

# Histologie/Physiologie Regulation Blut-pH Übung 1

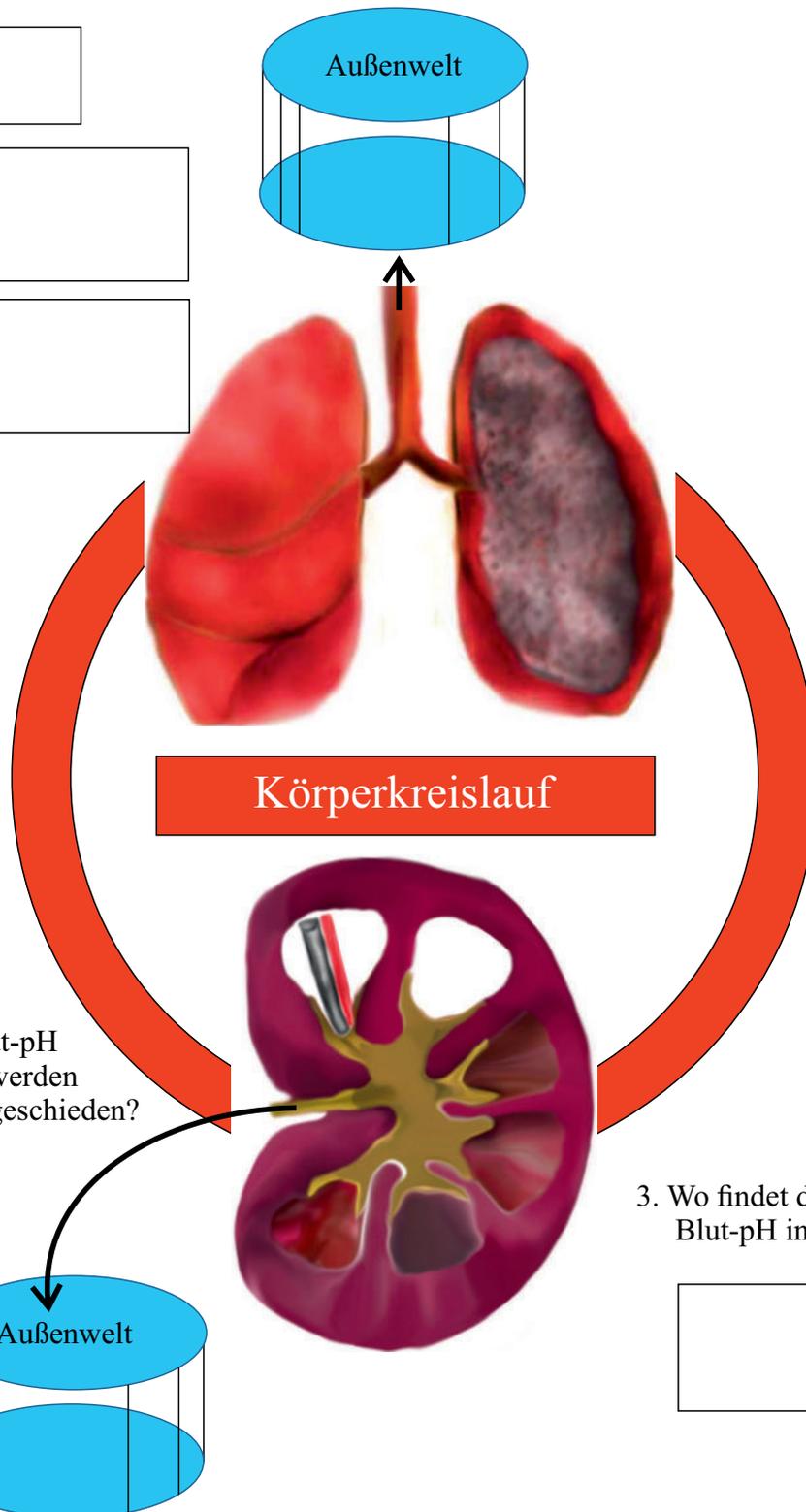
Der Körperkreislauf ist ein geschlossenes System. Die Regulation des Blut-pH erfolgt über die Organe Niere und Lunge, weil diese eine Verbindung zur Außenwelt haben und somit das geschlossene System für bestimmte Stoffe öffnen.

1. Welcher pH relevante Stoff wird von der Lunge an die Außenwelt gegeben?
  - 1.1 Was passiert bei einer Hypoventilation mit diesem Stoff?
  - 1.2 Was passiert bei einer Hperventilation mit diesem Stoff?

zu 1.

zu 1.1

zu 1.2



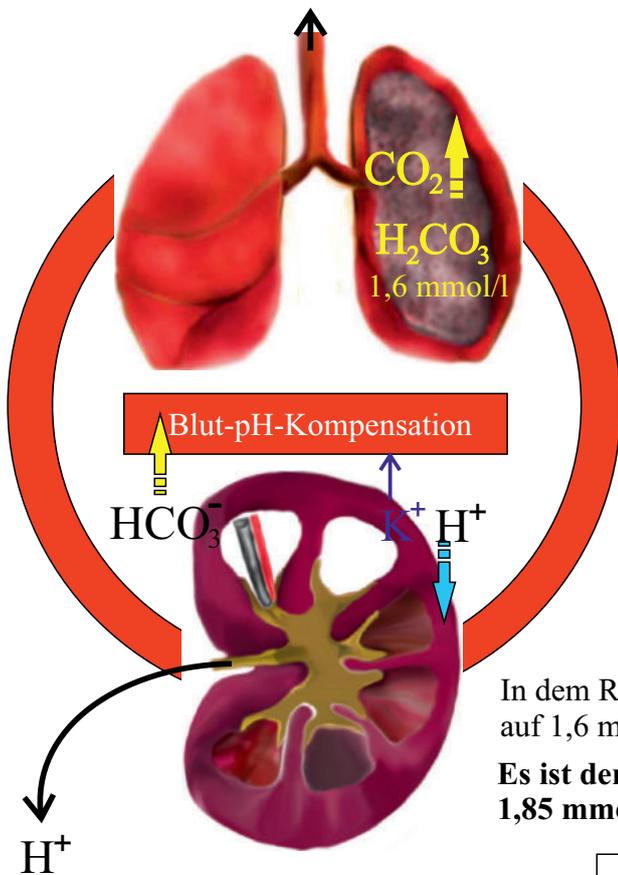
2. Welche für den Blut-pH relevanten Stoffe werden von der Niere ausgeschieden?

3. Wo findet die Regulation des Blut-pH in der Niere statt.

# Histologie/Physiologie Regulation Blut pH Übung 2

## Respiratorische Ursachen der Störung des Blut-pH und ihre Kompensationen

### Resperatorische Azidose



Puffergleichung für den Blut-pH

$$\text{pH} = 6,1 + \lg \frac{24 \text{ mmol/l HCO}_3^-}{1,2 \text{ mmol/l H}_2\text{CO}_3}$$

$$\text{pH} = 6,1 + \lg 20$$

$$\text{pH} = 6,1 + 1,3$$

**Berechnung des Blut-pH für den Anstieg der Kohlensäure auf 1,6 mmol/l!**

$$\text{pH} = 6,1 + \lg \frac{24 \text{ mmol/l HCO}_3^-}{1,6 \text{ mmol/l H}_2\text{CO}_3}$$

$$\text{pH} = 6,1 + \lg 15$$

$$\text{pH} = 6,1 + 1,17$$

$$\text{pH} = 7,27$$

In dem Rechenbeispiel wurde mit einem Anstieg der Kohlensäure auf  $1,6 \text{ mmol/l}$  gerechnet.

**Es ist der Blut-pH für das Ansteigen der auf Kohlensäure auf  $1,85 \text{ mmol/l}$  zu berechnen!**

pH=

### Kompensation der respiratorischen Azidose

Die Kompensation der respiratorischen Azidose erfolgt durch die Niere. Von den Harnkanälchen werden verstärkt Hydrogenkarbonationen in das Blut gegeben. Gleichzeitig steigt die Ausscheidung der Wasserstoffionen (Protonen) im Harn.

Das physiologische Verhältnis (Hydrogenkarbonat/Kohlensäure) hat den Quotient von  $20 = (24:1,2)$ . Bei  $24 \text{ mmol/l HCO}_3^-$  und  $1,2 \text{ mmol/l CO}_2$  ist der Blut-pH  $7,4$ . Wenn im Beispiel Nr. 1 das  $\text{CO}_2$  auf  $1,6 \text{ mmol/l}$  steigt, dann sind  $32 \text{ mmol/l}$  Hydrogenkarbonat nötig, um den Quotient von  $20$  zu erreichen.

$$7,4 = 6,1 + \lg (32:1,6) \quad \text{bzw.} \quad 7,4 = 6,1 + 1,3$$

**Es ist die Kompensation durch das Hydrogenkarbonat für den Anstieg der Kohlensäure auf  $1,85 \text{ mmol/l}$  zu berechnen!**



Bei der Konzentration von  $37 \text{ mmol/l HCO}_3^-$  und  $1,85 \text{ mmol/l CO}_2$  ist der Blut-pH kompensiert.

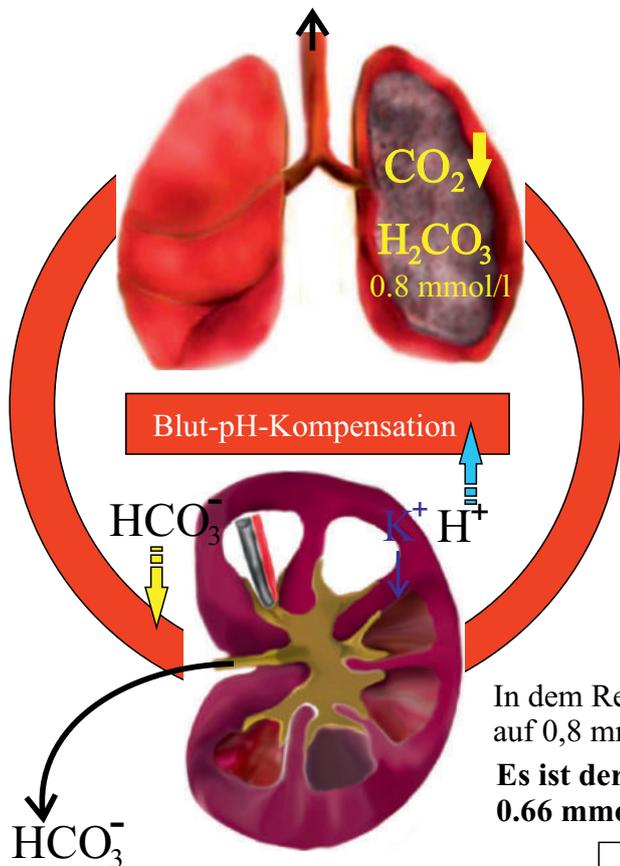
Anmerkungen: Die Modellrechnung dient dem Verstehen der physiologischen Vorgänge. Die Ergebnisse sind nicht repräsentativ, weil für  $\text{HCO}_3^-$  und  $\text{CO}_2$  Referenzintervalle bestehen ( $23\text{-}27 \text{ mmol/l}$  für  $\text{HCO}_3^-$  sowie  $4,6\text{-}6,0 \text{ kPa}$  für  $\text{CO}_2$ ). Zudem wird die Ausscheidung der Protonen nicht berücksichtigt. In der Praxis werden zur Interpretation des Säure-Basen-Status verschiedene Parameter analysiert. *Die Richtung für die berechnete Änderung ist jedoch zutreffend.*

Die Sekretion der Wasserstoffionen durch die Niere in den Harn ist vom Kaliumvorrat der Niere abhängig. Das Kaliumion gelangt im Tausch gegen ein Proton in das Blut, weil die elektrischen Ladungen im Gleichgewicht bleiben müssen.

# Histologie/Physiologie Regulation Blut pH Übung 3

Respiratorische Ursachen der Störung des Blut-pH und ihre Kompensationen

## Resperatorische Alkalose



Puffergleichung für den Blut-pH

$$\text{pH} = 6,1 + \lg \frac{24 \text{ mmol/l HCO}_3^-}{1,2 \text{ mmol/l H}_2\text{CO}_3}$$

$$\text{pH} = 6,1 + \lg 20$$

$$\text{pH} = 6,1 + 1,3$$

**Berechnung des Blut-pH für den Abfall der Kohlensäure auf 0,8 mmol/l!**

$$\text{pH} = 6,1 + \lg \frac{24 \text{ mmol/l HCO}_3^-}{0,8 \text{ mmol/l H}_2\text{CO}_3}$$

$$\text{pH} = 6,1 + \lg 30$$

$$\text{pH} = 6,1 + 1,48$$

$$\text{pH} = 7,58$$

In dem Rechenbeispiel wurde mit einem Abfallen der Kohlensäure auf 0,8 mmol/l gerechnet.

**Es ist der Blut-pH für das Absinken der auf Kohlensäure auf 0,66 mmol/l zu berechnen!**

pH=

## Kompensation der respiratorischen Alkalose

Die Kompensation der respiratorischen Alkalose erfolgt durch die Niere. Von den Harnkanälchen werden verstärkt Hydrogenkarbonationen in den Harn gegeben und gleichzeitig Wasserstoffionen in das Blut.

Das physiologische Verhältnis (Hydrogenkarbonat/Kohlensäure) hat den Quotient von 20 = (24:1,2). Bei 24 mmol/l  $\text{HCO}_3^-$  und 1,2 mmol/l  $\text{CO}_2$  ist der Blut-pH 7,4. Wenn im Beispiel Nr. 1 das  $\text{CO}_2$  auf 0,8 mmol/l sinkt, dann sind nur 16 mmol/l  $\text{HCO}_3^-$  nötig, um den Quotient von 20 zu erreichen.

$$7,4 = 6,1 + \lg (16:0,8) \quad \text{bzw.} \quad 7,4 = 6,1 + 1,3$$

**Es ist die Kompensation durch das Hydrogenkarbonat für das Abfallen der Kohlensäure auf 0,66 mmol/l zu berechnen!**



Bei einer Hydrogenkarbonatkonzentration von 13,2 mmol/l und 0,66 mmol/l Kohlensäure ist Blut-pH kompensiert.

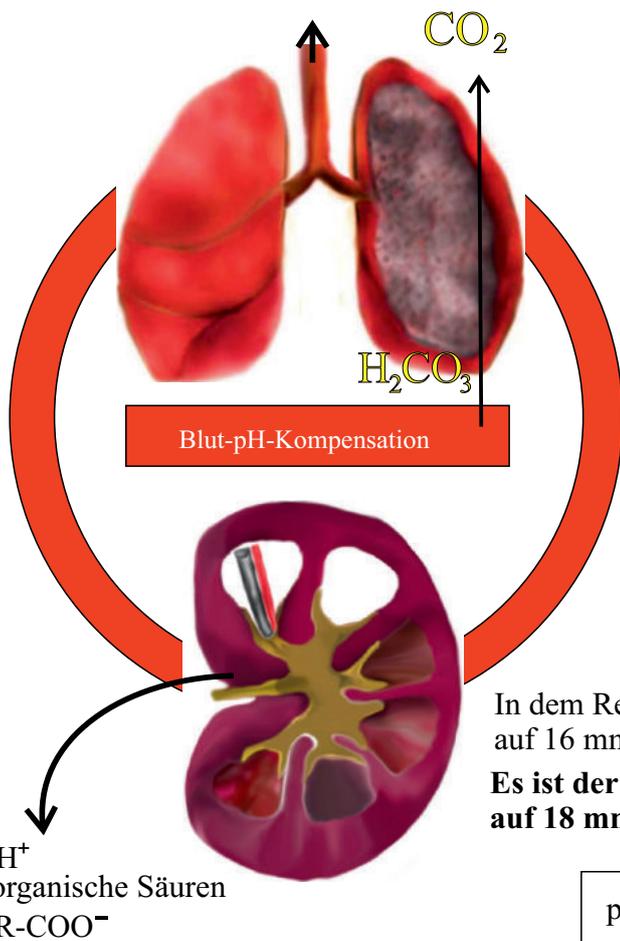
Anmerkungen: Die Modellrechnung dient dem Verstehen der physiologischen Vorgänge. Die Ergebnisse sind nicht repräsentativ, weil für  $\text{HCO}_3^-$  und  $\text{CO}_2$  Referenzintervalle bestehen (23-27 mmol/l für  $\text{HCO}_3^-$ ) sowie (4,6-6,0 kPa für  $\text{CO}_2$ ). Zudem wird die Ausscheidung der Protonen nicht berücksichtigt. In der Praxis werden zur Interpretation des Säure-Basen-Status verschiedene Parameter analysiert. *Die Richtung der berechneten Änderung ist jedoch zutreffend.*

Die Sekretion der Wasserstoffionen durch die Niere in das Blut ist vom Kaliumvorrat der Niere abhängig. Das Kaliumion gelangt im Tausch gegen das Proton in den Harn.

# Histologie/Physiologie Regulation Blut pH Übung 4

Metabolische Ursachen der Störung des Blut-pH und ihre Kompensationen

## Metabolische Azidose



Puffergleichung für den Blut-pH

$$\text{pH} = 6,1 + \lg \frac{24 \text{ mmol/l HCO}_3^-}{1,2 \text{ mmol/l H}_2\text{CO}_3}$$

$$\text{pH} = 6,1 + \lg 20$$

$$\text{pH} = 6,1 + 1,3$$

**Berechnung des Blut-pH für den Verlust an Hydrogenkarbonat auf 16mmol/l!**

$$\text{pH} = 6,1 + \lg \frac{16 \text{ mmol/l HCO}_3^-}{1,2 \text{ mmol/l H}_2\text{CO}_3}$$

$$\text{pH} = 6,1 + \lg 13,3$$

$$\text{pH} = 6,1 + 1,12$$

$$\text{pH} = 7,22$$

In dem Rechenbeispiel wurde mit einem Abfall des HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> auf 16 mmol/l gerechnet.

**Es ist der Blut-pH für das Abfallen des Hydrogenkarbonats auf 18 mmol/l zu berechnen!**

pH=

## Kompensation der metabolischen Azidose

Die Kompensation der metabolischen Azidose erfolgt durch die Lunge. Durch Hyperventilation wird verstärkt das Kohlenstoffdioxid abatmet und es entsteht weniger Kohlensäure.

Das physiologische Verhältnis (Hydrogenkarbonat/Kohlensäure) hat den Quotient von 20 = (24:1,2) 20 = 24 mmol/l Hydrogenkarbonat : 1,2 mmol/l Kohlensäure. Wenn im Beispiel Nr. 1 das HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> auf 16 mmol/l sinkt, dann sind nur 0,8 mmol/l Kohlensäure nötig, um den Quotient von 20 zu erreichen.

$$7,4 = 6,1 + \lg (16:0,8) \quad \text{bzw.} \quad 7,4 = 6,1 + 1,3$$

**Es ist die Kompensation durch die Kohlensäure für den Anfall des Hydrogenkarbonats der auf 18 mmol/l zu berechnen!**



Anmerkungen: Die Modellrechnung dient dem Verstehen der physiologischen Vorgänge. Die Ergebnisse sind nicht repräsentativ, weil für HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> und CO<sub>2</sub> Referenzintervalle bestehen (23-27 mmol/l für HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) sowie (4,6-6,0 kPa für CO<sub>2</sub>). Zudem wird die Ausscheidung der Protonen und organischen Säuren nicht berücksichtigt. In der Praxis werden zur Interpretation des Säure-Basen-Status verschiedene Parameter analysiert.

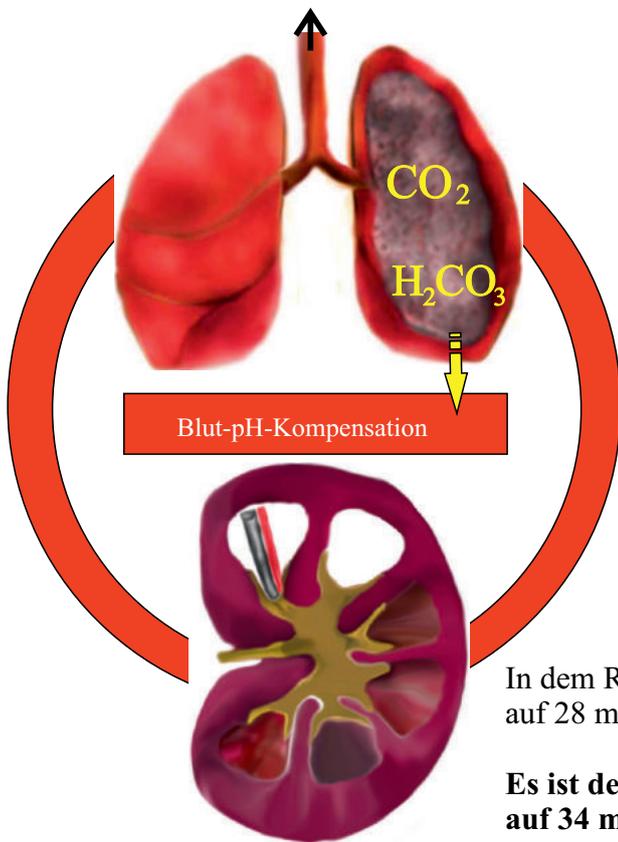
*Die Richtung der berechneten Änderung ist jedoch zutreffend.*

Das Hydrogenkarbonat kann durch enteralen Verlust abfallen und zur metabolischen Azidose führen. In der klinischen Praxis sind metabolische Azidosen durch den Anstieg von Keto-säuren die häufigere Ursache (Ketoazidosen).

# Histologie/Physiologie Regulation Blut pH Übung 5

Metabolische Ursachen der Störung des Blut-pH und ihre Kompensationen

## Metabolische Alkalose



Puffergleichung für den Blut-pH

$$\text{pH} = 6,1 + \lg \frac{24 \text{ mmol/l HCO}_3^-}{1,2 \text{ mmol/l H}_2\text{CO}_3}$$

$$\text{pH} = 6,1 + \lg 20$$

$$\text{pH} = 6,1 + 1,3$$

**Berechnung des Blut-pH für einen Anstieg des Hydrogenkarbonats auf 28mmol/l!**

$$\text{pH} = 6,1 + \lg \frac{28 \text{ mmol/l HCO}_3^-}{1,2 \text{ mmol/l H}_2\text{CO}_3}$$

$$\text{pH} = 6,1 + \lg 23,3$$

$$\text{pH} = 6,1 + 1,37$$

$$\text{pH} = 7,47$$

In dem Rechenbeispiel wurde mit einem Anstieg des HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> auf 28 mmol/l gerechnet.

**Es ist der Blut-pH für das Ansteigen des Hydrogenkarbonats auf 34 mmol/l zu berechnen!**

pH=

## Kompensation der metabolischen Alkalose

Die Kompensation der metabolischen Alkalose erfolgt durch die Lunge. Durch Hypoventilation steigt der Partialdruck des CO<sub>2</sub> in der Lunge und die Konzentration der Kohlensäure im Blut.

Das physiologische Verhältnis (Hydrogenkarbonat/Kohlensäure) hat den Quotient von 20 = (24:1,2)  
 20 = 24 mmol/l Hydrogenkarbonat : 1,2 mmol/l Kohlensäure. Wenn im Beispiel Nr. 1 das HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> auf 28 mmol/l steigt, dann sind 1,4 mmol/l Kohlensäure nötig, um den Quotient von 20 zu erreichen.

$$7,4 = 6,1 + \lg (28:1,4) \quad \text{bzw.} \quad 7,4 = 6,1 + 1,3$$

**Es ist die Kompensation durch die Kohlensäure für den Anstieg des Hydrogenkarbonats auf 34 mmol/l zu berechnen!**



Anmerkungen: Die Modellrechnung dient dem Verstehen der physiologischen Vorgänge. Die Ergebnisse sind nicht repräsentativ, weil für HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> und CO<sub>2</sub> Referenzintervalle bestehen (23-27 mmol/l für HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) sowie (4,6-6,0 kPa für CO<sub>2</sub>). In der Praxis werden zur Interpretation des Säure-Basen-Status verschieden Parameter analysiert.

*Die Richtung der berechneten Änderung ist jedoch zutreffend.*

Das Hydrogenkarbonat kann durch den Verlust an Chloridionen ansteigen. Gehen diese beispielsweise durch Erbrechen verloren, dann entsteht durch die Erneuerung der Magensäure eine Anionenlücke im Blut. Diese Lücke muss das Hydrogenkarbonat schließen. Bei der Anwendung von Diuretika kann der verursachte Verlust an Chloridionen gleichfalls zum Anstieg des Hydrogenkarbonats im Blut führen.

# Histologie/Physiologie Regulation Blut-pH Lösung 6

In welchen engen Grenzen der Blut-pH reguliert werden muss, wird deutlich, wenn der pH-Wert in die Wasserstoffionenkonzentration pro Liter umgerechnet wird. Für das Referenzintervall für den pH von 7,35 - 7,45 ergeben sich folgende Konzentrationen für ( $H^+$ ).

$$pH = -\lg \text{ mol } H^+/l$$

$$\begin{aligned} \text{Für } pH = 7,35 \text{ gilt: } \quad 7,35 &= -\lg 10^{-7,35} \quad \text{bzw. } 7,35 = -\lg^{-8+0,65} \\ -\lg \text{ mol } H^+/l &= -\lg 10^{-8} + -\lg 10^{0,65} \quad / \text{Ausklammern des } -\lg \\ \text{mol } H^+/l &= 10^{-8} \cdot 10^{0,65} \\ \text{pH } 7,35 &= 0,000\,000\,044\,67 \text{ mol } H^+/l \end{aligned}$$

**Es ist die Konzentration der Wasserstoffionen in mol/l für den pH von 7,45 zu bestimmen!**

$$\begin{aligned} \text{Für } pH = 7,45 \text{ gilt: } \quad 7,45 &= -\lg 10^{-7,45} \quad \text{bzw. } 7,45 = -\lg^{-8+0,55} \\ -\lg \text{ mol } H^+/l &= -\lg 10^{-8} + -\lg 10^{0,55} \quad / \text{Ausklammern des } -\lg \\ \text{mol } H^+/l &= 10^{-8} \cdot 10^{0,55} \\ \text{pH } 7,45 &= 0,000\,000\,035\,48 \text{ mol } H^+/l \end{aligned}$$

**Der Differenzbetrag für die berechneten Wasserstoffionenkonzentrationen (mol/l) ist zu bilden!**

$$\text{Betrag der Differenz sind: } 0,000\,000\,009\,15 \text{ mol } H^+/l = 9,15 \cdot 10^{-9} \text{ mol } H^+/l$$

Der Betrag der Differenz zwischen pH 7,35 und pH 7,45 in mol  $H^+/l$  verdeutlicht, wie empfindlich der Organismus gegenüber pH-Abweichungen ist.

Abweichung von dieser Konzentrationsdifferenz werden von den atmeregulierenden Neuronen sofort erkannt und die Regulationsmechanismen werden eingeleitet. Abweichung des Blut pH unterhalb von 6,9 und oberhalb von 7,7 sind nur für sehr kurze Zeit mit dem Leben vereinbar.

**Es sind die  $H^+$ -Konzentrationen für die pH-Werte 6,9 und 7,7 zu berechnen und in die unten stehende Tabelle einzutragen!**

$$\begin{aligned} pH \ 6,9 &= 0,000\,000\,1259 \text{ mol } H^+/l \\ pH \ 7,7 &= 0,000\,000\,0199 \text{ mol } H^+/l \end{aligned}$$

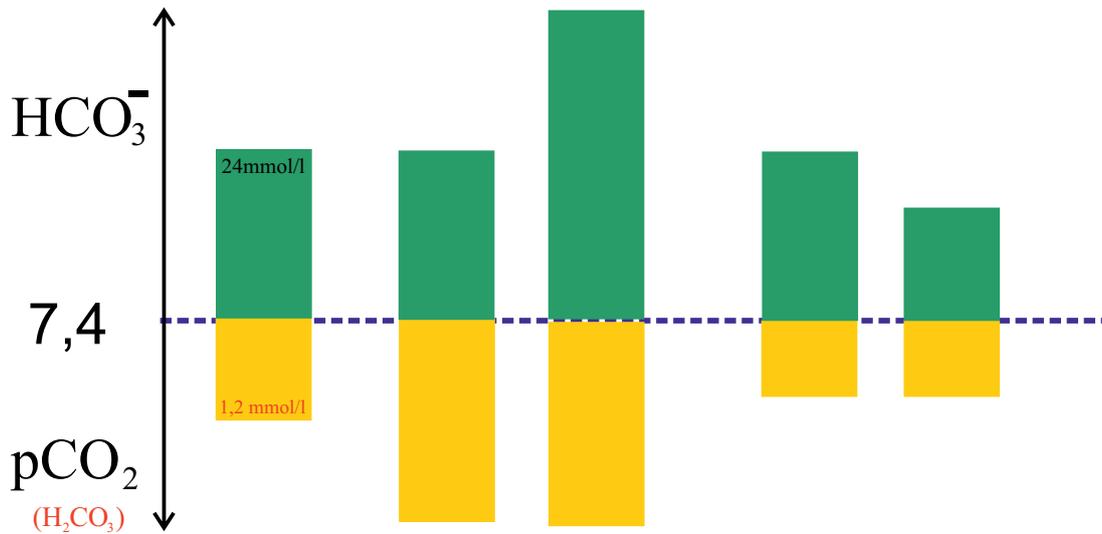
6,90	0,000 000 1259	
7,35	0,000 000 0447	physiologischer pH-Bereich mit einer Schwankungsbreite
7,45	0,000 000 0355	von nicht ganz 1: 100 000 000
7,70	0,000 000 0199	

Die physiologische Regulation findet im Bereich von 1:100 000 000 statt. Abweichungen in dem Bereich von 1:10 000 000 sind lebensbedrohend.

Die hohe Empfindlichkeit des Körpers gegenüber Abweichungen des Blut-pH machen den Säure-Basen-Staus und Oxigenstatus zu den wichtigsten Untersuchungen der Notfallmedizin.

# Histologie/Physiologie Regulation Blut pH Übung 7

## Visualisierung der respiratorischen Azidose und Alkalose und deren Kompensation



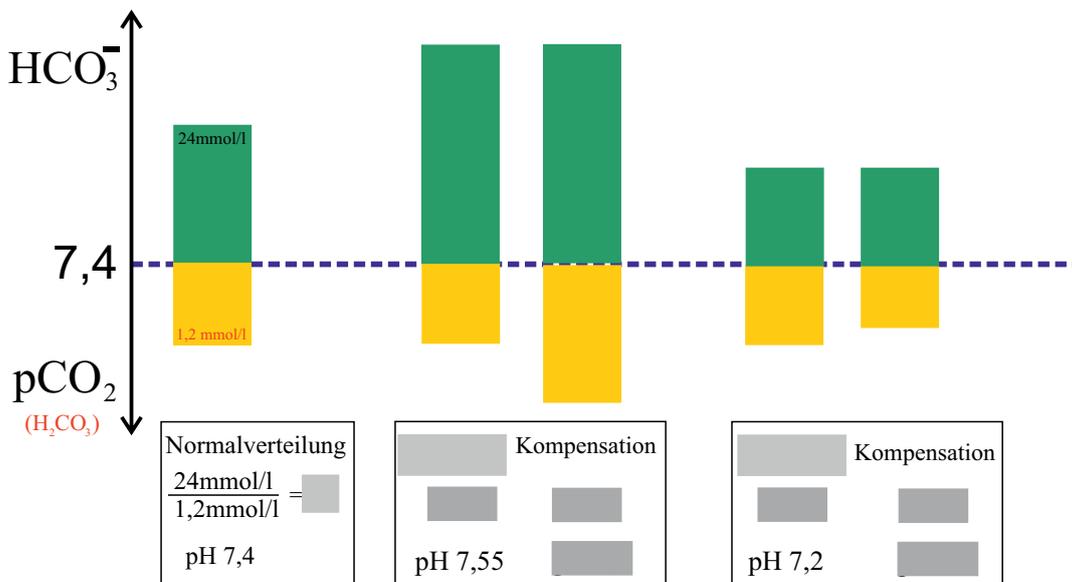
Normalverteilung $\frac{24\text{mmol/l}}{1,2\text{mmol/l}} = 20$ pH 7,4	Azidose <20 pH 7,2	Kompensation =20 pH 7,4	Alkalose >20 pH 7,55	Kompensation =20 pH 7,4
---	--------------------------	-------------------------------	----------------------------	-------------------------------

Die Kompensation erfolgt stets so, dass die primär nicht veränderte Größe angepasst wird.

respiratorische Azidose = $\frac{\text{Pufferbase}}{\text{Puffersäure}} \uparrow$	respiratorische Alkalose = $\frac{\text{Pufferbase}}{\text{Puffersäure}} \downarrow$
Kompensation = $\frac{\text{Pufferbase} \uparrow}{\text{Puffersäure} \uparrow}$	Kompensation = $\frac{\text{Pufferbase} \downarrow}{\text{Puffersäure} \downarrow}$

## Visualisierung der metabolischen Störungen und deren Kompensation

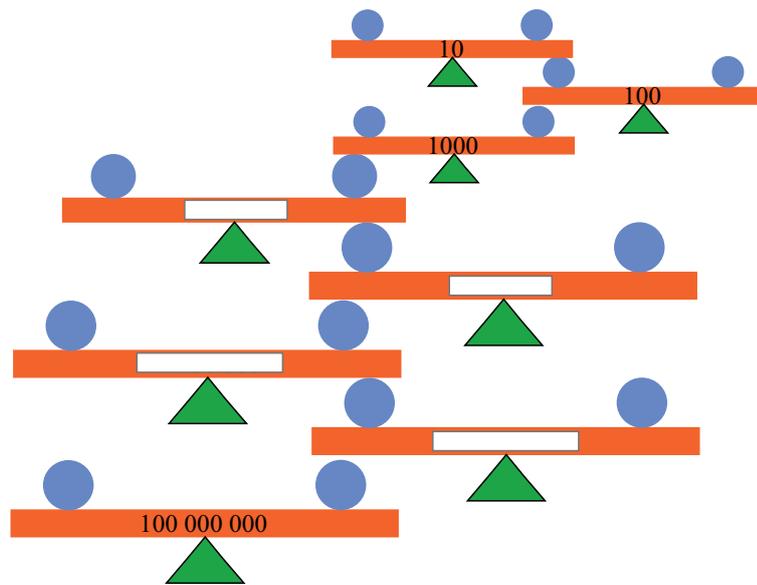
Die leeren Felder sind zu ergänzen!



metabolische Azidose = $\frac{\text{Pufferbase}}{\text{Puffersäure}} \uparrow$	metabolisch Alkalose = $\frac{\text{Pufferbase}}{\text{Puffersäure}} \downarrow$
Kompensation = $\frac{\text{Pufferbase} \downarrow}{\text{Puffersäure} \downarrow}$	Kompensation = $\frac{\text{Pufferbase} \uparrow}{\text{Puffersäure} \uparrow}$

# Histologie/Physiologie Regulation Blut-pH Übung 8

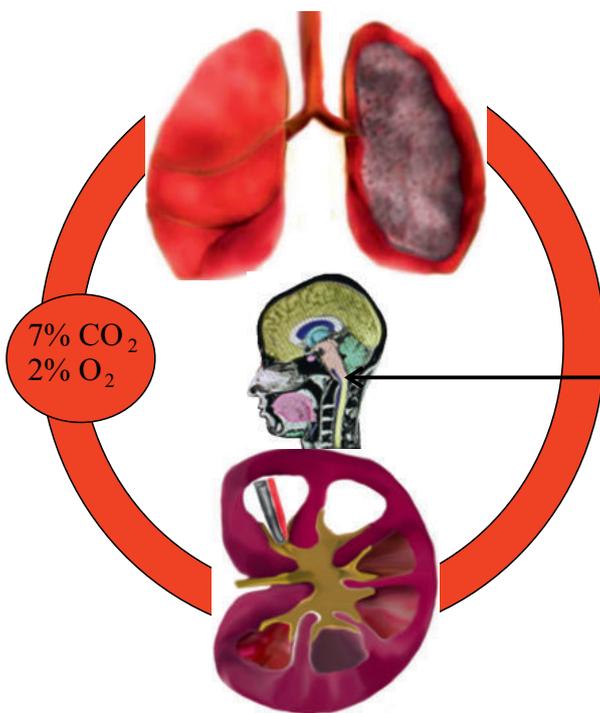
Die Regulation des Blut-pH erfolgt im 100 millionstel Bereich (0,000 000 01 mol H<sup>+</sup>/l).



$$100\ 000\ 000 = 10^8$$

Mit der grafischen Darstellung wird versucht, eine Regulation in Zehnerpotenzen für 100 Millionen zu visualisieren. **Die leeren Felder sind zu ergänzen!**

## Zusammenhang zwischen Protonenkonzentration und Atmung



Die für die Steuerung der Atmung zuständigen Neuronen sind hoch sensibel für die Änderung der Protonenkonzentration. Die Partialdruckänderung des Kohlendioxids ist der primäre Antrieb für das Gefühl, Luft hohlen zu müssen. Die Rezeptorzellen der Medulla oblongata nehmen das Kohlenstoffdioxid aus dem Hirnwasser auf und sind somit unabhängig vom Blut-pH. Das CO<sub>2</sub> diffundiert sehr schnell vom Blut in den Liquor und von dort in die Rezeptorzellen. Der Partialdruck des physikalisch gelösten CO<sub>2</sub> ist deutlich höher als der des freien O<sub>2</sub>.



In den Zellen des Atemzentrums der Medulla oblongata (verlängertes Mark) wird die Reaktion von Wasser und Kohlenstoffdioxid durch die Carboanhydrase katalysiert. Die Sauerstoffrezeptoren im Aortenbogen und Halsschlagadern stimulieren über den Vagusnerv das Atemzentrum in der Medulla oblongata (sekundärer Atemantrieb).

### Fragen:

1. Wie erfolgt der Transport des Sauerstoffs im Blut?

2. Wie groß ist der prozentuale Anteil des freien Sauerstoffs im Blut?

3. Interagiert der gebunden oder der freie Sauerstoff mit den Chemorezeptoren der Aorta und den Halsschlagadern?

# Histologie/Physiologie Regulation Blut-pH Übung 9

In der Klinischen Chemie folgt der Unterschreitung des Referenzintervalls für den Blut-pH die Bezeichnung Azidose, auch wenn der Wert noch in dem Bereich liegt, wo chemisch gesehen der alkalische Bereich ist. Ein Blut-pH von weniger als 7,35 muss als Zustand der Übersäuerung angesehen werden, weil die Symptomatik dies so erfordert. Zu beachten ist, je niedriger der Blut-pH ist, desto höher ist die Protonenkonzentration. Ein fallender pH-Wert bedeutet einen Anstieg der Wasserstoffionenkonzentration.

## Zusammenfassung der Störungen des Säure-Basen-Haushalts

Art der Störung	Blut-pH	pCO <sub>2</sub>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Basenüberschuss
Azidosen				
respiratorische	↓	↑	uv	uv
metabolische	↓	uv	↓	↓

Das Kürzel (uv) steht für unverändert.

Die leeren Felder sind zu ergänzen!

Alkalosen				
respiratorische	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
metabolische	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

Anmerkung:

Bei schweren und komplexen Krankheitszuständen sind mehrere Störungen gleichzeitig möglich. Insgesamt sind fünf Zweifachstörungen möglich!

Welche fünf Störungen können das sein?

- 1.
- 2.
- 3.
- 4.
- 5.

Zur Information: Es ist möglich, dass Dreifachstörungen auftreten. Diese sind schwer zu beurteilen, weil immer zwei Azidoseformen oder zwei Alkaloseformen auftreten und diese der dritten Störung gegenüber stehen. Dabei können sehr starke oder kaum merkbare Änderung der Messgrößen auftreten.