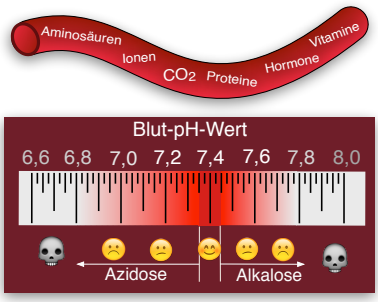
Möglicher Ablauf

1

Problemstellung entdecken, Vorstellungen entwickeln



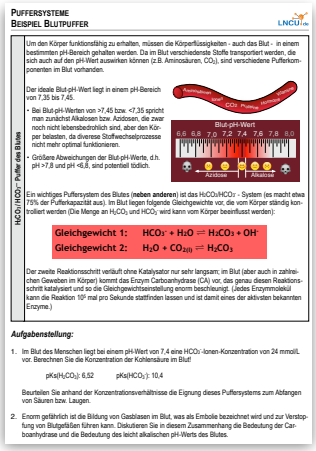
Mit einer Abbildung kann eine Diskussion über die Notwendigkeit der Pufferung des Blutes angestoßen werden. Verlässt der pH-Wert des Blutes ein bestimmtes „pH-Fenster“, ist dies potentiell tödlich. Unter den vielen Substanzen, die mit dem Blut transportiert werden, sind auch viele, die den pH-Wert beeinflussen.

Damit bietet sich für den Chemieunterricht die Möglichkeit, die Bedeutung von Puffersystemen in biologischen Systemen in den Mittelpunkt zu rücken und über den „Tellerrand der Chemie“ hinauszublicken.

In der hier gewählten Variante beschränkt sich die Diskussion auf das H_2CO_3/HCO_3^--Puffersystem des Blutes (die anderen Puffersysteme könnten aber auch behandelt werde, wobei für die Thematisierung der Funktionsweise des Proteinpuffersystems Vorwissen aus der Biochemie notwendig ist).

2

Vorstellungen vertiefen


PUFFERSYSTEME
BEISPIEL BLUTPUFFER

Um den Körper funktionsfähig zu erhalten, müssen die Körperflüssigkeiten - auch das Blut - in einem bestimmten pH-Bereich gehalten werden. Da im Blut verschiedenste Stoffe transportiert werden, die sich auch auf den pH-Wert auswirken können (z.B. Aminosäuren, CO_2) sind verschiedene Pufferkomponenten im Blut vorhanden.

Der ideale Blut-pH-Wert liegt in einem pH-Bereich von 7,35 bis 7,45.

- Bei Blut-pH-Werten von >7,45 bzw. <7,35 spricht man zunächst Alkalosen bzw. Azidosen, die zwar noch nicht lebensbedrohlich sind, aber den Körper belasten, da diverse Stoffwechselprozesse nicht mehr optimal funktionieren.
- Größere Abweichungen der Blut-pH-Werte, d.h. pH >7,8 und pH <6,8, sind potentiell tödlich.

H_2CO_3/HCO_3^- - Puffer des Blutes

Blut-pH-Wert
6,6 6,8 7,0 7,2 7,4 7,6 7,8 8,0
Azidose
Alkalose

Ein wichtiges Puffersystem des Blutes (**neben anderen**) ist das H_2CO_3/HCO_3^- - System (es macht etwa 75% der Pufferkapazität aus). Im Blut liegen folgende Gleichgewichte vor, die vom Körper ständig kontrolliert werden (Die Menge an H_2CO_3 und HCO_3^- wird kann vom Körper beeinflusst werden):

Gleichgewicht 1: $HCO_3^- + H_2O \rightleftharpoons H_2CO_3 + OH^-$

Gleichgewicht 2: $H_2O + CO_{2(l)} \rightleftharpoons H_2CO_3$

Der zweite Reaktionsschritt verläuft ohne Katalysator nur sehr langsam; im Blut (aber auch in zahlreichen Geweben im Körper) kommt das Enzym Carboanhydrase (CA) vor, das genau diesen Reaktionsschritt katalysiert und so die Gleichgewichtseinstellung enorm beschleunigt. (Jedes Enzymmolekül kann die Reaktion 10^6 mal pro Sekunde stattfinden lassen und ist damit eines der aktivsten bekannten Enzyme.)

Aufgabenstellung:

1. Im Blut des Menschen liegt bei einem pH-Wert von 7,4 eine HCO_3^--Ionen-Konzentration von 24 mmol/L vor. Berechnen Sie die Konzentration der Kohlensäure im Blut

   $pK_S(H_2CO_3)$: 6,52 $pK_B(HCO_3^-)$: 10,4

   Beurteilen Sie anhand der Konzentrationsverhältnisse die Eignung dieses Puffersystems zum Abfangen von Säuren bzw. Laugen.

2. Enorm gefährlich ist die Bildung von Gasblasen im Blut, was als Embolie bezeichnet wird und zur Verstopfung von Blutgefäßen führen kann. Diskutieren Sie in diesem Zusammenhang die Bedeutung der Carboanhydrase und die Bedeutung des leicht alkalischen pH-Werts des Blutes.

Die Zusammensetzung des H_2CO_3/HCO_3^--Puffers im Blut ist für einen Puffer sehr ungewöhnlich, da das Konz.-Verhältnis von Puffersäure zu Pufferbase dem üblichen Bereich 1:3 bis 3:1 überhaupt nicht entspricht. Die Lernenden ermitteln beim Bearbeiten der Aufgaben das Verhältnis mit Hilfe der notwendigen Ausgangsdaten und beurteilen auf dieser Basis die Leistungsfähigkeit des Puffers. Diese Unterrichtsphase dient somit nicht nur der Entdeckung neuer Zusammenhänge, sondern auch der Festigung und Anwendung schon bekannter Unterrichtsinhalte.

Mit der Thematisierung der Bedeutung des leicht alkalischen pH-Wertes kann außerdem eine Verknüpfung mit Unterrichtsinhalten hergestellt werden, die schon länger zurückliegen. In diesem Falle kann die pH-Abhängigkeit das CO_2/H_2CO_3-Gleichgewichts aufgegriffen werden, das die pH-Abhängigkeit der Löslichkeit von CO_2 bedingt.

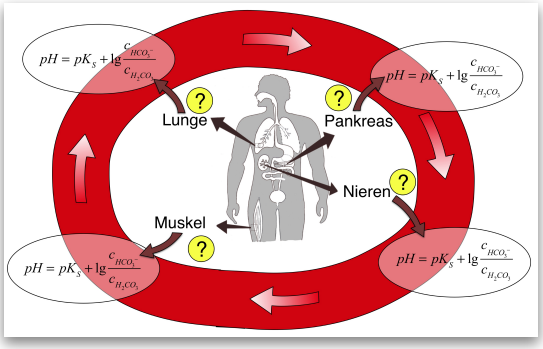
Insgesamt kann als „chemische Analyse“ der medizinisch/biologischen Sachverhalte geschlossen werden, dass das Abfangen von Säuren im Blut offensichtlich eine größere Bedeutung hat als das Abfangen von Basen. Damit kann die Diskussion angestoßen werden, was dies für Säuren sein könnten und woher sie stammen.

- Die Bedeutung des Blutes für den Transport von CO_2 zur Lunge sollte den Lernenden aus dem Biologie-Unterricht bekannt sein. Die vermehrte Bildung von CO_2 (und damit auch von H_2CO_3) bei besonders intensiver sportlicher Betätigung wäre somit ein für das Blutpuffersystem zu lösendes Problem.
- Im gleichen Zusammenhang kann die Übersäuerung von Muskeln bei extremer körperlicher Belastung durch die Bildung von Milchsäure thematisiert werden.
- Einige Lernenden haben in der Regel schon einmal etwas vom gestörten Säure-Base-Haushalt des Körpers gehört und davon, dass bestimmte Lebensmitteln den Körper übersäuern. Dabei ergibt sich die Frage, ob Säuren in Lebensmitteln den pH-Wert des Blutes beeinflussen können - gelangen diese Säuren übehaupt ins Blut?

3

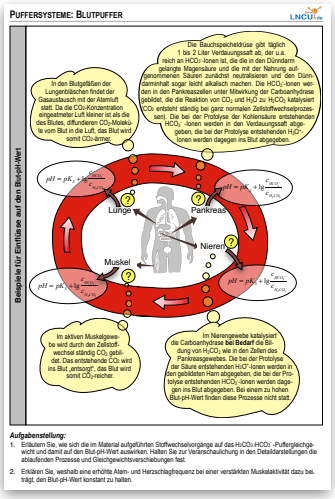
Lernmaterial bearbeiten und Ergebnisse präsentieren

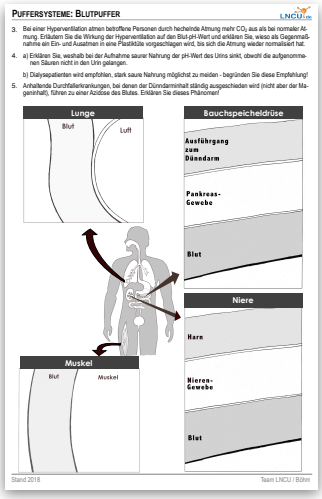
Wenn die prinzipielle Zusammensetzung des Blutpuffers verstanden wurde, können die Auswirkungen verschiedener stoffwechselphysiologischer Prozesse auf das Puffergleichgewicht beispielhaft analysiert werden. Das Arbeitsmaterial leitet dabei durch die Unterrichtsphase.



Inhaltlich geht es darum,

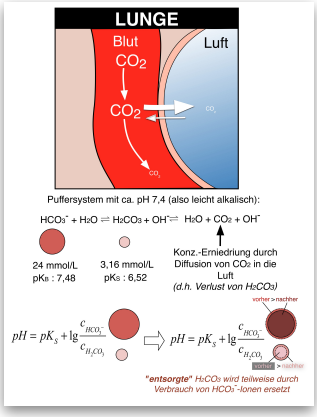
- die Auswirkungen der Erhöhung der CO_2-Konz., der Erniedrigung der CO_2-Konz., der Erhöhung der HCO_3^- -Ionen-Konz., der Erhöhung der H_3O^+-Ionen-Konz. auf das Puffergleichgewicht in Schemadarstellungen und Reaktionsgleichungen zu erfassen.
- verschiedene medizinische Befunde (Auswirkungen von Hyperventilation auf den Blut-pH-Wert, Auswirkungen saurer Nahrung auf den Blut-pH-Wert, Konsequenzen einer Niereninsuffizienz auf den Blut-pH-Wert, Auswirkungen von Durchfallerkrankungen auf den Blut-pH-Wert) zu erklären.

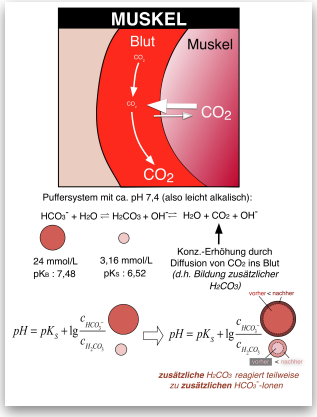


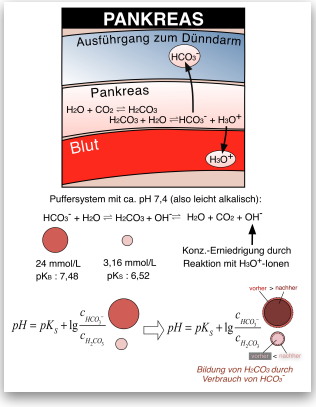


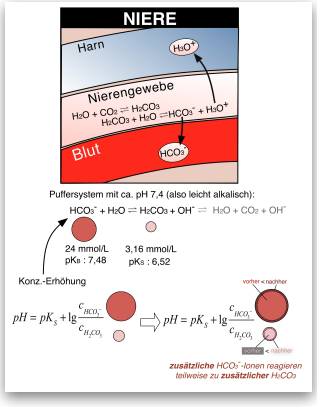
Obwohl die grundsätzliche Funktionsweise des Blutpuffers über die üblichen Gleichgewichtsverschiebungen erklärt werden kann, sind die die Verhältnisse beim genaueren Betrachten doch etwas komplexer:

- Durch das Einleiten von CO_2 (z.B. in Muskeln) oder HCO_3^--Ionen (in der Niere) ins Blut wird die Gesamtkonzentration der Pufferkomponenten erhöht, die Pufferkapazität verändert sich also.
- Durch den Entzug von CO_2 (in der Lunge) dagegen wird die Gesamtkonzentration der Pufferkomponenten erniedrigt. Insofern verändert sich dabei auch die Pufferkapazität.









4 *Modellversuche zur Wirkung des Blutpuffers*

Die Wirkung des Blutpuffers lässt sich mit Hilfe der Spritzentechnik recht einfach experimentell zeigen. Ein dem Kohlensäure/Hydrogencarbonat-Puffer des Blutes ähnliches System lässt sich mit Gerolsteiner Mineralwasser erreichen. Die HCO_3^--Ionen-Konzentration beträgt 1816 mg/L, was 29,77 mmol/L entspricht. Der pH-Wert beträgt etwa 6, d.h.die Konzentration der H_2CO_3 ist deutlich größer als im Blut (ca. 100 mmol/L). Durch Zugabe von etwas Natronlauge kann der pH-Wert auf 7 gehoben werden. Abgesehen von den etwas höheren Konzentrationen der Pufferkomponenten liegt dann ein passables Puffermodell vor.

Mit einer Spritze kann nun etwas Kohlendioxid zum einen in Wasser, zum anderen in die Kohlensäure/Hydrogencarbonat-Pufferlösung gebracht werden. Die Tropfenweise Zugabe von Salzsäure in die Pufferlösung und im Vergleich dazu in Wasser ist natürlich auch möglich.

