

Klinische Chemie und Laboratoriumsdiagnostik

Vorlesung: Wasser-Elektrolyt-Haushalt



Dr. med. Bernhard Schlüter

Zentrale Einrichtung Labor

– UKM Labor –

Universitätsklinikum Münster

Albert-Schweitzer-Campus 1

48149 Münster

Tel.: 0251 83-47221

Fax: 0251 83-47225

Bernhard.Schluerer@ukmuenster.de

www.klichi.uni-muenster.de

QR Code / Link für diese Vorlesung:

www.klichi.uni-muenster.de/folien.pdf

Sommersemester 2022

Wasser- und Elektrolythaushalt

Dr. med. Bernhard Schlüter
Zentrale Einrichtung UKM Labor
Universitätsklinikum Münster

Sommersemester 2021

Ein Fall zum Einstieg

- 20j. Studentin wird nicht ansprechbar in Notaufnahme der UCLA aufgenommen
- Anamnese: am Vorabend auf einer Party mehrere Tab. Ecstasy, viel getrunken und getanzt; bei Rückkehr nach Hause zunächst „unauffällig“, am Morgen jedoch nicht mehr ansprechbar
- **Keine Vorerkrankungen**
- UB: tachykard 124/min; Tachypnoe 30-35/min; RR 88/49, keine peripheren Ödeme, Ausk. bds. feinbl. RGs, Pupillen symm. dilatiert, minimal lichtreaktiv



Zitiert nach PD Dr. Schettler, Göttingen

Ein Fall zum Einstieg

Labor: Na: 117 mM
Glucose: 5,75 mmol/l
Hb: 13,3 g/dl
S-Osmo: 245 mOsm/kg
U spez. Gewicht: 1,015

CCT: Hirnödem

Verlauf:

ca. 6,8 l 0,9% NaCl + 0,245 l 3% NaCl;
intermitt. Furosemid, Mannitol
Ausscheidung ca. 3,6 l

Anstieg: Na 117 -> 129 mM

Kreislaufinstabil, nach ca. 13 h Rhythmusstörungen, Exitus nach erfolgloser Reanimation



Figure 1 Chest X-ray of 20-year-old woman with a plasma sodium concentration of 117 mmol/l after ecstasy (3,4-methylenedioxymethamphetamine) ingestion. Note the cephalization of pulmonary vasculature consistent with pulmonary edema, which is noncardiogenic in this case.

Wasserverteilung im Körper

	Mann	Frau	Säugling
Wassergehalt [% KG]	60	50	75

Intrazellulär



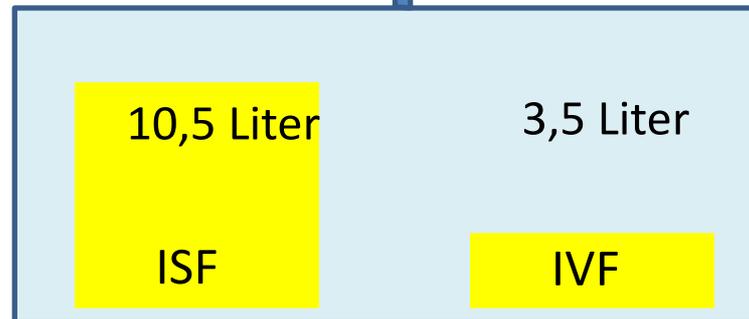
2 : **1**

Mann, 70 kg, 42 Liter Gesamtkörperwasser

Extrazellulär



Interstitium



3 : **1**

Plasma

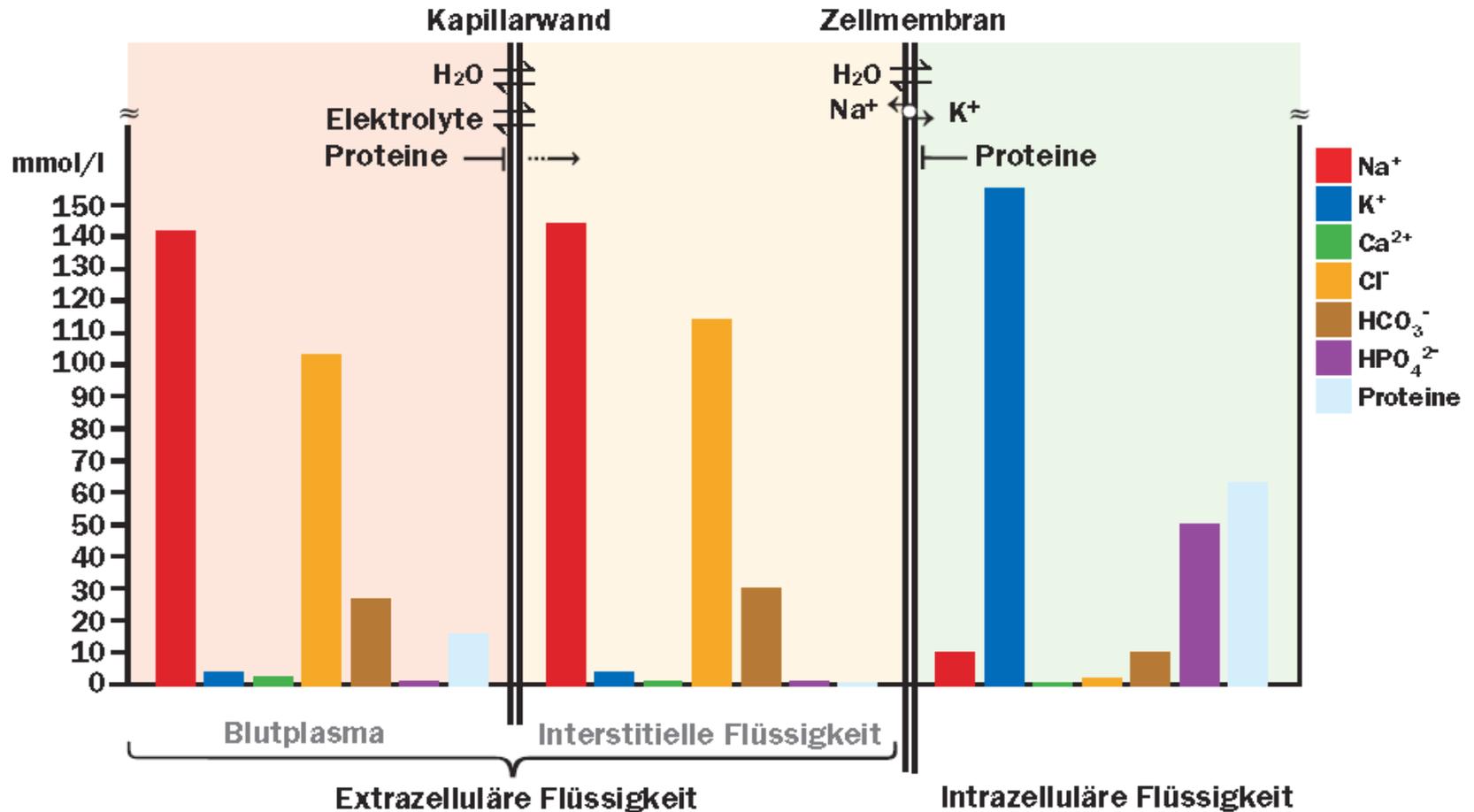
Tägliche Wasserbilanz

Aufnahme [l]		Abgabe [l]	
Flüssigkeit	1,0 – 1,5	Niere	1,0 – 1,5
Feste Nahrung	0,7	Haut + Lunge	0,9
Oxidationswasser	0,3	Stuhl	0,1
Summe	2,0 – 2,5	Summe	2,0 – 2,5

Bei Fieber zusätzlicher Wasserverlust 0,5 - 1 Liter je 1° C > 37°C

	Aufnahme [l]	ECF [l]	Abgabe [l]	Umsatz [% ECF]
Säugling	0,7	1,4	0,7	50
Erwachsener	2,0	14,0	2,0	16

Ionenverteilung in Kompartimenten



Regulationsprinzipien Natrium-Wasser-Haushalt

Ziel: Isotonie und Isovolumämie in ECF

Isotonie: Regulation primär über Wasserbilanz

Isovolumämie: Regulation primär über Natriumbilanz

Die Systeme sind auf Volumenerhalt optimiert !

Regulationsmechanismen

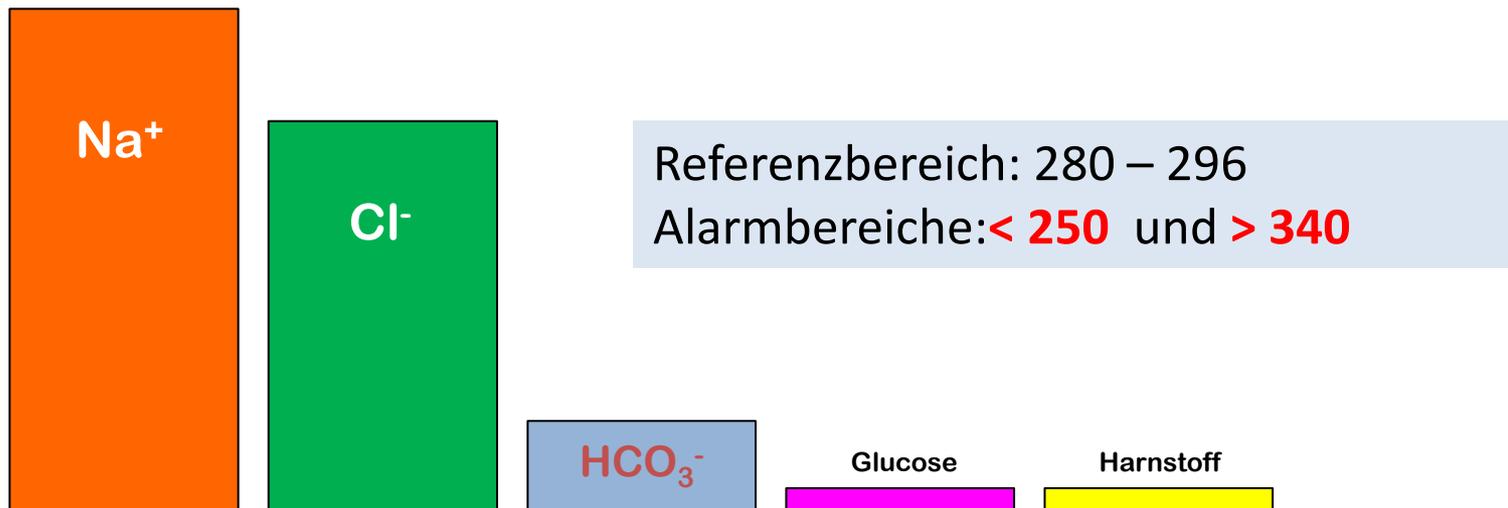
	Osmoregulation
Messgröße	Plasmaosmolalität
Sensoren	Hypothalamische Osmorezeptoren
Effektoren	ADH, Durst
Effekt	Wasserausscheidung, Wasserzufuhr

Regulationsmechanismen

	Osmoregulation	Volumenregulation
Messgröße	Plasmaosmolalität	Gewebeperfusion
Sensoren	Hypothalamische Osmorezeptoren	Afferente Arteriole, Vorhof, Carotissinus
Effektoren	ADH, Durst	Renin-Angiotensin-Aldosteron, ANP, BNP, Katecholamine, ADH
Effekt	Wasserausscheidung, Wasserzufuhr	Anpassung der renalen Natrium- und Wasserausscheidung

Serum-Osmolalität

Definition Osmolalität: Gesamtzahl gelöster Teilchen pro kg H₂O
Einheit: mosmol/kg



Berechnete S-Osmolalität: $2 \times [\text{Na}^+] + [\text{Glucose}] + [\text{Harnstoff}]$

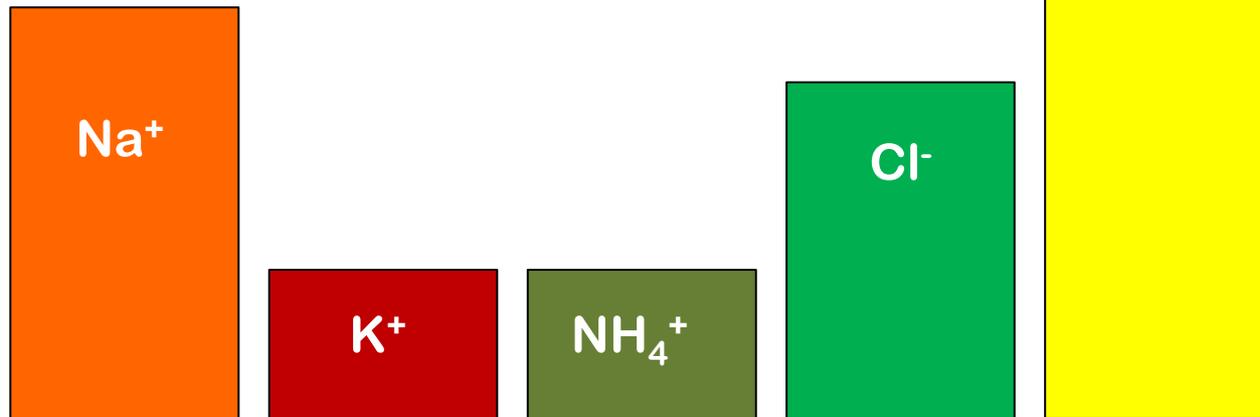
Alle Konzentrationen in mmol/l

Glucose: mg/dl : 18 = mmol/l

Harnstoff: mg/dl : 6 = mmol/l

Urin-Osmolalität

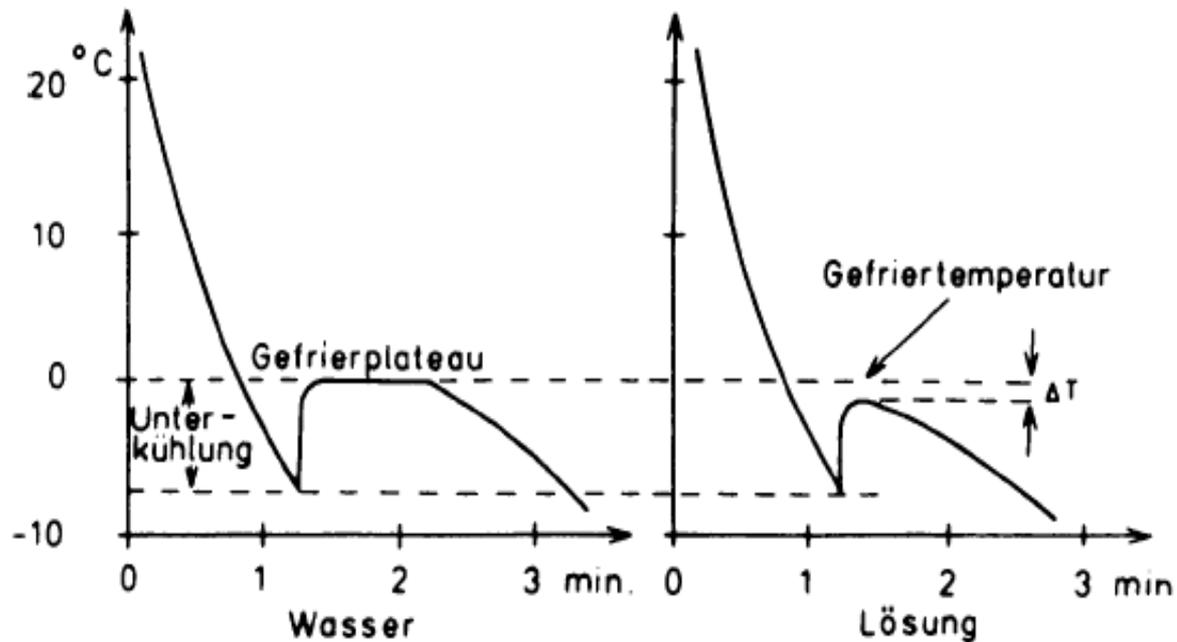
Einheit: mosmol/kg
Referenzbereich: 50 – 1200
Durstversuch 14 h: > 800



Berechnete U-Osmolalität:

$$2 \times ([\text{Na}^+] + [\text{K}^+] + [\text{NH}_4^+]) + [\text{Harnstoff}] + [\text{Glucose}]$$

Kryoskopische Osmolalitätsmessung



$\Delta T \sim$ Anzahl der gelösten Teilchen/kg

Osmotische Lücke im Serum

Definition:

Gemessene minus **berechnete** S-Osmolalität

Referenzbereich: < 6 mosmol/kg

Medizinischer Nutzen:

Vergrößerte Lücke Hinweis auf anomale Osmolyte

- Intoxikationen (z.B. Ethanol, Methanol)
- Lactatazidose
- Ketoazidose
- Mannit-Infusion

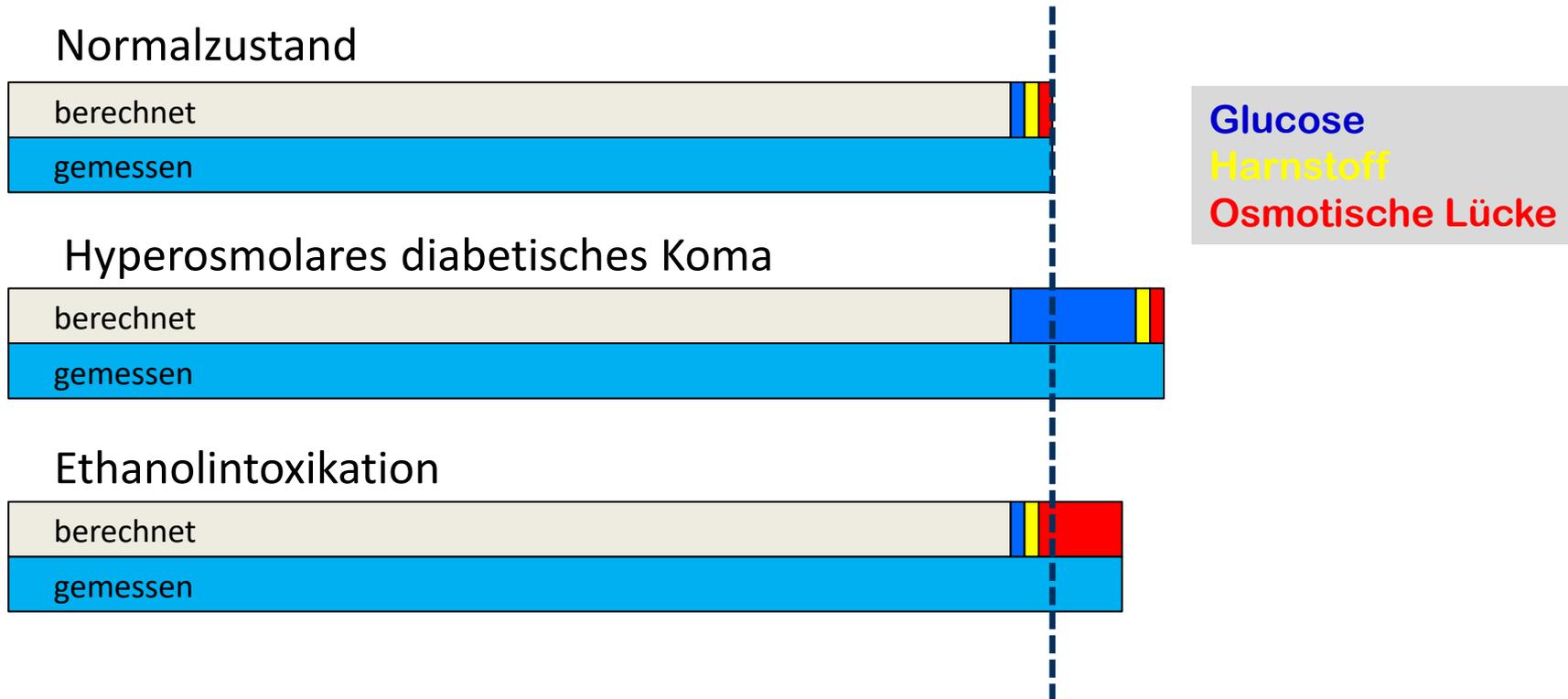
Beispiel:

Blut-Ethanolgehalt von 1g/kg (= 1 Promille)

Gemessene S-Osmolalität und osmotische Lücke

↑ um 22 mosmol/kg

Osmotische Lücke: Beispiele



Volumenänderungen der ECF

Hypohydratation	Hyperhydratation
Durst	Ödeme
Tachykardie	Gewichtszunahme
RR-Abfall	Dyspnoe
Oligurie (bei normaler Nierenfunktion)	Lungenödem



Bildquelle: Medicoconsult



Bildquelle: Wikipedia

Störungen im Natrium- und Wasserhaushalt

ECF-Änderung	Hämatokrit Serumeiweiß
Hypohydratation	↑
Hyperhydratation	↓

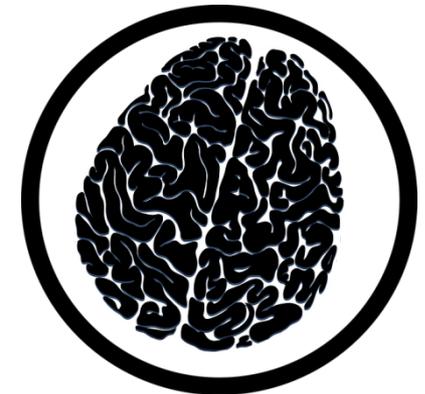
Störungen im Natrium- und Wasserhaushalt

ECF-Änderung	Hämatokrit Serumeiweiß	Tonizität	S-Natrium S-Osmo	MCV
Hypohydratation	↑	isoton	=	=
		hypoton	↓	↑
		hyperton	↑	↓
Hyperhydratation	↓	isoton	=	=
		hypoton	↓	↑
		hyperton	↑	↓



Hyponatriämie

- S-Natrium Referenzbereich: 135 -145 mmol/l
- Hyponatriämie: < 135 mmol/l
schwer < 125 mmol/l
- Häufig
> 10% der Krankenhauspatienten betroffen (milde Form)
ca. 2 % der Krankenhauspatienten (schwere Form)
- Klinik:
meist asymptomatisch
Muskeleigenreflexe herabgesetzt, Lethargie,
Orientierungslosigkeit, Adynamie, Appetitverlust,
evtl. Krampfanfälle





Hyponatriämie

Osmolalität	Wasserbestand	Natriumbestand	Klinische Form
	↑↑	↑	Hypervolämische Hyponatriämie
	↓	↓↓	Hypovolämische Hyponatriämie
	(↑)	↔	Isovolämische Hyponatriämie



Hyponatriämie

Osmolalität	Wasserbestand	Natriumbestand	Klinische Form
	↑↑	↑	Hypervolämische Hyponatriämie
	↓	↓↓	Hypovolämische Hyponatriämie
	(↑)	↔	Isovolämische Hyponatriämie



Hypervolämische **Hyponatriämie**

Wasserbestand ↑↑ und Natriumbestand ↑

Verdünnungshyponatriämie

Ödeme, Gewicht ↑

Effektives arterielles Blutvolumen ↓
Barorezeptoren aktivieren RAAS, nicht-osmotische ADH-Sekretion ↑

Herzinsuffizienz
Leberzirrhose
Nephrotisches Syndrom

Akute und chronische **Niereninsuffizienz**

U-Natrium < 20 mmol/l

U-Natrium > 20 mmol/l

Dritter Raum: Beispiel Aszites





Hypovolämische Hyponatriämie

Natriumbestand ↓↓ und Wasserbestand ↓

Volumenmangel mit überwiegendem Natriumverlust

RR ↓

ECF Volumen ↓ ➡ nicht-osmotische ADH-Sekretion ↑

Extrarenaler Verlust:

Diarrhoe, Erbrechen
Verbrennung, Trauma
Pankreatitis, Peritonitis, Ileus

Renaler Verlust:

Diuretika, Salzverlustniere,
Mineralocorticoidmangel
cerebrales Salzverlustsyndrom

U-Natrium < 20 mmol/l
U-Osmolalität relativ hyperton

U-Natrium > 20 mmol/l



Isovolämische Hyponatriämie

Natriumbestand normal und Wasserbestand (↑)

Wasserretention

Ø Ödeme, ECFV (↑)

ADH-Sekretion ↑ oder ADH-Wirkung ↑

SIADH (Syndrom der inadäquater ADH-Sekretion, Schwartz-Bartter-Syndrom)

Endokrin:

Glucocorticoid-
mangel,
Hypothyreose

Psychogen:

Schmerz, Stress,
Psychogene
Polydipsie

Medikamente:

Morphin,
Antidepressiva,
Indomethacin,
Carbamazepin u.a.

Varia:

Paraneoplastisch
Pneumonie
ZNS-Störungen

U-Natrium > 20 mmol/l

U-Osmolalität inadäquat hoch (> 300 mosmol/kg)



Hyponatriämie

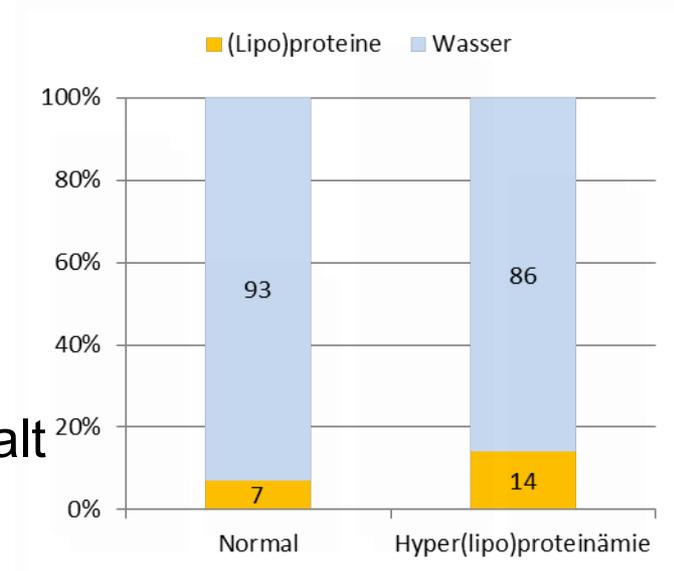
Sonderfälle

Osmolalität	Wasserbestand	Natriumbestand	Klinische Form
↔	↔	↔	Pseudo hyponatriämie
↑	↓	↓	Hyperosmolale Hyponatriämie durch Nicht-Na⁺ Osmolyte ↑



Pseudohyponatriämie

- **Isoosmolale** Hyponatriämie
normales $[Na^+]$ im Serumwasser
 $[Na^+] \downarrow$ im Gesamtserum
- Vorkommen bei erniedrigtem Wassergehalt des Serums (**Hyper-(lipo)-proteinämie**)
- **Keine Störung** im Wasser-Elektrolyt-Haushalt
- **Rein messtechnisch begründet**
Indirekte ISE (Laborautomat) in verdünnter Probe misst bezogen auf Gesamtserum biologisch falsch



Direkte ISE (Blutgasgerät) in unverdünnter Probe misst bezogen auf Serumwasser biologisch korrekt



Glucose
Harnstoff
Osmotische Lücke



Hyperosmolale Hyponatriämie

Natriumbestand ↓ und Wasserbestand ↓

Erhöhte Serumosmolalität!

Volumenmangel vorzugsweise intrazellulär, RR (↓), ECFV ↓

Nicht-Natrium Osmolyte ↑ → osmotische Diurese

Hyperglykämie

Entgleister Diabetes mellitus

Iatrogen

Übermäßige Glucoseinfusion

Mannit-Infusion (Hirndruckbehandlung)

U-Natrium > 20 mmol/l

U-Osmolalität hyperton



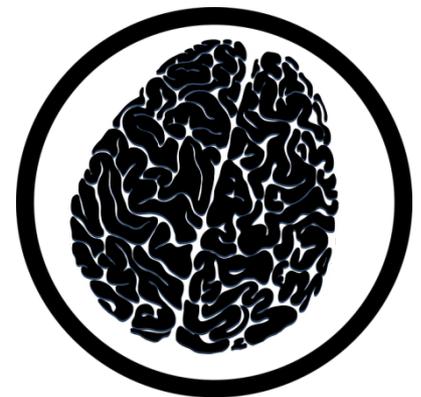
Hypernatriämie

- S-Natrium > 145 mmol/l
schwer > 160 mmol/l
- Seltener
0,2 -0,3 % der Krankenhauspatienten betroffen
- Klinik:

Zelluläre Dehydratation führt zu **neurologischer Symptomatik**

Muskeleigenreflexe gesteigert, Muskelzittern,
Krämpfe, Koma, evtl. cerebrale Blutung

Hohe Mortalität bei schwerer Form



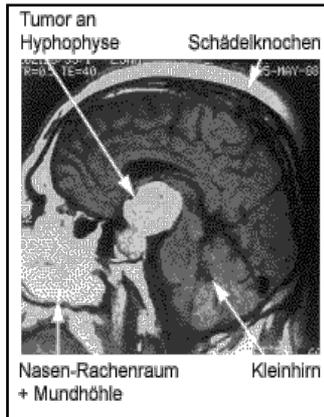


Hypernatriämie

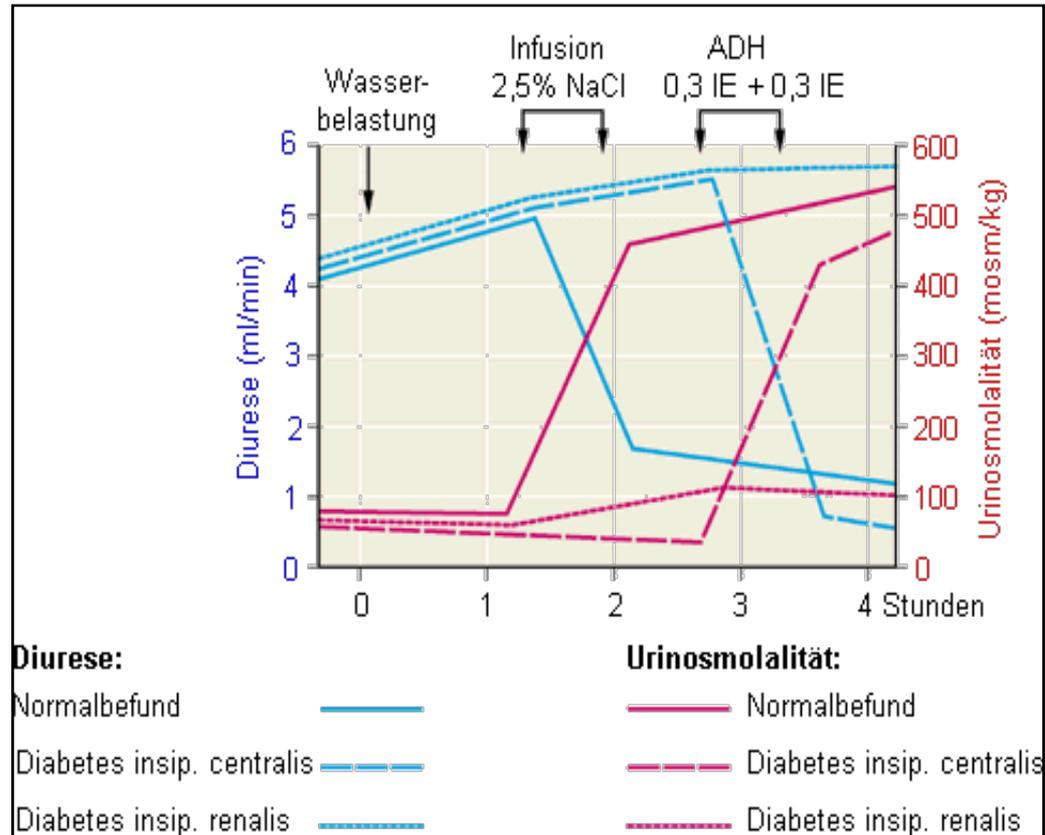
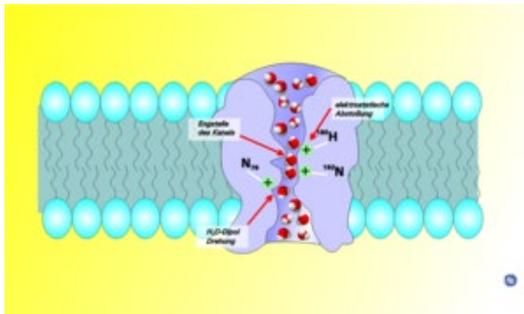
Hypovolämische Form (häufig)		Hypervolämische Form (selten)
Wasserverlust bzw. mangelnde Zufuhr		Natrium- und Wasser-Zufuhr ↑
Renal: Osmotische Diurese, Diabetes insipidus	Extrarenal: Durchfälle Massives Schwitzen Dursten	Iatrogen: Zufuhr hypertoner Na ⁺ -Lösungen, hypertone Dialyse Endokrin: Primärer Hyperaldosteronismus
S-Osmolalität erhöht		
U-Osmolalität		
< 800 mosm/kg	> 800 mosm/kg	variabel

Beispiel Diabetes insipidus

centralis

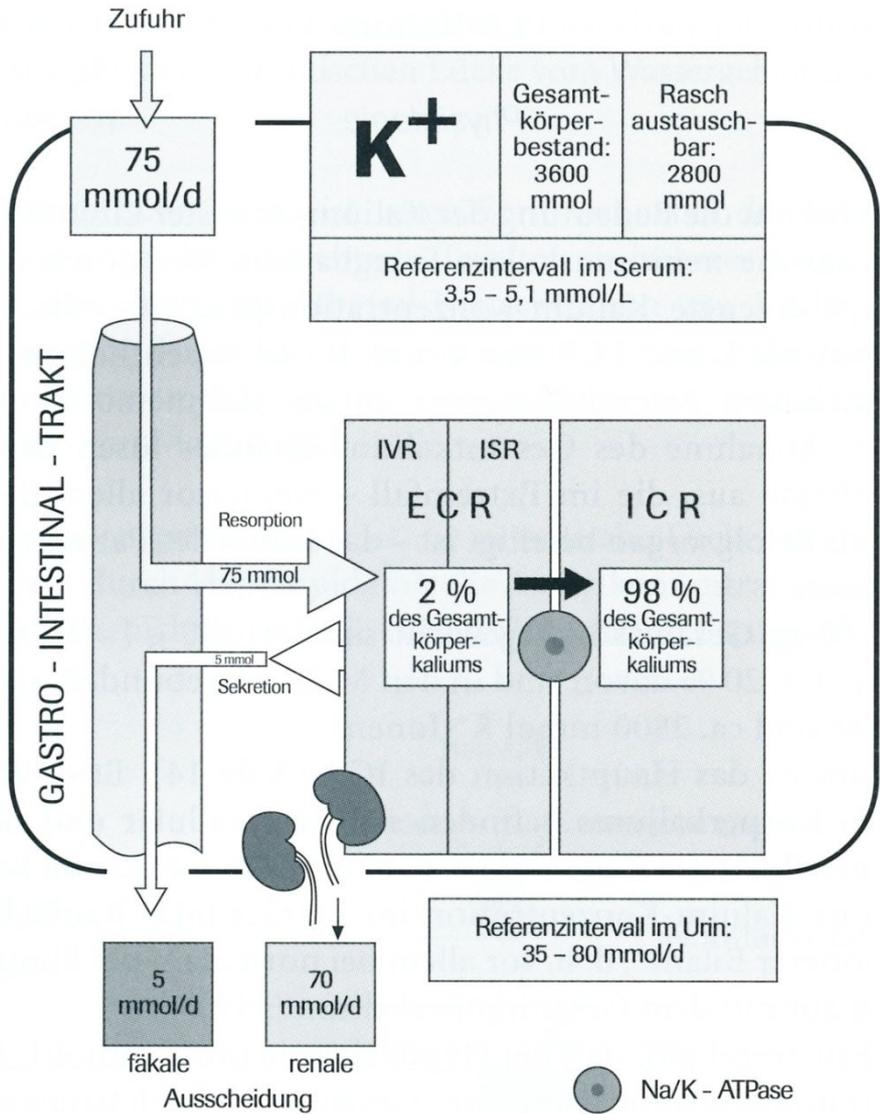


renalis





Kalium





Klinik der Dyskaliämie

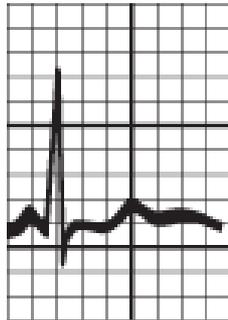
Organsystem	Hypokaliämie	Hyperkaliämie
Neuro	Schwäche, Hyporeflexie, Apathie, Somnolenz	Hypo/Areflexie, Parästhesien, Schwäche, Lähmung
Herz	Arrhythmien, Extrasystolen	Bradykardie, Kammerflimmern, Asystolie
GIT	Obstipation, Ileus	Erbrechen, Koliken, Diarrhoe
Niere	Tubulopathie, renaler Diabetes insipidus	

Je schneller die Entwicklung der Dyskaliämie,
umso stärker die Symptomatik !

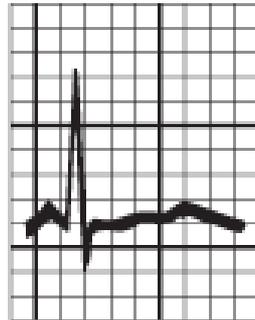
Chronische Dyskaliämien oft symptomarm!



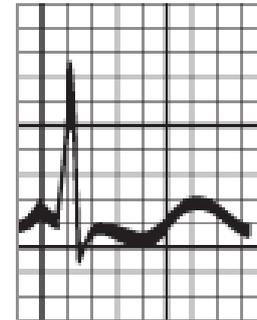
EKG-Veränderungen



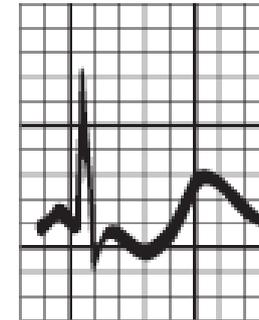
2.8



2.5



2.0

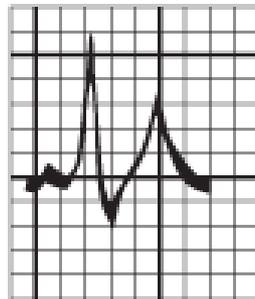


1.7

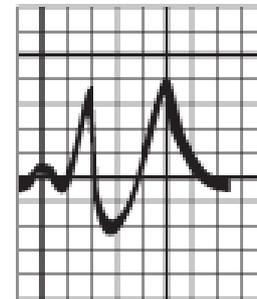
Hypokaliämie



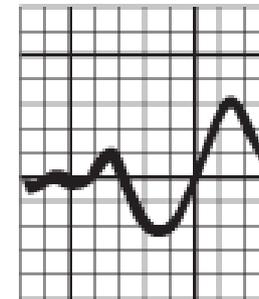
6.5



7.0



8.0



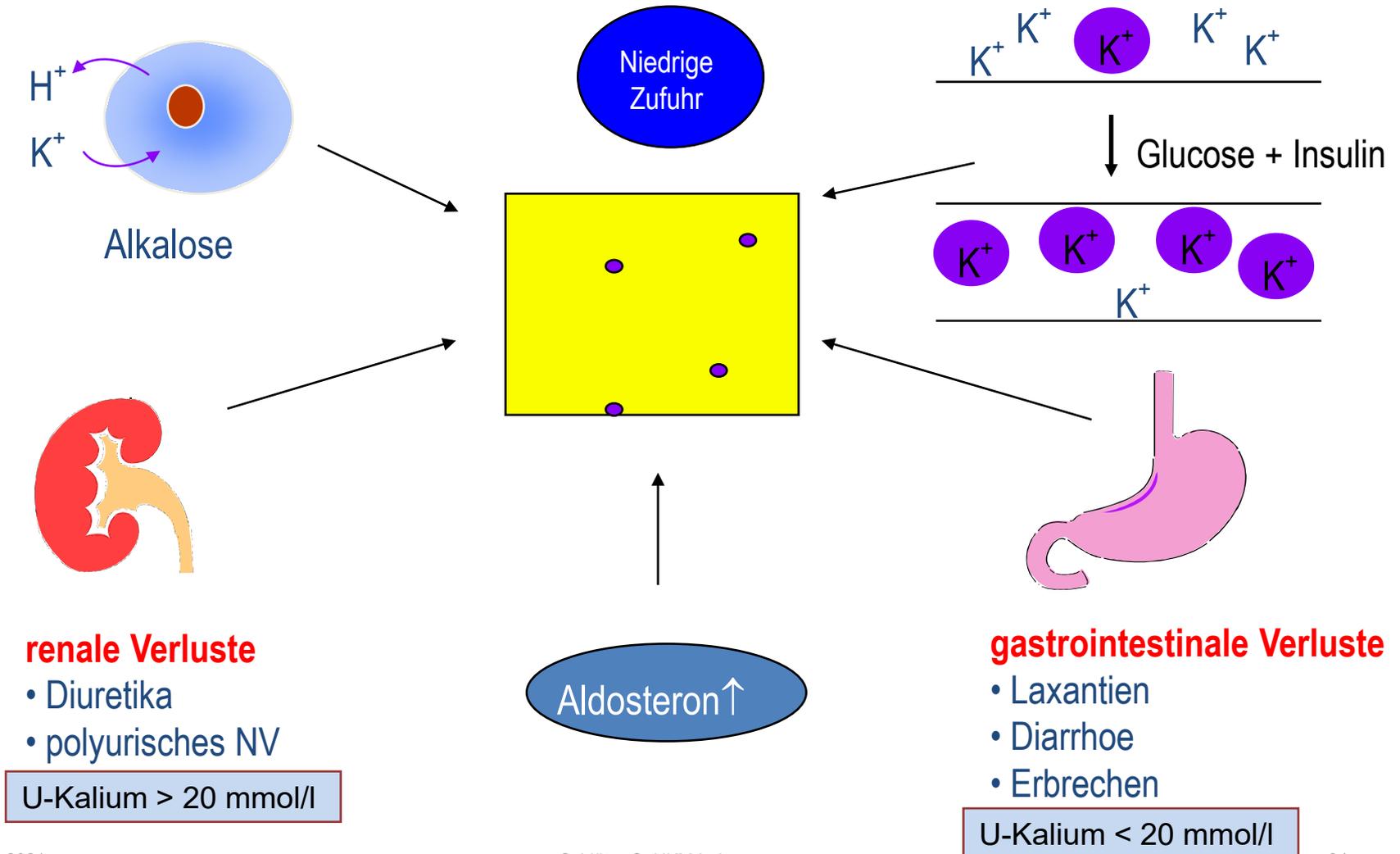
9.0

Hyperkaliämie

Quelle: <http://user.medunigraz.at/helmut.hinghofer-szalkay/>



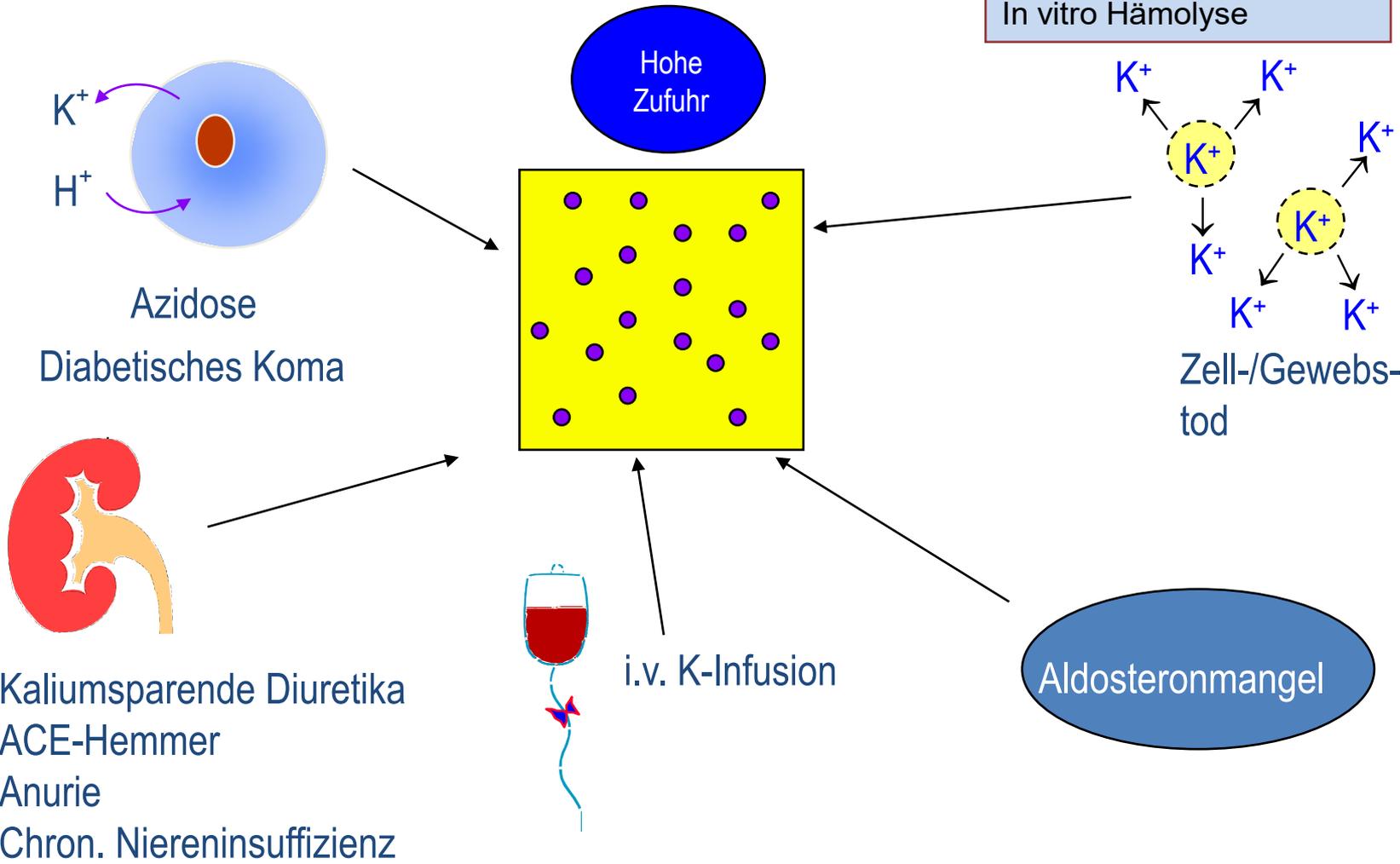
Ursachen der Hypokaliämie





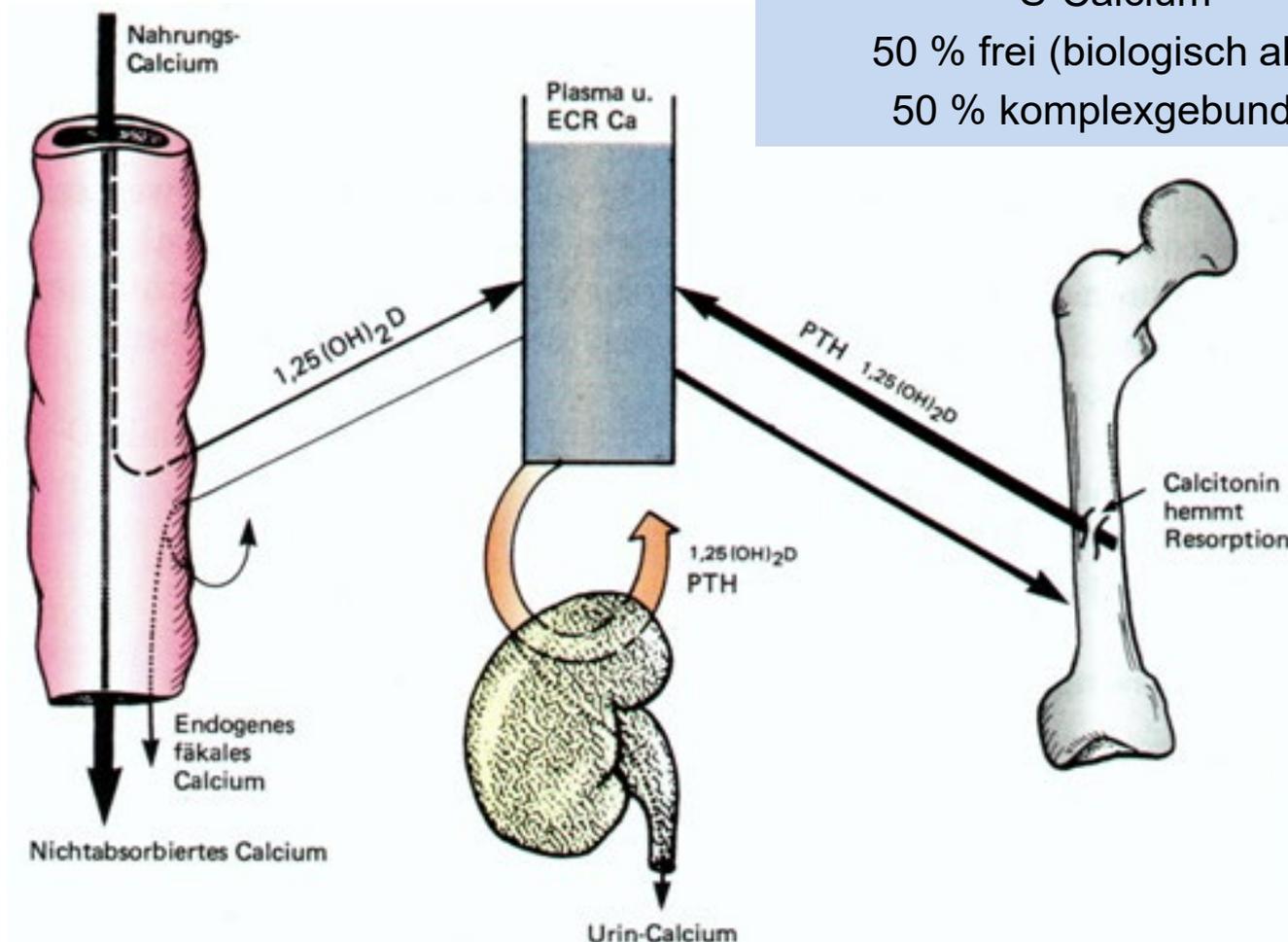
Ursachen der **Hyperkaliämie**

DD: Pseudohyperkaliämie
In vitro Hämolyse





Calcium



S-Calcium
50 % frei (biologisch aktiv)
50 % komplexgebunden



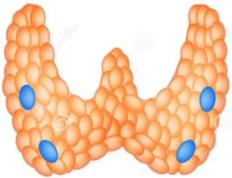
Klinik

Hypocalciämie (Ca gesamt < 2.2 ; Ca ion.< 1,1 mmol/l)	Hypercalciämie (Ca gesamt > 2.7 ; Ca ion.> 1,3 mmol/l)
	Polyurie
Knochenmineralisation ↓	Nephrocalcinose, Harnsteine
Katarakt	GIT Ulcera, Obstipation
Herzrhythmusstörungen, QT ↑	Hypertonie, Rhythmusstörungen, QT ↓
Übererregbarkeit, Tetanie	Muskelschwäche, Psychose, Somnolenz
	Krise (> 3,5 mmol/l): akute Lebensgefahr Koma, Nierenversagen, Asystolie

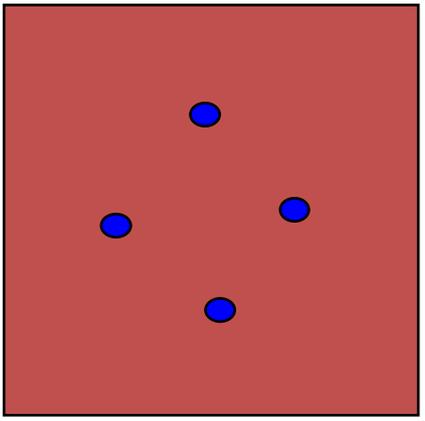
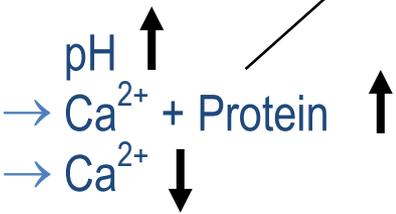
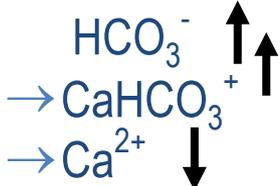




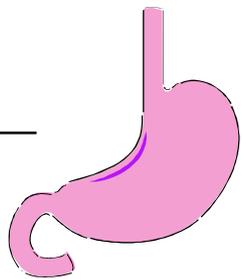
Ursachen der Hypocalciämie



PTH-Mangel

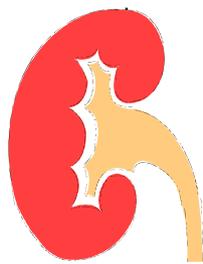


Nekrosen (Phosphatkomplexe \uparrow)



Malabsorption
Alkoholismus

Langsame
Absorption



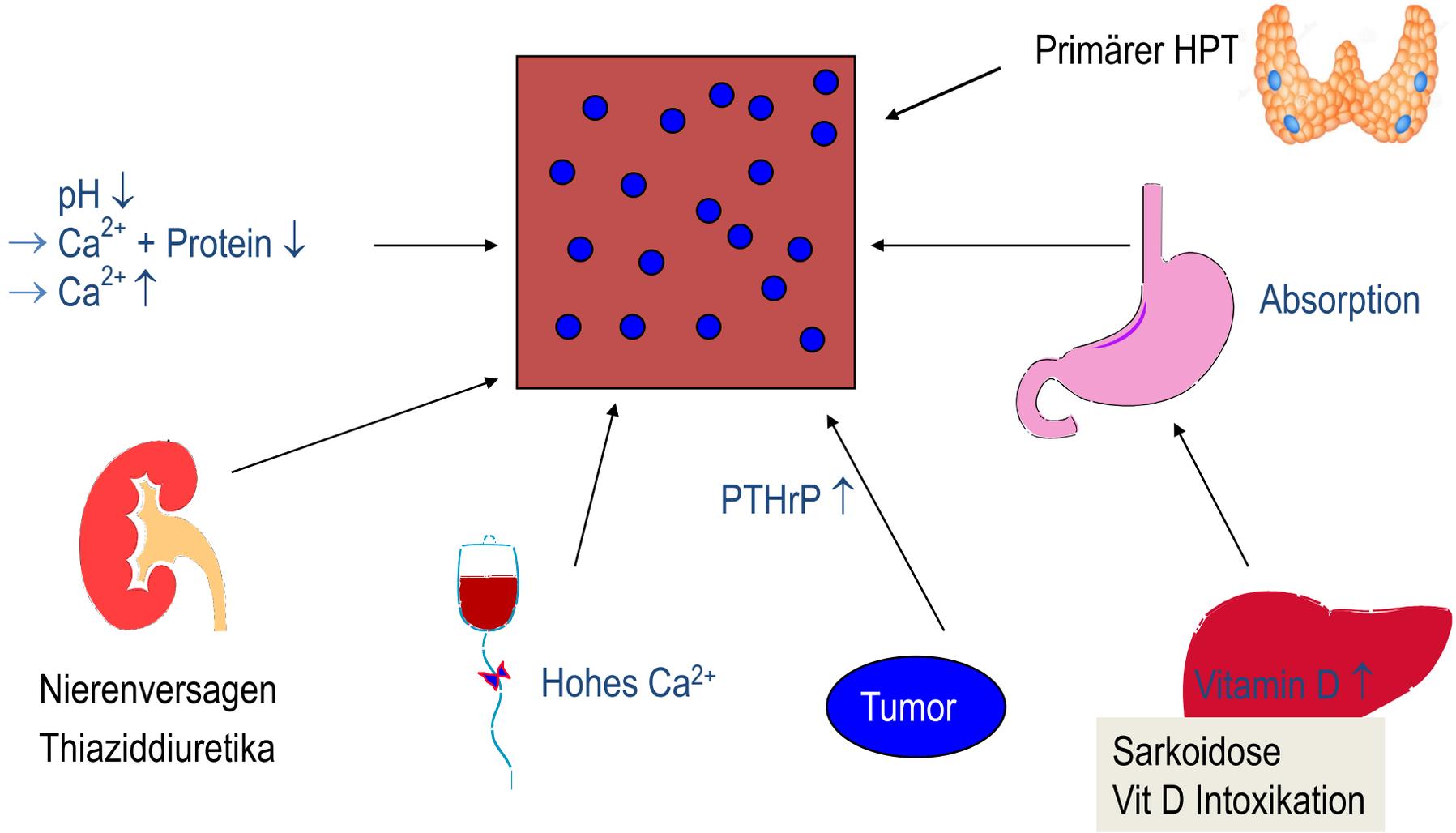
Schleifendiuretika



Vitamin D \downarrow



Ursachen der **Hyper**calciämie





Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit !