

# Säure-Basenhaushalt

[https://www.youtube.com/watch?v=i\\_pTaTveCCo](https://www.youtube.com/watch?v=i_pTaTveCCo)

# Lernziele Säure-Basenhaushalt, Calcium- und Phosphathaushalt

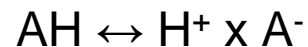
Die Studierenden sollen fähig sein:

- die pH-Puffersysteme unseres Blutes zu benennen und die sich daraus ergebenden Pufferkapazitäten zu erläutern.
- die Funktion und das Zusammenspiel von Lungenatmung, Leber und Niere bei der pH-Homöostase zu erklären.
- Störgrößen der pH-Homöostase und die Diagnose von Azidosen/Alkalosen in der Klinik zu beschreiben.

# Säure-Basenhaushalt

- Pufferkapazität des Blutes
- Zelluläre pH-Regulation
- Zusammenspiel von Organen
- Störgrößen der pH Homöostase
- Störungen des Säure-Basen-Haushalt

# Henderson-Hasselbach-Gleichung



Protonen-Dissoziation / pro Zeit =  $k_1 \times [\text{AH}]$

Säure-Assoziation / pro Zeit =  $k_2 \times [\text{H}^+] \times [\text{A}^-]$

Im Gleichgewicht  $k_1 \times [\text{AH}] = k_2 \times [\text{H}^+] \times [\text{A}^-] \quad | : k_2 | : [\text{AH}]$

$$k_1/k_2 = K_a = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+][\text{A}^-]}{[\text{HA}]}$$

Rearrange to solve for  $[\text{H}_3\text{O}^+]$

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = \frac{K_a [\text{HA}]}{[\text{A}^-]}$$

Take the negative log of both sides

$$-\log[\text{H}_3\text{O}^+] = -\log\left(\frac{K_a [\text{HA}]}{[\text{A}^-]}\right)$$

The negative log of translates to "p"

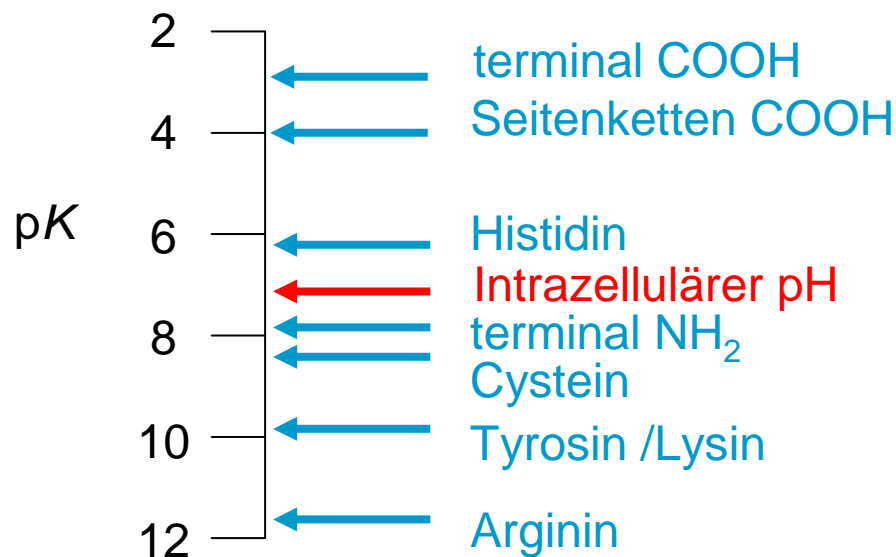
$$\text{pH} = \text{pK}_a - \log\left(\frac{[\text{HA}]}{[\text{A}^-]}\right)$$

flip – To make a negative log positive, take the inverse

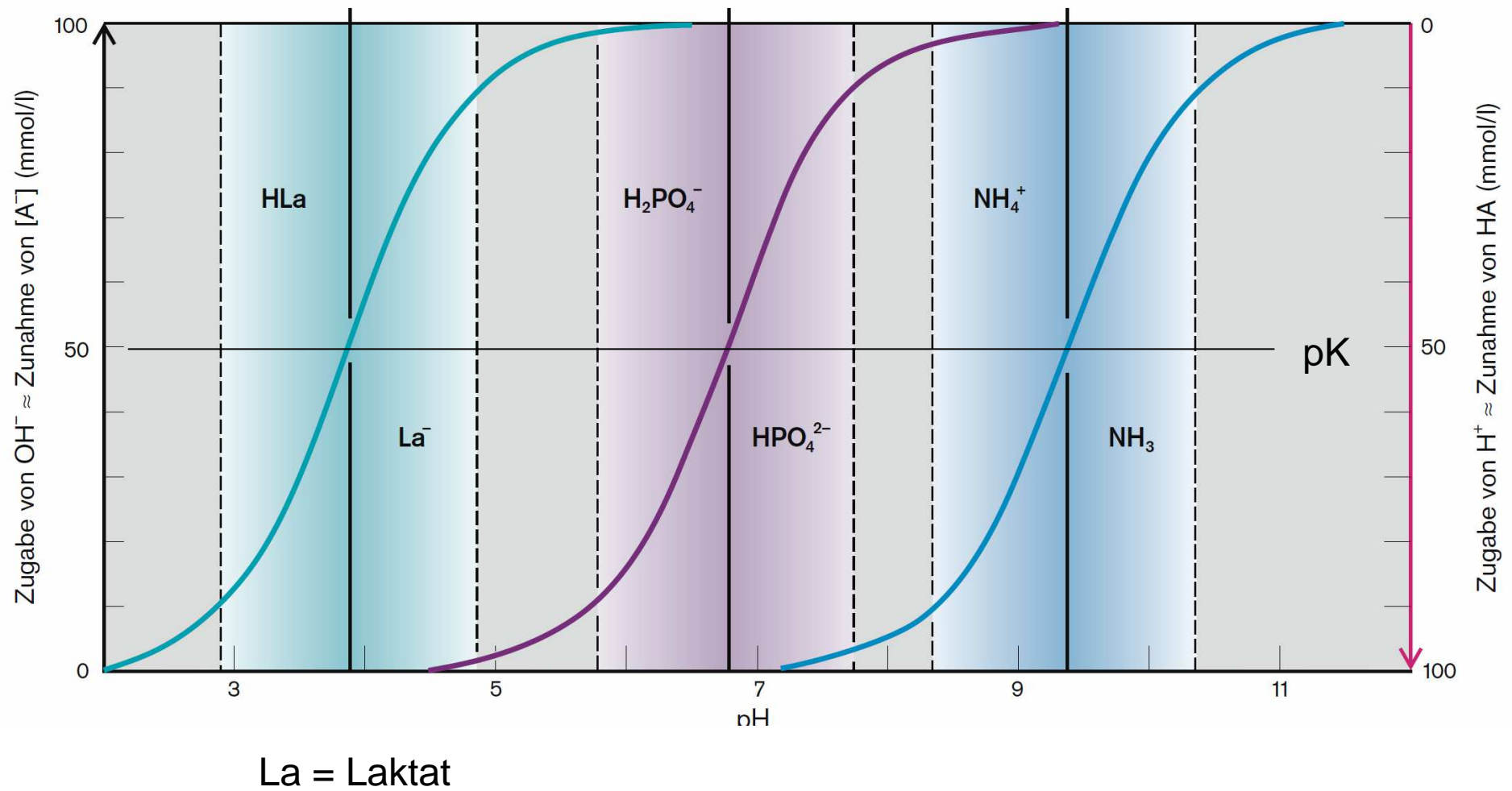
$$\text{pH} = \text{pK}_a + \log\left(\frac{[\text{A}^-]}{[\text{HA}]}\right)$$

# Konstanter pH ist Voraussetzung für das Funktionieren biologischer Systeme

- pH Blut 7,37-7,4 (< 7.37 Azidose, >7.43 Alkalose)  $\approx 0.04 \mu\text{mol/l H}^+$
- pH Zelle 7,0 – 7,3
- pH beeinflusst Enzyme, Transporter, Kanäle, Rezeptoren

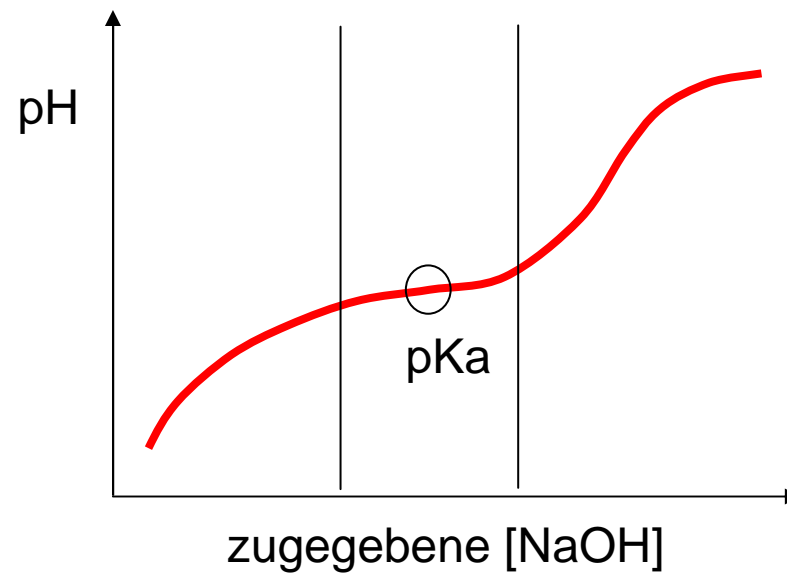


# pH und pK-Wert



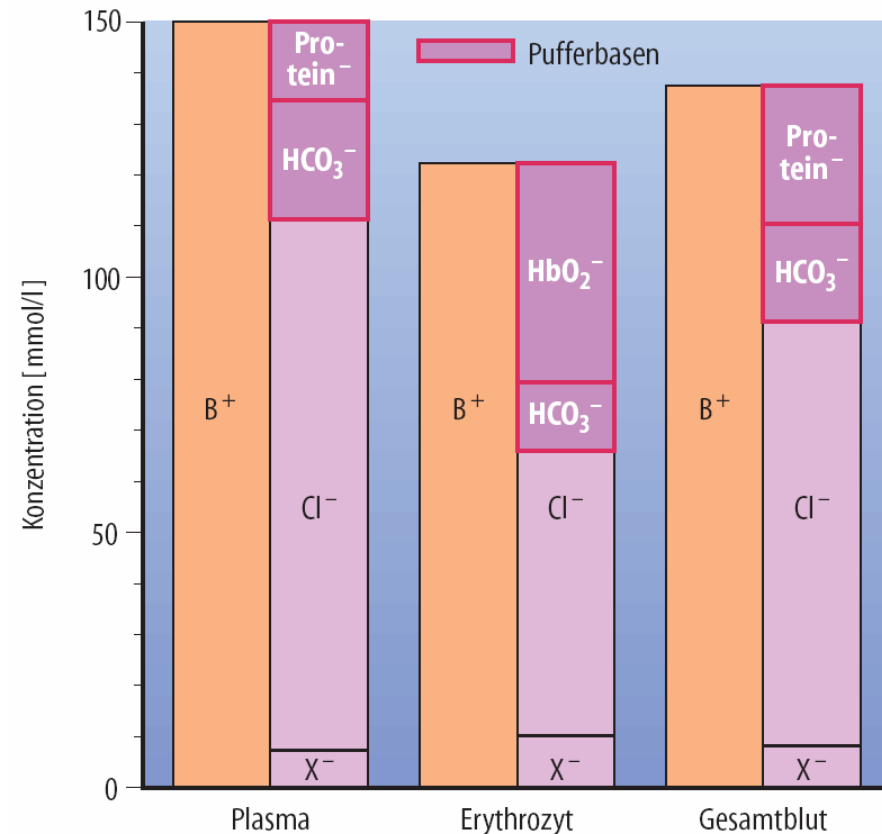
## Pufferkapazität

$$K_p = \Delta[H^+] / \Delta pH$$



# Pufferkapazität des Blutes

- Summe aller Pufferbasen im Blut = 48 mmol/l
- ca 50% Proteine (Albumine < Hämoglobin)
- $\text{H}_2\text{CO}_3/\text{HCO}_3^-$  System
- organische Säuren, Phosphat tragen kaum zur Pufferkapazität bei





## Das $\text{H}_2\text{CO}_3 / \text{HCO}_3^-$ System

- offenes System
- $\text{CO}_2$  wird im Stoffwechsel ständig gebildet und in Lunge abgeatmet
- $\text{HCO}_3^-$  wird von Niere-Leber gebildet und durch die Niere ausgeschieden

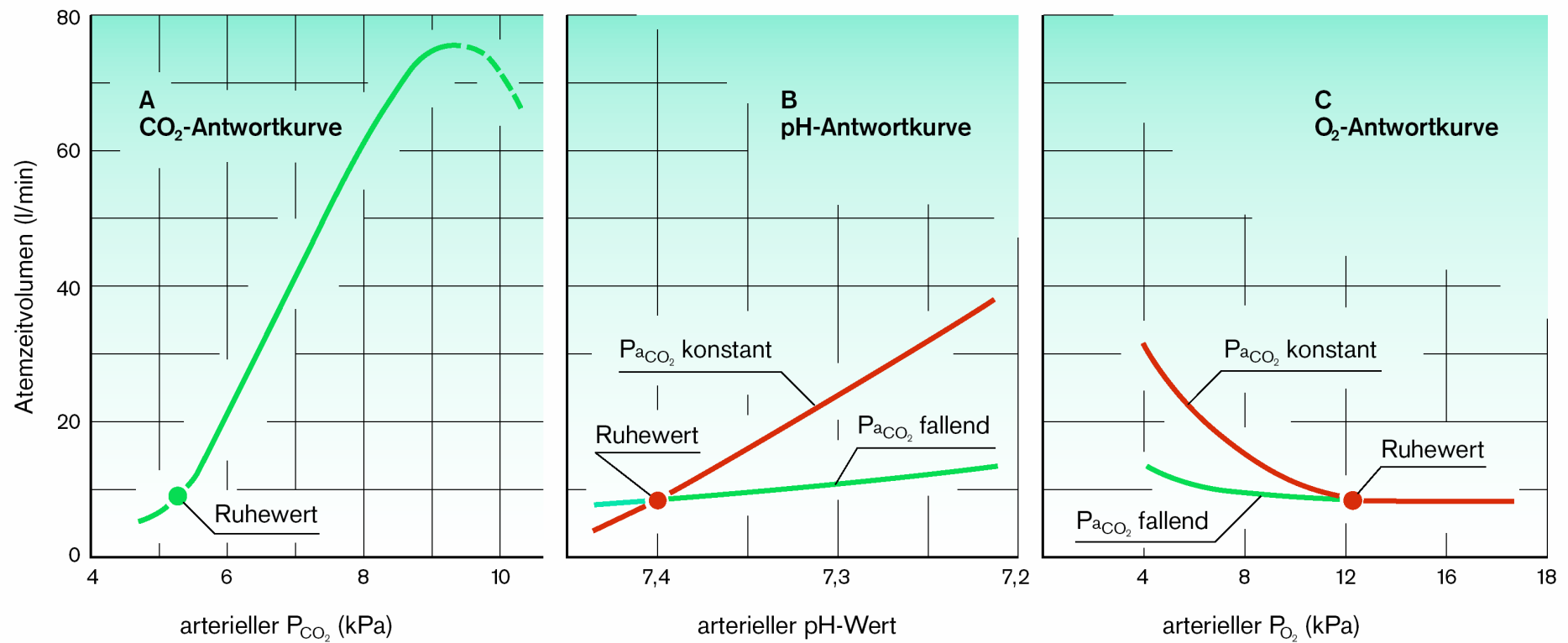
$$\text{pH} = 3.3 + \lg \frac{[\text{HCO}_3^-]}{[\text{H}_2\text{CO}_3]}$$

$$[\text{CO}_2] = 10^{2,8} \times [\text{H}_2\text{CO}_3]$$

$$\text{pH} = 6.1 + \lg \frac{[\text{HCO}_3^-]}{[\text{CO}_2]}$$

$$\text{pH} = 6.1 + \lg \frac{[\text{HCO}_3^-]}{0.226 \times \text{Pco}_2}$$

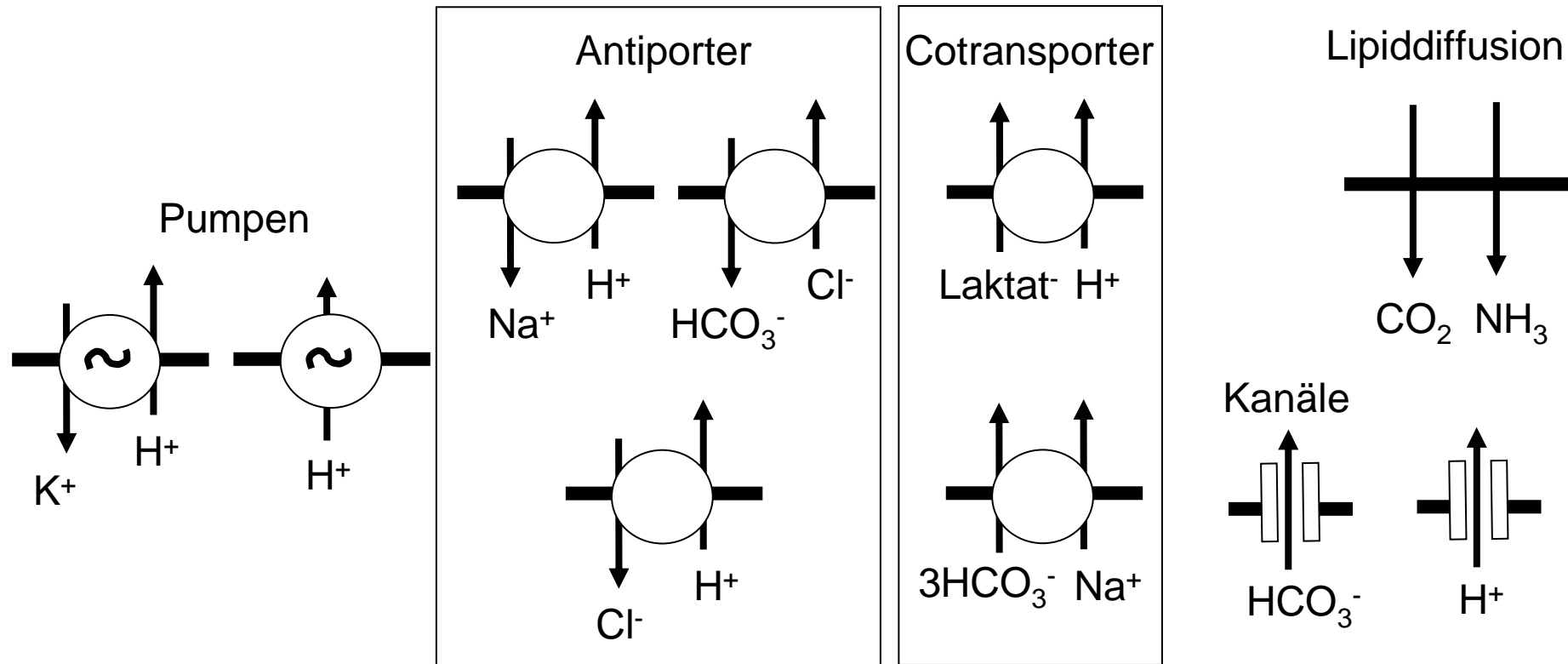
# Blutgasantwortkurven der Ventilation



# Säure-Basenhaushalt

- Pufferkapazität des Blutes
- Zelluläre pH-Regulation
- Zusammenspiel von Organen
- Störgrößen der pH Homöostase
- Störungen des Säure-Basen-Haushalt

# Zelluläre pH Regulation



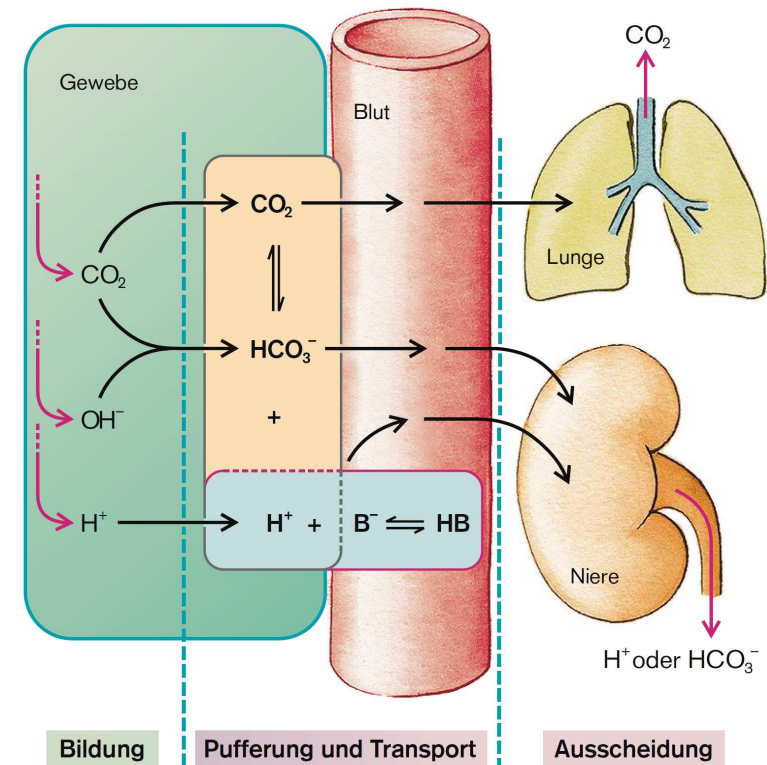
## Säure-Basenhaushalt

- Pufferkapazität des Blutes
- Zelluläre pH-Regulation
- Zusammenspiel von Organen
- Störgrößen der pH Homöostase
- Störungen des Säure-Basen-Haushalt

## Calcium- und Phosphathaushalt

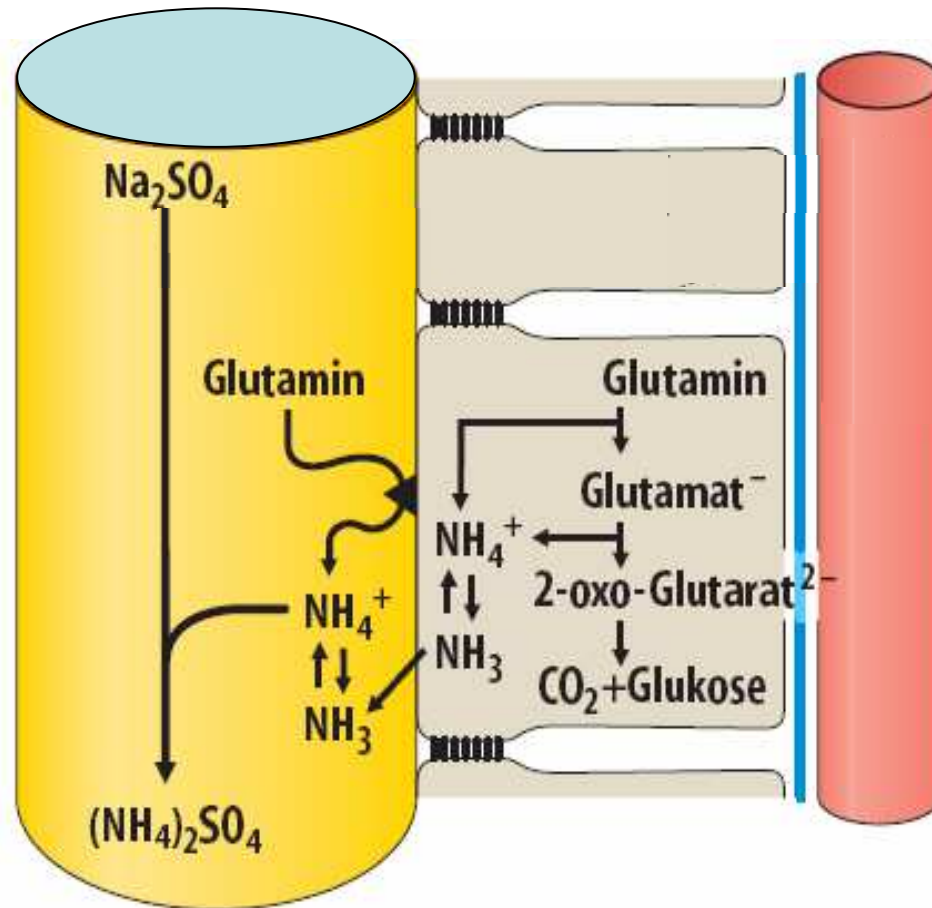
# Zusammenspiel von Niere und Lunge

- täglich abgeatmete Menge von  $\text{CO}_2 = 15 \text{ mol}$
- täglich renal ausgeschiedene Säure Menge  
100 mmol (fixe Säuren durch Abbau schwefelhaltiger Aminosäuren, Milchsäuregärung, Fettsäuren aus Triglyzeride,  $\beta$ -Hydroxybutyrat)
- Ventilation kann renale  $\text{H}^+$  Exkretion nicht übernehmen, da Mehrventilation die  $\text{HCO}_3^-$  Konzentration im Blut erniedrigt
- damit wird die Pufferbase erniedrigt, folglich muss noch mehr  $\text{CO}_2$  abgeatmet werden um pH 7.4 aufrecht zu erhalten
- $\text{HCO}_3^-$  Konzentration muss ventilations-unabhängig reguliert werden können



# Renale $\text{NH}_4^+$ Exkretion

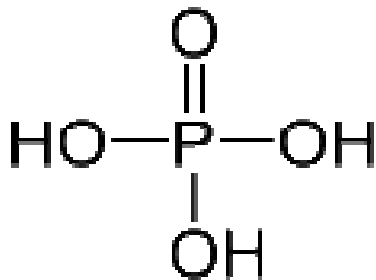
- 60 % der täglichen Säureausscheidung
- bei pH 7.4  $\text{NH}_4^+/\text{NH}_3 = 40:1$
- Azidose stimuliert und Alkalose hemmt die renale Glutaminase
- $\text{NH}_3$ -Bildung bei Alkalose führt zu  $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$  Akkumulation im Körper (toxisch)



# Proximale Tubulus der Niere

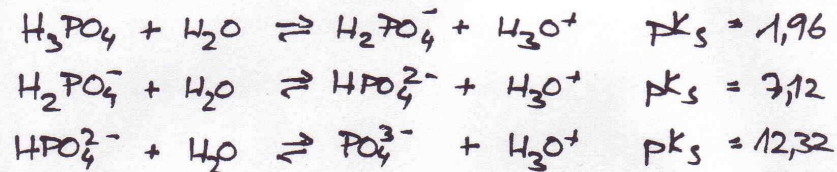
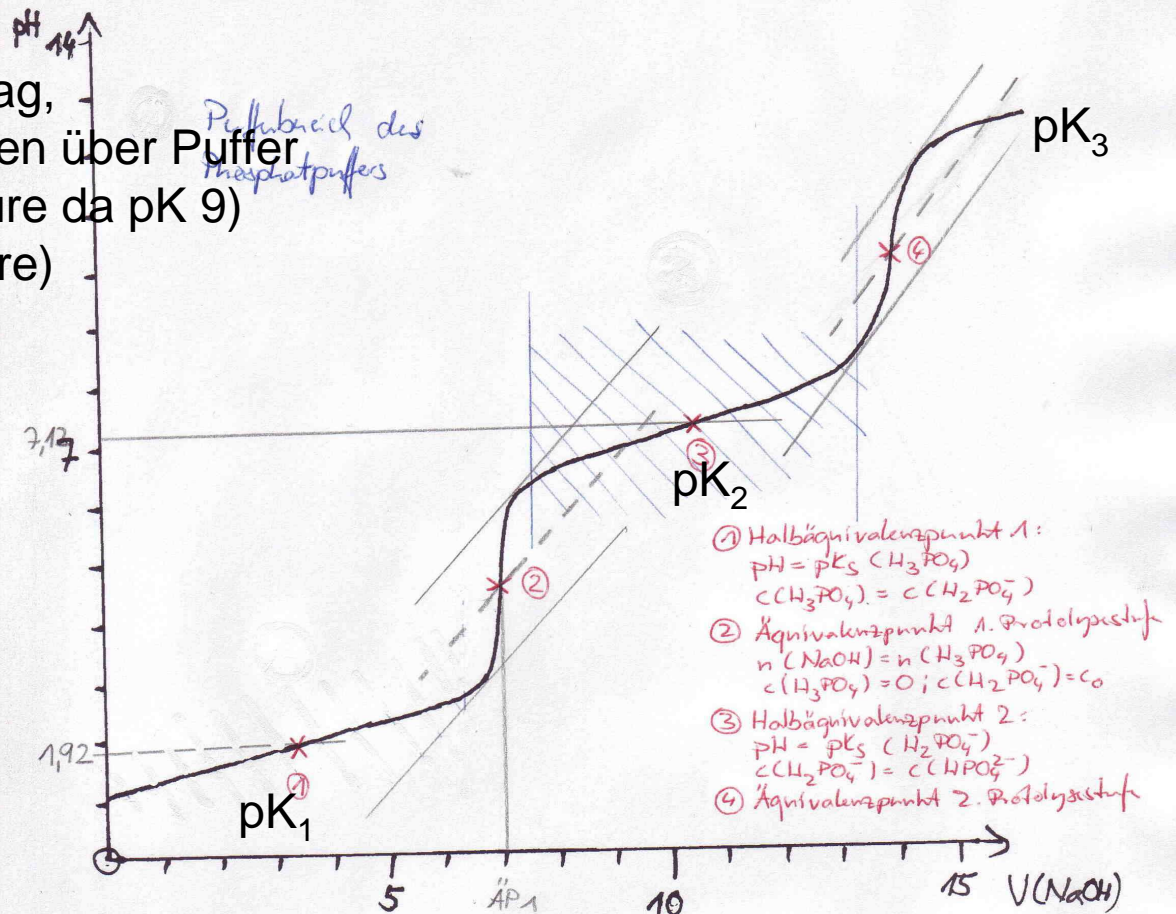
# Säureausscheidung der Niere

- 100 mmol H<sup>+</sup> / Tag
- entspräche pH 1 bei 1 l Urin/Tag,  
Ausscheidung deswegen über Puffer
- NH<sub>3</sub>/NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (nicht-titrierbare Säure da pK 9)
- HPO<sub>4</sub><sup>2-</sup>/H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup> (titrierbare Säure)
- (Harnsäure pK 5,8)



Phosphorsäure

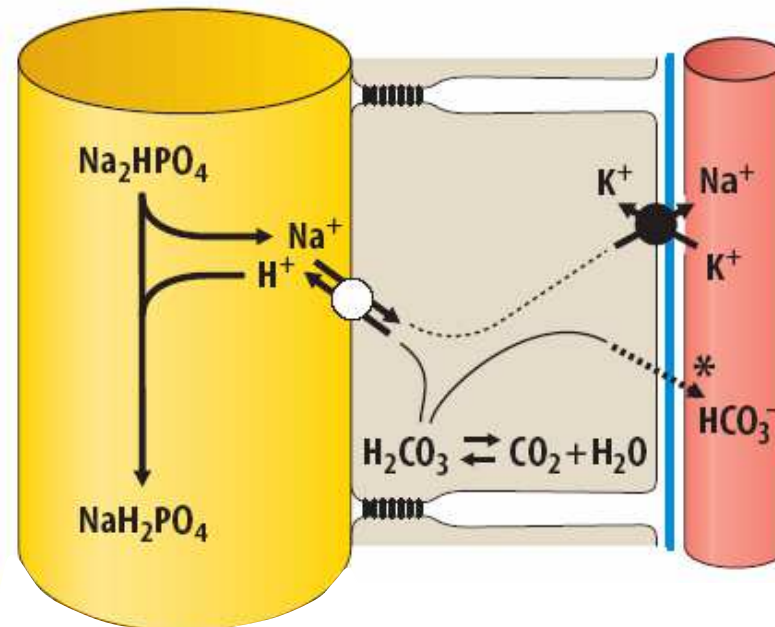
## TITRATION VON PHOSPHORSÄURE MIT NATRONLAUGE





# Renale $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ Exkretion

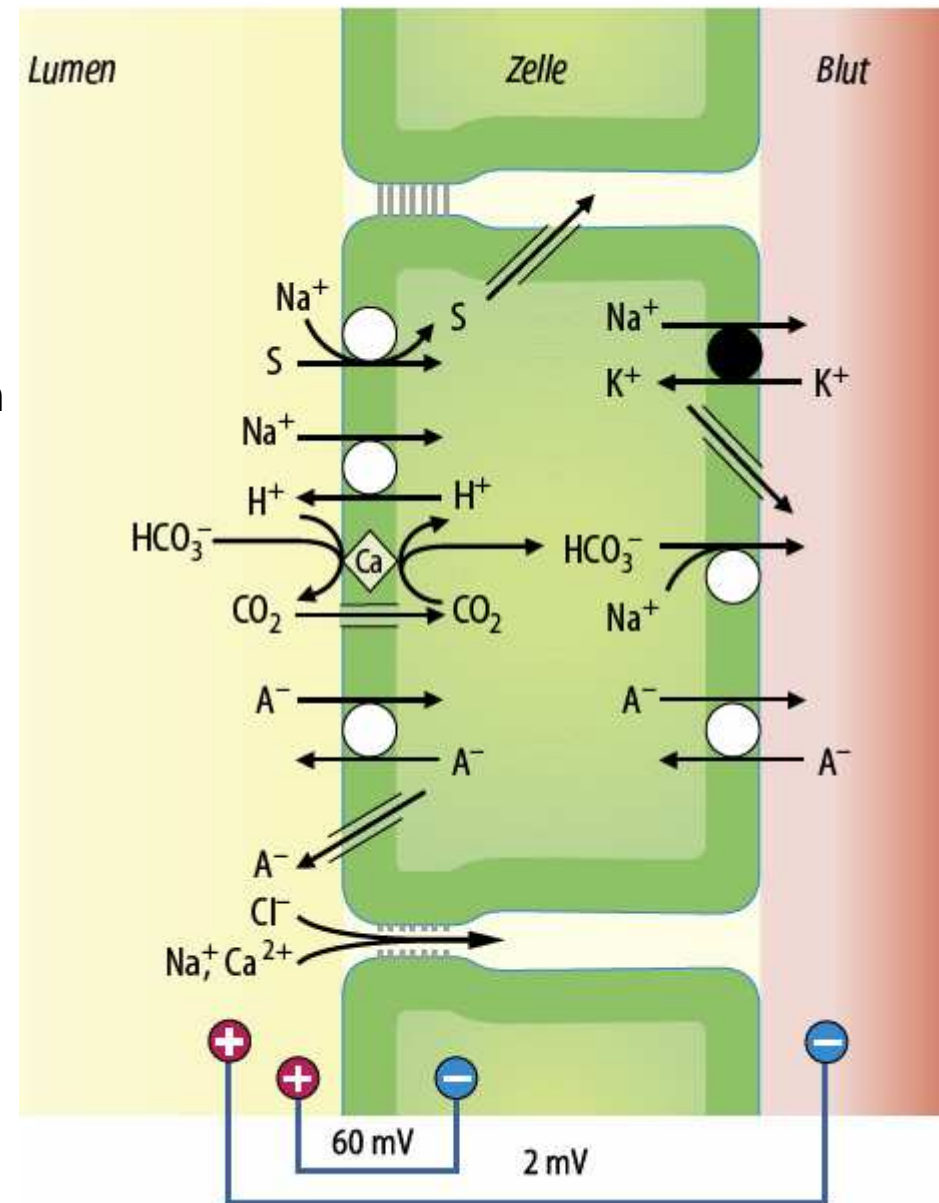
- $\text{pK Na}_2\text{HPO}_4/\text{NaH}_2\text{PO}_4 = 6.8$  (bei  $37^\circ\text{C}$ )
- im Blut 80% als  $\text{HPO}_4^{2-}$
- Säureausscheidung über  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  nur bei sauren pH
- wird Phosphat aus dem Knochen mobilisiert (alkalische Salze) werden Protonen verbraucht



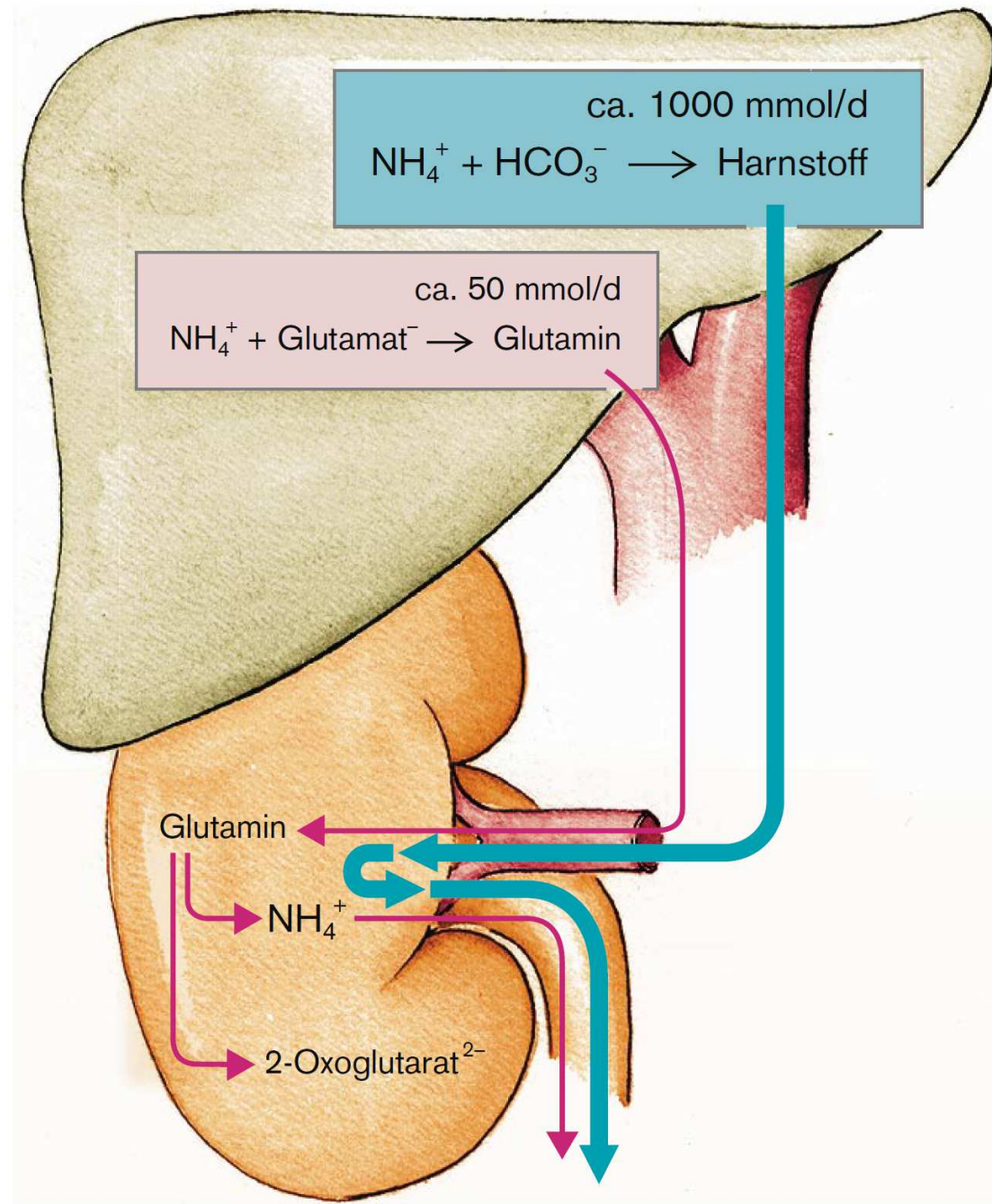
Proximale Tubulus der Niere

# Renale $\text{HCO}_3^-$ Resorption und $\text{H}^+$ Exkretion

- pro sezerniertes  $\text{H}^+$  wird ein  $\text{HCO}_3^-$  resorbiert
- über Säure-Exkretion kann also die  $\text{HCO}_3^-$  Resorption reguliert werden

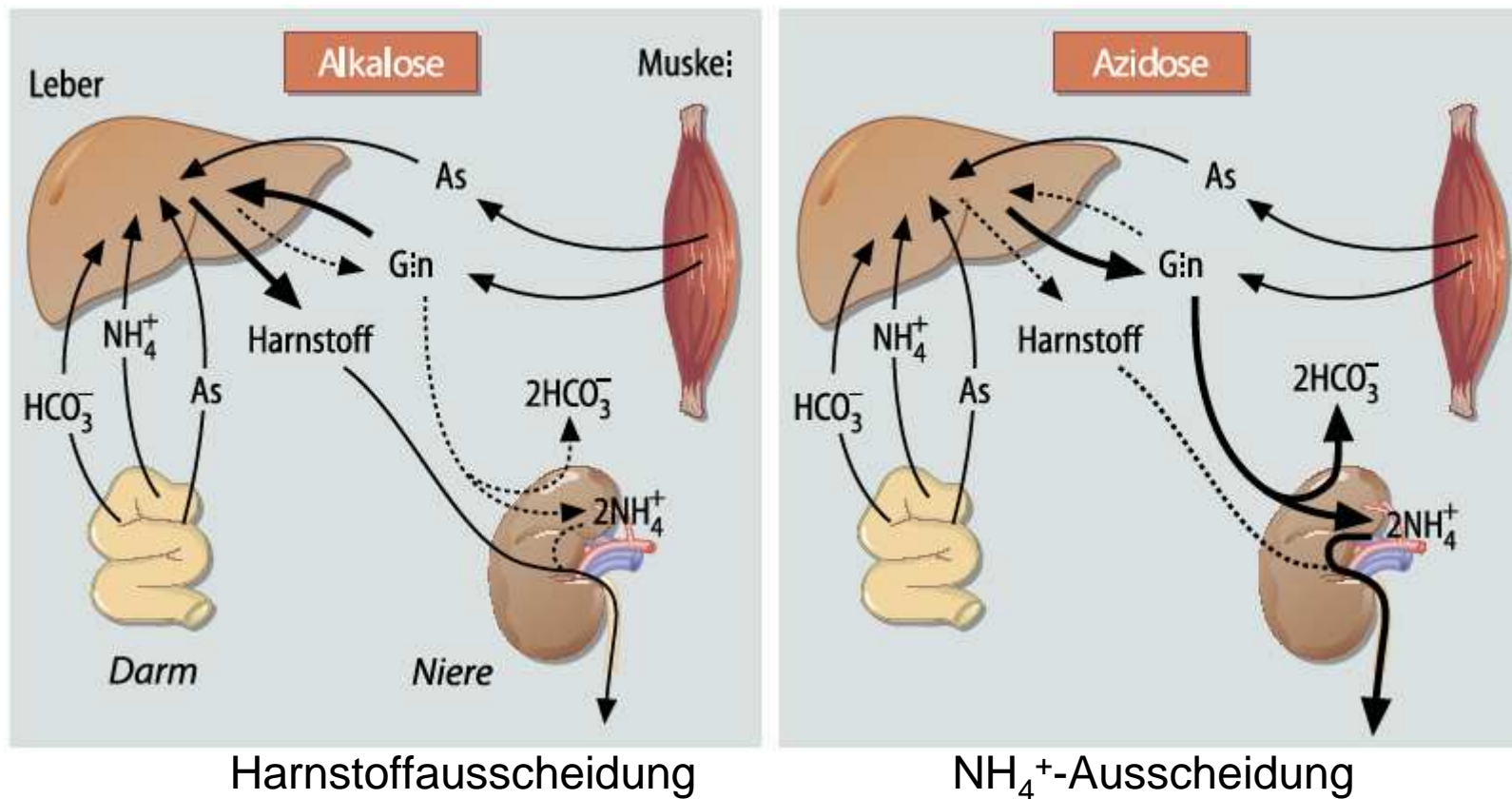


# Zusammenspiel von Leber und Niere



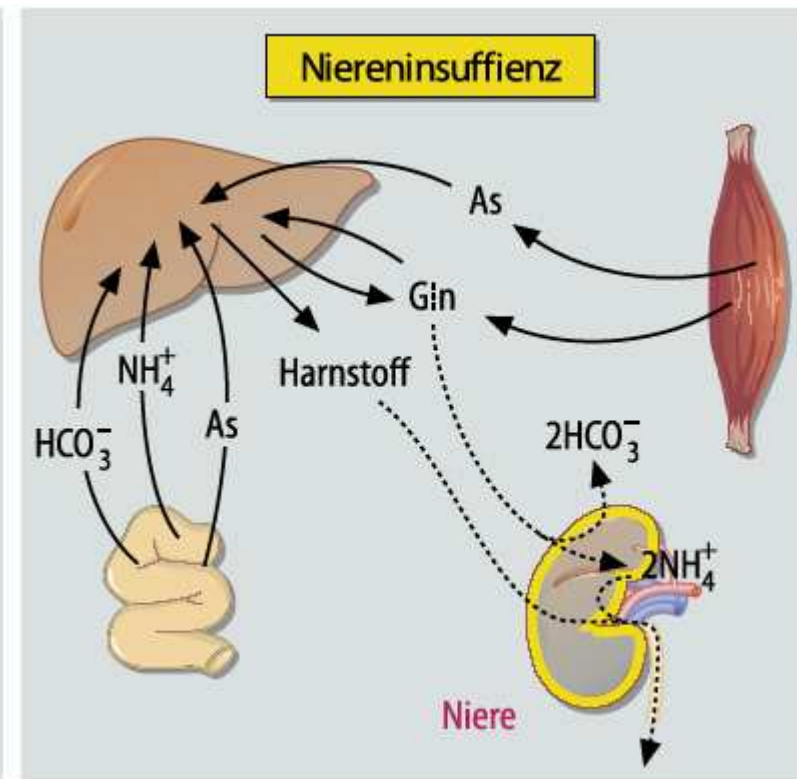
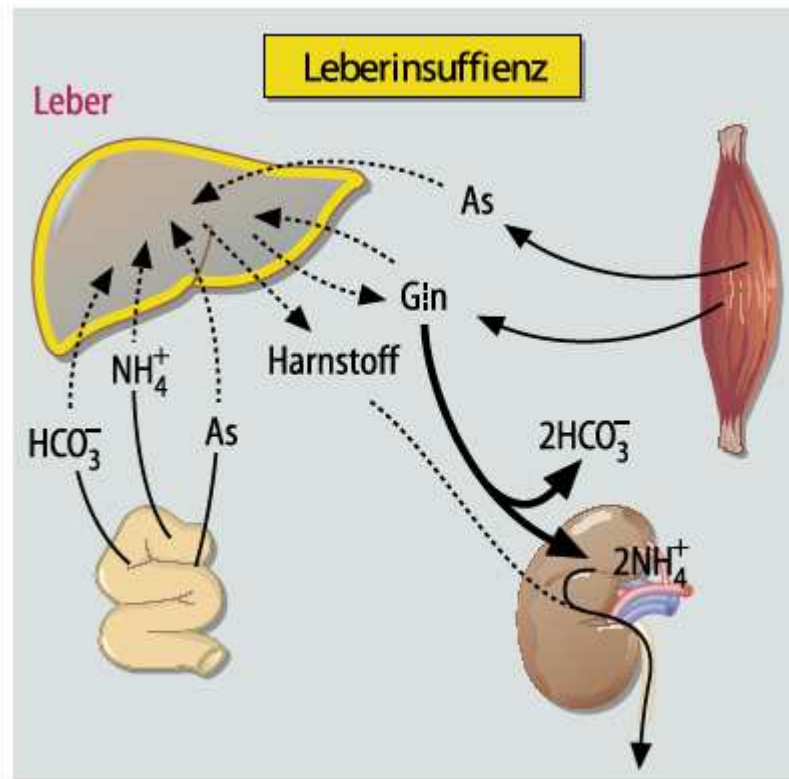
# Zusammenspiel von Leber und Niere

- Leber verstoffwechselt  $\text{NH}_4^+ + \text{HCO}_3^- \rightarrow \text{CO}(\text{NH}_2)_2$  [Harnstoff]  
Glutaminase der periportalen Leberzellen liefert  $\text{NH}_4^+$
- bei Azidose wird hepatische Glutaminase gehemmt und renale Glutaminase aktiviert



# Pathophysiologie

- Leberinsuffizienz: Alkalose
- Niereninsuffizienz: Azidose



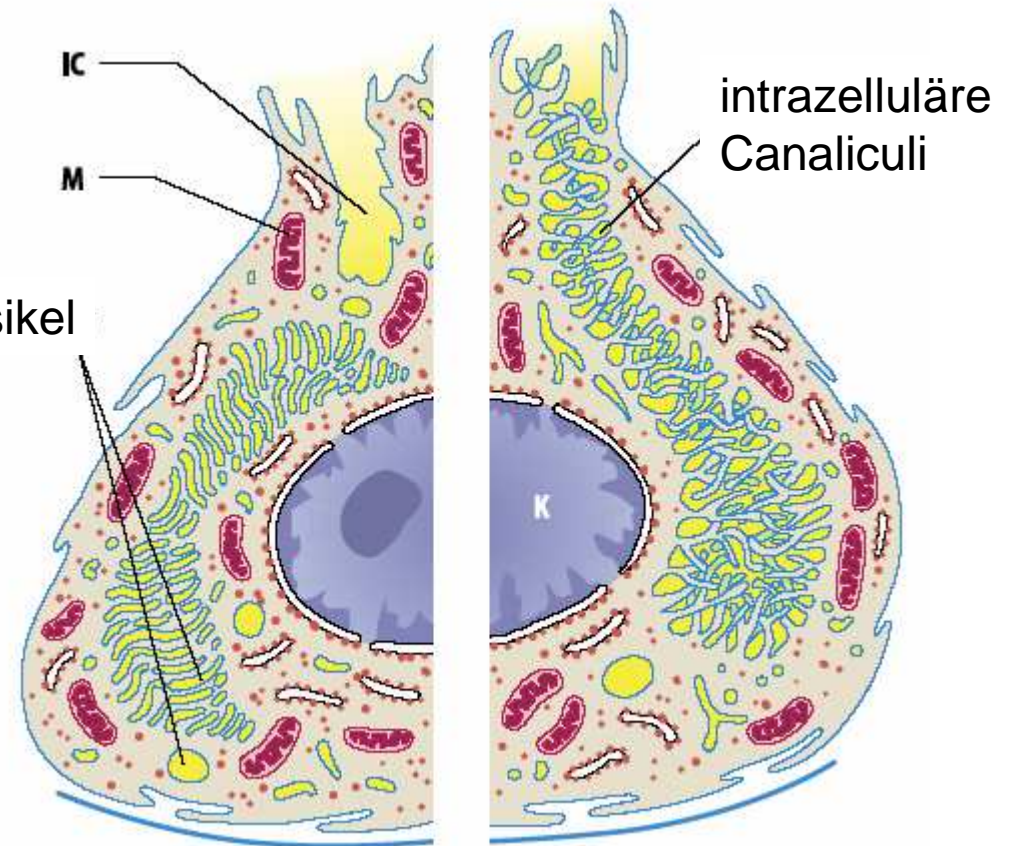
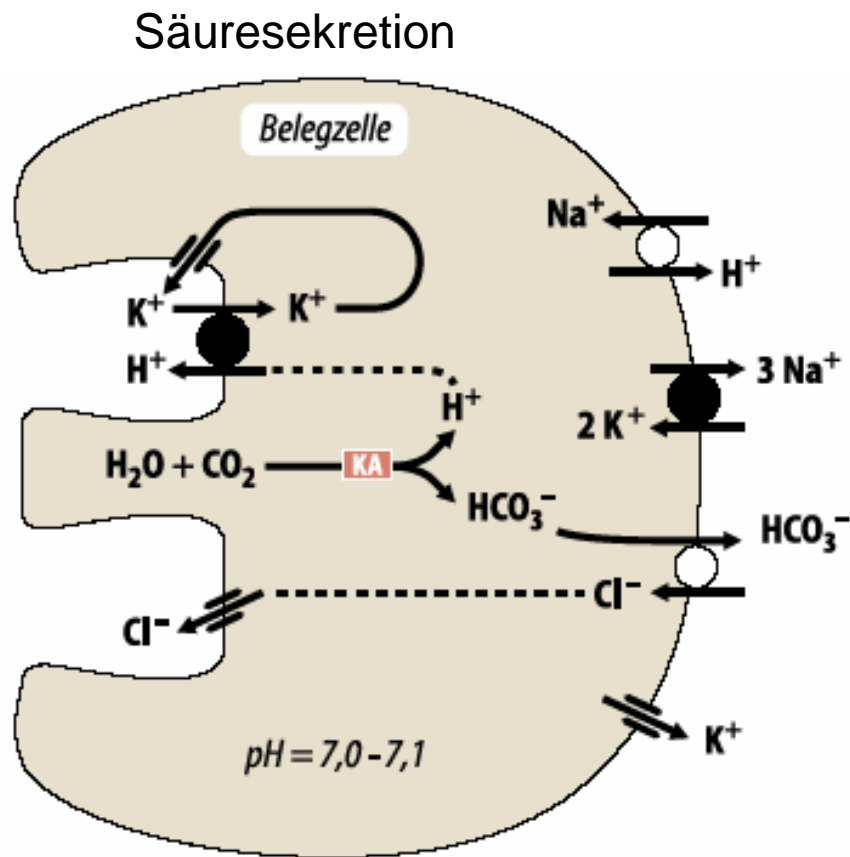


# Säure-Basenhaushalt

- Pufferkapazität des Blutes
- Zelluläre pH-Regulation
- Zusammenspiel von Organen
- Störgrößen der pH Homöostase**
- Störungen des Säure-Basen-Haushalt

# Störgrößen der pH Homöostase: Magen

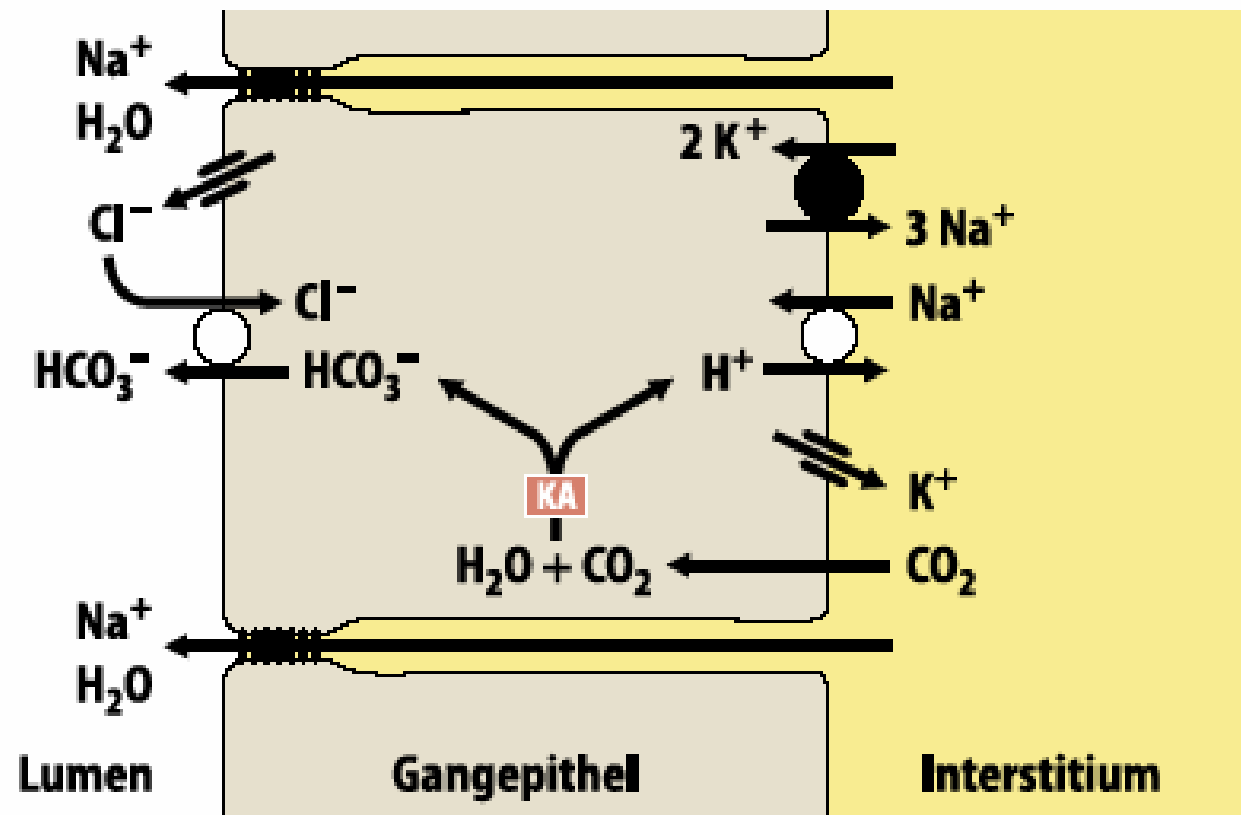
- $\text{H}^+$  Sekretion bewirkt vorübergehende postprandiale Alkalose



Belegzelle des Magens

# Störgrößen der pH Homöostase: Pankreas

- Pankreas:  $\text{HCO}_3^-$  Sekretion gleicht diese Alkalose aus (nicht bei Erbrechen)
- Durchfall erzeugt Azidose

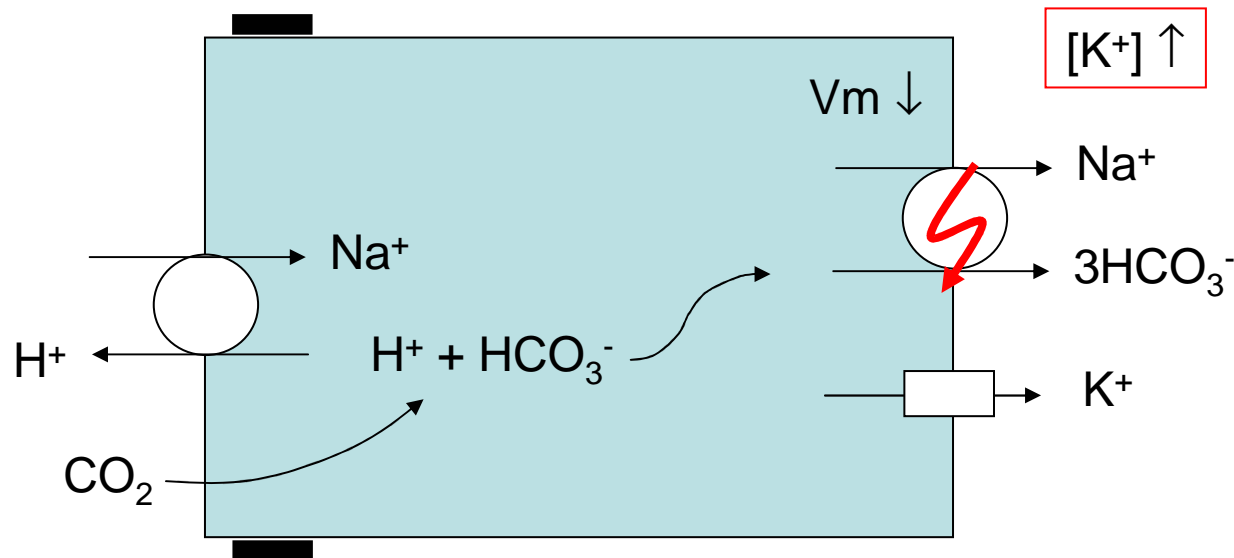


$\text{HCO}_3^-$ -Sekretion in den Ausführungsgang des Pankreas<sub>24</sub>

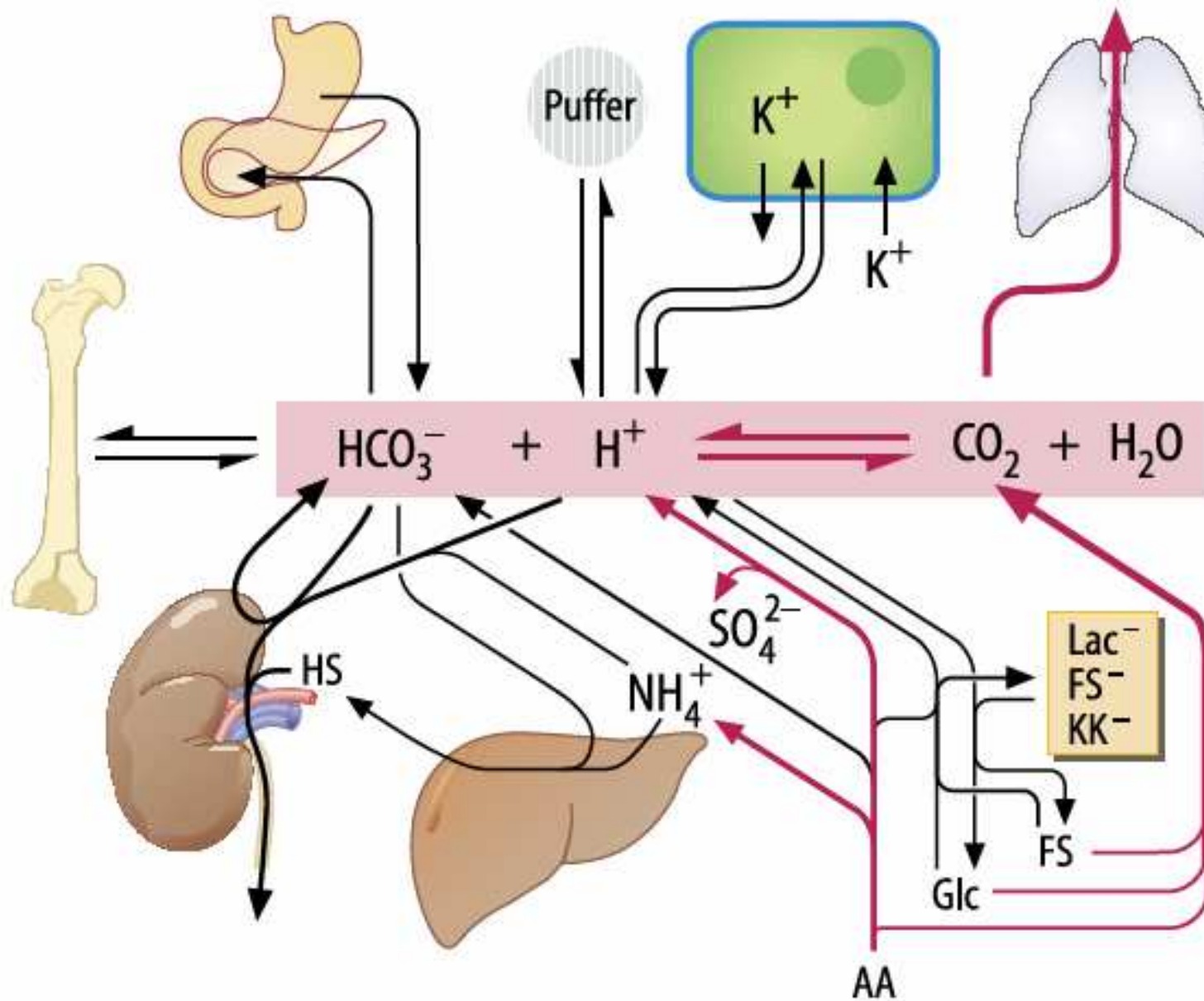


# Störgrößen der pH Homöostase: Knochen und Niere

- Knochen: Mineralisierung bzw. Demineralisierung erzeugt bzw. verbraucht Protonen.  $\text{CaCl}_2$  Zufuhr begünstigt Azidose
- Niere:  $\text{NaCl}$  Überschuß (Infusion) drosselt  $\text{NaCl}$  Resorption im PT und führt so zu Bikarbonaturie und Azidose, Volumenmangel zur Volumendepletions-Alkalose  
Hyperkaliämie bewirkt im Proximalen Tubulus eine Hemmung der  $\text{H}^+$ -Sekretion (Azidose), Hypokaliämie steigert die renale  $\text{H}^+$ -Sekretion (Alkalose)



# Synopsis



# Säure-Basenhaushalt

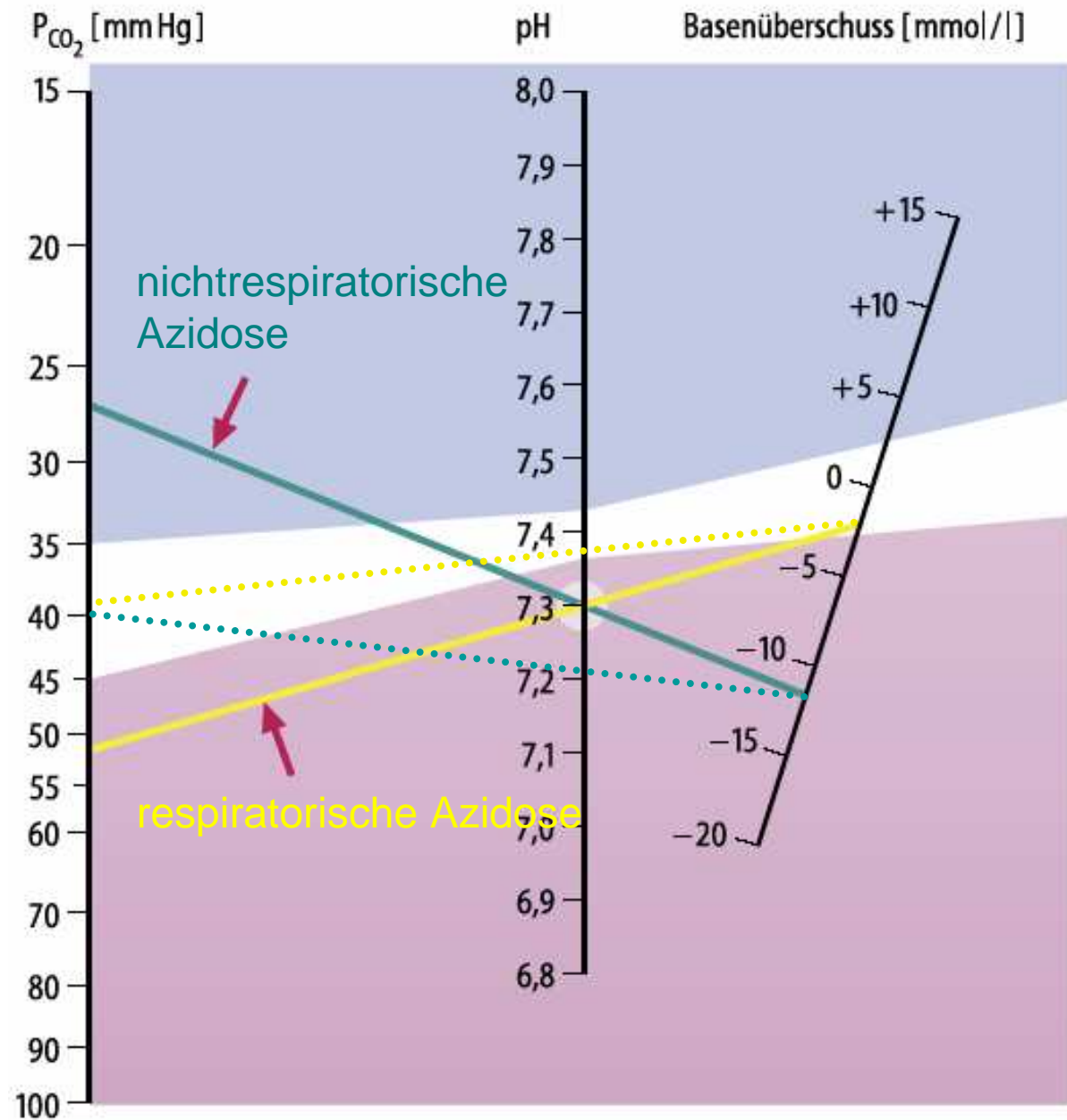
- Pufferkapazität des Blutes
- Zelluläre pH-Regulation
- Zusammenspiel von Organen
- Störgrößen der pH Homöostase
- Störungen des Säure-Basen-Haushalt

# Störungen des Säuren-Basenhaushalts

- Respiratorische Azidose: alveoläre Hypoventilation, eingeschränkte Diffusion von  $\text{CO}_2$ , Hemmung der erythrozytären Carboanhydrase (renale Kompensation durch  $\text{HCO}_3^-$  Bildung und  $\text{H}^+$  Ausscheidung)
- Respiratorische Alkalose: alveoläre Hyperventilation bei Sauerstoffmangel (Höhenluft) oder durch Hormon/Neurotransmittereinfluß (renale Kompensation durch  $\text{HCO}_3^-$  Ausscheidung, Zelluläre Kompensation durch gesteigerte Glykolyse und Milchsäure-Gärung)
- Nicht-Respiratorische (metabolische) Azidose: Verschiebung von  $\text{HCO}_3^-$  extra-intrazellulär, renale bzw. intestinale  $\text{HCO}_3^-$  Verluste, Hyperkaliämie, Stoffwechselstörung ( $\text{O}_2$ -Mangel und Laktatbildung) oder Fasten bzw. Hyperthyroidose) bewirken erniedrigte  $\text{HCO}_3^-$  Blutkonzentrationen (teilweise respiratorische Kompensation)
- Nicht-Respiratorische (metabolische) Alkalose: Erbrechen, gesteigerte renale  $\text{H}^+$ -Ausscheidung (Aldosteron bei Volumenmangel) bzw. Hypokaliämie bewirken erhöhte  $\text{HCO}_3^-$  Blutkonzentrationen (kann nur sehr bedingt respiratorisch kompensiert werden da wegen  $\text{O}_2$  Bedarf Ventilation nicht beliebig gedrosselt werden kann)

# Bestimmung des Basenüberschuss

Nomogramm



Welche Behauptung ist falsch ?

Der pH-Wert des Blutes wird hauptsächlich über folgende Puffersysteme konstant gehalten :

- a)  $\text{HCO}_3^-/\text{H}_2\text{CO}_3$
- b)  $\text{H}_2\text{PO}_4^-/\text{HPO}_4^{2-}$
- c)  $\text{oxoHb}/\text{deoxoHb}$
- d) Plasmaproteine
- e)  $\text{NH}_3/\text{NH}_4$

Eine metabolische Azidose wird gegenreguliert durch:

- a) verminderte Harnstoffproduktion in der Leber
- b) vermehrtes Abatmen von  $\text{CO}_2$
- c) vermehrte Säurerausscheidung in der Niere
- d) Hemmung der hepatischen Glutaminase
- e) vermehrte Ausscheidung von Laktat im Urin

Welche Behauptung ist richtig ?

In einem Liter Wasser werden 10 mmol Na-Laktat gelöst und anschließend mit Milchsäure auf  $\text{pH} = 3.8$  titriert. Zu diesem Milchsäure/Laktat-Puffersystem ( $\text{pK}_\text{A} = 3.8$ ) werden nun weitere 5 mmol Milchsäure dazugegeben. Dabei wird eine pH Veränderung beobachtet auf etwa den Wert:

- a) 6.6
- b) 5.6
- c) 4.6
- d) 3.6
- e) 2.6