

# Säure-Basen-Haushalt



Quelle: <https://www.schilder-versand.com/Warnschilder/Warnschilder-nach-ISO-7010/12959/Warnung-vor-aetzenden-Stoffen-nach-ISO-7010-W-023>

# Säure oder Base?

- Säure wird als **Protonendonator** bezeichnet
- Base wird als **Protonenakzeptor** bezeichnet
- Die Stärke einer Säure richtet sich nach der Geschwindigkeit mit der Protonen abgegeben werden
- Säuren und Basen bedingen sich gegenseitig
- Gibt ein Stoff  $\text{H}^+$ -Ionen ab entsteht gleichzeitig eine Base
- Es ergibt sich folgende Gleichung:



# Einführung

- **H<sup>+</sup>-Ionen** interagieren im Körper besonders mit Proteinen
- H<sup>+</sup>-Ionen Konzentration muss über bestimmte Mechanismen geregelt werden
- Beispiel Phosphatfructokinase (Enzym der Glykolyse)
  - Steigt die H<sup>+</sup>-Ionen Konzentration um wenige nmol/l wird die Aktivität des Enzyms um 90% reduziert

# pH-Wert

- pH-Wert entspricht dem negativ dekadischen Logarithmus der  $H^+$ -Konzentration
- **$pH = -\log_{10}[H^+]$**
- Normalwert des Plasmas liegt bei **7,4**, entspricht ca. **40nmol/l**
- Der **Physiologische Bereich** liegt zwischen **7,36-7,44**
- Toleranz gegenüber Schwankungen der  $H^+$ -Konzentration beträgt **84nmol/l (7-7,8)**

# Zentrale Gleichung

- Der wichtigste Stoffwechselweg zur Erzeugung von  $\text{H}^+$  erfolgt über die **Dissoziation von Kohlensäure**
- $\text{CO}_2$  reagiert mit  $\text{H}_2\text{O}$  zu  $\text{H}_2\text{CO}_3$  (Kohlensäure)
- Dieser Prozess wird im Körper **enzymatisch beschleunigt** (Enzym: Carboanhydrase)
- Kohlensäure dissoziiert im folgenden Schritt zu  $\text{H}^+$  und  $\text{HCO}_3^-$
- Gesamte Gleichung:  **$\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{CO}_3 \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{HCO}_3^-$**

# Regulation des Säure-Basen-Haushalts

- Die  $H^+$ -Konzentration wird über verschiedene Mechanismen gesteuert:
  - Puffersysteme
  - Atmung
  - Niere
  - Leber
  - Zelluläre Regulation

# Puffersysteme

- Puffersysteme wirken gegen einen plötzlichen Abfall der  $H^+$ -Ionen
- Ein Puffer kann  $H^+$ -Ionen **reversibel** binden und abgeben  
99,99% aller  $H^+$ -Ionen sind an Puffer gebunden
- Als Puffer kann bspw. Jedes **korrespondierende** Säure-Basen-Paar genutzt werden
- Man unterscheidet:
  - **Geschlossene Puffersysteme**
  - **Offene Puffersysteme**

# Geschlossene Puffersysteme

- Keiner der beiden Reaktionspartner kann aus dem System entweichen
- Die Summe der Konzentration bleibt also immer gleich
- Es gilt:  $[HA] + [A^-] = \text{konstant}$
- Im Körper finden sich geschlossene Puffersysteme:
  - Protein Puffersystem
  - Phosphat Puffersystem



# Geschlossene Puffersysteme

- **Protein Puffersystem**
- Macht ca. **50% der Gesamtpufferkapazität des Blutes** aus
- Es können alle Plasmaproteinen als Puffer fungieren
- Die wichtigsten Pufferproteine sind **Albumin** und **Hämoglobin**
- $H^+$ -Ionen reagieren mit den Proteinen, der pH-Wert wird konstant gehalten

# Geschlossene Puffersysteme

- Phosphat Puffersystem
- Phosphat bindet  $\text{H}^+$ -Ionen und puffert so den pH-Wert
- **$\text{H}^+ + \text{HPO}_4^{2-} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{PO}_4^-$**
- Im Blut ist die Phosphatkonzentration recht gering
- Beteiligt an der Konstanthaltung des intrazellulären pH-Wertes
- Ausscheidung von  $\text{H}^+$ -Ionen über die Niere

# Offene Puffersysteme

- Viel **höhere** Pufferkapazität
- Eine Komponente des Säure-Basen-Paares kann unabhängig vom pH-Wert konstant gehalten werden
- Reaktionspartner können auch aktiv geregelt werden (**Kompensationsmechanismen**)
- Die wichtigsten offenen Puffersysteme sind:
  - **Bikarbonat Puffersystem**
  - **Ammonium Puffersystem**

# Bikarbonat Puffersystem

- Besteht aus **CO<sub>2</sub>** (Kohlendioxid) und **HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>** (Bikarbonat)
- Macht die restlichen **50% der Gesamtpufferkapazität** des Blutes aus
- CO<sub>2</sub>-Wert wird allerdings konstant bei **40mmHg** gehalten, da sich die Konzentration in der Umgebungsluft ändern kann
- Verliert bei **Azidose** (Steigerung der H<sup>+</sup>-Konzentration) die Wirksamkeit

# Ammonium Puffersystem

- $\text{H}^+$ -Ionen binden sich an das  $\text{NH}_3$  (Ammoniak), es entsteht  $\text{NH}_4^+$  (Ammonium)
- Ammonium kann die Kapillaren der Niere durchtreten und scheidet so überschüssige  $\text{H}^+$ -Ionen aus
- De-novo-Synthese von  $\text{HCO}_3^-$  in der Niere
  - **Ammonium** entsteht aus dem Abbau von **Glutamin**
  - Aus Abbauprodukten wird erneut **Bikarbonat** gewonnen
  - Findet in der Niere statt

# Regulation durch die Atmung

- Die Lunge beeinflusst den Säure-Basen-Haushalt über die  $\text{CO}_2$ -Konzentration (**pCO<sub>2</sub>**)
- $\text{CO}_2$  wird von der Lunge **abgeatmet**
- Wird das gesamte  $\text{CO}_2$  abgeatmet hat es keinen Einfluss auf den Säure-Säure-Basen Haushalt
- **Steigt** die  $\text{CO}_2$ -Konzentration, steigt auch die  $\text{H}^+$ -Konzentration: Der **pH-Wert sinkt**
- **Sinkt** die  $\text{CO}_2$ -Konzentration, sinkt die  $\text{H}^+$ -Konzentration: der **pH-Wert steigt**
- $\text{CO}_2$ -Atemantrieb sorgt für die Konstanthaltung

# Regulation durch die Niere

- Beeinflusst den Säure-Basen-Haushalt durch Regulation der **Pufferbasenkonzentration**
- Säuren die nicht in Form von  $\text{CO}_2$  abgeatmet werden können bezeichnet man als „**fixe**“ Säuren
- Diese sind Stoffwechselprodukte:
  - **Schwefelsäure** ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ )
  - **Salzsäure** ( $\text{HCL}$ )
- Fixe Säuren werden über die Niere ausgeschieden

# Regulation durch die Niere

- Die anfallenden Säuren werden unter **Verbrauch** von  $\text{HCO}_3^-$  in ihre **Salze** und  $\text{CO}_2$  konvertiert
- Die Salze der Säuren werden über den Harn ausgeschieden
- **Schwefelsäure** wird zu **Natriumsulfat** umgewandelt
  - $\text{H}_2\text{SO}_4 + 2 \text{NaHCO}_3 \rightleftharpoons \text{Na}_2\text{SO}_4 + 2 \text{H}_2\text{O} + 2 \text{CO}_2$
- **Salzsäure** wird zu **Kochsalz** umgewandelt
  - $\text{HCl} + \text{NaHCO}_3 \rightleftharpoons \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$



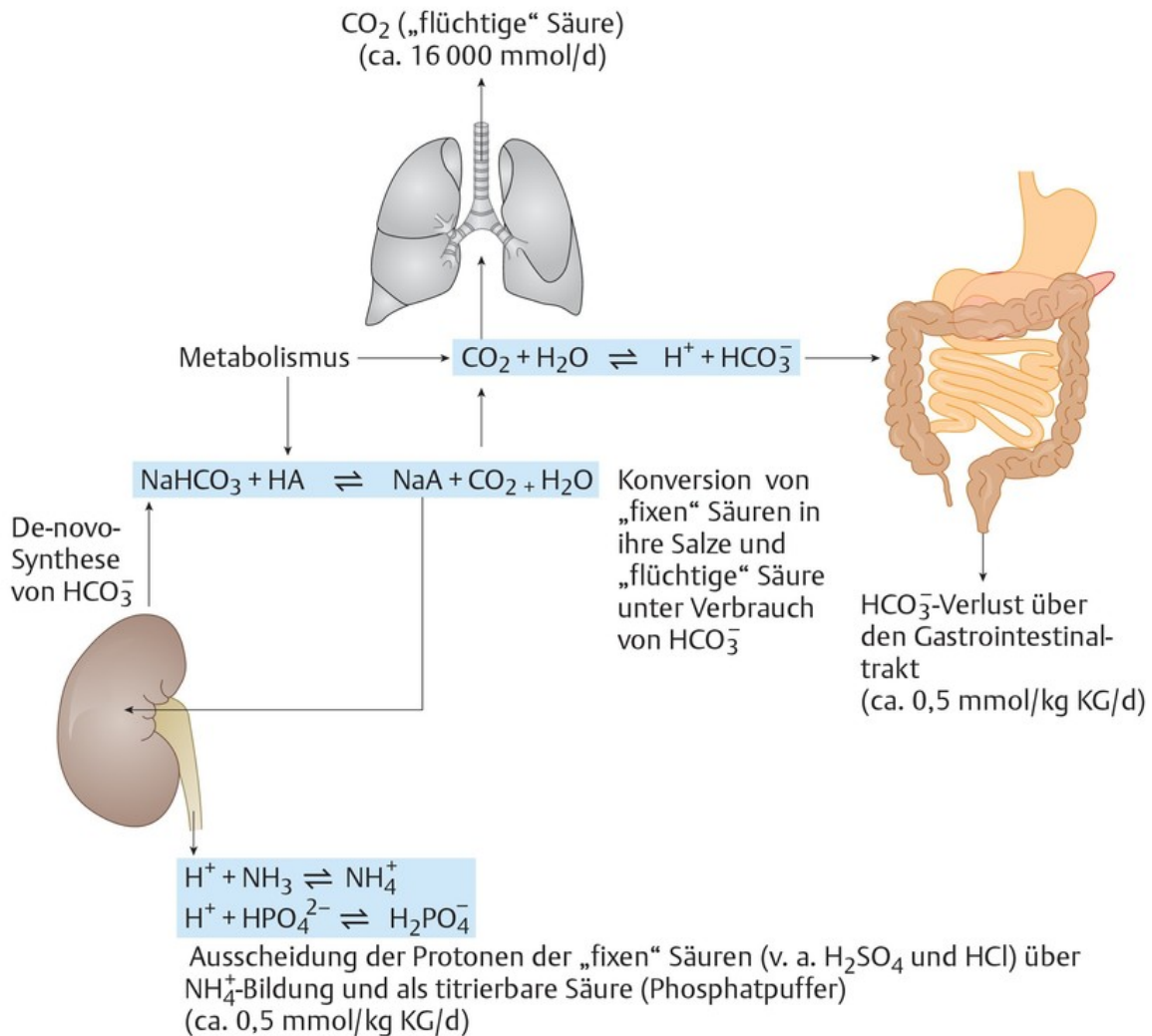
# Regulation durch die Niere

- Die wesentlichen Prozesse sind:
- Produktion und Ausscheidung von  $\text{NH}_4^+$  (siehe Ammoniumpuffer)
- Sekretion von  $\text{H}^+$
- Reabsorption von  $\text{HCO}_3^-$
- **De-novo-Synthese** von  $\text{HCO}_3^-$  (Siehe Ammonium Puffersystem)
- Findet im **proximalen Tubulus** statt

# Regulation durch die Leber

- Eine wichtige Funktion ist die **Entgiftung von Ammoniak**
- Kann über zwei Wege erfolgen:
- Bildung von Harnstoff im **Harnstoffzyklus** (95%)
  - Es wird  $\text{HCO}_3^-$  verbraucht
- Umwandlung von **Glutamat** in **Glutamin** (5%)
  - Ist an  $\text{NH}_4^+$  gekoppelt, also **unabhängig von  $\text{HCO}_3^-$**
  - Glutamin wird in der Niere aufgenommen und zu  $\text{NH}_4^+$  und  $\text{HCO}_3^-$  metabolisiert

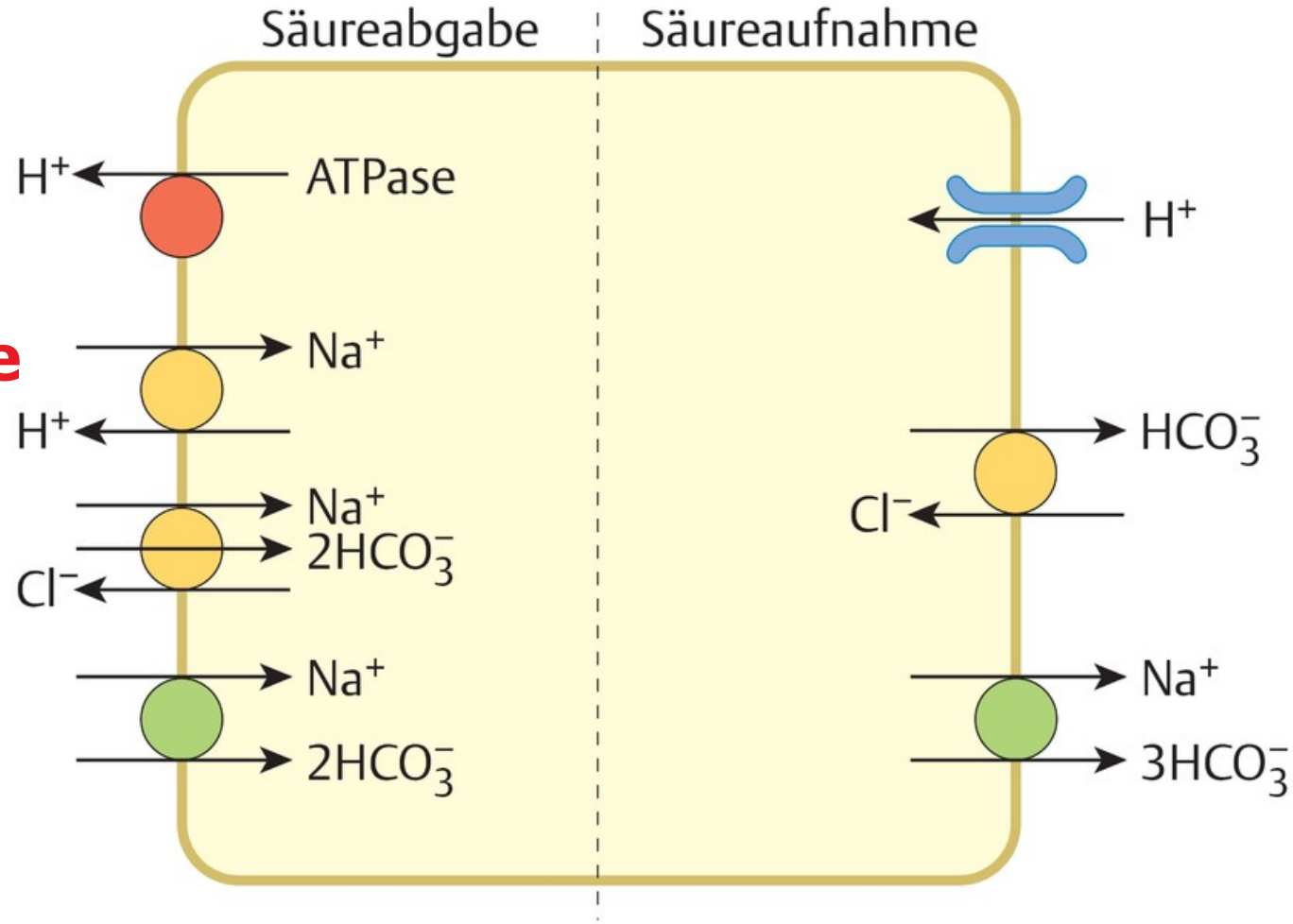
# Regulation des Säure- Basen- Haushalts



# Intrazelluläre Regulation

- Intrazellulärer pH-Wert liegt bei **7,2**
- Also etwas saurer als der Plasmawert (**7,4**)
- Durch **negatives Membranpotential** (Ruhepotential) strömen  $\text{H}^+$ -Ionen in die Zelle
- Die Zelle muss diese wieder ausschleusen:
  - $\text{Na}^+/\text{H}^+$ -Austauscher
  - $\text{Na}^+/\text{HCO}_3^-$  Kotransporter
  - ATP-getriebene  $\text{H}^+$ -Pumpen

# Intrazelluläre Regulation



# Störungen des Säure-Base-Haushalts

- Azidose (pH-Wert  $< 7,36$ )
- Alkalose (pH-Wert  $> 7,44$ )
- Man unterscheidet **respiratorische** und **metabolische** Ursachen

# Störungen des Säure-Basen-Haushalts

Störung	nicht kompensiert (initiale Antwort der Messparameter)	kompensiert (Steady-state- Antwort der Messparameter)	primäre Ursache	als Folge von
<b>respiratorische</b> <u><b>Azidose</b></u>	pH: ↓ pCO <sub>2</sub> : ↑ BE: normal	pH: normal/↓ pCO <sub>2</sub> : ↑ BE: positiv	Hypoventilation	verminderter alveolärer Ventilation, reduzierter Diffusionskapazität, Ventilations-Perfusions-Störung
<b>respiratorische</b> <u><b>Alkalose</b></u>	pH: ↑ pCO <sub>2</sub> : ↓ BE: normal	pH: normal/↑ pCO <sub>2</sub> : ↓ BE: negativ	<u>Hyperventilation</u>	Hypoxie, <u>Angst</u>
<b>nichtrespiratorische</b> <u><b>Azidose</b></u>	pH: ↓ pCO <sub>2</sub> : normal BE: negativ	pH: normal/↓ pCO <sub>2</sub> : ↓ BE: negativ	vermehrter Anfall von Säuren (außer CO <sub>2</sub> bzw. H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ), Verlust von Basen	<u>Azidose</u> (Laktatazidose, z. B. bei schwerer Muskelarbeit oder <u>Schock</u> ; <u>Ketoazidose</u> , z. B. bei <u>Diabetes mellitus</u> ), <u>Niereninsuffizienz</u> , <u>Diarrhö</u>
<b>nichtrespiratorische</b> <u><b>Alkalose</b></u>	pH: ↑ pCO <sub>2</sub> : normal BE: positiv	pH: normal/↑ pCO <sub>2</sub> : ↑ BE: positiv	Verlust von Säuren (außer CO <sub>2</sub> bzw. H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ), vermehrter Anfall von Basen	<u>Erbrechen</u> , fehlerhafter Therapie, vegane Ernährung

BE = Basenexzess

# Beispiel Hyperventilation

- Stimulation des Atemzentrums
- Stetig **sinkende**  $p\text{CO}_2$
- Dadurch verminderte Bildung von  $\text{H}_2\text{CO}_3$
- Es Folgt eine Verminderung von  $\text{H}^+$  und  $\text{HCO}_3^-$
- **Plasmaproteine** setzen nun  $\text{H}^+$  frei
- Plasmaproteine binden nun  $\text{Ca}^{2+}$  statt  $\text{H}^+$
- **Relative Hypokalziämie** führt zu Übererregbarkeit der Zellen:
  - Parästhesien
  - Muskelkrämpfe (Tetanie)





**Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!**

Alle Abbildungen: Duale Reihe: Physiologie, Georg Thieme Verlag