

Elektrolytstörungen



Christopher Rugg

ANÄSTHESIE FORUM



ALPBACH

**REPETITORIUM**

# Gliederung



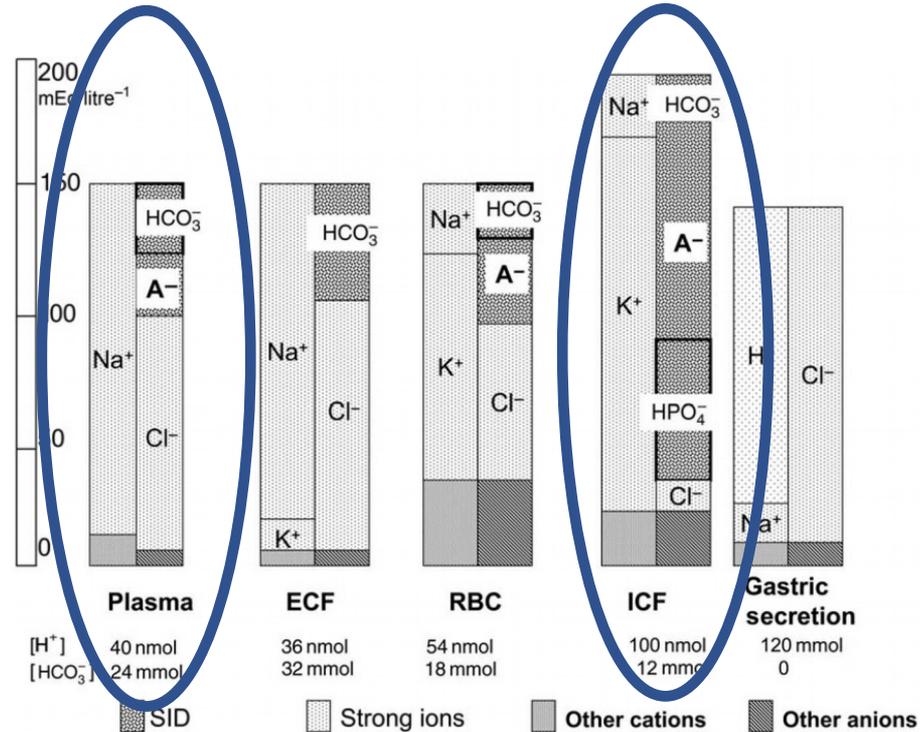
- Einleitung
  - Warum sind sie wichtig?
  - Elektrolytzusammensetzung intra- vs. extrazellulär
- Elektrolytstörungen der überwiegend extrazellulären Elektrolyte
  - Natrium
  - Chlorid
  - Calcium
- Elektrolytstörungen der überwiegend intrazellulären Elektrolyte
  - Kalium
  - Phosphat
  - Magnesium

# Einleitung



- Chirurgische Patienten erleiden oft eine großen Flüssigkeits-shift im OP und postoperative
- Patienten bringen Vorerkrankungen und v.a. Dauermedikationen mit
- Akut oder chronisches Nierenversagen häufig
- Chirurgische Patienten werden sediert, müssen Nüchternheit einhalten und erhalten i.v. Flüssigkeiten
- Besondere Erkrankungen aggravierern zusätzlich Flüssigkeits- und Elektrolyt-shift (z.B. Ileus)

# Einleitung



**Fig. 3** Gamblegrams of ionic composition of body fluids.

# Einleitung



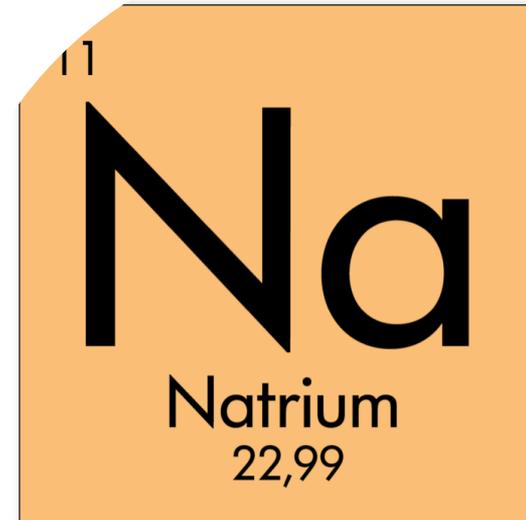
|                                             | Plasma<br>[mmol/l] | Interstitiell<br>[mmol/l] | Intrazellulär<br>[mmol/l] |
|---------------------------------------------|--------------------|---------------------------|---------------------------|
| <b>Kationen</b>                             |                    |                           |                           |
| Natrium (Na <sup>+</sup> )                  | 135 – 147          | 143                       | 5 – 20                    |
| Kalium (K <sup>+</sup> )                    | 3,5 – 5,5          | 4                         | 110 – 150                 |
| Kalzium (Ca <sup>++</sup> )                 | 2,25 – 2,65        | 2,3                       | 1                         |
| Kalzium ionisiert                           | 1,10 – 1,30        |                           | <0,001*                   |
| Magnesium (Mg <sup>++</sup> )               | 0,75 – 1,05        | 0,7                       | 10 – 15 (1,6*)            |
| <b>Anionen</b>                              |                    |                           |                           |
| Chlorid                                     | 95 – 113           | 115                       | 4                         |
| Bikarbonat (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) | 22 – 26            | 28                        | 15                        |
| Phosphat (HPO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )  | 0,84 – 1,45        | 1                         | 60                        |
| Sulfat (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )     | 0,5                | 0,5                       | 5 – 10                    |
| Proteine [mval/l]                           | 12 – 16            | 0,4                       | 54 – 63                   |
| Volumen [l]                                 | 3                  | 11                        | 28                        |

\* freies Kalzium und Magnesium (Ionenaktivitäten)

# Extrazelluläre Elektrolyte - Natrium



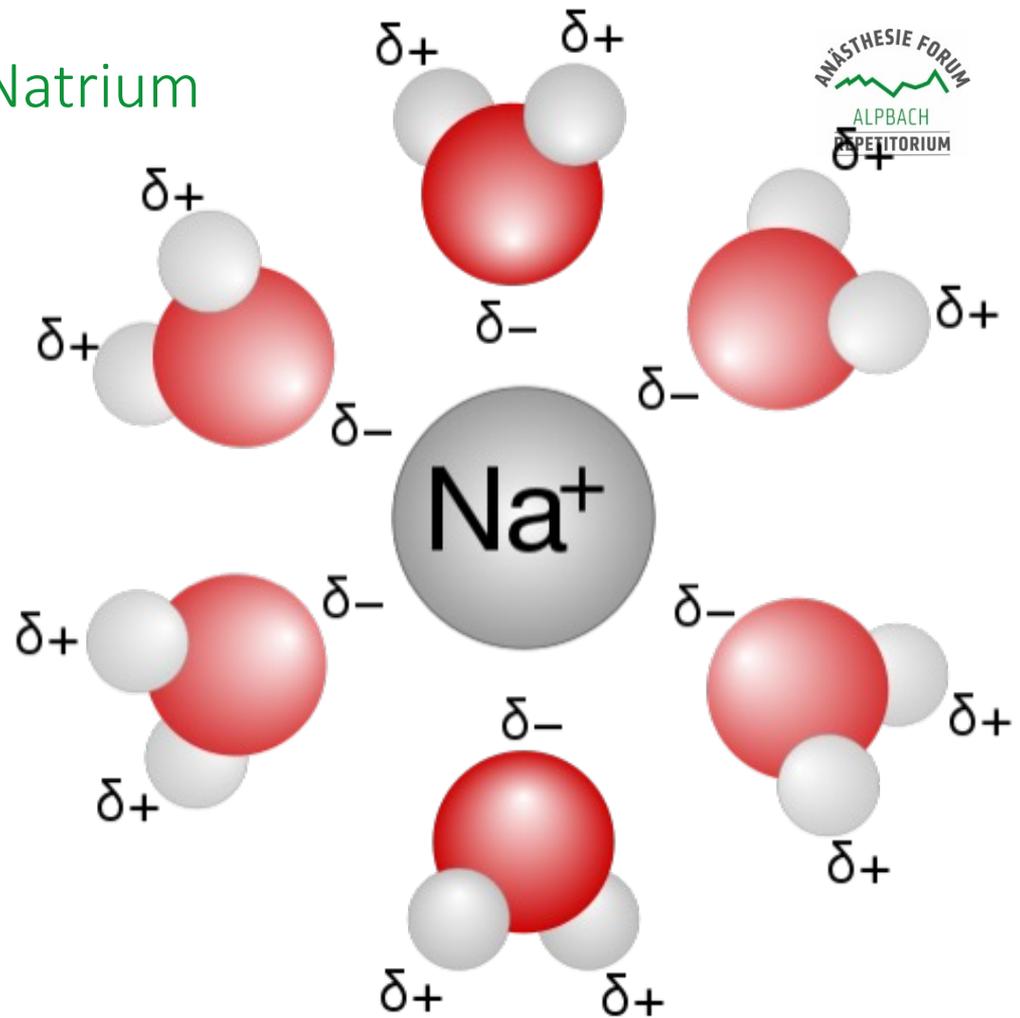
- Haupt-Kation im EZR (>90%)
- ~10-fach höhere Konzentration im Plasma als intrazellulär
- Gradient für Aktionspotential, Stoffaustausch etc.
- Hauptbestandteil der Plasmaosmolalität



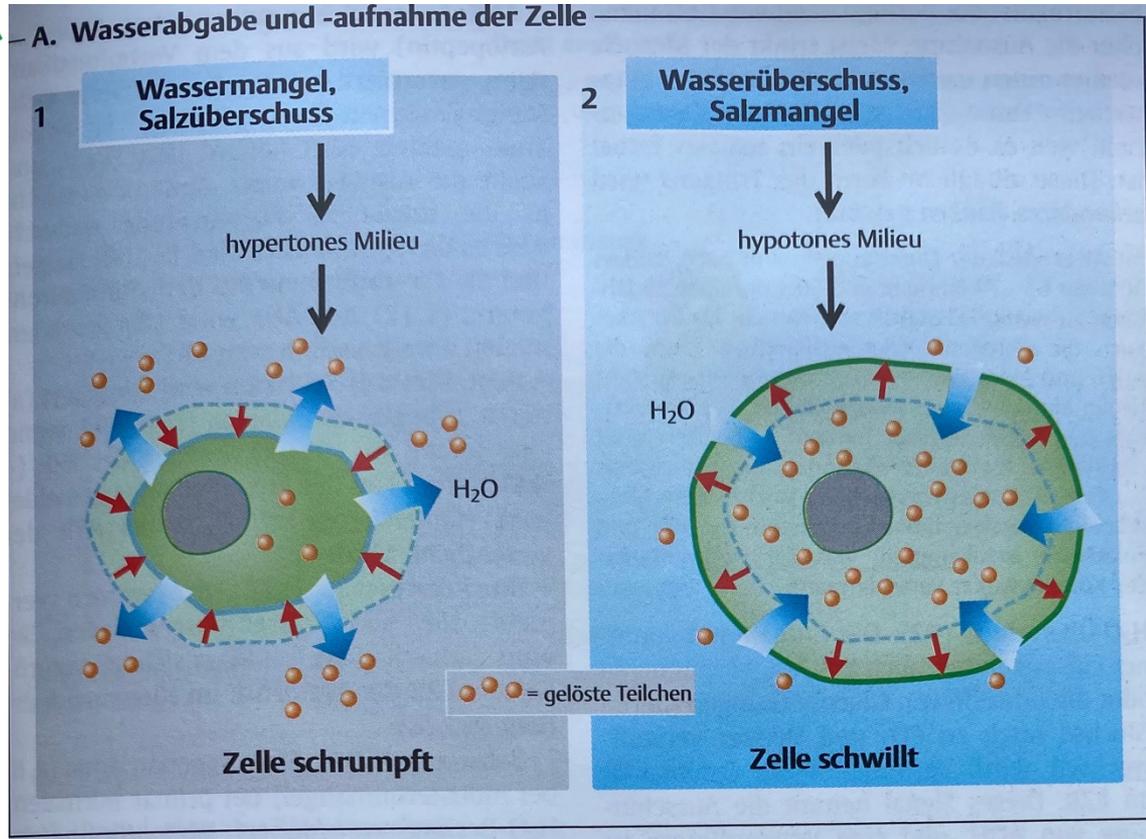
# Extrazelluläre Elektrolyte - Natrium



- Maßgeblich am Wasserhaushalt beteiligt
- Hydrathülle umgibt Natrium (und auch andere Elektrolyte)



# Extrazelluläre Elektrolyte - Natrium



# Extrazelluläre Elektrolyte - Natrium

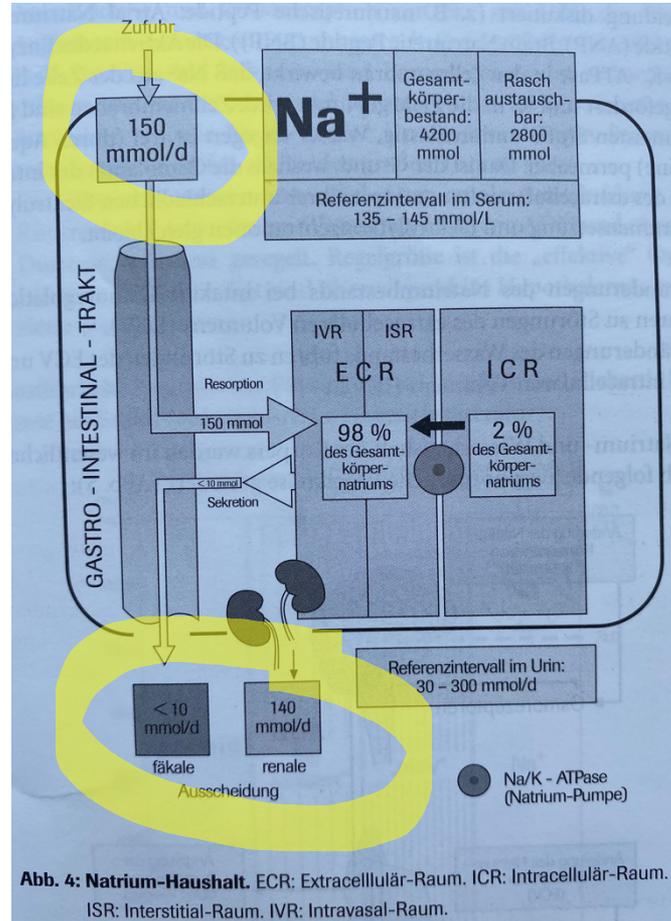


Abb. 4: Natrium-Haushalt. ECR: Extracellulär-Raum. ICR: Intracellulär-Raum. IVR: Intravasulär-Raum. ISR: Interstitiell-Raum.

# Extrazelluläre Elektrolyte - Natrium



## Hormonelle Regelung Natrium

- Osmolalität  $\uparrow$  :
  - ADH  $\uparrow$  -> H<sub>2</sub>O-Ausscheidung  $\downarrow$
  - Durstgefühl  $\uparrow$
- Osmolalität  $\downarrow$  :
  - Salzhunger  $\uparrow$
  - ADH  $\downarrow$
- Extrazellularvolumen  $\uparrow$  :
  - ANP  $\uparrow$  -> Na- und H<sub>2</sub>O-Ausscheidung  $\uparrow$
- Extrazellularvolumen  $\downarrow$  :
  - RAAS  $\uparrow$
  - Aldosteron  $\uparrow$  -> Na- und H<sub>2</sub>O-Ausscheidung  $\downarrow$
  - Angiotenin II  $\uparrow$  -> ADH  $\uparrow$

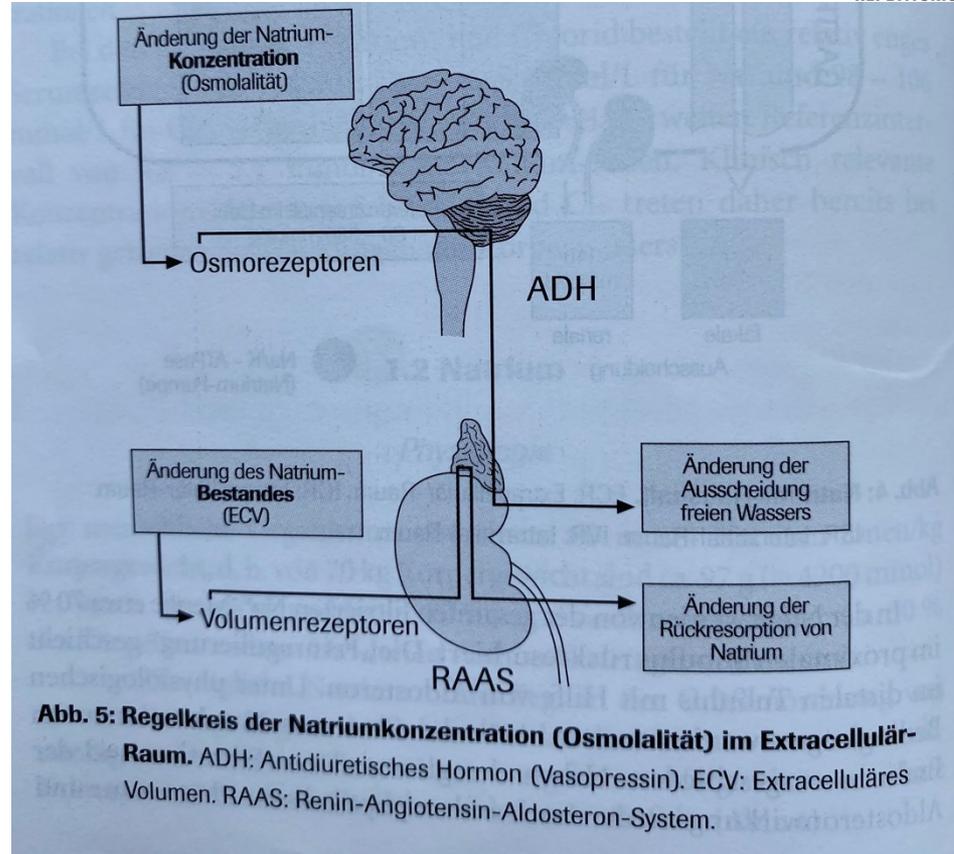


Abb. 5: Regelkreis der Natriumkonzentration (Osmolalität) im Extrazellulär-Raum. ADH: Antidiuretisches Hormon (Vasopressin). ECV: Extrazelluläres Volumen. RAAS: Renin-Angiotensin-Aldosteron-System.

# Extrazelluläre Elektrolyte - Natrium



Normonatriämie = Balance zwischen  
Natrium und Wasserhaushalt

Hypo- oder Hypernatriämie = Dysbalance zwischen  
Natrium- und Wasserhaushalt

# Extrazelluläre Elektrolyte - Natrium



## Hyponatriämie

= *Mangel an Natrium oder  
Überschuss an Wasser*

- $[Na] < 135\text{mmol/l}$
- Symptome:
  - v.a. zerebral wegen Hirndruck (verwirrt bis Koma)
- $< 120\text{mmol/l}$  = lebensbedrohlich
- Therapie:
  - Salz rein: NaCl 0.9% - 3 (5)%
  - Wasser raus: H<sub>2</sub>O-Restriktion, Diuretika
- CAVE: Pontine Myelinolyse bei zu rascher Korrektur ( $> 8\text{mmol/l/24h}$ )

## Zu viel Wasser:

- akutes/chronisches Nierenversagen, Herzinsuffizienz, Leberzirrhose -> Ödeme als Zeichen der Hypervolämie
- SIADH – Symptom der inadäquaten ADH Ausschüttung (Stress, Schmerzen, Tumore, posttraumatisch, Meningitis, Medikamente: NSAR, Chemotherapeutika, Antiepileptika)
- Polydipsie (psychogen, Bier, Tee), TUR-Syndrom
- Therapie: Wasserrestriktion +- Diuretika (Lasix),

# Extrazelluläre Elektrolyte - Natrium



## Hyponatriämie

= *Mangel an Natrium oder  
Überschuss an Wasser*

- $[Na] < 135\text{mmol/l}$
- Symptome:
  - v.a. zerebral wegen Hirndruck (verwirrt bis Koma)
- $< 120\text{mmol/l}$  = lebensbedrohlich
- Therapie:
  - Salz rein: NaCl 0.9% - 3 (5)%
  - Wasser raus: H<sub>2</sub>O-Restriktion, Diuretika
- CAVE: Pontine Myelinolyse bei zu rascher Korrektur ( $> 8\text{mmol/l/24h}$ )

## Zu wenig Salz:

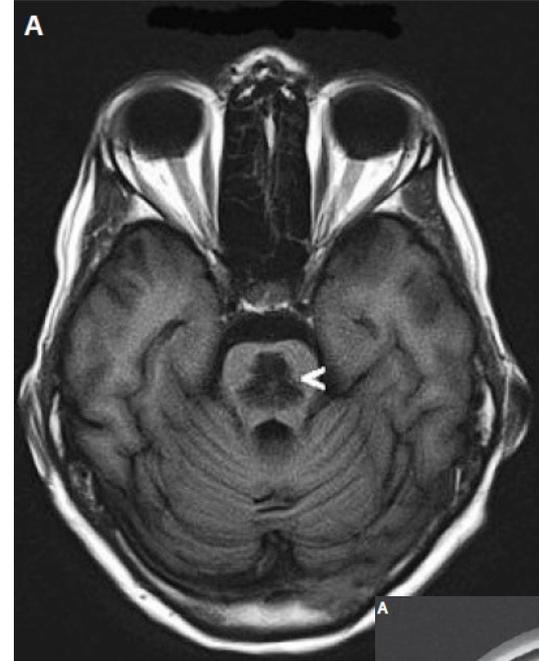
- Renale Salzverluste:
  - Diuretika (Aldactone, HCT)
  - Hypoaldosteronismus
  - Salzverlustsyndrom (Cerebral Salt Waste Syndrome)
- Extrarenale Salzverluste:
  - Erbrechen, Diarrhoe, Pankreatitis
- Klinisch: Exsiccose
- Therapie: NaCl 0.9% (3-5%)

# Extrazelluläre Elektrolyte - Natrium



## Pontine Myelinolyse

- Zu schnelle Korrektur der Hyponatriämie ( $> 9-12-15$  mmol/l/d) akute zerebrale Dehydratation → Endothelzellschrumpfung → osmotische Öffnung der Blut-Hirnschranke → vasogenes Ödem → Kompression von Faserbahnen → Myelinolyse
- Nach 24-48h: Bewegungsstörungen  
spastische Tetraplegie, Dysphagie, Dysarthrie, Bewusstseinsstörung, Krämpfe, Koma → Tod
- Keine spezifische Therapie verfügbar  
langwierige Verläufe, meistens weitgehende Erholung mit bleibenden neurologischen Defiziten (aber auch komplette Erholung möglich)



# Extrazelluläre Elektrolyte - Natrium



## Hypernatriämie

= *Mangel an Wasser oder  
Überschuss an Natrium*

- $[Na] > 145\text{mmol/l}$
- Symptome:
  - V.a. zerebral: Unruhe/  
Koma/Krämpfe/Blutung
- Therapie:
  - Wasser rein: Glu 5%, Tee
  - Salz raus: Diuretika (HCT,  
Aldactone)
- CAVE: Hirnödem bei zu rascher  
Korrektur ( $> 10\text{mmol/l/24h}$ )

## Zu wenig Wasser:

- Renale Wasserverluste:
  - Diuretika (Osmodiurese, Lasix)
  - Hyperaldosteronismus (Conn-Syndrom)
  - Diabetes insipidus = fehlendes ADH (-Wirkung)
- Extrarenale Wasserverluste:
  - Diarrhoe, Schwitzen, Fieber, Hyperventilation
- Zu wenig (freies) Wasser (Trinkwasser)
- Klinisch: Exsiccose
- Therapie:
  - freies Wasser (Tee, Glu 5%)
  - Minirin bei Diabetes insipidus

# Extrazelluläre Elektrolyte - Natrium



## Hypernatriämie

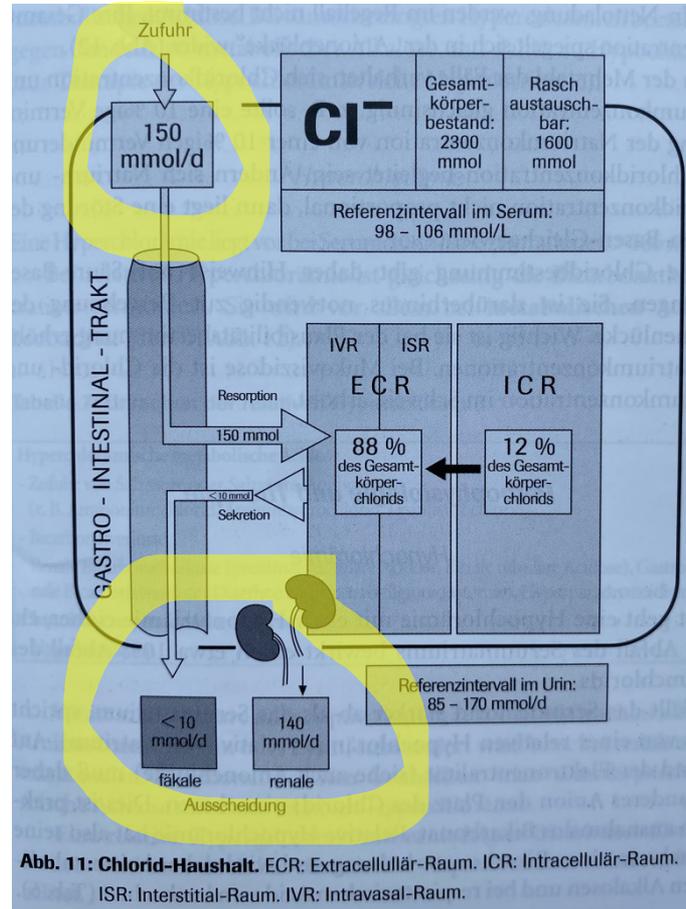
= *Mangel an Wasser oder  
Überschuss an Natrium*

- $[Na] > 145\text{mmol/l}$
- Symptome:
  - V.a. zerebral: Unruhe/  
Koma/Krämpfe/Blutung
- Therapie:
  - Wasser rein: Glu 5%, Tee
  - Salz raus: Diuretika (HCT, Aldactone)
- CAVE: Hirnödem bei zu rascher Korrektur ( $> 10\text{mmol/l/24h}$ )

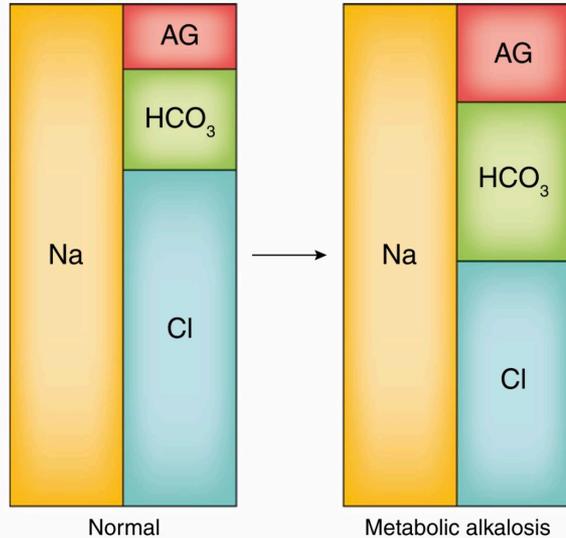
## Zu viel Salz:

- Exzessiver Natriumbestand:
  - V.a. iatrogen: hoher Natriumgehalt in Infusionen und Medikamente (Antibiose, Perfusoren, NaBic)
- Klinisch: Ödeme
- Therapie:
  - freies Wasser (Tee, Glu 5%)
  - Diuretika (HCT, Aldactone, CAVE bei Lasix)

# Extrazelluläre Elektrolyte - Chlorid



# Extrazelluläre Elektrolyte - Chlorid

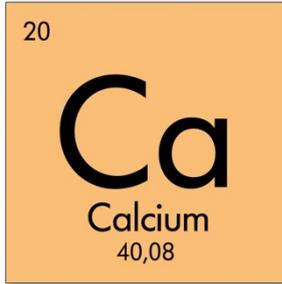


**Figure 2. | The three major serum electrolytes in a normal patient and a patient with metabolic alkalosis, visualized using a Gamblegram.**

Note, when the HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> concentration increases and the anion gap also increases slightly (this occurs with most forms of metabolic alkalosis), then the [Cl<sup>-</sup>] must fall and the Cl:Na ratio must fall below its normal 1:1.4 ratio.

- Chlorid ist das wesentliche Begleit-Ion der Natrium-Ionen!
- Normale Differenz: Na<sup>+</sup> - Cl<sup>-</sup> = 35-40mmol/l
- → steigt Na<sup>+</sup>, steigt auch Cl<sup>-</sup>  
→ sinkt Na<sup>+</sup>, sinkt auch Cl<sup>-</sup>
- Ansonsten muss HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> oder AG sich verändern (elektroneutralität)

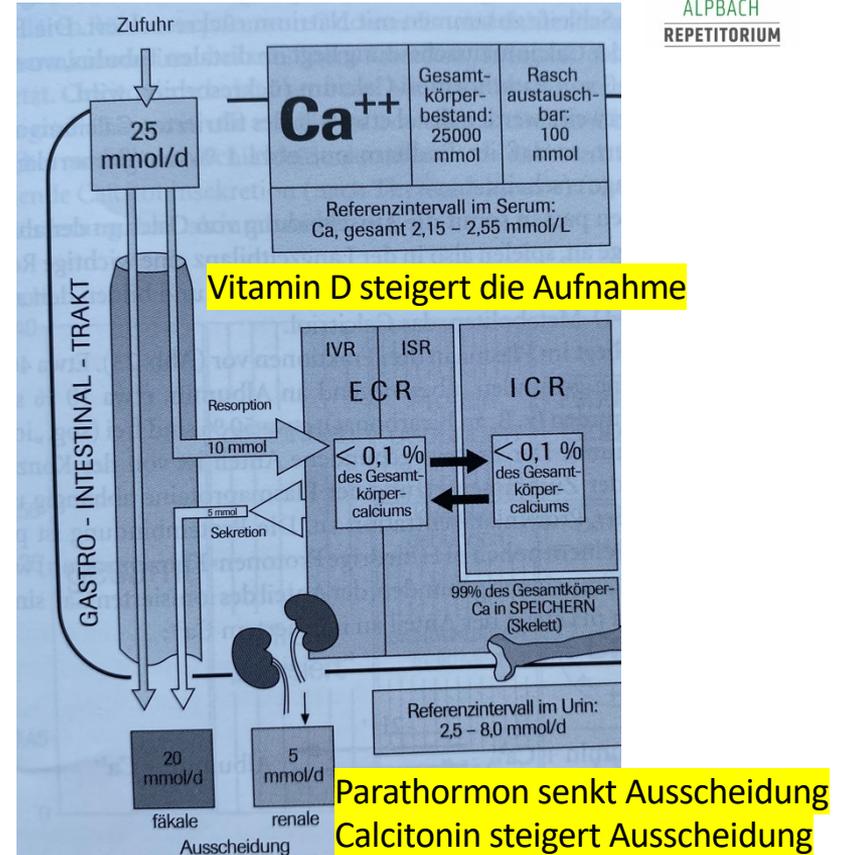
# Extrazelluläre Elektrolyte - Calcium



# Extrazelluläre Elektrolyte - Calcium

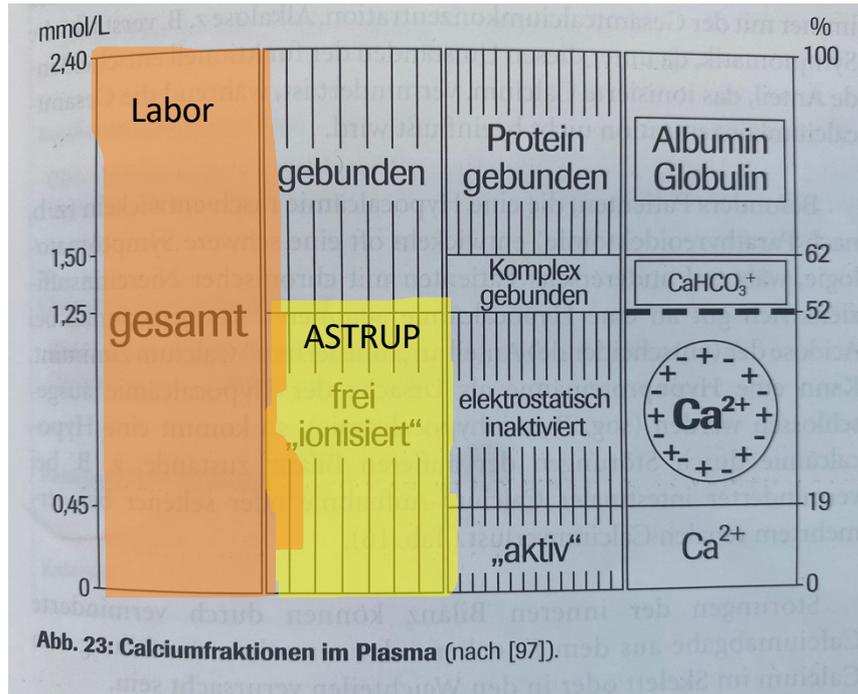


- > 1kg Gesamtbestand beim Erwachsenen
- 99% im Knochen
- 50% gebunden (Protein, Komplex)  
(Gesamt-Ca<sup>2+</sup> vs. ionisiertes Ca<sup>2+</sup>)
- Ca<sup>2+</sup> elementar für Muskelkontraktion,  
Nervenleitung, Blutgerinnung
- Calciumhaushalt: Vitamin D, Parathormon,  
Calcitonin

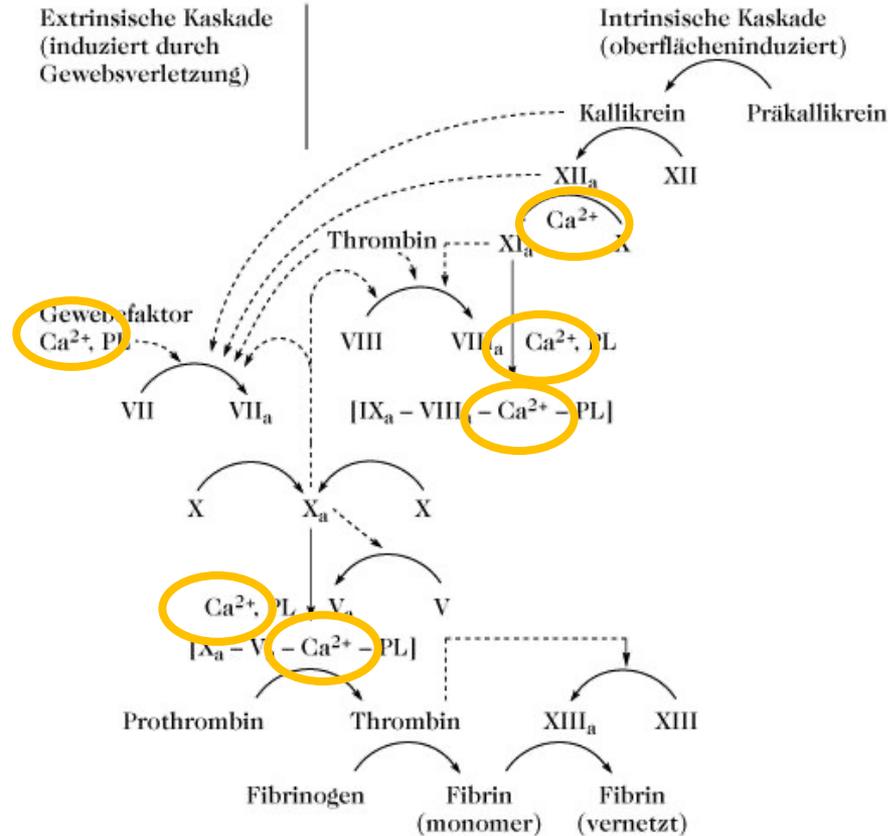


bb. 22: Calcium-Haushalt. ECR: Extracellulär-Raum. ICR: Intracellulär-Raum. ISR: Interstitial-Raum. IVR: Intravasal-Raum.

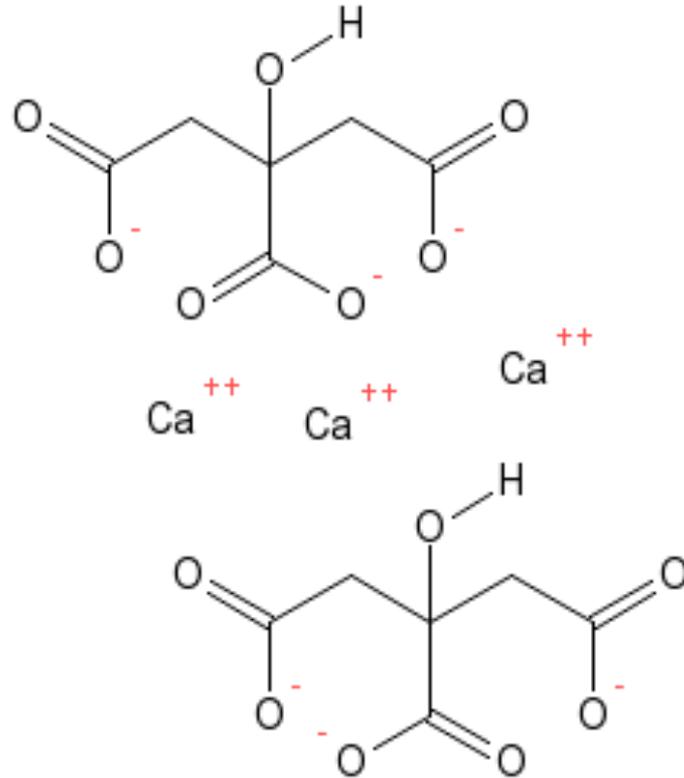
# Extrazelluläre Elektrolyte - Calcium



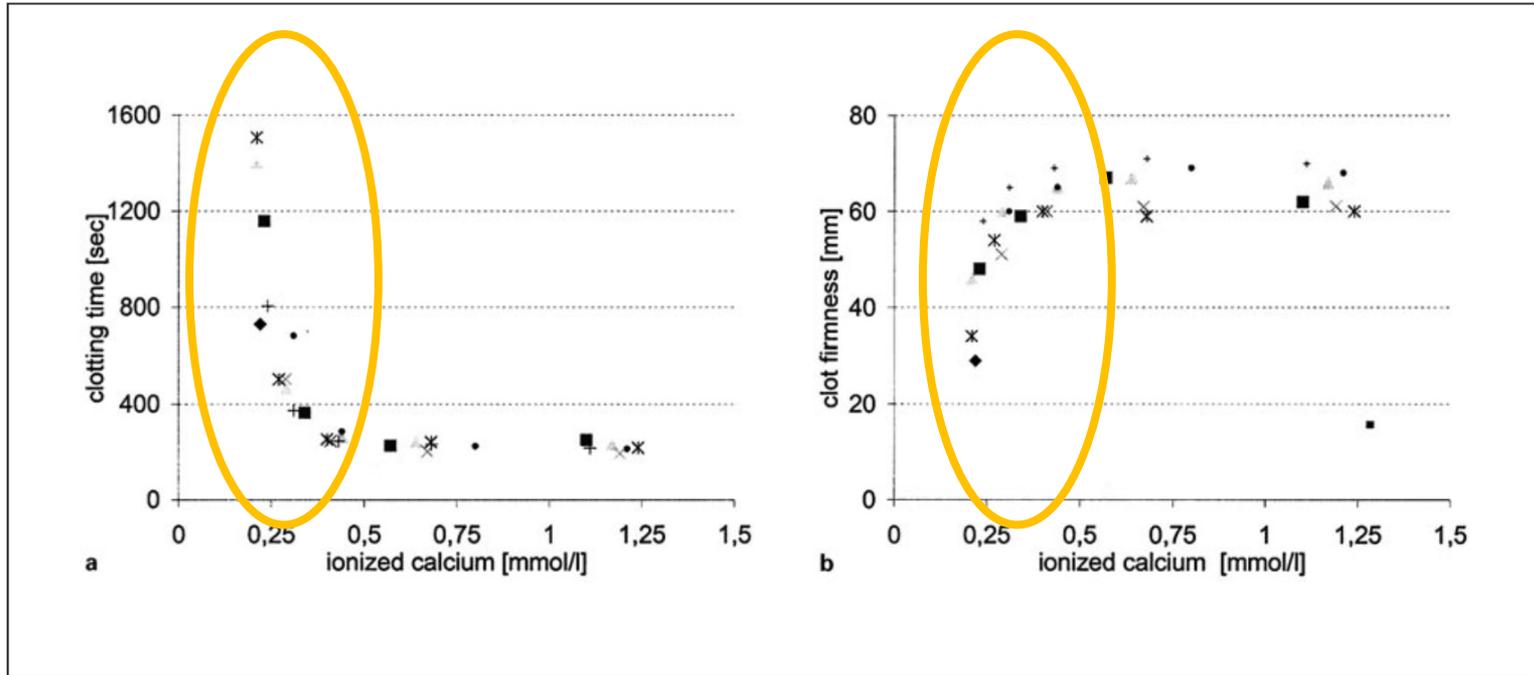
# Extrazelluläre Elektrolyte - Calcium



# Extrazelluläre Elektrolyte - Calcium



# Extrazelluläre Elektrolyte - Calcium

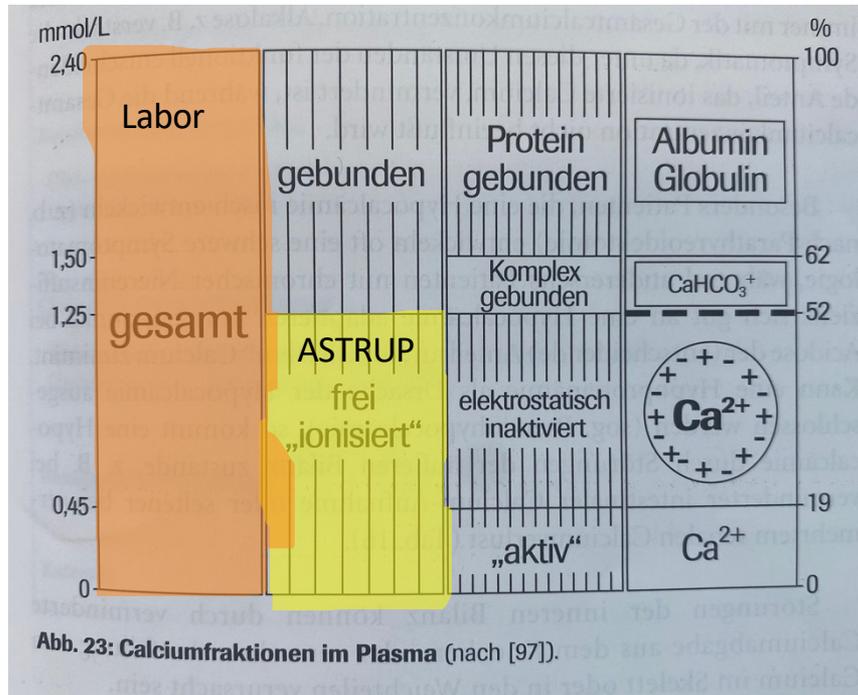


**Fig. 4.** Correlation of clotting time (a) and clot firmness (b) with ionized calcium. Coagulation triggered by contact activation (addition of kaolin to non-anticoagulated whole blood).

# Extrazelluläre Elektrolyte - Calcium



Gesamt- $\text{Ca}^{2+}$  zu freiem  $\text{Ca}^{2+}$  > 2,5  $\rightarrow$  v.a. Citratakkumulation



# Extrazelluläre Elektrolyte - Calcium



## Hypocalciämie

- $[Ca^{2+}]$  gesamt  $< 2,15$  mmol/l
- $[Ca^{2+}]$  frei  $< 1,13$  mmol/l
- Symptome:
  - Latente oder manifeste Tetanie
  - Apathie/ Krämpfe
  - Knochenmineralisationsstrg.
- Therapie:
  - Calciumglukonat 10% i.v.
  - Vitamin D
- CAVE: Pseudohypocalciämie bei hypoproteinämie (0,02mmol/l pro 1g/l Albumin; Blick auf ionisiertes)
- Wenig Zufuhr: Mangelernährung (Anorexie, Alkoholismus)
- Wenig Resorption: Vitamin-D-Mangel (Niereninsuffizienz)
- Viel Ausfuhr: Diuretika (Lasix)
- Viel Knocheneinbau: Hypoparathyroidismus
- Calciumablagerung im Gewebe: Pankreatitis, Verbrennung
- Therapie: Vitamin D, Calciumzufuhr, (HCT)

# Extrazelluläre Elektrolyte - Calcium



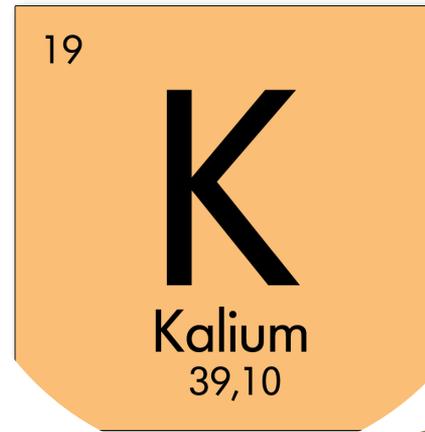
## Hypercalciämie

- $[Ca^{2+}]$  gesamt  $> 2,55$  mmol/l
  - $[Ca^{2+}]$  frei  $> 1,32$  mmol/l
  - Symptome:
    - Verwirrtheit/ Koma
    - Erbrechen, Pankreatitis
    - Hypertonie
    - Polyurie, Nephropathie
  - Therapie:
    - Lasix
    - NaCl 0,9%
- Viel Resorption: zu viel Vitamin D
  - Wenig Ausscheidung: M. Addison, Thiazide
  - Viel Knochenfreisetzung: Hyperparathyroidismus, Knochtumore, Metastasen, Hyperthyreose, Vitamin A
  - Therapie: Kochsalz + Lasix, Bisphosphonate (Knocheneinbau), Calcitonin, Dialyse

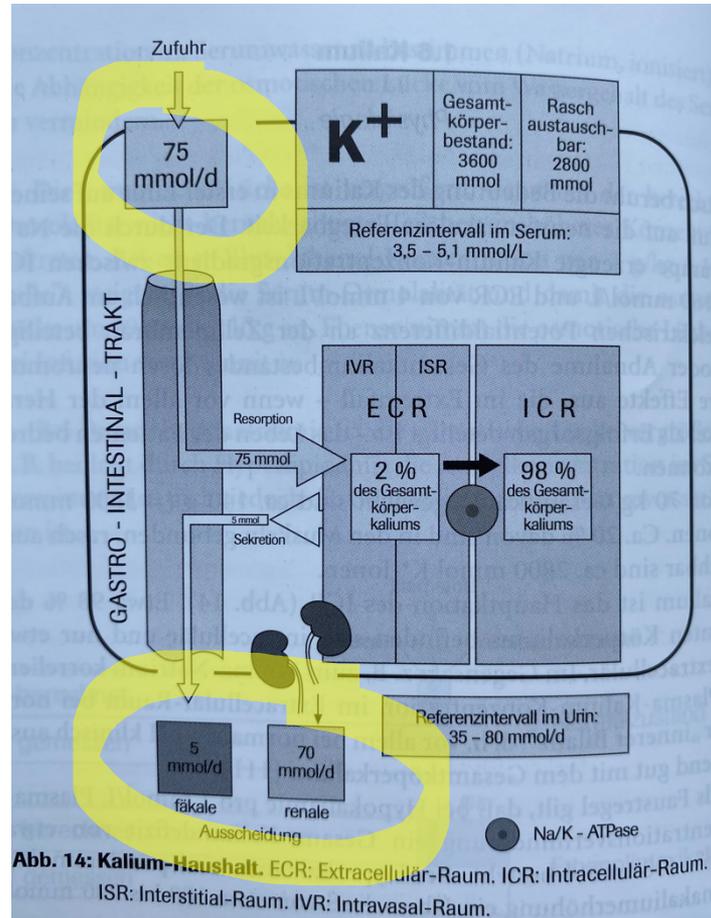
# Intrazelluläre Elektrolyte - Kalium



- Haupt-Kation im IZR (>90%)
- ~20-30-fach höhere Konzentration intrazellulär als im Plasma
- Hauptakteur des Zellmembran-Potentials
- Beeinflußt neuromuskuläre Erregbarkeit
- Hauptbestandteil der intrazellulären Osmolalität



# Intrazelluläre Elektrolyte - Kalium





# Intrazelluläre Elektrolyte - Kalium



Normokaliämie = Balance zwischen intra- und extrazellulärem Kalium und Zufuhr/Ausscheidung

Hypo- oder Hyperkaliämie = Shift zwischen intra- und extrazellulär oder Problem in Zufuhr/Ausscheidung

# Intrazelluläre Elektrolyte - Kalium



## Hypokaliämie

= intrazellulärer Shift oder negative Kalium-Bilanz

- $[K] < 3,5 \text{ mmol/l}$
- Symptome:
  - v.a. muskulär: Schwäche/  
Lähmung/Darmatonie
  - Kardial: Tachyarrhythmien  
EKG: flache T-Wellen, U-  
Wellen, QT Verlängerungen
- Therapie:
  - Kaliumzufuhr  
(max. 20-40mmol/h)
  - Grundproblem?

## Negative Kalium-Bilanz:

- Wenig Zufuhr: kaliumarme Ernährung, Resorptionsstörung (Resonium)
- Viel Ausscheidung: Diarrhoe, Diuretika (Lasix), Hyperaldosternosimus (auch Cushing, Nierenarterienstenose)
- Therapie:
  - Kaliumzufuhr: Kalioral 1Beutel = 40mmol, i.v.-Therapie (CAVE: Phlebitis, peripher  $< 20 \text{ mmol/l}$ )
  - 100mmol Kalium erhöhen Kalium um 1mmol/l

# Intrazelluläre Elektrolyte - Kalium



## Hypokaliämie

= intrazellulärer Shift oder negative Kalium-Bilanz

- $[K] < 3,5 \text{ mmol/l}$
- Symptome:
  - v.a. muskulär: Schwäche/ Lähmung/Darmatonie
  - Kardial: Tachyarrhythmien  
EKG: flache T-Wellen, U-Wellen, QT Verlängerungen
- Therapie:
  - Kaliumzufuhr  
(max. 20-40mmol/h)
  - Grundproblem?

## Intrazellulärer Shift:

- Metabolische Alkalose
- Insulin (Refeeding)
- Beta-Mimetika (Suprarenin, Bricanyl, Salbutamol)
  
- Therapie:
  - Initial: Kaliumzufuhr
  - Korrektur der Alkalose
  - Laufende Therapien?
  - Betablocker?, Azidose?

# Intrazelluläre Elektrolyte - Kalium



## Hyperkaliämie

= extrazellulärer Shift oder positive Kalium-Bilanz

- $[K] > 5,0 \text{ mmol/l}$
- Symptome:
  - v.a. muskulär: Schwäche/Lähmung/Darmatonie
  - Kardial: Bradykardie/AsystolieEKG: spitze T-Wellen
- Therapie:
  - Zufuhr stoppen, Medis?
  - Insulin-Glucose, Lasix, NaBic, Calcium, Beta-Mimetika
  - Hämodialyse

## Positive Kalium-Bilanz:

- Viel Zufuhr: Infusionen, Medikamente, Nahrung
- Wenig Ausscheidung: Niereninsuffizienz, Hypoaldosteronismus, ACE-Hemmer, K-sparende Diuretika, Betablocker
- Therapie:
  - Zufuhr stoppen, Ausscheidung forcieren (Lasix). Medis absetzen
  - Kalium nach intrazellulär shiften (Insulin-Glucose, NaBic, Beta-Mimetika)
  - Calcium schützt v.a. vor kardialen Nebenwirkungen
  - Hämodialyse

# Intrazelluläre Elektrolyte - Kalium



## Hyperkaliämie

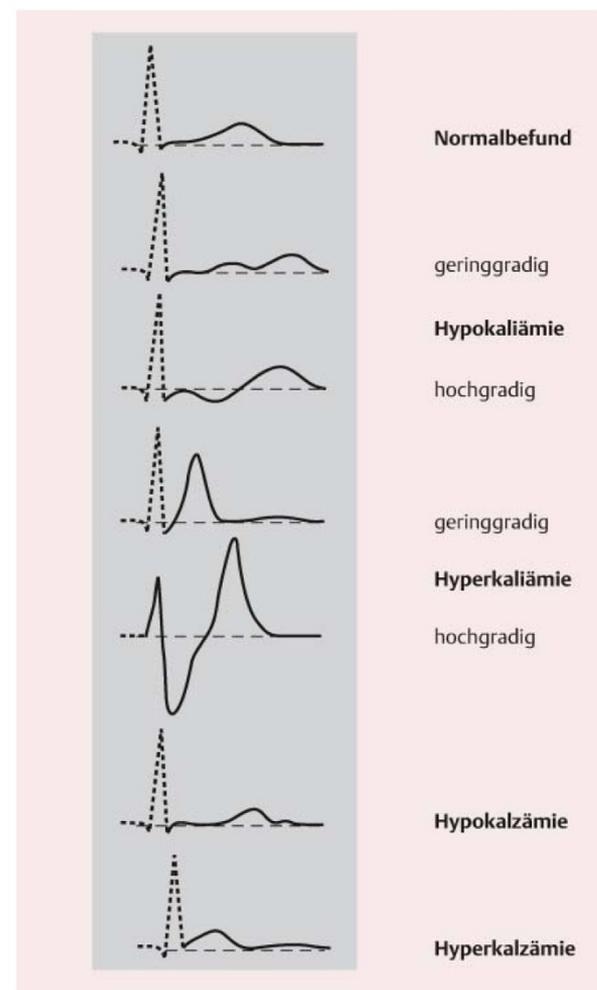
= extrazellulärer Shift oder positive Kalium-Bilanz

- $[K] > 5,0 \text{ mmol/l}$
- Symptome:
  - v.a. muskulär: Schwäche/Lähmung/Darmatonie
  - Kardial: Bradykardie/Asystolie  
EKG: spitze T-Wellen
- Therapie:
  - Zufuhr stoppen, Medis?
  - Insulin-Glucose, Lasix, NaBic, Calcium, Beta-Mimetika
  - Hämodialyse

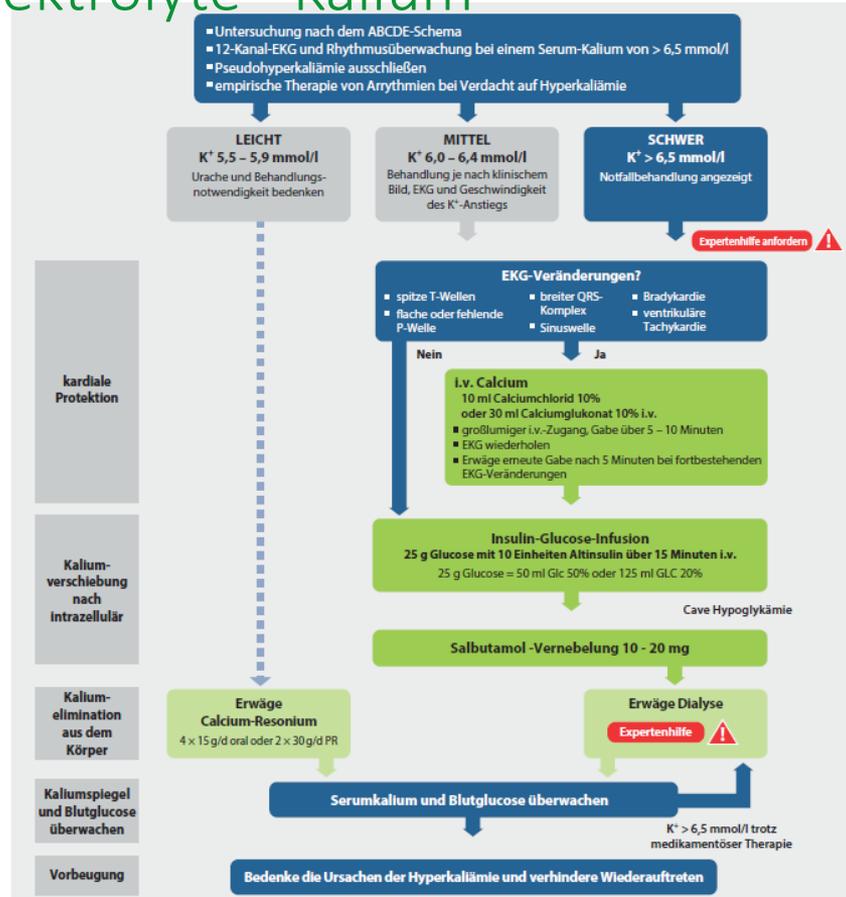
## Extrazellulärer Shift:

- Azidose
- Zellzerfall (Rhabdomyolyse, Tumor-Lyse, Hämolyse, Verbrennung)
- Maligne Hyperthermie
- Succinylcholin
  
- Therapie:
  - Kalium nach intrazellulär shiften (Insulin-Glucose, NaBic, Beta-Mimetika)
  - Calcium schützt v.a. vor kardialen Nebenwirkungen
  - Hämodialyse

# Intrazelluläre Elektrolyte - Kalium



# Intrazelluläre Elektrolyte - Kalium

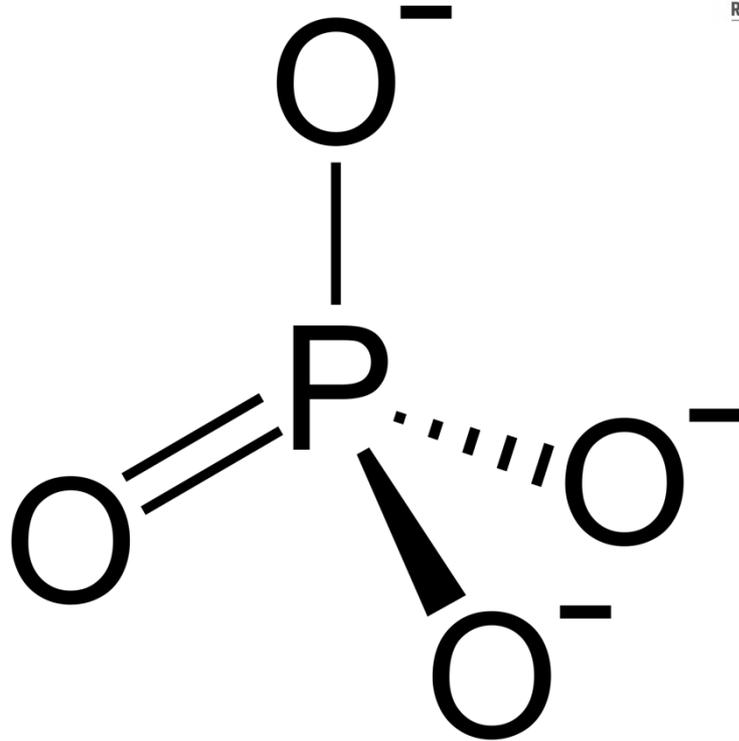


Heruntergeladen von: Universitätsbibliothek Innsbruck (UBI). Urheberrechtlich geschützt.

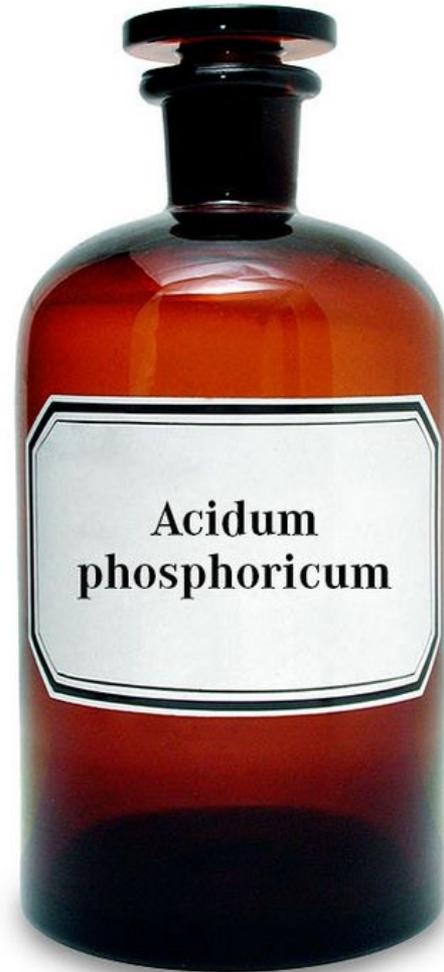
# Intrazelluläre Elektrolyte - Phosphat



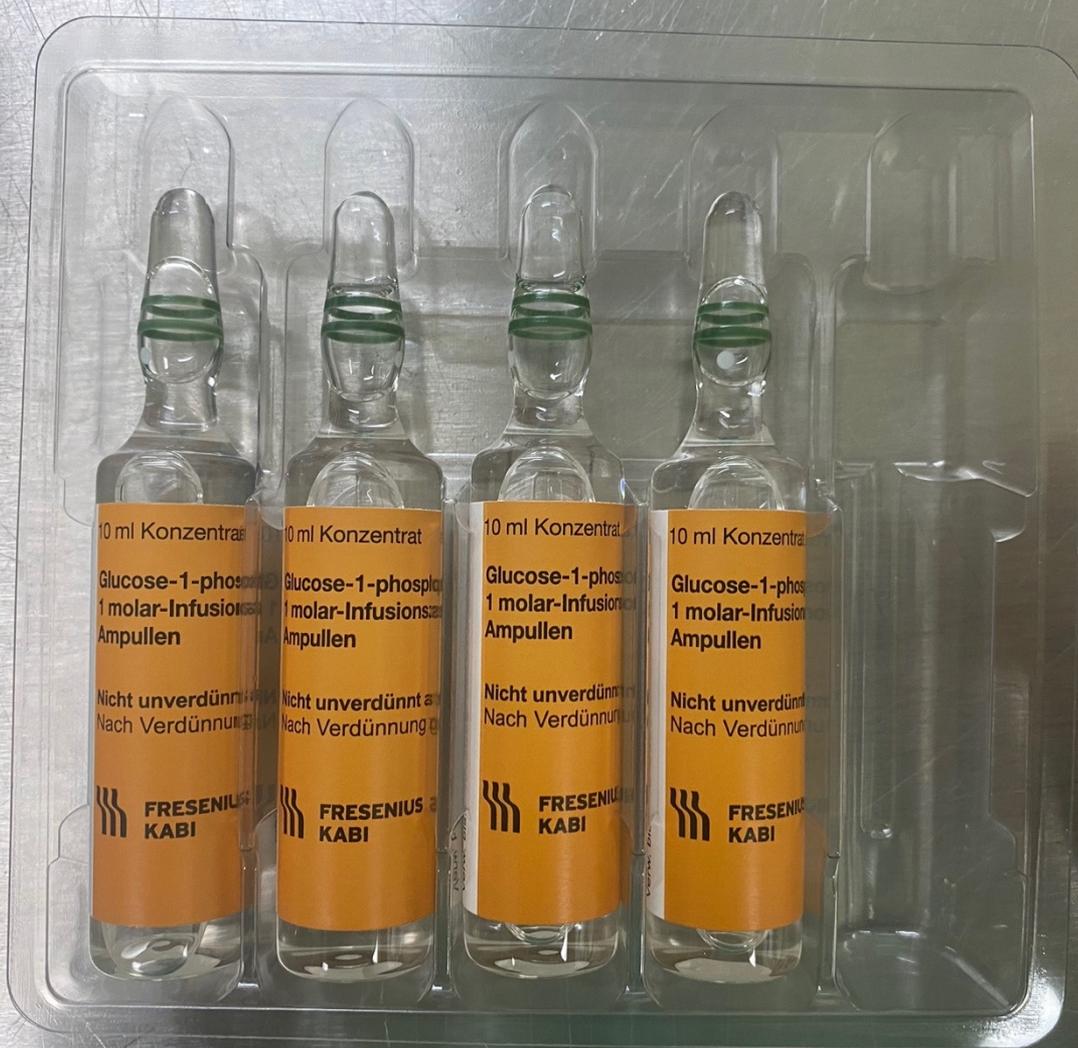
- Haupt-Anion im IZR
- Intrazellulärer Puffer:  
 $\text{H}_2\text{PO}_4^- \rightarrow \text{H}^+ + \text{HPO}_4^{2-}$
- Teil der Skelettstruktur
- Als Energieträger: ATP, KP
- Als Signalübertragung:  
cAMP,  $\text{IP}^3$



# Intrazelluläre Elektrolyte - Phosphat







# Intrazelluläre Elektrolyte - Phosphat



## Hypophosphatämie

= intrazellulärer Shift oder negative Phosphat-Bilanz

- [Phosphat] < 0,7mmol/l
  - Symptome akut:
    - Apathie/ Delir/ Koma
    - Muskelschwäche
    - Herz-/ resp. Insuffizienz
  - Symptome chronisch:
    - Osteomalazie
    - Myopathie
    - Kardiomyopathie
  - Therapie:
    - Phosphatzufuhr
- Wenig Zufuhr: Mangelernährung (Anorexie, Alkoholismus)
  - Wenig Resorption: Antacida, Vitamin-D-Mangel
  - Viel Ausfuhr: Diarrhoe, Erbrechen, Hyperparathyreodismus, Vitamin-D-Mangel
  - Intrazellulärer Shift: Insulin, Alkalose, Refeeding, Sepsis
  - Therapie: Phosphatzufuhr 30-50 mmol/d (1l Milch enthält ca. 10mmol Phosphat)

# Intrazelluläre Elektrolyte - Phosphat

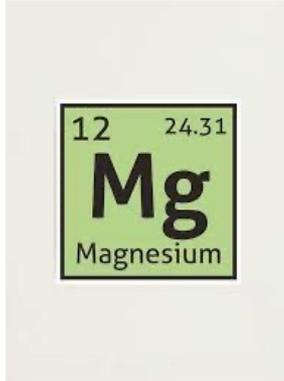


## Hyperphosphatämie

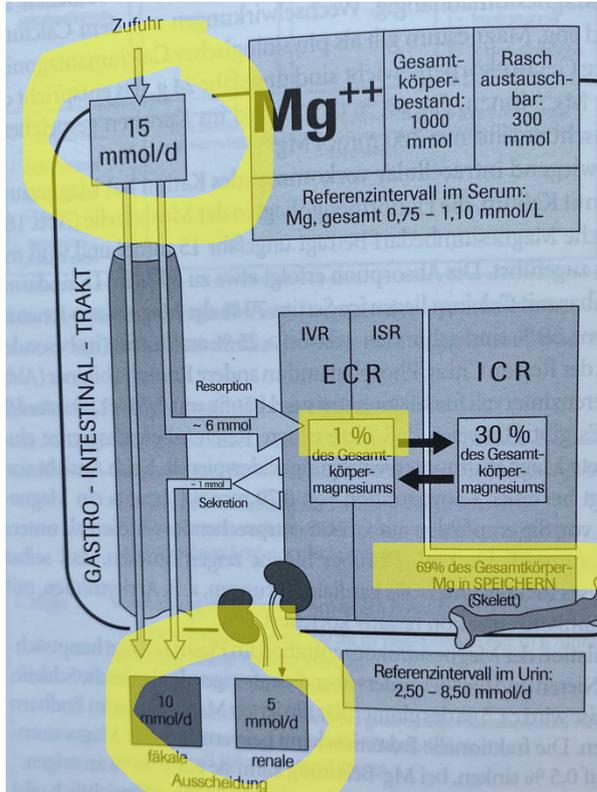
= extrazellulärer Shift oder positive Phosphat-Bilanz

- [Phosphat] > 1,45mmol/l
- Symptome:
  - Bildung von Calcium-Phosphat-Kristallen
  - Weichteilverkalkungen
  - Hypocalcämie
- Therapie:
  - Hämodialyse
  - Zufuhr stopp
  - Phosphatbinder
- Zuwenig Ausfuhr: Niereninsuffizienz, Hypoparathyreoidismus
- Zuviel Zufuhr: Kuhmilch bei Säuglingen, zu viel Vitamin D
- Extrazellulärer Shift: Zell-Zerfall (Rhabdomyo-/ Tumorlyse), Schock
- Therapie: Zufuhr stopp, Hämodialyse, Phosphatbinder

# Intrazelluläre Elektrolyte – Magnesium



# Intrazelluläre Elektrolyte – Magnesium



- Neben  $K^+$  wichtigstes intrazelluläres Kation
- Cofaktor vieler Enzymssysteme: z.B. alle ATP-abhängigen Reaktionen
- Aktiviert Na-K-ATPase an der Zellmembran -> Wechselwirkung mit  $K^+$
- Parathormonaktivität ist  $Mg^{2+}$ -abhängig -> Wechselwirkung mit  $Ca^{2+}$
- Physiologischer Calciumantagonist
- Antiarrhythmogen, antihypertensiv, bronchospasmolytisch, tokolytisch
- Hohe therapeutische Breite

Abb. 18: Magnesium-Haushalt. ECR: Extracellulär-Raum. ICR: Intracellulär-Raum. © Springer-Verlag GmbH 2012

# Intrazelluläre Elektrolyte – Magnesium



## Hypomagnesiämie

- $[Mg^{2+}] < 0,66 \text{ mmol/l}$
- Symptome:
  - Hypocalciämie-Symptome:  
Tetanie, Schwäche, Krämpfe
  - Hypokaliämie-Symptome:  
Herzinsuff, EKG Veränderung
  - Cerebrale Symptome:  
Apathie, Depression, Delir
- Therapie:
  - Magnesium
- Verminderte Zufuhr: Malnutrition (Anorexie, Alkoholismus)
- Viel Ausfuhr renal: Diuretika (Lasix), sonstige Pharmaka (Aminoglykoside, Ampho, Cisplatin, Ciclosporin)
- Viel Ausfuhr GI: Diarrhoen, Malabsorption, Dünndarmresektion
- Akute Pankreatitis, Insulin, Gravidität
- Therapie: Magnesiumzufuhr

# Intrazelluläre Elektrolyte – Magnesium



## Hypermagnesiämie

- $[Mg^{2+}]$  gesamt  $> 1,07\text{mmol/l}$
- Symptome:
  - Nur bei sehr hohen Werten
  - V.a. neuromuskulär:  
Schwäche, Paresen,  
Sedierung,  
Atemlähmung, Koma
  - Hypotonie, Bradykardie
- Therapie:
  - Zufuhr Stopp
  - Calcium
- Viel Zufuhr: Antacida, Laxantien, Klysmen
- Wenig Ausscheidung: Niereninsuffizienz
- Viel Freisetzung: Rhabdomyolyse, Tumorlyse, Verbrennung
- Therapie: Zufuhr Stopp, Calcium, Dialyse

# Elektrolytstörungen



**Danke!**