Anhang A

K_S- und K_B-Werte: Säure-Base-Reihe

Anhang B: Lösungen der Kontrollaufgaben

Kapitel 3: Lösungen zu den ersten Kontrollaufgaben

1) $z = 1.00 \cdot 10^{-10}$

→ Die gesuchten **Konzentrationen** betragen $[H_3O^+] = z + c_o = 1.00 \cdot 10^{-10} + 0.0001 = 0.0001$ mol/ℓ und $[OH^-] = z = 1.00 \cdot 10^{-10}$ mol/ℓ.
→ Der **pH-Wert** der wässrigen Lösung beträgt somit pH = -log $[H_3O^+]$ = **4.00** .
→ Der **pOH-Wert** beträgt pOH = -log $[OH^-]$ = **10.00** .

2) 0.01 mol / 250 mℓ = 0.04 mol/ℓ = c_o

$z = 2.50 \cdot 10^{-13}$

→ Die gesuchten **Konzentrationen** betragen $[H_3O^+] = z + c_o = 2.50 \cdot 10^{-13} + 0.04 = 0.04$ mol/ℓ und $[OH^-] = z = 2.50 \cdot 10^{-13}$ mol/ℓ.
→ Der **pH-Wert** der wässrigen Lösung beträgt somit pH = -log $[H_3O^+]$ = **1.40** .
→ Der **pOH-Wert** beträgt pOH = -log $[OH^-]$ = **12.60** .

3) *Schema 3.3* *Wässrige Lösungen starker Basen*

Konzentrationen in mol/ℓ	H_2O	+	H_2O	⇄	OH^-	+	H_3O^+
(1) Reines Wasser: Autoprotolyse-Gleichgewicht $K_W = [OH^-] \cdot [H_3O^+] = 10^{-14}$		konstant			z		z
(2) Störung: Zusätzliche OH^-					+ c_o		
(3) Wässrige Lösung: Autoprotolyse-Gleichgewicht im neuen Gleichgewichtszustand $K_W = [OH^-] \cdot [H_3O^+] = 10^{-14}$		konstant			z + c_o		z

Die quadratische Gleichung lautet: $K_W = [OH^-] \cdot [H_3O^+] = (z + c_o) \cdot z = 1.00 \cdot 10^{-14}$

Anwendung der «SOLVE» Funktion:
$c_o = 0.001$ mol/ℓ, somit: solve ((z + 0.001) · z = 1.00 · 10^(-14), z);

$z = 1.00 \cdot 10^{-11}$

→ Die gesuchten **Konzentrationen** betragen $[H_3O^+] = z = 1.00 \cdot 10^{-11}$
und $[OH^-] = z + c_o = 1.00 \cdot 10^{-11} + 0.001 = 0.001$ mol/ℓ.
→ Der **pH-Wert** der wässrigen Lösung beträgt somit pH = -log $[H_3O^+]$ = **11.00** .
→ Der **pOH-Wert** beträgt pOH = -log $[OH^-]$ = **3.00** .

Kapitel 3: Lösungen zu den weiteren Kontrollaufgaben

4) $[H_3O^+] = c_o = 0.0005$ mol/ℓ → *Vernachlässigung des Beitrages aus der Autoprotolyse:*

→ **pH-Wert** = -log c_o = -log 0.0005 = 3.301 = **3.30** .
→ **pOH-Wert** = 14 - pH = 10.699 = **10.70** . $[OH^-] = 10^{-10.699} = 2.00 \cdot 10^{-11}$ mol/ℓ.

5) $[OH^-]$ = 0.02 mol / 300 mℓ = 0.0667 mol/ℓ = c_o

→ *Vernachlässigung des Beitrages aus der Autoprotolyse:*

→ **pOH-Wert** = -log c_o = -log 0.0667 = 1.176 = **1.18** .
→ **pH-Wert** = 14 - pOH = 12.824 = **12.82** . $[H_3O^+] = 10^{-12.824} = 1.50 \cdot 10^{-13}$ mol/ℓ.

6) 40 μg = $40 \cdot 10^{-6}$ g = $1.00 \cdot 10^{-6}$ mol NaOH → $c_o = 1.00 \cdot 10^{-6}$ mol/ℓ

Gesucht sind: $[H_3O^+] = z$ und $[OH^-] = z + c_o$

$z = 0.990 \cdot 10^{-8}$

→ Die gesuchten **Konzentrationen** betragen $[H_3O^+] = z = 9.90 \cdot 10^{-9}$ mol/ℓ
und $[OH^-] = z + c_o = 1.01 \cdot 10^{-6}$ mol/ℓ.
→ Der **pH-Wert** der wässrigen Lösung beträgt somit pH = -log $[H_3O^+]$ = 8.004 = **8.00** .
→ Der **pOH-Wert** beträgt pOH = -log $[OH^-]$ = 5.996 = **6.00** .

Vernachlässigung des Beitrages aus der Autoprotolyse: $[OH^-] = c_o = 1.00 \cdot 10^{-6}$ mol/ℓ.
→ **pOH-Wert** = -log c_o = -log $1.00 \cdot 10^{-6}$ = **6.00** .
→ **pH-Wert** = 14 - pOH = **8.00** . $[H_3O^+] = 1.00 \cdot 10^{-8}$ mol/ℓ.

Kapitel 4: Lösungen zu den ersten Kontrollaufgaben

1) $c_o = 0.001$ mol/ℓ, somit:

solve ({z · (z + x) = 1.00 · 10^(-14) , x · (x + z) / (0.001 - x) = 1.74 · 10^(-5)} , {z, x});

Der Taschencomputer schlägt insgesamt *drei* Lösungspaare {z, x} vor, wobei nur *ein* Lösungspaar {z, x} "chemisch sinnvoll" ist, da $[H_3O^+] = z + x$ und $[OH^-] = z$ beide > 0 sein müssen:

→ $z = 0.8097448346 \cdot 10^{-10}$, $x = 0.0001234956126$

Die gesuchten **Konzentrationen** betragen:

→ $[H_3O^+] = z + x = 0.000123$ mol/ℓ
→ $[OH^-] = z = 8.10 \cdot 10^{-11}$ mol/ℓ

→ Der **pH-Wert** der wässrigen Lösung beträgt somit pH = -log $[H_3O^+]$ = **3.91** .
→ Der **pOH-Wert** beträgt pOH = -log $[OH^-]$ = **10.09** .
→ Der **Dissoziationsgrad** der Essigsäure in der hier vorliegenden 0.001 M Lösung beträgt 12.3 %. Vergleich: In der *höher konzentrierten* 0.01 M Essigsäure-Lösung beträgt er lediglich 4.1 %.

2) 0.05 mol / 800 mℓ = 0.0625 mol/ℓ = c_o

solve ({z · (z + x) = 1.00 · 10^(-14) , x · (x + z) / (0.0625 - x) = 1.78 · 10^(-4)} , {z, x});

→ $z = 0.3079193898 \cdot 10^{-11}$, $x = 0.003247603211$

Die gesuchten **Konzentrationen** betragen:

→ $[H_3O^+] = z + x = 0.00325$ mol/ℓ
→ $[OH^-] = z = 3.08 \cdot 10^{-12}$ mol/ℓ

→ Der **pH-Wert** der wässrigen Lösung beträgt somit pH = -log $[H_3O^+]$ = **2.49** .
→ Der **pOH-Wert** beträgt pOH = -log $[OH^-]$ = **11.51** .

3) *Schema 4.3 A* *Autoprotolyse-Gleichgewicht ...*
... mit Dissoziations-Gleichgewicht einer schwachen Base B gekoppelt

Konzentrationen in mol/ℓ	H_2O	+	H_2O	⇄	OH^-	+	H_3O^+
(1) Reines Wasser: Autoprotolyse-Gleichgewicht			konstant		z		z
(2) Störung: Zusätzliche OH^-					+ x		
(3) Autoprotolyse-Gleichgewicht im neuen Gleichgewichtszustand			konstant		z + x		z

Schema 4.3 B *Dissoziations-Gleichgewicht einer schwachen Base B ...*
... mit Autoprotolyse gekoppelt

Konzentrationen in mol/ℓ ...	B	+	H_2O	⇄	HB^+	+	OH^-
(1) Dissoziations-Gleichgewicht	c_0 - x		konstant		x		x
(2) Störung: Zusätzliche OH^- bzw. Kopplung mit Autoprotolyse							+ z
(3) Dissoziations-Gleichgewicht im neuen Gleichgewichtszustand	c_0 - x		konstant		x		x + z

solve ({(z + x) · z = 1.00 · 10^(-14) , x · (x + z) / (0.01 - x) = 1.62 · 10^(-5)} , {z, x});

Der Taschencomputer schlägt insgesamt *drei* Lösungspaare {z, x} vor, wobei nur *ein* Lösungspaar {z, x} "chemisch sinnvoll" ist, da $[H_3O^+] = z$ und $[OH^-] = z + x$ beide > 0 sein müssen:

→ $z = 0.2535022956 \cdot 10^{-10}$, $x = 0.0003944737200$

→ $[H_3O^+] = z = 2.54 \cdot 10^{-11}$ mol/ℓ und $[OH^-] = z + x = 0.000394$ mol/ℓ

→ Der **pH-Wert** der wässrigen Lösung beträgt somit pH = -log $[H_3O^+]$ = **10.60** .
→ Der **pOH-Wert** beträgt pOH = -log $[OH^-]$ = **3.40** .

Kapitel 4: Lösungen zu den weiteren Kontrollaufgaben

4) 0.002 mol / 500 mℓ = 0.004 mol/ℓ = c_o

vereinfachtes Vorgehenskonzept, somit: solve (x^(2) / (0.004 - x) = 1.41 · 10^(-3), x);

Zur quadratischen Gleichung existieren zwei Lösungen, wobei nur eine Lösung "chemisch sinnvoll" ist, da $[H_3O^+] = x > 0$ sein muss.

→ x = 0.001772301960

→ Die gesuchte **Konzentration** beträgt $[H_3O^+] = x = 0.00177$ mol/ℓ .
→ Der **pH-Wert** der wässrigen Lösung beträgt somit pH = -log $[H_3O^+]$ = **2.75** .

→ Der **pOH-Wert** der sauren Lösung kann nun mit Hilfe der Beziehung pH + pOH = 14 berechnet werden. Er beträgt pOH = 14 - 2.75 = **11.25** .
Aus dem pOH-Wert lässt sich die OH^--Konzentration ermitteln: $[OH^-] = 10^{-pOH}$.

5) c_o = 0.01 mol/ℓ

vereinfachtes Vorgehenskonzept, somit: solve (x^(2) / (0.01 - x) = 2.04 · 10^(-5), x);

Zur quadratischen Gleichung existieren zwei Lösungen, wobei nur eine Lösung "chemisch sinnvoll" ist, da $[OH^-] = x > 0$ sein muss.

→ x = 0.0004415787512

→ Die gesuchte **Konzentration** beträgt $[OH^-] = x = 0.000442$ mol/ℓ .
→ Der **pOH-Wert** der wässrigen Lösung beträgt somit pOH = -log $[OH^-]$ = **3.35** .

→ Der **pH-Wert** der alkalischen Lösung kann nun mit Hilfe der Beziehung pH + pOH = 14 berechnet werden. Er beträgt pH = 14 - 3.35 = **10.65** .
Aus dem pH-Wert lässt sich die H_3O^+-Konzentration ermitteln: $[H_3O^+] = 10^{-pH}$.

6) c_o = 0.05 mol/ℓ, *vereinfachtes* Vorgehenskonzept *nicht* sinnvoll, somit:

solve ({z · (z + x) = 1.00 · 10^(-14) , x · (x + z) / (0.05 - x) = 6.17 · 10^(-10)} , {z, x});

Der Taschencomputer schlägt insgesamt *drei* Lösungspaare {z, x} vor, wobei nur *ein* Lösungspaar {z, x} "chemisch sinnvoll" ist, da $[H_3O^+] = z + x$ und $[OH^-] = z$ beide > 0 sein müssen:

→ $z = 0.1800222350 \cdot 10^{-8}$, $x = 0.5553069151 \cdot 10^{-5}$

Die gesuchten **Konzentrationen** betragen:

→ $[H_3O^+] = z + x = 5.55 \cdot 10^{-6}$ mol/ℓ
→ $[OH^-] = z = 1.80 \cdot 10^{-9}$ mol/ℓ

→ Der **pH-Wert** der wässrigen Lösung beträgt somit pH = -log $[H_3O^+]$ = **5.26** .
→ Der **pOH-Wert** beträgt pOH = -log $[OH^-]$ = **8.74** .

7) 0.02 mol / 500 mℓ = 0.04 mol/ℓ = c_o, *vereinfachtes* Vorgehenskonzept *nicht* sinnvoll, somit:

solve ({(z + x) · z = 1.00 · 10^(-14) , x · (x + z) / (0.04 - x) = 5.75 · 10^(-10)} , {z, x});

Der Taschencomputer schlägt insgesamt *drei* Lösungspaare {z, x} vor, wobei nur *ein* Lösungspaar {z, x} "chemisch sinnvoll" ist, da $[H_3O^+] = z$ und $[OH^-] = z + x$ beide > 0 sein müssen:

→ $z = 0.2084815891 \cdot 10^{-8}$, $x = 0.4794501800 \cdot 10^{-5}$

→ $[H_3O^+] = z = 2.08 \cdot 10^{-9}$ mol/ℓ
→ $[OH^-] = z + x = 4.80 \cdot 10^{-6}$ mol/ℓ

→ Der **pH-Wert** der wässrigen Lösung beträgt somit pH = -log $[H_3O^+]$ = **8.68** .
→ Der **pOH-Wert** beträgt pOH = -log $[OH^-]$ = **5.32** .

Kapitel 5: Lösungen zu den Kontrollaufgaben

1) $c_o = 0.01$ mol/ℓ, somit:

solve ({
(x - y) · (x + y) / (0.01 - x) = 5.9 · 10^(-2) ,
y · (x + y) / (x - y) = 6.4 · 10^(-5)
} , {x, y});

Resultat:

→ x = 0.008713269673 , y = 0.00006308000019

Der Taschencomputer schlägt insgesamt *drei* Lösungspaare {x, y} vor, wobei nur *ein* Lösungspaar {x, y} "chemisch sinnvoll" ist, da $[H_3O^+] = x + y > 0$ sein muss, bzw. $x > 0$ und $y > 0$ sein müssen.

Die gesuchte **Konzentration** beträgt:

→ $[H_3O^+] = x + y = 0.00878$ mol/ℓ

→ Der **pH-Wert** der wässrigen Lösung beträgt somit pH = -log $[H_3O^+]$ = **2.06** .

2) 0.025 M Natriumcarbonat-Lösung:

a) Vernachlässigung des Beitrages aus der Autoprotolyse

b) $c_o = 0.025$ mol/ℓ, somit:

solve ({
(x - y) · (x + y) / (0.025 - x) = 2.51 · 10^(-4) ,
y · (x + y) / (x - y) = 2.88 · 10^(-8)
} , {x, y});

→ x = 0.002382636809 , y = 0.2879930379 · 10^{-7}

Der Taschencomputer schlägt insgesamt *drei* Lösungspaare {x, y} vor, wobei nur *ein* Lösungspaar {x, y} "chemisch sinnvoll" ist, da $[OH^-] = x + y > 0$ sein muss, bzw. $x > 0$ und $y > 0$ sein müssen.

Die gesuchte **Konzentration** beträgt:

→ $[OH^-] = x + y = 0.00238$ mol/ℓ

→ Der **pOH-Wert** der wässrigen Lösung beträgt somit pOH = -log $[OH^-]$ = **2.62** .

c) Berechnen Sie die folgenden **Gleichgewichtskonzentrationen**: $[CO_3^{2-}]$ und $[HCO_3^-]$.

$[CO_3^{2-}] = c_o - x = 0.0226$ mol/ℓ

$[HCO_3^-] = x - y = 0.00238$ mol/ℓ

CO_3^{2-}	+	H_2O	$\rightleftarrows$	HCO_3^-	+	OH^-		K_{B_1}
$c_o - x$				$x - y$		$x + y$		
HCO_3^-	+	H_2O	$\rightleftarrows$	H_2CO_3	+	OH^-		K_{B_2}
$x - y$				y		$x + y$		

Kapitel 6: Lösungen zu den Kontrollaufgaben

1) *Anwendung der «SOLVE» Funktion für c_o = 0.005 mol/ℓ:*

solve ({
(y + z) · (x + z) = 1.00 · 10^(-14) ,
x · (x + z) / (0.005 - x - y) = 6.31 · 10^(-8) ,
y · (y + z) / (0.005 - x - y) = 9.12 · 10^(-13)
} , {x, y, z});

Resultat:

→ x = 0.00002135364046 , y = $0.6662109398 \cdot 10^{-5}$, z = - $0.6661428766 \cdot 10^{-5}$

Der Taschencomputer schlägt insgesamt *vier* Lösungstriplette {x, y, z} vor, wobei nur *ein* Lösungstriplett {x, y, z} "chemisch sinnvoll" ist, da $[H_3O^+]$ = x + z und $[OH^-]$ = y + z beide > 0 sein müssen, bzw. alle andern Teilchen-Konzentrationen ebenfalls > 0 sein müssen.

Die gesuchten **Konzentrationen** betragen:

→ $[H_3O^+]$ = x + z = 0.0000147 mol/ℓ
→ $[OH^-]$ = y + z = $6.81 \cdot 10^{-10}$ mol/ℓ

→ Der **pH-Wert** der wässrigen Lösung beträgt somit pH = -log $[H_3O^+]$ = **4.83** .
→ Der **pOH-Wert** beträgt pOH = -log $[OH^-]$ = **9.17** .

2) *Anwendung der «SOLVE» Funktion für c_o = 0.01 mol/ℓ:*

solve ({
(y + z) · (x + z) = 1.00 · 10^(-14) ,
x · (x + z) / (0.01 - x - y) = 2.51 · 10^(-10) ,
y · (y + z) / (0.01 - x - y) = 2.19 · 10^(-12)
} , {x, y, z});

Resultat:

→ x = $0.2822888466 \cdot 10^{-5}$, y = $0.1945404202 \cdot 10^{-5}$, z = - $0.1934152269 \cdot 10^{-5}$

Der Taschencomputer schlägt insgesamt *vier* Lösungstriplette {x, y, z} vor, wobei nur *ein* Lösungstriplett {x, y, z} "chemisch sinnvoll" ist, da $[H_3O^+] = x + z$ und $[OH^-] = y + z$ beide > 0 sein müssen, bzw. alle andern Teilchen-Konzentrationen ebenfalls > 0 sein müssen.

Die gesuchten **Konzentrationen** betragen:

→ $[H_3O^+] = x + z = 8.89 \cdot 10^{-7}$ mol/ℓ
→ $[OH^-] = y + z = 1.13 \cdot 10^{-8}$ mol/ℓ

→ Der **pH-Wert** der wässrigen Lösung beträgt somit $pH = -\log [H_3O^+] =$ **6.05** .
→ Der **pOH-Wert** beträgt $pOH = -\log [OH^-] =$ **7.95** .

Anhang C: Kapiteltests mit Lösungen

Kapitel 3: Kapiteltests

Test 1

$3.50 \cdot 10^{-4}$ mol einer **starken einprotonigen Säure** werden in demineralisiertem Wasser gelöst. Die entstandene Lösung wird mit demineralisiertem Wasser auf ein Volumen von exakt 350 ml verdünnt.
Berechnen Sie den **pH-Wert** und den **pOH-Wert** der Lösung. Welche **H_3O^+-Konzentration** und welche **OH^--Konzentration** weist die entstandene Lösung auf?

Test 2

0.0042 mol der **starken Base** Natriumhydroxid (NaOH) werden in demineralisiertem Wasser gelöst. Die entstandene Lösung wird mit demineralisiertem Wasser auf ein Volumen von exakt 125 ml verdünnt.
Berechnen Sie den **pH-Wert** und den **pOH-Wert** der Lösung. Welche **H_3O^+-Konzentration** und welche **OH^--Konzentration** weist die entstandene Lösung auf?

Test 3

$2.50 \cdot 10^{-3}$ mol einer **starken einprotonigen Säure** werden in demineralisiertem Wasser gelöst. Die entstandene Lösung wird mit demineralisiertem Wasser auf ein Volumen von exakt 400 ml verdünnt.
Berechnen Sie den **pH-Wert** und den **pOH-Wert** der Lösung. Welche **H_3O^+-Konzentration** und welche **OH^--Konzentration** weist die entstandene Lösung auf?

Test 4

0.00150 mol der **starken Base** Natriumhydroxid (NaOH) werden in demineralisiertem Wasser gelöst. Die entstandene Lösung wird mit demineralisiertem Wasser auf ein Volumen von exakt 750 ml verdünnt.
Berechnen Sie den **pH-Wert** und den **pOH-Wert** der Lösung. Welche **H_3O^+-Konzentration** und welche **OH^--Konzentration** weist die entstandene Lösung auf?

Kapitel 3: Lösungen zu den Kapiteltests

Lösung zu Test 1

$[H_3O^+] = c_o = 0.000350$ mol/ℓ → *Vernachlässigung des Beitrages aus der Autoprotolyse:*

→ **pH-Wert** = -log c_o = -log 0.000350 = 3.456 = **3.46** .

→ **pOH-Wert** = 14 - pH = 10.544 = **10.54** . $[OH^-] = 10^{-10.544} = 2.86 \cdot 10^{-11}$ mol/ℓ.

Lösung zu Test 2

$[OH^-]$ = 0.0042 mol / 125 mℓ = 0.0336 mol/ℓ = c_o

→ *Vernachlässigung des Beitrages aus der Autoprotolyse:*

→ **pOH-Wert** = -log c_o = -log 0.0336 = 1.474 = **1.47** .

→ **pH-Wert** = 14 - pOH = 12.526 = **12.53** . $[H_3O^+] = 10^{-12.526} = 2.98 \cdot 10^{-13}$ mol/ℓ.

Lösung zu Test 3

$[H_3O^+] = 2.50 \cdot 10^{-3}$ mol / 400 mℓ = $6.25 \cdot 10^{-3}$ mol/ℓ = c_o

→ *Vernachlässigung des Beitrages aus der Autoprotolyse:*

pH-Wert = -log c_o = -log $(6.25 \cdot 10^{-3})$ = 2.204 = **2.20** .

→ **pOH-Wert** = 14 - pH = 11.796 = **11.80** . $[OH^-] = 10^{-11.796} = 1.60 \cdot 10^{-12}$ mol/ℓ.

Lösung zu Test 4

$[OH^-]$ = 0.00150 mol / 750 mℓ = 0.00200 mol/ℓ = c_o

→ *Vernachlässigung des Beitrages aus der Autoprotolyse:*

pOH-Wert = -log c_o = -log 0.00200 = 2.699 = **2.70** .

→ **pH-Wert** = 14 - pOH = 11.301 = **11.30** . $[H_3O^+] = 10^{-11.301} = 5.00 \cdot 10^{-12}$ mol/ℓ.

Kapitel 4: Kapiteltests

Test 1

Berechnen Sie den **pH-Wert** einer 0.00350 M Lösung der einprotonigen, schwachen Säure **Salpetrige Säure** (HNO_2). Entnehmen Sie die relevante Säurekonstante der K_S/K_B-Tabelle im Anhang dieses Leitprogramms.

Welche **H_3O^+-Konzentration** und welche **OH^--Konzentration** weist die Lösung auf?
Berechnen Sie zudem den **Dissoziationsgrad** der Salpetrigen Säure in dieser 0.00350 M Lösung.

Test 2

Eine sehr geringe Menge **Phenol** (C_6H_5OH) von 100 μg (C_6H_5OH, molare Masse = 94.11 g/mol) ist in einen Liter frisch demineralisiertes Wasser gelangt. Berechnen Sie den **pH-Wert** der entstandenen Lösung. Entnehmen Sie die relevante Säurekonstante der K_S/K_B-Tabelle im Anhang dieses Leitprogramms.

Welche **H_3O^+-Konzentration** und welche **OH^--Konzentration** weist die Lösung auf?
Berechnen Sie zudem den **Dissoziationsgrad** von Phenol in der hier vorliegenden Lösung.

Test 3

0.0060 mol des gut wasserlöslichen Salzes **Natriumformiat** (HCOONa) werden in demineralisiertem Wasser gelöst. Die entstandene Lösung wird mit demineralisiertem Wasser auf ein Volumen von exakt 500 ml verdünnt.
Berechnen Sie den **pH-Wert** und den **pOH-Wert** der Lösung. Welche **H_3O^+-Konzentration** und welche **OH^--Konzentration** weist die entstandene Lösung auf? Entnehmen Sie die relevante Basenkonstante der K_S/K_B-Tabelle im Anhang dieses Leitprogramms.

Test 4

0.010 mol **Ammoniak** (NH_3) werden in demineralisiertem Wasser gelöst. Die entstandene Lösung wird mit demineralisiertem Wasser auf ein Volumen von exakt 800 ml verdünnt.
Berechnen Sie den **pH-Wert** und den **pOH-Wert** der Lösung. Welche **H_3O^+-Konzentration** und welche **OH^--Konzentration** weist die entstandene Lösung auf? Entnehmen Sie die relevante Basenkonstante der K_S/K_B-Tabelle im Anhang dieses Leitprogramms.

Kapitel 4: Lösungen zu den Kapiteltests

Lösung zu Test 1

0.00350 mol/ℓ = c_o

vereinfachtes Vorgehenskonzept, somit: solve (x^(2) / (0.00350 - x) = 4.27 · 10^(-4), x);

Zur quadratischen Gleichung existieren zwei Lösungen, wobei nur eine Lösung "chemisch sinnvoll" ist, da $[H_3O^+] = x > 0$ sein muss.

→ x = 0.001027500504

→ Die gesuchte **Konzentration** beträgt $[H_3O^+] = x = 0.00103$ mol/ℓ .
→ Der **pH-Wert** der wässrigen Lösung beträgt somit pH = -log $[H_3O^+]$ = **2.99** .
→ Der **pOH-Wert** der sauren Lösung kann nun mit Hilfe der Beziehung pH + pOH = 14 berechnet werden. Er beträgt pOH = 14 - 2.99 = **11.01** .
Aus dem pOH-Wert lässt sich die gesuchte OH^--**Konzentration** ermitteln: $[OH^-] = 10^{-pOH}$.
→ Der **Dissoziationsgrad** beträgt 29.4 % .

Lösung zu Test 2

100 μg = 100 · 10^{-6} g = 1.063 · 10^{-6} mol C_6H_5OH → c_o = 1.063 · 10^{-6} mol/ℓ
vereinfachtes Vorgehenskonzept *nicht* sinnvoll, somit:

solve ({z · (z + x) = 1.00 · 10^(-14) , x · (x + z) / (1.063 · 10^{-6} - x) = 1.29 · 10^(-10)} , {z, x});

Der Taschencomputer schlägt insgesamt *drei* Lösungspaare {z, x} vor, wobei nur *ein* Lösungspaar {z, x} "chemisch sinnvoll" ist, da $[H_3O^+] = z + x$ und $[OH^-] = z$ beide > 0 sein müssen:

→ z = 0.9932219643 · 10^{-7} , x = 0.1360232676 · 10^{-8}

Die gesuchten **Konzentrationen** betragen:

→ $[H_3O^+]$ = z + x = 1.007 · 10^{-7} mol/ℓ
→ $[OH^-]$ = z = 9.93 · 10^{-8} mol/ℓ

→ Der **pH-Wert** der wässrigen Lösung beträgt somit pH = -log $[H_3O^+]$ = 6.997 = **7.00** .
→ Der **pOH-Wert** beträgt pOH = -log $[OH^-]$ = 7.003 = **7.00** .
→ Der **Dissoziationsgrad** beträgt 0.13 % .

Lösung zu Test 3

0.0060 mol / 500 mℓ = 0.0120 mol/ℓ = c_o, *vereinfachtes* Vorgehenskonzept *nicht* sinnvoll, somit:

solve ({(z + x) · z = 1.00 · 10^(-14) , x · (x + z) / (0.0120 - x) = 5.62 · 10^(-11)} , {z, x});

Der Taschencomputer schlägt insgesamt *drei* Lösungspaare {z, x} vor, wobei nur *ein* Lösungspaar {z, x} "chemisch sinnvoll" ist, da $[H_3O^+] = z$ und $[OH^-] = z + x$ beide > 0 sein müssen:

→ $z = 0.1208814151 \cdot 10^{-7}$, $x = 0.8151688848 \cdot 10^{-6}$

→ $[H_3O^+] = z = 1.21 \cdot 10^{-8}$ mol/ℓ
→ $[OH^-] = z + x = 8.27 \cdot 10^{-7}$ mol/ℓ

→ Der **pH-Wert** der wässrigen Lösung beträgt somit pH = -log $[H_3O^+]$ = **7.92** .
→ Der **pOH-Wert** beträgt pOH = -log $[OH^-]$ = **6.08** .

Lösung zu Test 4

0.010 mol / 800 mℓ = 0.0125 mol/ℓ = c_o

vereinfachtes Vorgehenskonzept, somit: solve (x^(2) / (0.0125 - x) = 1.62 · 10^(-5), x);

Zur quadratischen Gleichung existieren zwei Lösungen, wobei nur eine Lösung "chemisch sinnvoll" ist, da $[OH^-] = x > 0$ sein muss.

→ x = 0.0004419728941

→ Die gesuchte **Konzentration** beträgt $[OH^-] = x = 0.000442$ mol/ℓ .
→ Der **pOH-Wert** der wässrigen Lösung beträgt somit pOH = -log $[OH^-]$ = **3.35** .

→ Der **pH-Wert** der alkalischen Lösung kann nun mit Hilfe der Beziehung pH + pOH = 14 berechnet werden. Er beträgt pH = 14 - 3.35 = **10.65** .
Aus dem pH-Wert lässt sich die H_3O^+-Konzentration ermitteln: $[H_3O^+] = 10^{-pH}$.

Kapitel 5: Kapiteltests

Test 1

Berechnen Sie die **H_3O^+-Konzentration** den **pH-Wert** einer 0.0080 M Lösung der zweiprotonigen Säure **Schweflige Säure** (H_2SO_3). Entnehmen Sie die relevanten Säurekonstanten der K_S/K_B-Tabelle im Anhang dieses Leitprogramms.
Berechnen Sie zudem die folgende **Gleichgewichtskonzentration**: $[SO_3^{2-}]$.

Test 2

$2.0 \cdot 10^{-5}$ mol des gut wasserlöslichen Salzes Natriumsulfit (Na_2SO_3) werden in demineralisiertem Wasser gelöst. Die entstandene Lösung wird mit demineralisiertem Wasser auf ein Volumen von exakt 1.0 ℓ verdünnt.

a) Ist die Anwendung des *vereinfachten* Vorgehenskonzepts im hier vorliegenden Fall sinnvoll?

b) Welche **H_3O^+-Konzentration** und welche **OH^--Konzentration** weist die entstandene Lösung auf? Berechnen Sie den **pH-Wert** und den **pOH-Wert** der Lösung. Entnehmen Sie die relevanten Basenkonstanten der K_S/K_B-Tabelle im Anhang dieses Leitprogramms.

c) Berechnen Sie zudem die folgenden **Gleichgewichtskonzentrationen**: $[SO_3^{2-}]$ und $[HSO_3^-]$.

Kapitel 5: Lösungen zu den Kapiteltests

Lösung zu Test 1

→ *Vernachlässigung der Autoprotolyse:*

$c_o = 0.0080$ mol/ℓ, somit:

solve ({
(x - y) · (x + y) / (0.0080 - x) = 1.10 · 10^(-2) ,
y · (x + y) / (x - y) = 6.31 · 10^(-8)
} , {x, y});

Resultat:

→ $x = 0.005374281586$, $y = 0.6309851832 \cdot 10^{-7}$

Der Taschencomputer schlägt insgesamt *drei* Lösungspaare {x, y} vor, wobei nur *ein* Lösungspaar {x, y} "chemisch sinnvoll" ist, da $[H_3O^+] = x + y > 0$ sein muss, bzw. $x > 0$ und $y > 0$ sein müssen.

Die gesuchte **Konzentration** beträgt:

→ $[H_3O^+] = x + y = 0.00537$ mol/ℓ

→ Der **pH-Wert** der wässrigen Lösung beträgt somit pH = -log $[H_3O^+]$ = **2.27** .

→ $[SO_3^{2-}] = y = 6.31 \cdot 10^{-8}$ mol/ℓ

Lösung zu Test 2

$2.0 \cdot 10^{-5}$ M Natriumsulfit-Lösung:

a) Der Beitrag an Hydroxid-Ionen aus der Autoprotolyse muss im hier vorliegenden Fall berücksichtigt werden. Die Anwendung des vereinfachten Vorgehenskonzepts ist hier *nicht* sinnvoll.

b) $c_o = 2.0 \cdot 10^{-5}$ mol/ℓ, somit:

solve ({
(x + y + z) · z = 1.0 · 10^(-14) ,
(x - y) · (x + y + z) / (2.0 · 10^-5 - x) = 1.58 · 10^(-7) ,
y · (x + y + z) / (x - y) = 9.12 · 10^(-13)
} , {x, y, z});

Resultat:

→ $x = 0.1697590969 \cdot 10^{-5}$, $y = 0.9088561324 \cdot 10^{-12}$, $z = 0.5870397100 \cdot 10^{-8}$

Der Taschencomputer schlägt insgesamt *vier* Lösungstriplette {x, y, z} vor, wobei nur *ein* Lösungstriplett {x, y, z} "chemisch sinnvoll" ist, da $[H_3O^+] = z$ und $[OH^-] = x + y + z$ beide > 0 sein müssen, bzw. $x > 0$, $y > 0$ und $z > 0$ sein müssen.

Die gesuchten **Konzentrationen** betragen:

→ $[H_3O^+] = z = 5.87 \cdot 10^{-9}$ mol/ℓ
→ $[OH^-] = x + y + z = 1.70 \cdot 10^{-6}$ mol/ℓ

→ Der **pH-Wert** der wässrigen Lösung beträgt somit pH = -log $[H_3O^+]$ = **8.23** .
→ Der **pOH-Wert** beträgt pOH = -log $[OH^-]$ = **5.77** .

c) Berechnen Sie die folgenden **Gleichgewichtskonzentrationen**: $[SO_3^{2-}]$ und $[HSO_3^-]$.

$[SO_3^{2-}] = c_o - x$

$[HSO_3^-] = x - y$

Kapitel 6: Kapiteltests

Test 1

Berechnen Sie die **H_3O^+-Konzentration** und den **pH-Wert** einer 0.0010 M **Natriumdihydrogen-phosphat**-Lösung (NaH_2PO_4). Welche **OH^--Konzentration** und welchen **pOH-Wert** weist die Lösung auf? Kontrollieren Sie Ihr Resultat mit Hilfe der Beziehung pH + pOH = 14 .

Entnehmen Sie die relevante Säure- und Basenkonstante der K_S/K_B-Tabelle im Anhang dieses Leitprogramms.

Bemerkung: Die Weiterreaktion von HPO_4^{2-} nach PO_4^{3-} soll im Rahmen dieser Aufgabe *nicht* berücksichtigt werden. Selbstverständlich könnte aber auch dieses Gleichgewicht ohne grossen Aufwand in die Rechnung mit einbezogen werden.

Test 2

Berechnen Sie die **H_3O^+-Konzentration** und den **pH-Wert** einer 0.0010 M **Natriumhydrogen-phosphat**-Lösung (Na_2HPO_4). Welche **OH^--Konzentration** und welchen **pOH-Wert** weist die Lösung auf? Kontrollieren Sie Ihr Resultat mit Hilfe der Beziehung pH + pOH = 14 .

Entnehmen Sie die relevante Säure- und Basenkonstante der K_S/K_B-Tabelle im Anhang dieses Leitprogramms.

Bemerkung: Die Weiterreaktion von $H_2PO_4^-$ nach H_3PO_4 soll im Rahmen dieser Aufgabe *nicht* berücksichtigt werden. Selbstverständlich könnte aber auch dieses Gleichgewicht ohne grossen Aufwand in die Rechnung mit einbezogen werden.

Kapitel 6: Lösungen zu den Kapiteltests

Lösung zu Test 1

Anwendung der «SOLVE» Funktion für c_o = 0.0010 mol/ℓ:

solve ({

(y + z) · (x + z) = 1.00 · 10^(-14) ,
x · (x + z) / (0.0010 - x - y) = 6.17 · 10^(-8) ,
y · (y + z) / (0.0010 - x - y) = 9.12 · 10^(-13)

} , {x, y, z});

→ $x = 0.8165261659 \cdot 10^{-5}$, $y = 0.6770105535 \cdot 10^{-6}$, $z = -0.6756753663 \cdot 10^{-6}$

Der Taschencomputer schlägt insgesamt *vier* Lösungstriplette {x, y, z} vor, wobei nur *ein* Lösungstriplett {x, y, z} "chemisch sinnvoll" ist, da $[H_3O^+] = x + z$ und $[OH^-] = y + z$ beide > 0 sein müssen, bzw. alle andern Teilchen-Konzentrationen ebenfalls > 0 sein müssen.

Die gesuchten **Konzentrationen** betragen:

→ $[H_3O^+] = x + z = 7.49 \cdot 10^{-6}$ mol/ℓ
→ $[OH^-] = y + z = 1.34 \cdot 10^{-9}$ mol/ℓ

→ Der **pH-Wert** der wässrigen Lösung beträgt somit pH = -log $[H_3O^+]$ = **5.13** .
→ Der **pOH-Wert** beträgt pOH = -log $[OH^-]$ = **8.87** .

Lösung zu Test 2

Anwendung der «SOLVE» Funktion für c_o = 0.0010 mol/ℓ:

solve ({

(y + z) · (x + z) = 1.00 · 10^(-14) ,
x · (x + z) / (0.0010 - x - y) = 4.79 · 10^(-13) ,
y · (y + z) / (0.0010 - x - y) = 1.62 · 10^(-7)

} , {x, y, z});

→ $x = 0.5837316800 \cdot 10^{-6}$, $y = 0.00001293640819$, $z = -0.5829221919 \cdot 10^{-6}$

Der Taschencomputer schlägt insgesamt *vier* Lösungstriplette {x, y, z} vor, wobei nur *ein* Lösungstriplett {x, y, z} "chemisch sinnvoll" ist, da $[H_3O^+] = x + z$ und $[OH^-] = y + z$ beide > 0 sein müssen, bzw. alle andern Teilchen-Konzentrationen ebenfalls > 0 sein müssen.

Die gesuchten **Konzentrationen** betragen:

→ $[H_3O^+] = x + z = 8.09 \cdot 10^{-10}$ mol/ℓ
→ $[OH^-] = y + z = 0.0000124$ mol/ℓ

→ Der **pH-Wert** der wässrigen Lösung beträgt somit pH = -log $[H_3O^+]$ = **9.09** .
→ Der **pOH-Wert** beträgt pOH = -log $[OH^-]$ = **4.91** .