-Moleküle reagiert in dieser **Autoprotolyse** („*auto*“ = gr. für „*sich selbst*“). Dies verdeutlicht man in der entsprechenden Reaktionsgleichung mit einem Gleichgewichtspfeil ( $\rightleftharpoons$ ), statt einem gewöhnlichen Reaktionspfeil ( $\rightarrow$ ).

### Autoprotolyse des Wassers:

Der Gleichgewichtspfeil deutet an, dass die Reaktion *reversibel* ist, das heißt auch die Rückreaktion stattfindet. Es stellt sich ein Gleichgewicht zwischen beiden Seiten ein. Bei der *Autoprotolyse* liegt das Gleichgewicht allerdings extrem stark auf der linken Seite. Nahezu alle Moleküle liegen als H<sub>2</sub>O vor, nur sehr wenige als H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>/OH<sup>-</sup> protolysiert.

- Die Autoprotolyse des Wassers bewirkt, dass in alles wässrigen Medien stets **H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>-Ionen (Oxonium-Ionen)** und auch OH-Ionen (Hydroxid-Ionen) vorhanden sind. Auf der ständigen Anwesenheit dieser frei beweglichen Ladungsträger beruht auch die elektrische Leitfähigkeit von hoch reinem Wasser. In reinem Wasser sind die beiden Ionenkonzentrationen jedoch so gering, dass die elektrische Leitfähigkeit von neutralem Wasser sehr klein ist. Der elektrische Widerstand von reinem Wasser ist also sehr groß. Messungen haben gezeigt, dass bei ca. 20°C in 1 Liter reinem Wasser die H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>-Stoffmenge und die OH<sup>-</sup>-Stoffmenge nur 0,0000001 mol (10<sup>-7</sup> mol) beträgt. Mit anderen Worten: Die **Stoffmengenkonzentration** beider Ionensorten beträgt  $c(\text{H}_3\text{O}^+) = 0,0000001$  mol pro Liter, also  $c(\text{H}_3\text{O}^+) = 10^{-7}$  mol/L. Die oben beschriebene Autoprotolyse findet demnach nur in sehr geringem Ausmaß statt.
- Auch die Konzentrationen in anderen wässrigen Medien ist relativ klein, kann aber um viele Zehnerpotenzen verschieden sein, beispielsweise  $c(\text{H}_3\text{O}^+) = 0,0000000335$  mol/L oder  $c(\text{H}_3\text{O}^+) = 0,02484001$  mol/L. Die Angabe ist also unhandlich. Deshalb hat man den **pH-Wert** definiert. **Der pH-Wert ist als der negative Zehnerlogarithmus der H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>-Stoffmengenkonzentration,  $c(\text{H}_3\text{O}^+)$ :**

$$\text{pH} = -\log_{10} c(\text{H}_3\text{O}^+)$$

1.1 Berechnen Sie den pH-Wert von reinem Wasser (20 °C) anhand der Angaben von oben:

1.2 In einer Salzsäurelösung ist die H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>-Konzentration viel größer als in reinem Wasser. Wie groß ist beispielsweise der pH-Wert einer Salzsäurelösung, wenn pro Liter Lösung 0,87 mol HCl gelöst wurde?  $\text{HCl} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_3\text{O}^+ + \text{Cl}^-$

- Da auch die OH<sup>-</sup>-Stoffmengenkonzentration sehr klein ist und häufig mehrere Zehnerpotenzen überstreicht, hat man völlig analog auch einen **pOH-Wert** definiert:  $\text{pOH} = -\log_{10} c(\text{OH}^-)$
- Obwohl der pH-Wert und der pOH-Wert rechnerisch auch negativ sein könne, gibt man sie nur zwischen 0 - 14 an, den die Zusammenhänge oben, gelten nur für verdünnte Lösungen und reinem Wasser.
- Messungen in allen wässrigen Lösungen, beispielsweise in einer Säurelösung, einer Salzlösung oder auch in reinem Wasser zeigen, dass zwischen  $c(\text{H}_3\text{O}^+)$  und  $c(\text{OH}^-)$  bei 20°C folgender mathematischer Zusammenhang besteht:

Ionenprodukt des Wassers:  $c(\text{H}_3\text{O}^+) \cdot c(\text{OH}^-) = 10^{-14} \text{ mol}^2/\text{L}^2$  oder in logarithmischen Größen:  $\text{pH} + \text{pOH} = 14$

2. Zusammenfassung: Zusammenhänge zwischen  $c(\text{OH}^-)$ ,  $c(\text{H}_3\text{O}^+)$ , pH und pOH in ALLEN wässrigen Lösungen und  $\text{H}_2\text{O}$  (20°C)

Definition von pH und pOH:  $\text{pH} = -\lg c(\text{H}_3\text{O}^+)$   $\Leftrightarrow c(\text{H}_3\text{O}^+) = 10^{-\text{pH}}$  sowie  $\text{pOH} = -\lg c(\text{OH}^-)$   $\Leftrightarrow c(\text{OH}^-) = 10^{-\text{pOH}}$

Ionenprodukt des Wassers:  $c(\text{H}_3\text{O}^+) \cdot c(\text{OH}^-) = 10^{-14} \text{ mol}^2/\text{L}^2$  oder  $\text{pH} + \text{pOH} = 14$

2.1 Füllen Sie die Tabelle aus.

Zentrale Erkenntnisse:

$c(\text{H}_3\text{O}^+)$ in mol/L	pH	$c(\text{OH}^-)$ in mol/L	pOH
2	( )*		( )*
1			
	0,5		
0,1			
		$1 \cdot 10^{-12}$	
0,001			
0,0001			
		$1 \cdot 10^{-9}$	
	6		
		$1 \cdot 10^{-7}$	
			6
	9		5
$1 \cdot 10^{-10}$			
			3
	12		
$1 \cdot 10^{-13}$			
			0
	( )*		(-0,5)*

.....  
 .....  
 .....  
 .....  
 .....  
 .....  
 .....  
 .....  
 .....  
 .....  
 .....  
 .....  
 .....  
 .....  
 .....  
 .....  
 .....  
 .....  
 .....  
 .....  
 .....  
 .....

\*: Der pH- und pOH-Wert können zwar rechnerisch außerhalb des Bereichs 0-14 liegen, man gibt ihn dann aber nicht mehr an, weil die mathematischen Zusammenhänge von oben nicht mehr zutreffen.