

ARBEITSBLATT · CHEMIE (LEISTUNGSKURS) · Q2

Der Blut-pH: ein Puffer im Dauereinsatz

Der Fall

Ein Marathonläufer kommt ins Ziel. Bei intensiver Belastung fallen im Stoffwechsel laufend Säureäquivalente und CO_2 an. Trotzdem bleibt der pH-Wert seines Blutes nahe bei **7,4** (Normalbereich etwa 7,35 bis 7,45). Dafür sorgt vor allem der **Hydrogencarbonat-Puffer**: Kohlensäure H_2CO_3 als schwache Säure und Hydrogencarbonat HCO_3^- als ihre korrespondierende Base.

Kohlensäure steht mit gelöstem CO_2 im Gleichgewicht ($\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{CO}_3 \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{HCO}_3^-$). Im Blut liegen Hydrogencarbonat und Kohlensäure etwa im Verhältnis **20 : 1** vor. Vereinfachtes Modell für diese Aufgaben: $c(\text{H}_2\text{CO}_3)$ steht für Kohlensäure samt gelöstem CO_2 ; dafür gilt der in der Physiologie übliche (apparente) **pK_s von 6,1** (gegeben).

1 Wie der Puffer arbeitet

Verstehen · 4 Punkte

a) Formuliere die Reaktionsgleichung, mit der der Puffer zugeführte H^+ -Ionen (z. B. aus Stoffwechselsäuren) abfängt. b) Formuliere die Gleichung für zugeführte OH^- -Ionen. c) Warum ist ein Überschuss der Base (20 : 1) für den Körper sinnvoll?

2 Henderson-Hasselbalch

Rechnen · 4 Punkte

$\text{pH} = \text{pK}_s + \lg(c(\text{HCO}_3^-) / c(\text{H}_2\text{CO}_3))$. Berechne den pH-Wert für das Verhältnis 20 : 1 ($\lg 2 \approx 0,3$). Berechne anschließend, welcher pH-Wert sich einstellt, wenn durch Säurebelastung das Verhältnis auf 10 : 1 sinkt. Ohne Taschenrechner.

3 TMSnat-Training: Multiple Choice

eigene Übungsaufgabe · Richtwert 90 Sekunden · ohne Taschenrechner · 2 Punkte

Für den Hydrogencarbonat-Puffer gelte $\text{pK}_s = 6,1$. Bei welchem Verhältnis $c(\text{HCO}_3^-) : c(\text{H}_2\text{CO}_3)$ beträgt der pH-Wert 7,1?

(A) 40 : 1

(B) 10 : 1

(C) 2 : 1

(D) 1 : 1

(E) 1 : 10

4 Atmung und Niere

Transfer · 5 Punkte

Bei einer Panikattacke atmet eine Patientin sehr schnell und tief (Hyperventilation) und atmet dabei viel CO_2 ab.

a) In welche Richtung verschiebt sich das Gleichgewicht $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{CO}_3 \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{HCO}_3^-$, und wie ändert sich der pH-Wert? b) Die Lunge kann den Säure-Base-Haushalt innerhalb von Minuten beeinflussen, die Niere braucht Stunden bis Tage. Was leistet jedes der beiden Organe?

LÖSUNGEN · DER BLUT-PH

Lösungen und Lösungswege

1 Wie der Puffer arbeitet

a) $\text{H}^+ + \text{HCO}_3^- \rightarrow \text{H}_2\text{CO}_3$ (die Base fängt die Säure ab). b) $\text{H}_2\text{CO}_3 + \text{OH}^- \rightarrow \text{HCO}_3^- + \text{H}_2\text{O}$ (die Säure neutralisiert die Base).

c) Die meisten Stoffwechselendprodukte sind Säuren (Milchsäure, Ketonkörper, CO_2 als „Säureanhydrid“). Ein Überschuss an Hydrogencarbonat gibt dem Puffer Reserve genau in der Richtung, in der sie gebraucht wird.

Typischer Fehler: „Der Puffer wirkt nur gegen Säuren.“ Er fängt beide Richtungen ab, nur mit unterschiedlicher Reserve.

2 Henderson-Hasselbalch

$\lg 20 = \lg 2 + \lg 10 \approx 0,3 + 1 = 1,3$. $\text{pH} = 6,1 + 1,3 = 7,4$. Bei 10 : 1: $\text{pH} = 6,1 + \lg 10 = 6,1 + 1 = 7,1$. Das Verhältnis hat sich halbiert, der pH sinkt nur um 0,3, weil er logarithmisch vom Verhältnis abhängt. 7,1 wäre dennoch ein stark erniedrigter Blut-pH (Azidämie).

Typische Fehler: den Bruch umdrehen (Säure durch Base) und $\text{pH} = 6,1 - 1,3$ erhalten; mit $\ln$ statt $\lg$ rechnen; pK_s und K_s verwechseln.

3 TMSnat-Training: Multiple Choice

Richtig ist (B) 10 : 1. $\text{pH} - \text{pK}_s = 7,1 - 6,1 = 1 = \lg(\text{Verhältnis})$, also Verhältnis $10^1 = 10 : 1$.

- (A) 40 : 1 entsteht, wenn man das Verhältnis verdoppelt statt halbiert (Richtung der pH-Änderung vertauscht); $\lg 40 \approx 1,6$ ergäbe $\text{pH} \approx 7,7$.
- (C) 2 : 1 ergäbe $\lg 2 \approx 0,3$, $\text{pH} \approx 6,4$.
- (D) 1 : 1 ergäbe $\lg 1 = 0$, $\text{pH} = \text{pK}_s = 6,1$ (der Punkt, an dem Säure und Base gleich konzentriert sind).
- (E) 1 : 10 ergäbe $\lg 0,1 = -1$, $\text{pH} = 5,1$; der Bruch wäre umgedreht.

Die Rechnung ist in einer Minute zu schaffen, wenn man weiß, dass $\lg 10 = 1$. Der Test gibt den pK_s vor; auswendig lernen muss man ihn nicht.

4 Atmung und Niere

a) Wird CO_2 abgeatmet, verschiebt sich das Gleichgewicht nach **links**: H^+ und HCO_3^- reagieren zu Kohlensäure, die zu CO_2 zerfällt. Die H^+ -Konzentration sinkt, der **pH-Wert steigt** (respiratorische Alkalose). Umgekehrt führt zu flaches Atmen zur respiratorischen Azidose.

b) Die **Lunge** regelt über die Atemtiefe und -frequenz die CO_2 -Abgabe, also die Säureseite, innerhalb von Minuten. Die **Niere** scheidet H^+ aus und gewinnt Hydrogencarbonat zurück, also die Basenseite, über Stunden bis Tage. Die chemischen Puffer selbst wirken innerhalb von Sekunden.

Typische Fehler: Hyperventilation mit Azidose verbinden; „mehr CO_2 erhöht den pH“; Lunge und Niere in ihren Rollen vertauschen.

Quellen und Lehrplanbezug

- OpenStax, Chemistry 2e, Kap. 14.6 „Buffers“: Pufferwirkung, Henderson-Hasselbalch-Gleichung (CC BY 4.0): <https://openstax.org/books/chemistry-2e/pages/14-6-buffers>
- OpenStax, Anatomy and Physiology 2e, Kap. 26.4 und 26.5: Verhältnis 20 : 1, Lunge und Niere, Azidose und Alkalose (CC BY 4.0): <https://openstax.org/books/anatomy-and-physiology-2e/pages/26-4-acid-base-balance>
- Der pK_s -Wert 6,1 ist der apparente Wert des Gesamtsystems CO_2 /Hydrogencarbonat im Blut, wie ihn die Physiologie verwendet; die Aufgaben geben ihn vor.
- KMK-Bildungsstandards Chemie für die Allgemeine Hochschulreife (2020, eA): Puffersysteme: https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen_beschluesse/2020/2020_06_18-BildungsstandardsAHR_Chemie.pdf; Kerncurriculum Niedersachsen Chemie eA.
- Weitere Übungsfragen zum Thema: tmsnat-trainer.de/tmsnat/chemie