


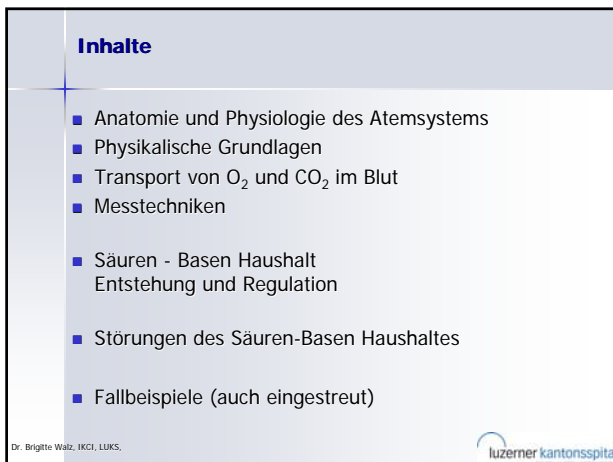


RADIOMETER 

Blutgase und Säure-Basen Haus
Blutgase und Säure-Basen Haushalt
Radiometer

Dr. Brigitte Walz
Stv. Leiterin Institut für Klinische Chemie und Immunologie
Zentrum für LaborMedizin
Luzerner Kantonsspital

09.06.2011, Thalwil




Inhalte

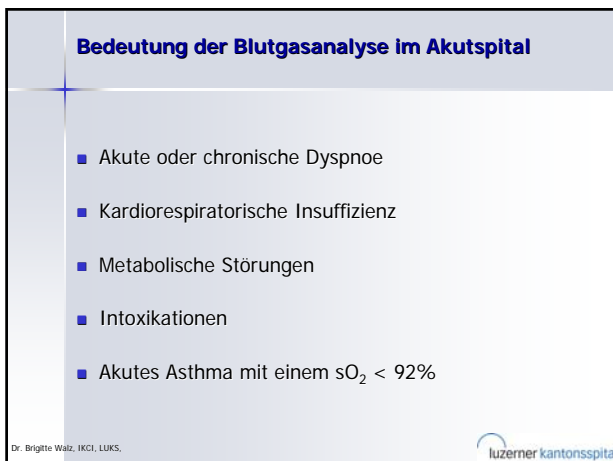
- Anatomie und Physiologie des Atemsystems
- Physikalische Grundlagen
- Transport von O₂ und CO₂ im Blut
- Messtechniken

- Säuren - Basen Haushalt
Entstehung und Regulation

- Störungen des Säuren-Basen Haushaltes


- Fallbeispiele (auch eingestreut)

Dr. Brigitte Walz, IKCI, LUKS. 



Bedeutung der Blutgasanalyse im Akutspital

- Akute oder chronische Dyspnoe
- Kardiorespiratorische Insuffizienz
- Metabolische Störungen
- Intoxikationen
- Akutes Asthma mit einem sO₂ < 92%

Dr. Brigitte Walz, IKCI, LUKS. 

Mögliche Resultate der Blutgasanalysen

- Hypoxie mit normalem $p\text{CO}_2$
- Hypoxie mit hohem $p\text{CO}_2$ (Hyperkapnie)
- Normoxie mit tiefem $p\text{CO}_2$ (Hypokapnie)
- Metabolische Azidose kompensiert oder nicht
- Metabolische Alkalose kompensiert oder nicht
- Interpretation: Kompensiert oder nicht? Wird der Patient beatmet? Bekommt er Infusionen? Status der Niere? Status der Lunge? Herzfunktion? Medikamente? Etc.
- Interpretation im Labor nur bedingt möglich

Dr. Brigitte Walz, IKCI, LUKS

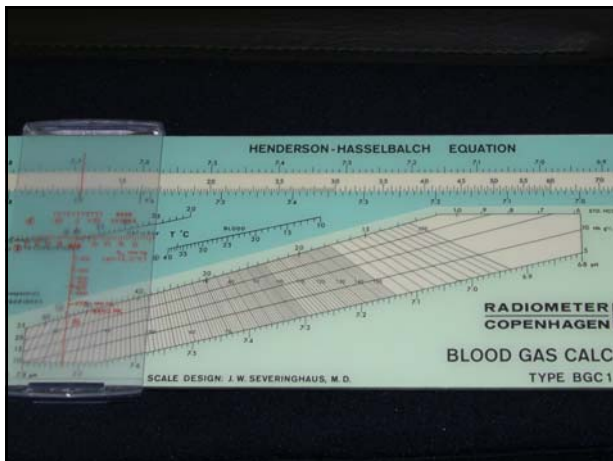


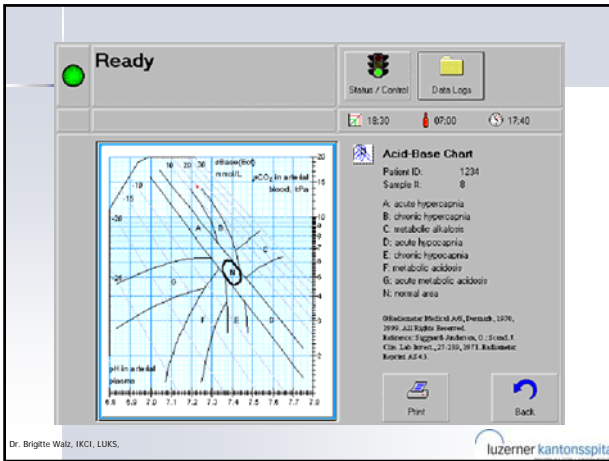
Corning Blutgasgerät

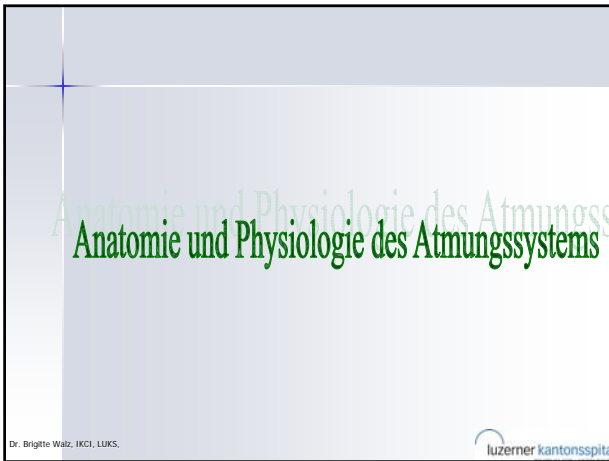


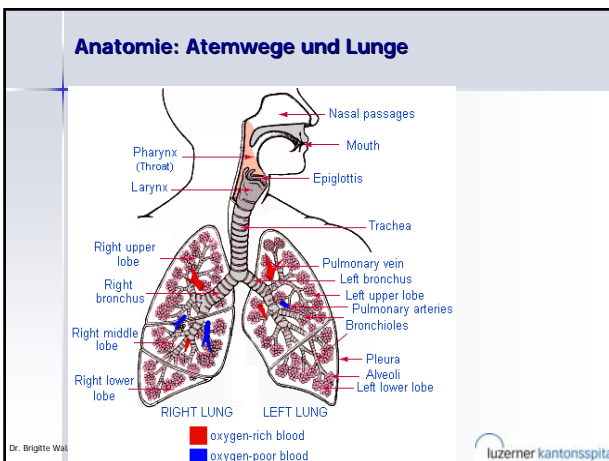
Dr. Brigitte Walz











Funktionen der Atmung

- Versorgung des Organismus mit dem lebensnotwendigen Sauerstoff
- Abtransport des beim Stoffwechsels entstehenden Kohlendioxids
- Beheben von Störungen im Verhältnis zwischen Säuren und Basen

Dr. Brigitte Walz, IKCI, LUKS



Fall 1

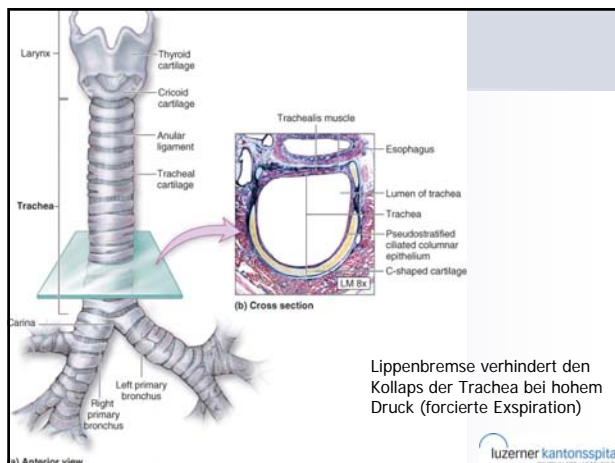
pO ₂	7.07	9.50 - 13.9 kPa
O ₂ -Sättigung	83.2	95 - 98.5 %

pH	7.315	7.370 - 7.450
pCO ₂	7.63	4.7 - 6.1 kPa
Bicarbonat aktuell	28.3	21.0 - 26.0 mmol/L
Bicarbonat standard	24.8	21.0 - 26.0 mmol/L
Basenabweichung	0.9	-2 bis +3 mmol/L

Hämoglobin	158	115-148 / M: 127-163 g/L
COHb	1.7	< 2 %
MetHb	0.4	< 5 %

Dr. Brigitte Walz, IKCI, LUKS





Segmente

Lungensegmente mit jeweils einen Segmentbronchus

Pneumonie: Zunächst meist nur ein Segment verschattet

Bronchien ca. 22x verzweigt:
 $2^{22} = \text{ca. } 4'200'000$
 Alveolen

Dr. Brigitte Walz, IKCI, LUKS.

Netter

Dr. Brigitte Walz, IKCI, LUKS.


Kapillarsystem um Alveolen

Dr. Brigitte Walz, IKCI, LUKS.

luzerner kantonsspital


Wie wird die Atmung reguliert?

Welche Reize sind wirksam?

Dr. Brigitte Walz, IKCI, LUKS. 

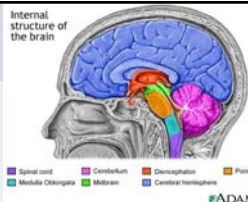
Atemregulation

- Zyklisch entladende inspiratorische und expiratorische Neurone im Atemzentrum der Medulla oblongata
- Zentrale Chemorezeptoren: Messung von pH und pCO_2 und in geringerem Masse pO_2 in der Medulla oblongata
- Periphere Chemorezeptoren: Messung von pCO_2 im Glomus aorticum und Glomus caroticum.

Dr. Brigitte Walz, IKCI, LUKS. 

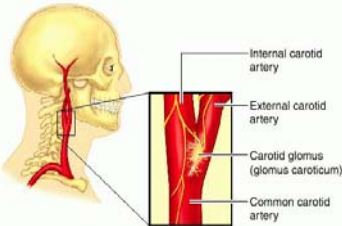
Atemregulation

■ Zyklisch entladende inspiratorische und expiratorische Neurone im Atemzentrum der Medulla oblongata



Messung von pH und pO_2 in der


1: Messung von pCO_2 im Glomus caroticum.



Internal structure of the brain


Internal carotid artery
External carotid artery
Carotid glomus (glomus caroticum)
Common carotid artery

Legend:
■ Spinal cord ■ Cerebellum ■ Chiasmata ■ Pons
■ Medulla oblongata ■ Midbrain ■ Cerebral hemisphere

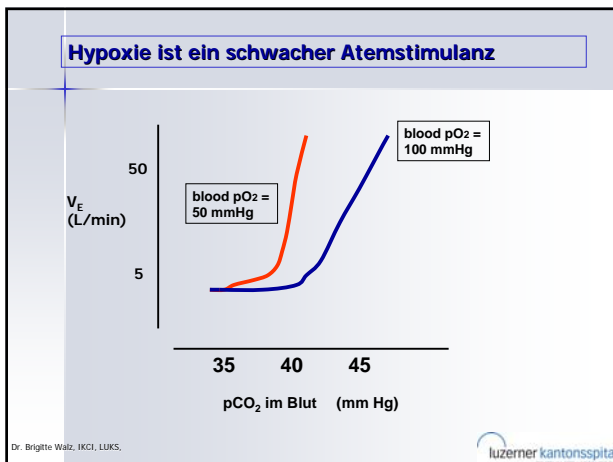
#ADAM 

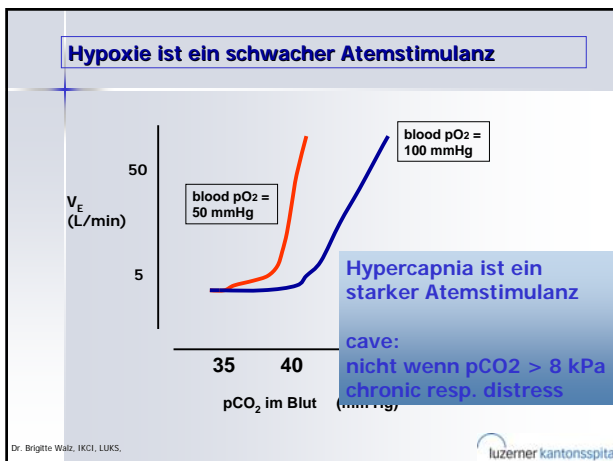
Atemregulation

- Mechanorezeptoren in der Brustwand
- Bronchokonstriktion/-dilatation (Luftfeuchtigkeit)
- Schluckreflex
- Hustenreflex
- Sprechen
- Schmerz oder Stress




Quelle: Uni Jena
luzerner kantonsspital



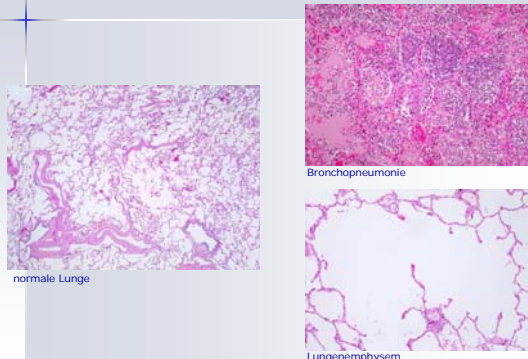



Störungen der Sauerstoffversorgung

- Störungen der Sauerstoffaufnahme
 - zu tiefer O₂-Gehalt der Einatemungsluft
 - alveoläre Hypoventilation
 - Ventilations-/Perfusions-Verteilungsstörungen
 - vaskuläre Kurzschlüsse (Shunts)
 - O₂-Diffusionsstörungen
- Störungen des Sauerstoff-Transports
 - Anämie
 - kardiale Insuffizienz
- Störungen der Sauerstoffabgabe
 - Rechtsverschiebung der Sauerstoff-Dissoziations-Kurve
- Erhöhter Sauerstoffbedarf
 - Fieber, Sepsis, Hyperthyreose

Dr. Brigitte Walz, IKCI, LUKS, 


Histologie der Lunge




Dr. Brigitte Walz, IKCI, LUKS, 

Können wir Sauerstoff unbeschränkt geben?

- Retrolentale Fibroplasie
 - Bindegewebsvermehrung im Auge → Sehstörungen
 - untergewichtige Frühgeborene als Folge eines Überangebotes von Sauerstoff im Brutkasten in der 2.-10. Woche Neubildung von Netzhautgefässen
- Sauerstofftoxikose
 - die Folgen länger dauernder Einatmung eines Gasgemischs mit > 60% O₂-Gehalt (insbesondere bei O₂-Überdruckbeatmung).
 - Symptome sind
 - > zentrale Erregung
 - > epileptiforme Krämpfe
 - > Hyperthermie
 - > Schädigung der Alveolarmembran (bis hin zum toxischen Lungenödem)


Dr. Brigitte Walz, IKCI, LUKS, 

Physikalische Grundlagen
Physikalische Grundlagen

Dr. Brigitte Walz, IKCI, LUKS. 

Physikalische Grundlagen

- Druck der Gase Einheiten: mmHg , kPa (S.I.)
1 kPa = 1 N/m²
- Gesetz von Dalton \rightleftharpoons beschreibt Partialdruck der einzelnen Gase eines Gemisches
- Gesetz von Boyle-Mariotte-Gay-Lussac \rightleftharpoons beschreibt Abhängigkeit von Druck und Temperatur

Dr. Brigitte Walz, IKCI, LUKS. 


Der Partialdruck = Anteil eines Gases in einem Gasgemisch am gesamten Druck

Beispiel: Gas mit einem Gesamtdruck von 101 kPa bestehend aus

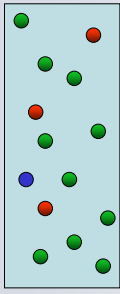
- 20.0 % Sauerstoff
- 5.6 % Kohlendioxyd
- 74.4 % Stickstoff

p_{O_2}	=	101 x 0.200	=	20.2 kPa
p_{CO_2}	=	101 x 0.056	=	5.7 kPa
p_{N_2}	=	101 x 0.744	=	75.1 kPa
Gesamtdruck = 101.0 kPa				

➔ Partialdruck eines Gases kann durch ändern des Anteils dieses Gases erhöht (oder erniedrigt werden) !

Dr. Brigitte Walz, IKCI, LUKS. 

Luftdruck (Gasdruck)



- Gasdruck durch Brown'sche Bewegungen der Gasmoleküle

Dalton's Gesetz

- Partialdruck ist der Anteil des betr. Gases im Gasgemisch am Gesamtdruck
- 20 % Sauerstoff ●
- 80 % Stickstoff ●

Dr. Brigitte Walz, IKCI, LUKS. luzerner kantonsspita

Henry's Gesetz

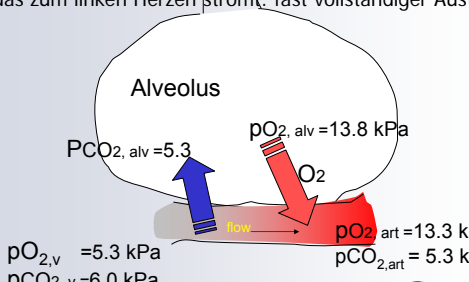


Der Partialdruck eines Gases ist gleich dem Partialdruck in der Flüssigkeit, mit welcher das Gas in Kontakt ist.

Dr. Brigitte Walz, IKCI, LUKS. luzerner kantonsspita

Partialdruck in den Alveolen

Der Partialdruck der Gase in den Alveolen ist nahezu gleich wie im Blut in der Vena pulmonalis, das zum linken Herzen strömt: fast vollständiger Austausch



Alveolus

$PCO_{2,alv} = 5.3$ $pO_{2,alv} = 13.8 \text{ kPa}$


$pO_{2,v} = 5.3 \text{ kPa}$ $pCO_{2,v} = 6.0 \text{ kPa}$

$pO_{2,art} = 13.3 \text{ kPa}$ $pCO_{2,art} = 5.3 \text{ kPa}$

Dr. Brigitte Walz, IKCI, LUKS. luzerner kantonsspita


Partialdrucke bei 760 mm Hg Luftdruck (101 kPa)

- $pO_2 = 101 \cdot 0.200 = 20.2 \text{ kPa} = 151 \text{ mmHg}$
- $pCO_2 = 101 \cdot 0.056 = 5.8 \text{ kPa} = 42 \text{ mmHg}$
- $pN_2 = 101 \cdot 0.744 = 75.1 \text{ kPa} = 564 \text{ mmHg}$

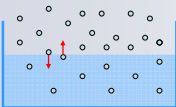
Dr. Brigitte Walz, IKCI, LUKS. 

Umrechnung der Druckeinheiten

- $1 \text{ mmHg} = 133.3 \text{ Pa}$
- oder 0.1333 kPa
- $1 \text{ kPa} = 7.5 \text{ mmHg}$


Dr. Brigitte Walz, IKCI, LUKS. 

Löslichkeit von Gasen in Flüssigkeiten



abhängig von:

- > Druck (Partialdruck)
- > Temperatur (**sinkt** bei steigender Temperatur)
- > Löslichkeitskoeffizienten des Gases im Plasma

Dr. Brigitte Walz, IKCI, LUKS. 


Löslichkeit von Gasen

Definition:
Anzahl mL eines Gases, die sich in 1 mL einer Flüssigkeit (z.B. Wasser, Plasma) löst

Für Blut bei 37°C beträgt der Löslichkeitskoeffizient:


- für O₂ = 0,024 ~ 3 mL/L
- für CO₂ = 0,49 ~ 60 mL/L

daher braucht es Hämoglobin als Sauerstoffträger

Dr. Brigitte Walz, IKCI, LUKS. 

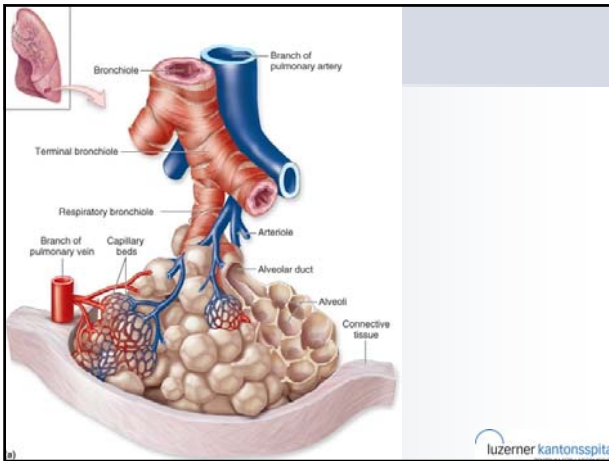
Sauerstoffverbrauch

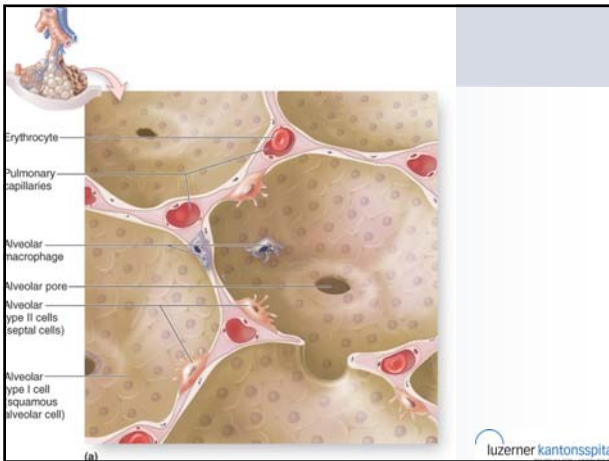
- Der Sauerstoffverbrauch in Ruhe (Erwachsener) beträgt ca. 3.5 mL/kgKG und Minute
- 70 kgKG → 245 mL pro Minute
maximale Transportkapazität des Blutes = 1 L O₂
- Frühchen: 6 – 6.7 mL/kgKG und Minute

Dr. Brigitte Walz, IKCI, LUKS. 

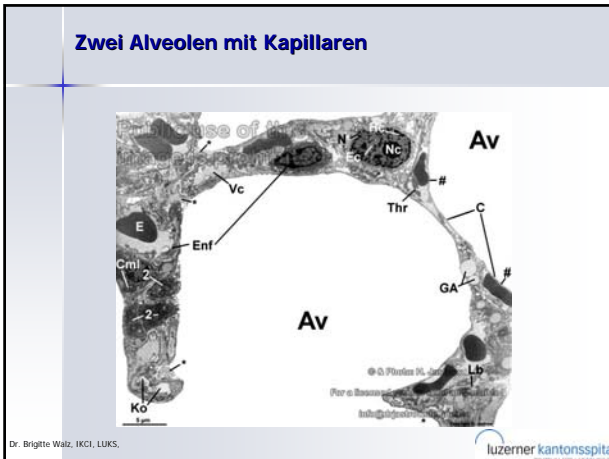
Transport von Sauerstoff und CO₂ im Blut

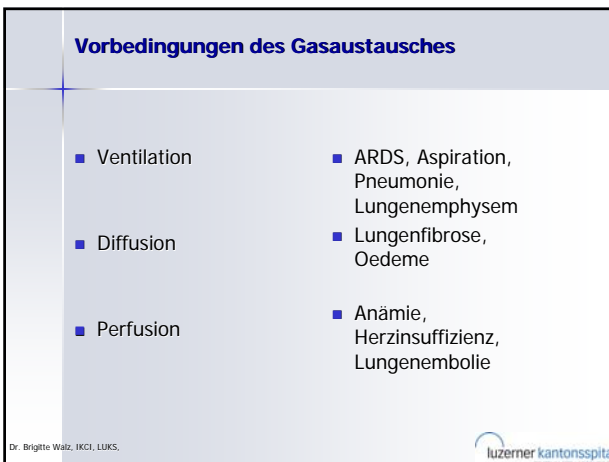
Dr. Brigitte Walz, IKCI, LUKS. 

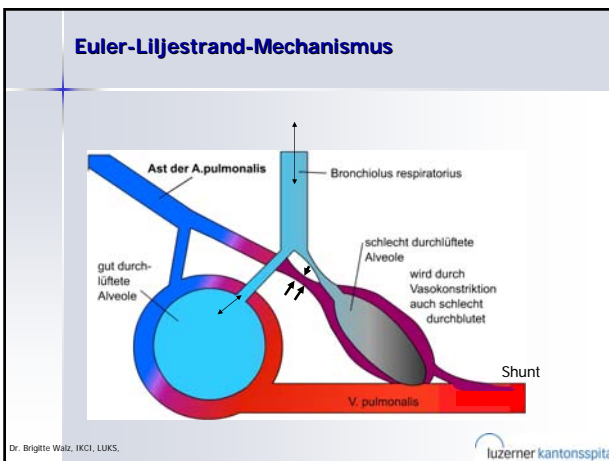












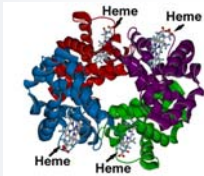
Sauerstofftransport im Blut


Dr. Brigitte Walz, IKCI, LUKS. 

Transport des Sauerstoffs im Blut

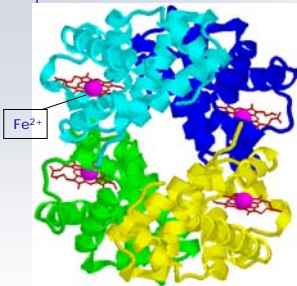
Sauerstoff wird in 2 Formen im Blut transportiert:

- Gelöst 3 mL/L Blut
- An Hämoglobin gebunden 200 mL/L




Dr. Brigitte Walz, IKCI, LUKS. 

Sauerstofftransport im Blut: Hämoglobin



HbA: 2 α - und 2 β -Ketten
HbA₂: 2 α - und 2 δ -Ketten
HbF: 2 α - und 2 γ -Ketten


1 g Hämoglobin kann 1.34 mL O₂ binden

Dr. Brigitte Walz, IKCI, LUKS. 

Hämoglobinformen

- oxygeniertes Hämoglobin (O₂Hb / OHb)
- desoxygeniertes Hämoglobin (HHb)
- Dyshämoglobine, transportieren keinen Sauerstoff
 - Carboxyhämoglobin
 - Methämoglobin
 - Sulfhämoglobin

Dr. Brigitte Walz, IKCI, LUKS.



Carboxyhämoglobin


- **COHb** mit Kohlenmonoxyd
- CO bindet 210 mal stärker als O₂
- Entsteht bei Bränden (Feuerwehrmänner)
- Kohlen- oder Bricketfeuerung
- Tabakrauch
- Autoabgase (nur wenn ohne Katalysator)

Durch den Abbau von Hb, Myoglobin, Zytochrome kommt es spontan zur Bildung von COHb

Wichtig bei Neugeborenen: bis zu 10% COHb durch Abbau von Hbf

Normalwerte:
Nichtraucher 1%
Raucher: 3 – 9%


Dr. Brigitte Walz, IKCI, LUKS.



Carboxyhämoglobin Symptome

- < 10%: leichte Vergiftung
 - meist symptomlos
- 10 – 20%: milde Vergiftung
 - eingeschränkte Hirnfunktion, Sehstörungen
- 20 – 30%: moderate Vergiftung
 - Kopfschmerzen
 - ZNS
- 30 – 40%: schwere Vergiftung
 - Koma, Krampfanfälle, Herzrhythmusstörungen
- > 50%: tödliche Vergiftung

Dr. Brigitte Walz, IKCI, LUKS.



Methämoglobin


- **MethHb ist ein oxidiertes Hb**
mit Fe³⁺ statt Fe²⁺
- MethHb hat eine geringe Affinität zu O₂

Normalwerte:
< 1%

- Durch Einnahme oxydativer Substanzen
- Aniline (Flächenmaler), Nitrobenzol
- Medikamente: **Nitrate**, Lokalanästhetica, p-Aminosalizylsre
- NO Beatmung


Therapie: früher Methylenblau, jetzt Ascorbinsäure
Wenn MethHb in hoher Konzentration vorliegt, erscheint die Haut zyanotisch (das MethHb färbt das Blut bräunlich)

Dr. Brigitte Walz, IKCI, LUKS.




Methämoglobin

- Symptome bei schweren Fällen (MethHb > 8%)
 - Hypoxie
 - Zyanose
 - Dyspnoe, Tachypnoe
 - gestörte mentale Funktion



Quelle: med4you


Dr. Brigitte Walz, IKCI, LUKS.



Methämoglobin Studie

- 2 Medizinische Zentren in den USA (1300 Betten)
 - in 28 Monaten 138 Fälle von erworbener Methämoglobinämie (> 2% MethHb)
 - mild: 103 Fälle, erheblich: 24 Fälle, schwer 11 Fälle
- Ursachen
 - 58 unter Dapson (Antibioticum gegen Lepra)
 - 32 in Zusammenhang mit Operationen
 - 6 pädiatrische Fälle (Dehydratation)
 - 5 unter Primaquin
 - 5 nach Benzocain-Spray
 - 4 unter Dapson plus Primaquin
 - 4 Einzelfälle
- 1 Todesfall (plus 3 Nahe-zu-Todesfälle)

Dr. Brigitte Walz, IKCI, LUKS.




Sulfhämoglobin

- **SHb** mit Schwefelatom und Fe³⁺
- SHb hat keine Affinität zu O₂
- Durch Einatmen von H₂S-(Wasserstoffdisulfid)
- Schwefelarbeiter in Indonesien
- Medikamente: Sulfonamide

Therapie: Bluttransfusion

Das SHb färbt das Blut grünlich


Dr. Brigitte Walz, IKCI, LUKS.

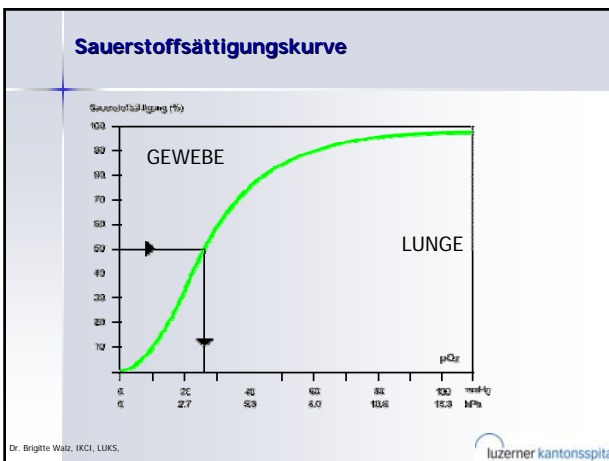


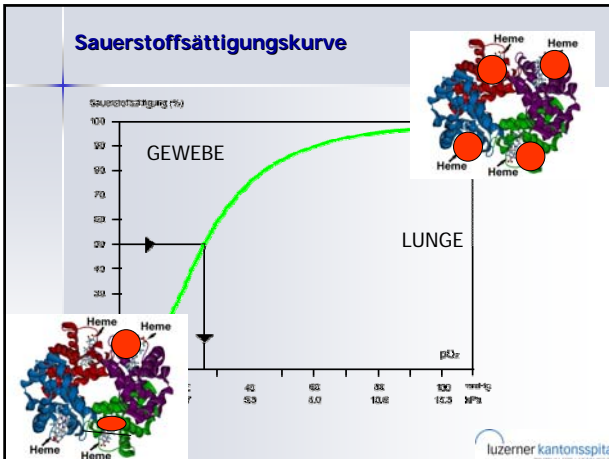
Sauerstoffsättigung sO₂

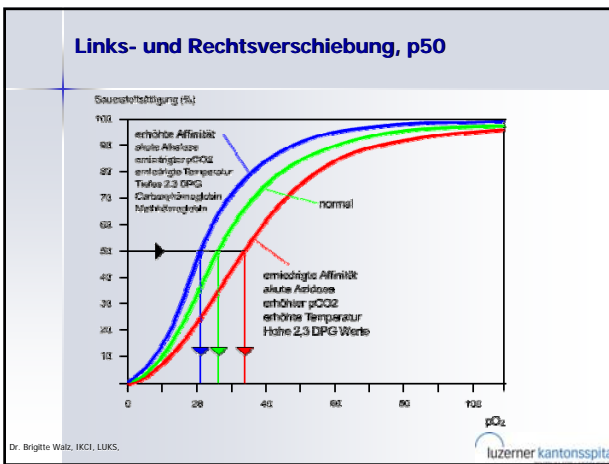
- $sO_2 = \frac{cOHb}{cOHb + cHHb} \times 100 \quad [\%]$
- Funktionelle Sättigung
FOHb = cOHb / tHB (inkl. COHb + MetHb)

Dr. Brigitte Walz, IKCI, LUKS.



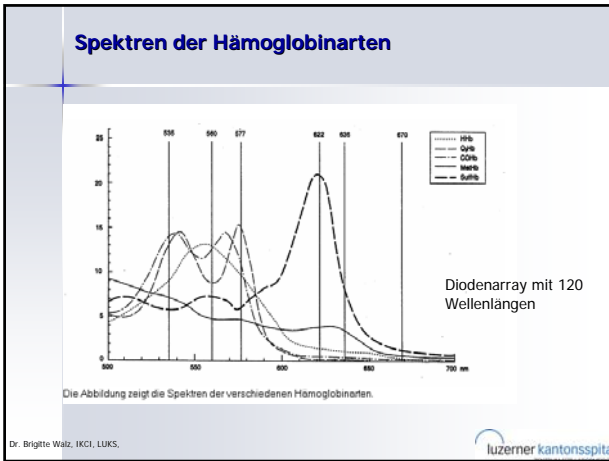






Sauerstoffsättigung des Hämoglobins

- Linksverschiebung der Kurve
 - hohe Sauerstoffsättigung bei relativ niedrigem pO_2
 - Beladung des Hämoglobins erleichtert
- Rechtsverschiebung der Kurve
 - niedrige Sauerstoffsättigung bei relativ hohem pO_2
 - Abgabe des Sauerstoffs erleichtert
- p50: pO_2 bei Halbsättigung
 - Mass für die Lage der Sauerstoffsättigungskurve
 - Norm zwischen 3.4 und 3.8 kPa
 - erhöhter p50 = Verschiebung der ODK nach rechts
 - erniedrigter p50 = Verschiebung der ODK nach links






Die gängigsten Analyte

pH	tHb	Na ⁺
pCO ₂	FO ₂ Hb	K ⁺
pO ₂	FHHb	Ca _i ⁺⁺
BE	FCOHb	Cl ⁻
HCO ₃ ⁻ akt	FMethHb	
HCO ₃ ⁻ std	ev. fHb	Glucose
sO ₂		Lactat
tO ₂	Hct	Bilirubin
p50		Creatinin

Dr. Brigitte Walz, IKCI, LUKS. luzerner kantonsspita

Messtechniken


- Absorptionsphotometrie (Hämoglobin, Oxymetrie)
- ISE (ionensensitive Elektroden)
- Potentiometrie für pO_2
- pH-Elektroden für pH und pCO_2
- Elektroden für Metabolite (enzymatisch)

Dr. Brigitte Walz, IKCI, LUKS. 


Elektroden

Die Elektroden sind ähnlich aufgebaut, haben aber verschiedene Messprinzipien


1. Elektroden mit Potentiometrie
pH, pCO_2 , K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Cl^-
2. Elektroden an welchen eine elektrochemische Reaktion (auch enzymatisch) stattfindet und der Strom gemessen wird
 pO_2 , Glucose, Lactat, Bilirubin

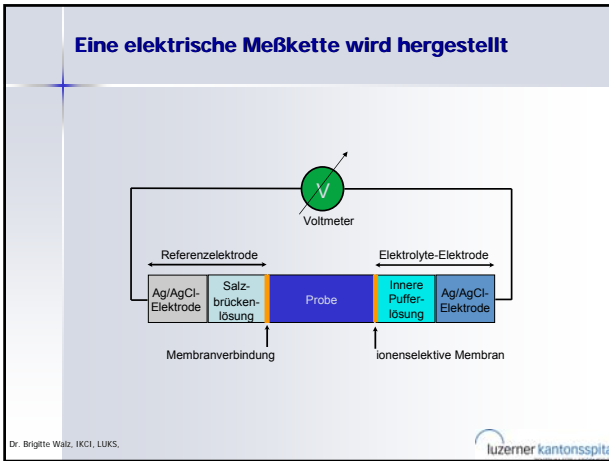
Dr. Brigitte Walz, IKCI, LUKS. 

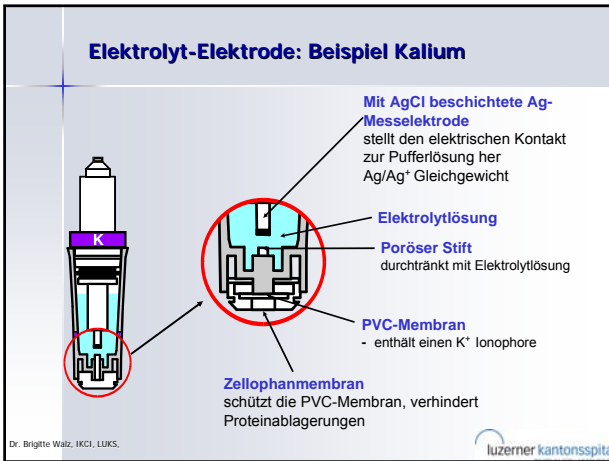
Allgemeiner Aufbau einer Elektrode

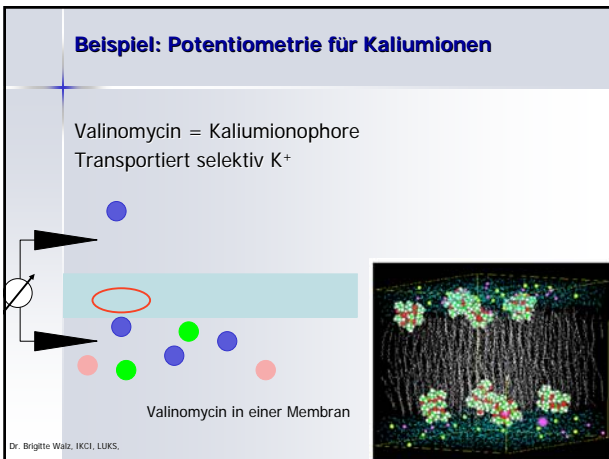


Der Begriff 'Elektrode' bezieht sich auf die gesamte Sensoreinheit.

Dr. Brigitte Walz, IKCI, LUKS. 







Beispiel: Potentiometrie für Kaliumionen

Valinomycin = Kaliumionophore
Transportiert selektiv K^+

Valinomycin in einer Membran

Dr. Brigitte Walz, IKCI, LUKS.

Kaliumsensitive Membran

PVC-Membran enthält Valinomycin

Zellophanmembran

Blutprobe

Am Ende der Messung
Konstanter K^+ -Austausch
→ konstantes Potential

Pufferlösung der Elektrode

K^+ -Austausch abhängig von c_{K^+} in der Probe
Ergibt unterschiedliches Potential an der Messelektrode (Ag/Ag $^+$)

- Andere Elektrolyt- Elektroden haben andere Ionen- Träger
- Keine PVC-Membran in der Na-Elektrode, stattdessen besteht der „Stift“ aus einem speziellen, ionenträgenden Material

Dr. Brigitte Walz

luzerner kantonsspital

Referenzelektrode

■ **MESSEN = VERGLEICHEN**

- Die Referenzelektrode hat ein stabiles Potential, gegen das andere Potentiale gemessen werden können
- Das Potential der Referenzelektrode wird durch die Probenzusammensetzung nicht verändert
- Die Referenzelektrode wird bei allen potentiometrischen Methoden (pH und Elektrolyte) eingesetzt

Dr. Brigitte Walz, IKCI, LUKS.

luzerner kantonsspital

pH - Elektrode

Elektrode zum Voltmeter

- Ag-Stab (mit AgCl beschichtet)**
 - stellt den elektrischen Kontakt zu einer inneren Pufferlösung her
 - Ag/AgCl Gleichgewicht bewirkt ein stabiles Potential
- Luftblase**
 - erlaubt die Ausdehnung der Lösung bei 37 °C
- Innere Pufferlösung**
 - hat einen konstanten und bekannten pH-Wert
- pH-empfindliche Glasmembran**
 - Veränderungen des Potentials nur aufgrund von Veränderungen im pH-Wert der Probe

Dr. Brigitte Walz

pH – empfindliche Glasmembran

Ag-AgCl Elektrode

Luftblase - Luftblase zum Temperatenausgleich

Puffer

H⁺-sensitives Glas

PROBE

Dr. Brigitte Walz, IKCI, LUKS.

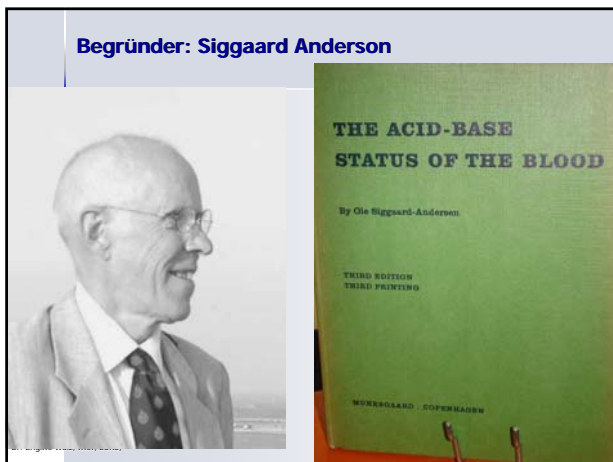
Schema einer Sensor Kassette

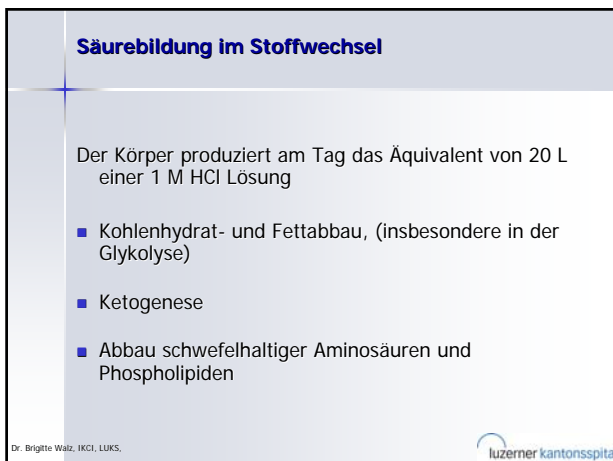
1, 3 Leitfähigkeitszellen des Luftblasenüberwachungssystems

- A** Referenz-Elektrode
- B** Referenz-Lösung (Hydrogel)
- C** Flüssigkeitsbrücke

Dr. Brigitte Walz, IKCI, LUKS.







Glucoseabbau anaerob

The diagram illustrates the anaerobic breakdown of glucose. It starts with a glucose molecule (a six-carbon ring) which is converted to a six-carbon linear chain. This process is labeled "Glykolyse". The final product shown is "Pyruvat" (pyruvate), a three-carbon molecule. The diagram shows the step-by-step conversion of glucose into pyruvate, with various chemical structures and arrows indicating the reaction steps.

Dr. Brigitte Walz, IKCI, LUKS.

Zitronensäurezyklus

The diagram shows the Citric Acid Cycle (Zitronensäurezyklus) in the mitochondria. It is a cyclic pathway where acetyl-CoA enters the cycle and is converted to citrate, then to isocitrate, alpha-ketoglutarate, succinyl-CoA, succinate, malate, and finally back to oxaloacetate, which combines with acetyl-CoA to restart the cycle. The cycle is labeled "Zitronensäurezyklus in den Mitochondrien".

Dr. Brigitte Walz, IKCI, LUKS.

Ketogenese (Leber)

- Durch eine Überproduktion von AcetylCoA in den Hepatozyten werden alternative Stoffwechselwege angekurbelt bei denen "Ketone" entstehen

The diagram shows the chemical reaction of ketogenesis. Acetylacetyl-CoA (a four-carbon molecule) is converted to 2-Hydroxybutyrate (a four-carbon molecule) with the consumption of NADH₂ and production of NAD⁺. Alternatively, Acetylacetyl-CoA can be converted to Acetone (a three-carbon molecule) with the release of CO₂.


Dr. Brigitte Walz, IKCI, LUKS.

pH

- Für die Angabe der Konzentration bzw. der Aktivität der Wasserstoffionen wird üblicherweise der pH-Wert verwendet, der dem negativen Zehner-Logarithmus der Wasserstoffionenkonzentration entspricht:


$$\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$$

$$[\text{H}^+] = 10^{-\text{pH}}$$

Dr. Brigitte Walz, IKCI, LUKS. 

pH versus H⁺ Konzentration


pH	[H ⁺] nmol/L
6.9	126
7.0	100
7.1	79
7.2	63
7.3	50
7.4	40
7.5	32
7.6	25
7.7	20

Dr. Brigitte Walz, IKCI, LUKS. 

Elektrolyte im Blut


145 mmol/L Na ⁺	=	145 000 000	nmol/L
95 mmol/L Cl ⁻	=	95 000 000	nmol/L
24 mmol/L HCO ₃ ⁻	=	24 000 000	nmol/L
4.5 mmol/L K ⁺	=	4 500 000	nmol/L
2.5 mmol/L Ca ²⁺	=	2 500 000	nmol/L
1.0 mmol/L Mg ²⁺	=	1 000 000	nmol/L
40 nmol/L H⁺	=	40	nmol/L

Es sind sehr wenige Wasserstoffionen frei im Plasma vorhanden im Vergleich mit den anderen Ionen!

Dr. Brigitte Walz, IKCI, LUKS. 


Was sind Säuren? Was sind Basen?


- **Säuren** sind Substanzen, die in der Lage sind Protonen (H^+ , H^+ -Ionen, Wasserstoffionen) abzuspalten. Sie werden daher auch als Protonendonatoren bezeichnet:
$$HA \rightarrow H^+ + A^-$$
- **Basen** sind Wasserstoffakzeptoren
$$A^- + H^+ \rightarrow HA$$

Dr. Brigitte Walz, IKCI, LUKS. 

Die Puffersysteme des Blutes

- Kohlensäure-Bicarbonatsystem
- Hämoglobin in den Erythrozyten
- Plasmaproteine
- Phosphatpuffer (v.a. intrazellulär)




Dr. Brigitte Walz, IKCI, LUKS. 

Henderson Hasselbalch-Gleichung

$$pH = pK_a + \log \frac{[A^-]}{[HA]}$$

- Für die Dissoziation der Säure $HA \rightleftharpoons H^+ + A^-$
- Je niedriger der pK_a -Wert, desto mehr Protonen gehen in Lösung über, wenn man den Puffer ansetzt (mischt)
- Je näher der pK_a -Wert eines Puffersystems am pH -Wert der Lösung bzw. des Blutes liegt, desto effizienter wirkt das Puffersystem.

Dr. Brigitte Walz, IKCI, LUKS. 

Henderson Hasselbalch-Gleichung: Folge

Das Bicarbonatsystem hat mit einem pK von 6.1 eine gute Pufferkapazität für das Blut (pH 7.3)

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

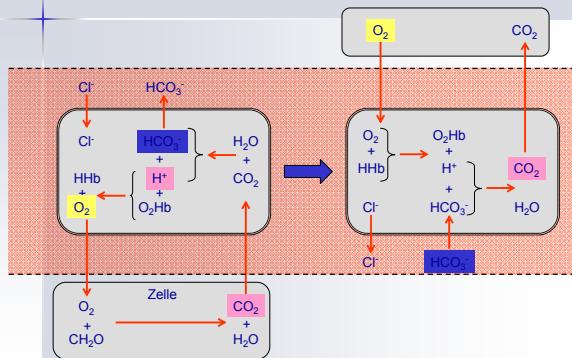
Bicarbonat aktuell : Bicarbonat berechnet aus CO₂ und aktuellem pH

Standard-Bicarbonat : Bicarbonat berechnet aus CO₂ und pH und normiert zu pH 7.4

Dr. Brigitte Walz, IKCI, LUKS,

luzerner kantonsspita

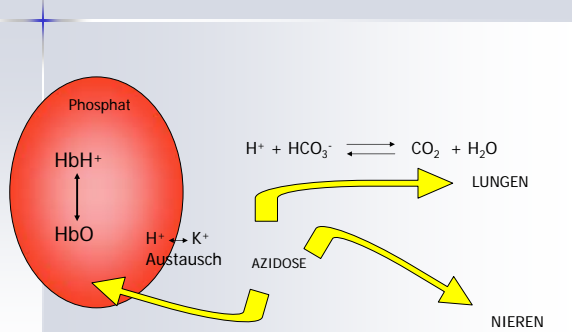
O₂ und CO₂-Transport



Dr. Brigitte Walz, IKCI, LUKS,

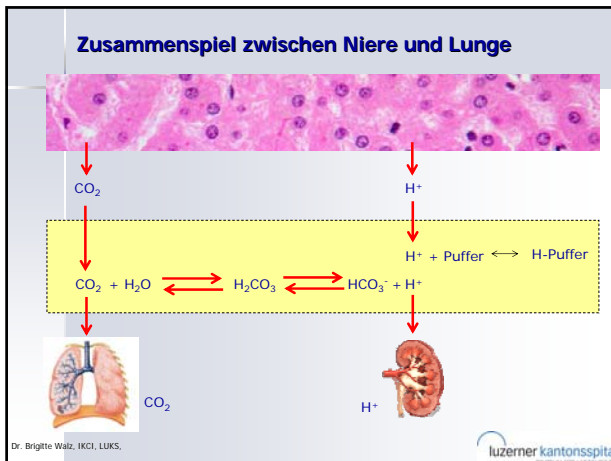
luzerner kantonsspita

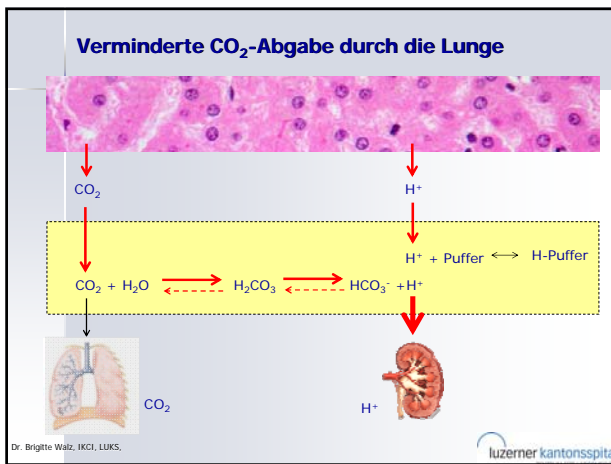
Beispiel: Azidose und Hb-Puffer

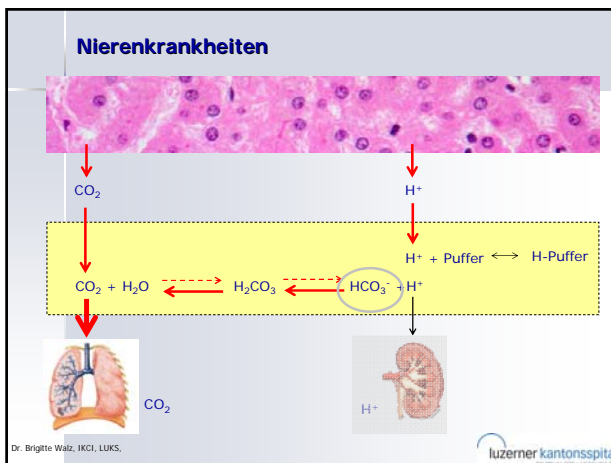


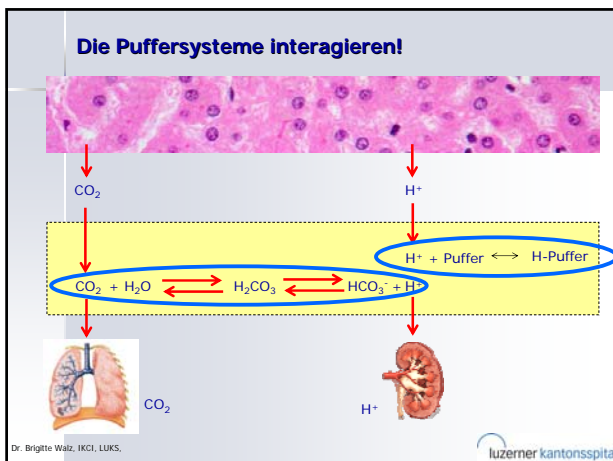
Dr. Brigitte Walz, IKCI, LUKS,

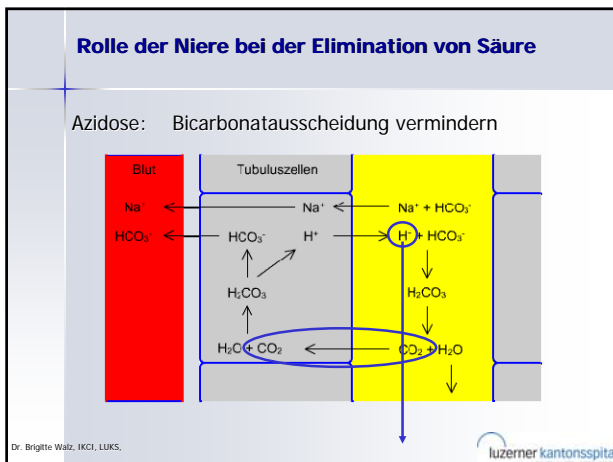
luzerner kantonsspita

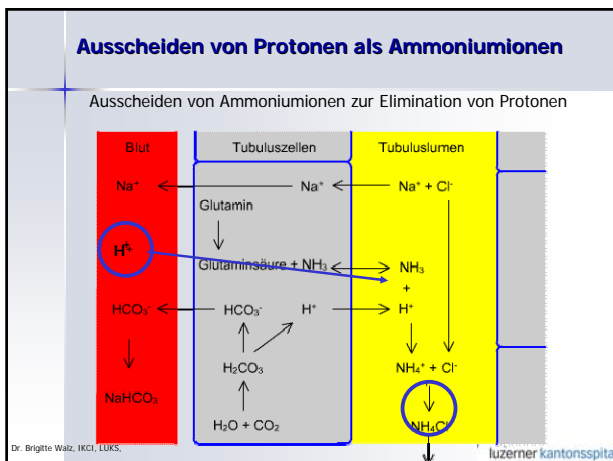












Ammoniak

- Eine gesunde Person scheidet etwa 20 - 50 mmol Ammoniak pro Tag aus
- Bei einer chronische Azidose steigt die Menge auf 200 - 500 mmol/die an
- Ammoniak ist ein sehr wichtiger Säureeliminator die Leber produziert Ammoniak aus AS (Glutamin)

Dr. Brigitte Walz, IKCI, LUKS.

Spezimen

- arterielles Blut
- gemischt-venöses Blut
- Kapillarblut (ev. kapilarisiert)
- Katheterblut aus definierten Gefässen (z.B. Herzkammer)


Dr. Brigitte Walz, IKCI, LUKS.

Säure-Basen-Status im Blutgasgerät

gemessen werden	
pH-Wert	Mass für die H ⁺ -Ionenkonzentration
pCO ₂	Partialdruck des Kohlendioxids
daraus können berechnet werden	
HCO ₂ aktuell	aktuelles Bicarbonat im Plasma Die Berechnung basiert auf der Gleichung von Henderson und Hasselbalch
Basenabweichung	= Base excess. entspricht der Menge eine starken Säure oder Base, die erforderlich ist, um den pH-Wert bei einer metabolisch bedingten Abweichung zu normalisieren
HCO ₂ standard	Bicarbonatkonzentration im Plasma einer Blutprobe, die bei 37°C mit einem pCO ₂ von 40 mmHg und mit Sauerstoff zur Voll sättigung aquilibriert wurde.
Gesamtpufferbasen	Summe der Konzentrationen all der Pufferformen, die H ⁺ -Ionen aufnehmen können, wie HCO ₂ ⁻ ; Hb ⁻ ; HbO ₂ ⁻ ; HPO ₄ ²⁻
Gesamt CO ₂	Summe der Konzentrationen von CO ₂ , H ₂ CO ₃ und HCO ₂ ⁻

Dr. Brigitte Walz, IKCI, LUKS.

Störungen im Säuren-
Basenhaushalt

Dr. Brigitte Walz, IKCI, LUKS. 


- Azidosen
- Alkalosen

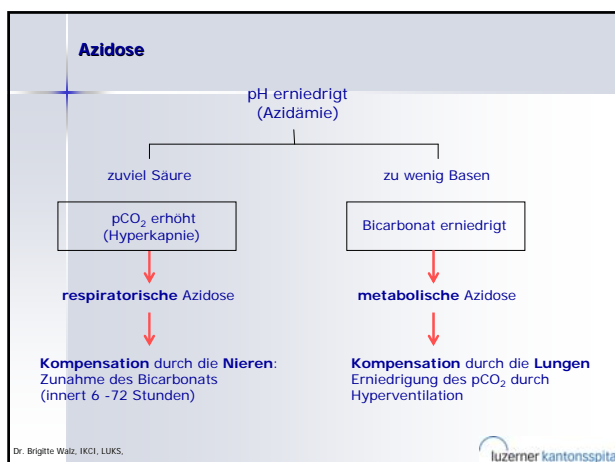
Dr. Brigitte Walz, IKCI, LUKS. 

Fall 2


pO ₂	38.0	9.50 - 13.9 kPa
O ₂ -Sättigung	98.9	95 - 98.5 %
pH	7.232	7.370 - 7.450
pCO ₂	6.04	4.7 - 6.1 kPa
Bicarbonat aktuell	18.4	21.0 - 26.0 mmol/L
Bicarbonat standard	17.7	21.0 - 26.0 mmol/L
Basenabweichung	-8.5	-2 bis +3 mmol/L

Hämoglobin	-	F: 115-148 / M: 127-163 g/L
COHb	-	< 2 %
MetHb	-	< 5 %

Dr. Brigitte Walz, IKCI, LUKS. 



- metabolische Azidose: Ursachen**
- Erhöhte Produktion von H⁺
 - Diabetische Ketoazidose, Lactatazidose, alkoholische Ketoazidose
 - langdauernder Hungerzustand
 - verminderte Ausscheidung von metabolischen Säuren
 - Nierenversagen, Urämie
 - Zufuhr von metabolischen Säuren
 - Salicylatintoxikation, Paraldehyd, Methanol, Äthylenglykol
 - Gastrointestinaler oder renaler Bicarbonatverlust
 - Diarrhoe, Fisteln
 - renale tubuläre Azidose
 - verminderte Mineralcorticoide: M. Addison

- Diabetische Ketoazidose**
- Insulinmangel → "Keton"-Produktion in den Hepatozyten
 - Diagnose: Urin (Sticks, sensitiver als Plasma)
Glucose > 15 mmol/L
 - Therapie
Infusion (Volumen), Insulin, ev. HCO₃⁻, wenn < 10 mmol/L
 - CAVE:
 - Hypokaliämie
 - Alkalose durch Abbau der Ketone
 - Hypoglykämie durch Wirkung Insulin
- Dr. Brigitte Walz, IKCI, LUKS. 


Kompensation einer metabolischen Azidose

Kompensation:

- Mehrventilation mit Hypokapnie

Zur Kompensation der metabolischen Azidose sollte der $p\text{CO}_2$ um ungefähr 0.16 kPa (1,2 mmHg) für jede Erniedrigung des Bicarbonats von 1,0 mmol/l abnehmen. Die Kompensationsmechanismen setzen innerhalb von Minuten ein, es kann jedoch bis zu 24 Stunden dauern, bis sie maximal wirken. Der $p\text{CO}_2$ fällt dabei nicht unter einen Wert von 1.3 kPa (10 mmHg).


Dr. Brigitta Walz, IKCI, LUKS.



Fallbeispiel

- Mann 59 jr, komatös eingeliefert
- Labor:
pH 6.92
 $p\text{CO}_2$ 2.4 kPa, Bicarbonat 9 mol/L, BE 18 mmol/L
- metabolische Azidose, teilw. kompensiert
Lactat erhöht
grosse Anionlücke
grosse osmotische Lücke
- spitalbekannter Alkoholiker


Dr. Brigitta Walz, IKCI, LUKS.



Vergiftung mit Ethylenglycol

- Ethylenglykol wird durch die ADH metabolisiert, es entstehen Säuren
- 100 mL ist letal
- Klinik:
 - Cristallurie (Oxalsäure), "Betrunken", Coma
 - Metabolische Azidose mit Anionenlücke
 - Lungenödem
 - Nierenversagen
- Therapie: Ethanol (!), Formepizol, Dialyse

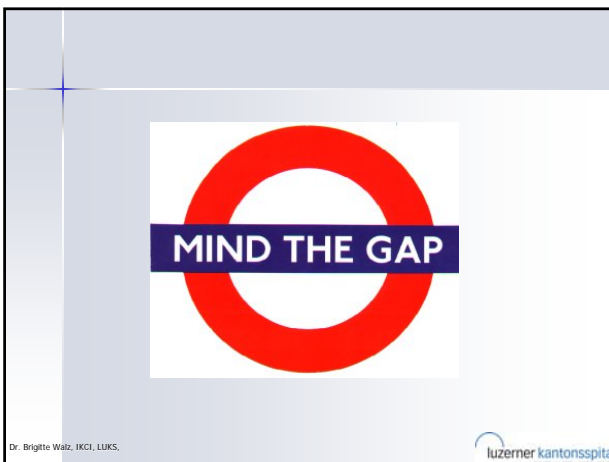
Dr. Brigitta Walz, IKCI, LUKS.



Blutgase				
pH	7.35-7.45	7.09 *	7.20 *	7.16 *
pCO ₂	4.3-6.2 kPa	2.6 *	2.6 *	4.0 *
pO ₂	7.0-13.0 kPa	11.8	9.6	10.0
Akt. Basenüberschuss	-3 - 2 mmol/L	-22.5 *	-19.3 *	-17.1 *
HCO ₃	21-26 mmol/L	5.7 *	7.3 *	10.1 *
O ₂ -Sättigung	94-99 %	94.6	93.1 *	93.0 *
ABL Elektrolyte				
Natrium	135-145 mmol/L	141	140	135
Kalium	3.5-5.1 mmol/L	3.6	3.4 *	3.4 *
Calcium ionisiert	1.12-1.32 mmol/L	1.01 *	0.95 *	0.91 *
Chlorid	96-111 mmol/L	122 *	119 *	113 *
Anion Gap (K ⁺):	10-21 mmol/L	17.5	17.1	15.7
Blutchemie				
Harnstoff	<9.0 mmol/L			44.5 *
Creatinin (enzymatisch)	<31 µmol/L			377 *

Dr. Brigitte Walz, IKCI, LUKS,

luzerner kantonsspita



Dr. Brigitte Walz, IKCI, LUKS,

luzerner kantonsspita

Respiratorische Azidose

Die respiratorische Azidose beruht auf einer verminderten CO₂-Ausscheidung durch die Lungen (Hypoventilation) durch

- mechanische Behinderung der Ventilation: Lungenfibrose, Lähmung der Atemmuskulatur
- Störung der Blutversorgung: Lungenembolie, pulmonale Stauung
- Diffusionsstörungen: Lungenödem
- alleinige CO₂- Diffusionsstörungen sind selten, da CO₂ gut diffundiert (besser als Sauerstoff)

Dr. Brigitte Walz, IKCI, LUKS,


luzerner kantonsspita

Kompensation einer respiratorischen Azidose

- Kompensation durch:
Zunahme des Bicarbonats

Kompensatorisch wird von der Niere vermehrt Bicarbonat rückresorbiert und werden vermehrt Wasserstoffionen ausgeschieden

cave: Hyperkaliämie


Dr. Brigitte Walz, IKCI, LUKS, 

Alkalose

pH erhöht (Alkalosämie)


```

    graph TD
      A[pH erhöht (Alkalosämie)] --> B[Zu wenig Säure]
      A --> C[zuviel Basen]
      B --> D[pCO2 erniedrigt (Hypokapnie)]
      C --> E[Bicarbonat erhöht]
      D --> F[respiratorische Alkalose]
      E --> G[metabolische Alkalose]
      F --> H[Kompensation durch die Nieren:  
Zunahme der Bicarbonatausscheidung]
      G --> I[Kompensation durch die Lungen:  
Erhöhung des pCO2 durch Hypoventilation]
    
```

Dr. Brigitte Walz, IKCI, LUKS, 

Fall 5

pO ₂	9.02	9.50 - 13.9 kPa
O ₂ -Sättigung	95.1	95 - 98.5 %
pH	7.474	7.370 - 7.450
pCO ₂	5.55	4.7 - 6.1 kPa
Bicarbonat aktuell	30.2	21.0 - 26.0 mmol/L
Bicarbonat standard	30.1	21.0 - 26.0 mmol/L
Basenabweichung	6.4	-2 bis +3 mmol/L
Hämoglobin	105	F: 115-148 / M: 127-163 g/L
COHb	1.1	< 2 %
MetHb	0.3	< 5 %

Dr. Brigitte Walz, IKCI, LUKS, 

Respiratorische Alkalose

- Hypoxie
 - Lungenkrankheiten: Pneumonie, Asthma usw.
- ZNS bedingt
 - Tumor, Enzephalitis, Meningitis, Subarachnoidalblutung
 - Psychogen: Angst, Hyperventilation
- Gesteigerter Metabolismus
 - Fieber, Hyperthyreose, Anämie
- Salicylat-Intoxikation
- Sepsis
- Leberzirrhose
- Schwangerschaft
- Physische Überanstrengung
- Schmerzen

Dr. Brigitte Walz, IKKJ, LUKS. luzerner kantonsspita

Metabolische Alkalose

- Erniedrigung von H⁺
 - Chronisches Erbrechen von saurem Magensaft (hypochlorämische Alkalose)
 - Diuretica
 - Hypoparathyreoidismus
- Überschuss an Mineralcorticoiden
 - Cushing Syndrom
 - Primärer Hyperaldosteronismus
 - Bartter's Syndrom
- Hypokaliämie
 - schwere Diarrhoe (hyperchlorämische Alkalose)
 - Leberzirrhose
- Einnahme von Alkali
 - Verabreichung von Bicarbonat
 - Einnahme von Antazida

Dr. Brigitte Walz, IKKJ, LUKS.

Ready

Status / Control
Data Logs

18:30
07:00
17:40

Acid-Base Chart

Patient ID: 1234
Sample ID: 8

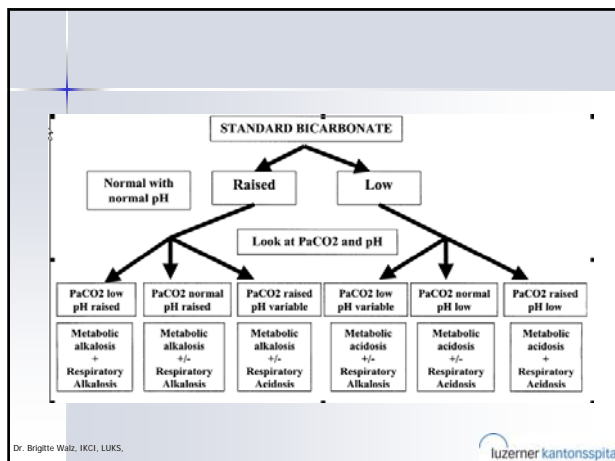
A: acute hypercapnia
B: chronic hypercapnia
C: metabolic alkalosis
D: acute hypocapnia
E: chronic hypocapnia
F: metabolic acidosis
G: acute metabolic acidosis
N: normal area

© Radiometer Medical AG, Therese 1076, 7000, All Rights Reserved.
Radiometer - Saggio & Partners, O - 3100, P
© 2011, All Rights Reserved, 2011-2012, Radiometer
Radiometer AS43

Print
Back

Dr. Brigitte Walz, IKKJ, LUKS. luzerner kantonsspita

39



Übungen

Dr. Brigitte Walz, IKCI, LUKS.

46-Jährige Patientin mit Diabetes mellitus

- pH : 7.42
- pCO₂: 4.8 kPa 36 mmHg
- pO₂: 9.0 kPa 67.5 mmHg
- HCO₃⁻: 22.9 mmol/L
- BE: -0.6 mmol/L


- pH normal
- Hypoxämie

Dr. Brigitte Walz, IKCI, LUKS.

12-Jährige Patientin mit Diabetes mellitus

- pH : 7.05
- pCO₂: 1.6 kPa 12 mmHg
- pO₂: 14.4 kPa 108 mmHg
- HCO₃⁻: 5 mmol/L
- BE: -30 mmol/L


– Schwere teilweise kompensierte metabolische Azidose mit Hypoxämie durch diabetische Ketoazidose

Dr. Brigitte Walz, IKCI, LUKS. 

**17 Jahre alter Mann, schwere Kyphoskoliose
Hospitalisation wegen Pneumonie**

- pH: 7.37
- pCO₂: 3.3 kPa 25 mmHg
- pO₂: 8.0 kPa 60 mmHg
- HCO₃⁻: 14 mmol/L
- BE : -7 mmol/L


– Kompensierte respiratorische Alkalose durch chronische Hyperventilation
Hypoxämie bedingt

Dr. Brigitte Walz, IKCI, LUKS. 

9-jähriger Junge mit Asthma

- pH: 7.51
- pCO₂: 3.3 kPa 25 mmHg
- pO₂: 4.7 kPa 35 mmHg
- HCO₃⁻: 22 mmol/L
- BE: -2 mmol/L

– Nicht kompensierte respiratorische Alkalose mit schwerer Hypoxie


Dr. Brigitte Walz, IKCI, LUKS. 

Kind: 7 Jr

Post-Op, Fieber, Schüttelfrost, Hypotension

- pH: 7.25
- pCO₂: 4.3 kPa 32 mmHg
- pO₂: 7.3 kPa 55 mmHg
- HCO₃⁻: 10 mmol/L
- BE: -15 mmol/L

– Nicht kompensierte gemischte Azidose
 Ungenügende Perfusion der Lungen: Hypoxie
 Laktat erhöht

Dr. Brigitte Walz, IKCI, LUKS. 

Referenzbereiche (CZL)

pO ₂	9.50 - 13.90	kPa
Sauerstoffsättigung	95.0 - 98.5	%
pH	7.370 - 7.450	
pCO ₂	4.70 - 6.10	kPa
Basenabweichung	-2 bis +3	mmol/L
Bicarbonat aktuell	21.0 - 26.0	mmol/L
Bicarbonat standard	21.0 - 26.0	mmol/L
Natrium	135 - 145	mmol/L
Kalium	3.5 - 4.8	mmol/L
Glucose	3.8 - 6.5	mmol/L
Lactat	0.5 - 1.6	mmol/L

Dr. Brigitte Walz, IKCI, LUKS. 