



WESTFÄLISCHE
WILHELMS-UNIVERSITÄT
MÜNSTER



Seminar: Blutgasanalytik

Dr. med. Bernhard Schlüter

Zentrale Einrichtung Labor

- UKM Labor -

Universitätsklinikum Münster

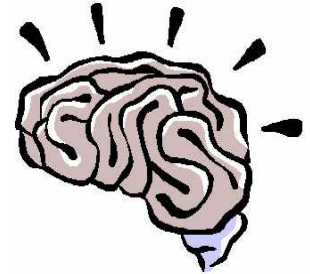
Wintersemester 2022/23

Gliederung

1. Anwendungen der Blutgasanalytik
2. Blutgasparameter
3. Messtechniken
4. Qualitätssicherung
5. Probengewinnung und Präanalytik
6. Diagnostische Strategien
7. Fallbeispiele



Einsatzfelder für die Blutgasanalytik



Blutgasparameter

Bereich	Messgrößen
<i>Im engeren Sinne:</i>	
Säure-Base-Status	pH / pCO ₂ / Standard-Bicarbonat / BE (Base Excess)
Sauerstoff-Status	pO ₂ / Hämoglobin (HK) / sO ₂ (O ₂ -Sättigung) p50 (Halbsättigungsdruck)/ ctO ₂ (O ₂ -Konzentration) CO-Hb / Met-Hb (Dyshämoglobine)
<i>Im weiteren Sinne:</i>	
Elektrolyte	Na ⁺ / K ⁺ / Ca ²⁺ / Cl ⁻
Metabolite	Glucose / Lactat / Kreatinin / Ammoniak / Bilirubin

Säure-Base-Status

- Gemessene Größen

pH

pCO₂

-
- Berechnete Größen

aktuelles Bicarbonat

$$\text{HCO}_3^- [\text{mmol/l}] = 0,0307 \text{ pCO}_2 [\text{mm Hg}] \times 10^{(\text{pH}-6,1)}$$

Standard-Bicarbonat

Standard-Basenabweichung (SBE)

Standardbedingungen:
pCO₂ 40 mm Hg,
pO₂ 100 mm Hg, 37 °C

Sauerstoff-Status

- Pulmonale O₂-Aufnahme



pO₂

- O₂-Transport im Blut



sO₂

Hb

- O₂-Versorgung der Gewebe



ctO₂

p50

BGA-Normalwerte arteriell

pH	7,36 - 7,44
pCO ₂	35 - 45 mm Hg
HCO ₃ ⁻ (SBC)	22 - 26 mmol/l
SBE	- 2 bis +2 mmol/l
pO ₂	75 - 100 mm Hg
sO ₂	> 95 %

Messtechniken

Blutgasanalysatoren

Benchtop Analyser

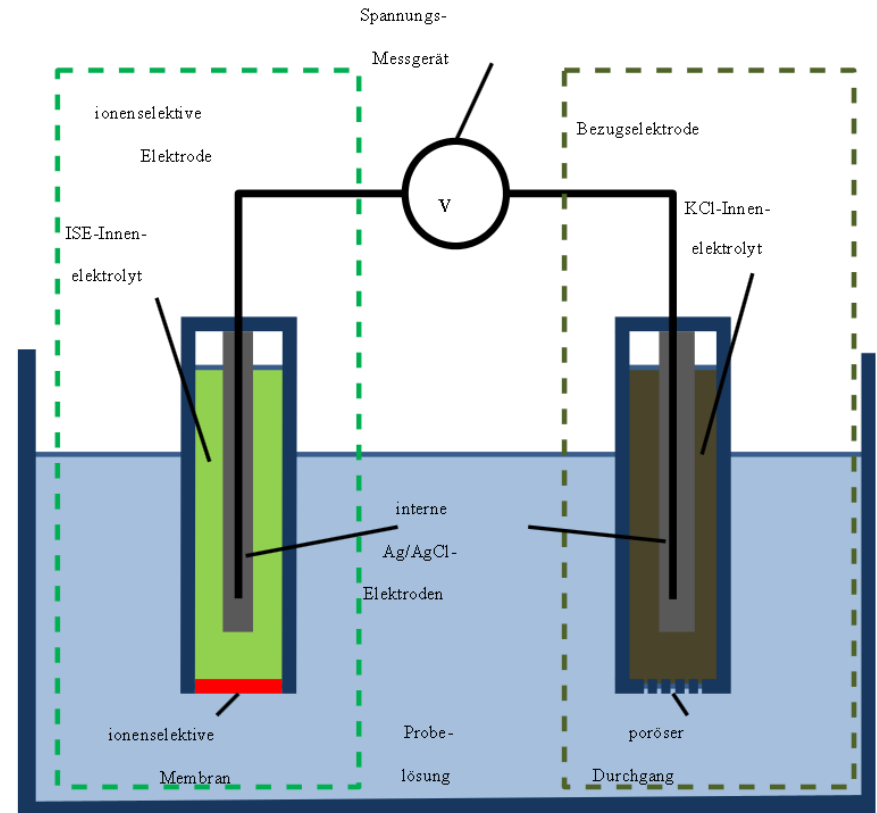


Handheld



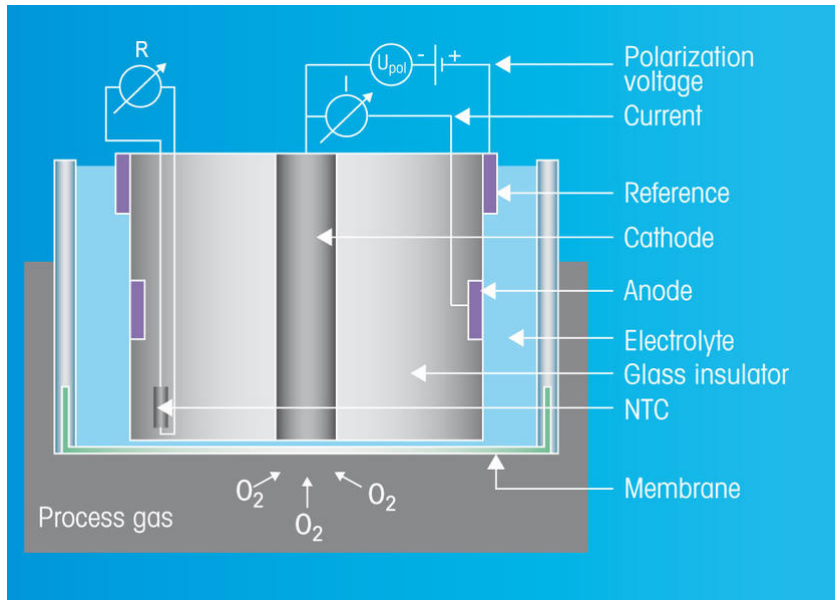
Elektrochemie: Potentiometrie

- Messprinzip von ionenselektiven Elektroden für pH, pCO_2 , Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Cl^-
- Potentialdifferenz $\sim \log$ der Ionenkonzentration im Serumwasser
- Direkte ISE (ohne Probenverdünnung)
- unabhängig von Lipid / Proteinkonzentration der Probe



Bildquelle: Wikipedia ISE

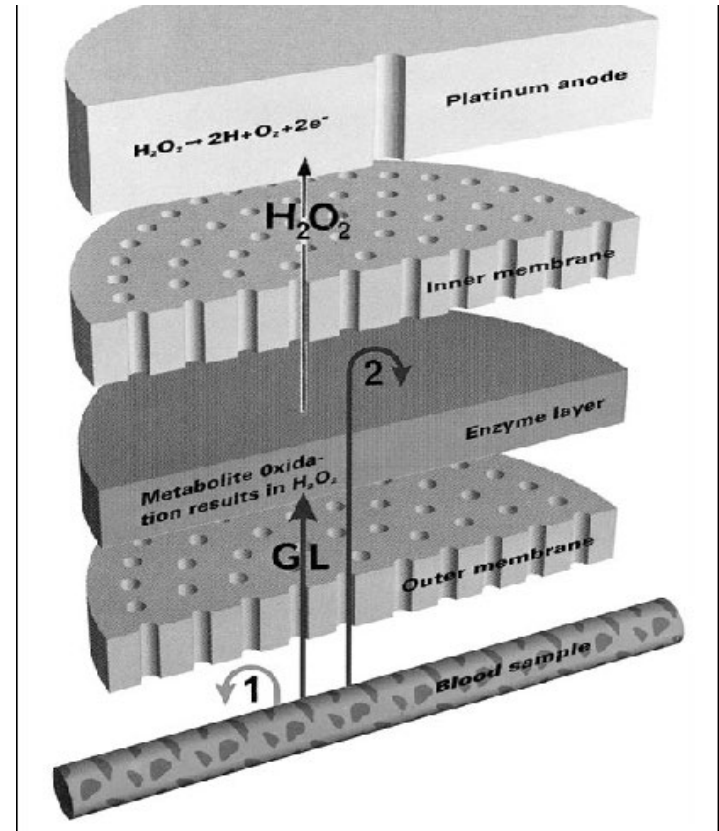
Elektrochemie: Amperometrie



Polarographische pO_2 Messung: Bildquelle: www.chemie.de

Kathode: $O_2 + 2H_2O + 4e^- \rightarrow OH^-$ (Reduktion)

Anode: $4OH^- \rightarrow O_2 + 2H_2O + 4e^-$ (Oxidation)

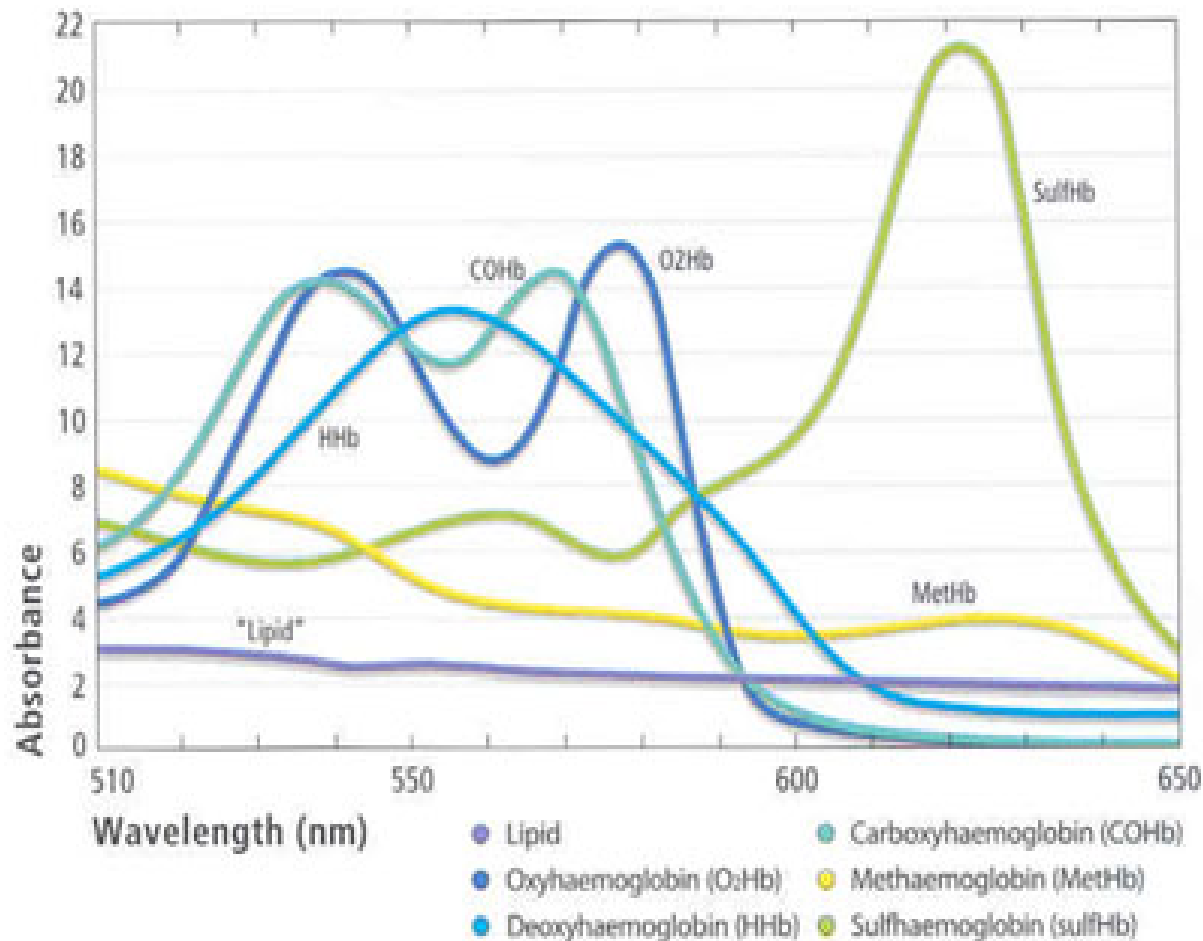


Prinzip Biosensor für Glucose/Lactat
im ABL 625, Fa. Radiometer

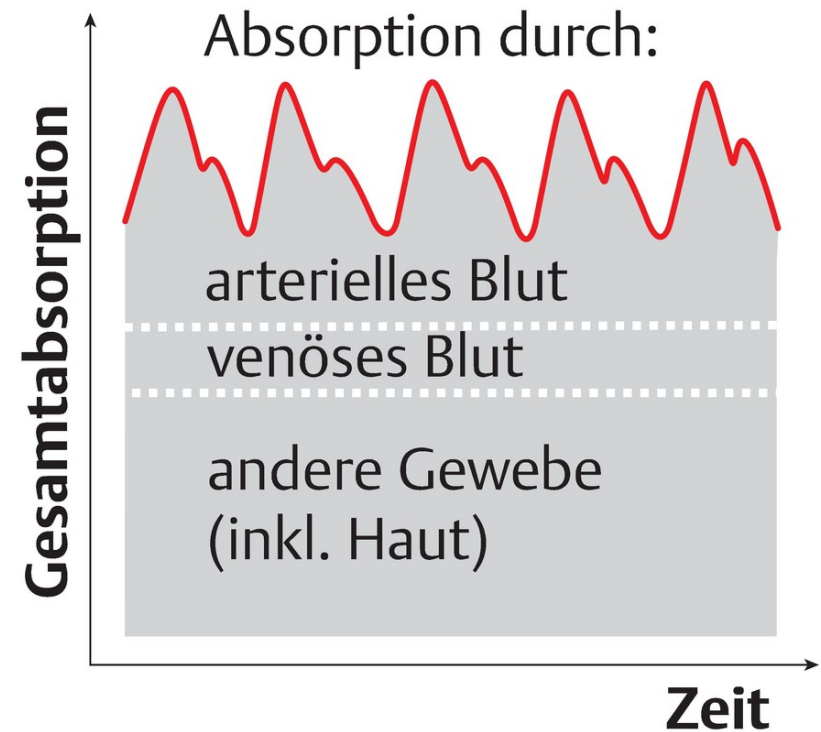
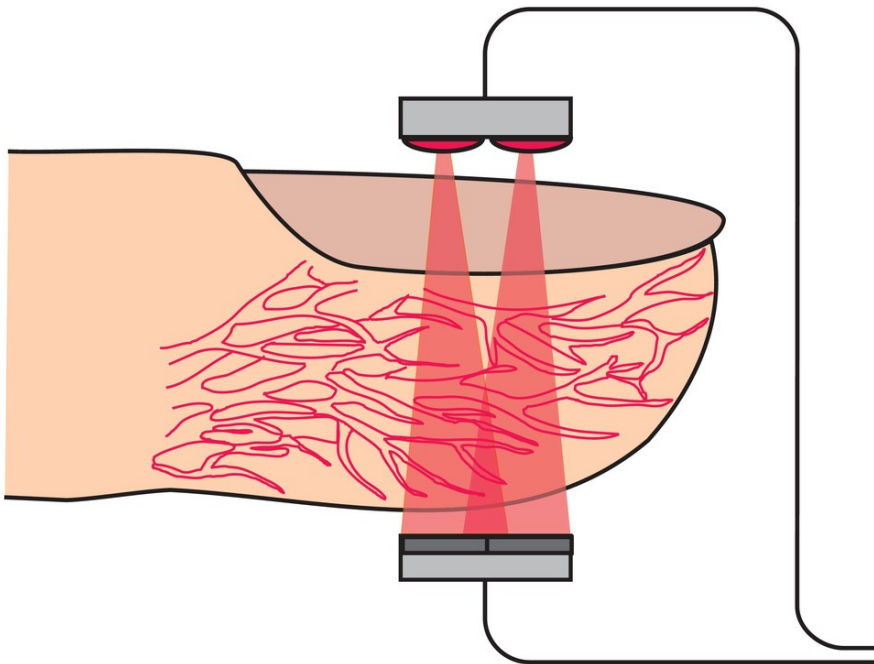
Oximetrie

Hb / Hb-Fraktionen / Sättigung / Dyshämoglobine

Messprinzip: **Multiwellenlängen-Spektrophotometrie**

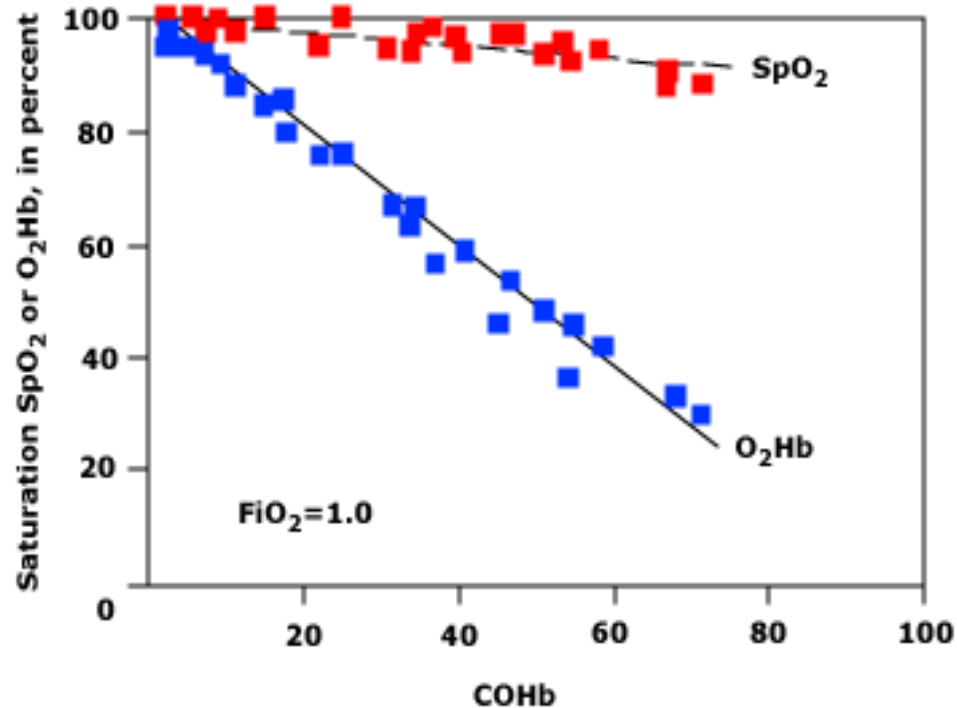


Pulsoximetrie



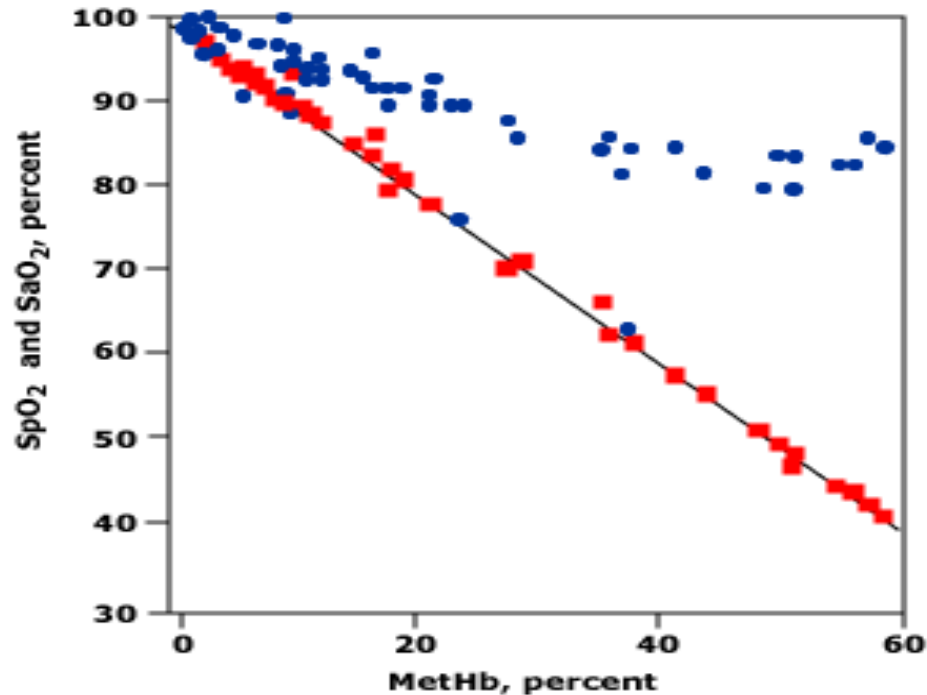
Quelle: [Rathgeber J. Pulsoximetrie](#). In: [Rathgeber J](#), Hrsg. [Grundlagen der maschinellen Beatmung](#).
2., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage. Stuttgart: Thieme; 2010. doi:10.1055/b-002-41834

Pulsoximetrie bei CO-Intoxikation



Gefahr der Überschätzung des O₂Hb-Gehalts durch Pulsoximeter bei CO-Intoxikation!

Pulsoximetrie bei Methämoglobinämie



Gefahr der Überschätzung des O₂Hb-Gehalts durch Pulsoximeter bei Methämoglobinämie!

Vergiftungssymptome bei Dyshämoglobinämie

- ab 10 % Zyanose (fehlt bei CO-Hb)
- ab 20 % Luftnot, Kopfschmerzen, Tachykardie
- ab 30 % Schwindel, Bewußtseinsstörung, Schwäche
- ab 40 % Kreislaufkollaps, Bewußtlosigkeit, Lähmung
- ab 60 % akute Lebensgefahr, Tod

Qualitätssicherung

Grundprinzipien der Qualitätssicherung

- Verbindliche **Richtlinien der Bundesärztekammer (RiLiBÄK)** zur Qualitätssicherung laboratoriumsmedizinischer Untersuchungen
- Vorgaben für die **interne** und **externe Qualitätskontrolle (QK)**
- Entscheidend für Art und Frequenz der durchzuführenden QK ist, **wo** die Blutgasanalytik erfolgt und mit **welchen Messsystemen**.

Interne QK



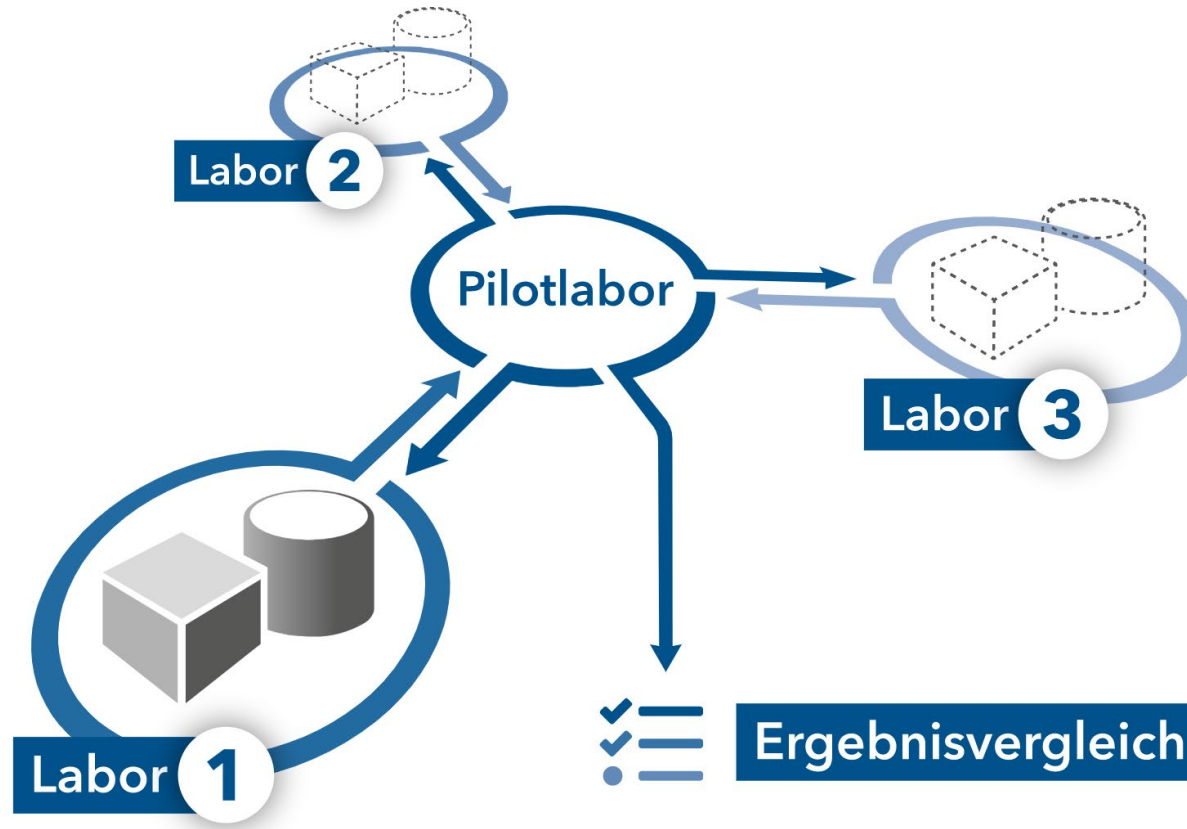
Einzelmessung von Kontrollproben

- **mindestens 2-mal innerhalb von 24 Stunden** und spätestens nach 16 Stunden
- außerdem **nach jedem Eingriff in das Messsystem** (Geräteneustart, Kalibration, Reparatur/Wartung, Reagenzchargenwechsel)
- Kontrollproben mit **bekannten Zielwerten**
- mindestens zwei unterschiedliche Konzentrationsbereiche im Wechsel
- **Bewertung unverzüglich** nach Messung
- Bei Überschreitung der erlaubten Fehlergrenze **Ursachenklärung und –Beseitigung**
- Erneute Freigabe des Messverfahrens unter **Berücksichtigung der medizinischen Relevanz**
- Zusätzlich **monatliche statistische Fehlerauswertung** (Kenngröße: relativer quadratischer Mittelwert der Messabweichung)

RiLiBÄK Vorgaben: Beispiel pO₂

1 lfd. Nr.	2 Messgröße	3 Zulässige relative Abweichung des Einzelwertes bzw. des relativen quadratischen Mittelwertes	4 Gültigkeitsbereich der Spalten 3 und 5			5 Zulässige relative Abweichung beim Ringversuch	6 Zielwertart beim Ringversuch
			von	bis	Einheit		
73	pO ₂	5,5 % 7,0 % 11,0 %	> 125 > 80 40	350 ≤ 125 ≤ 80	mmHg mmHg mmHg	12,0 % 18,0 % 18,0 %	SW

Ringversuch (externe QK)



<https://www.spektra-dresden.com/de/dienstleistungen/ringversuch.html>

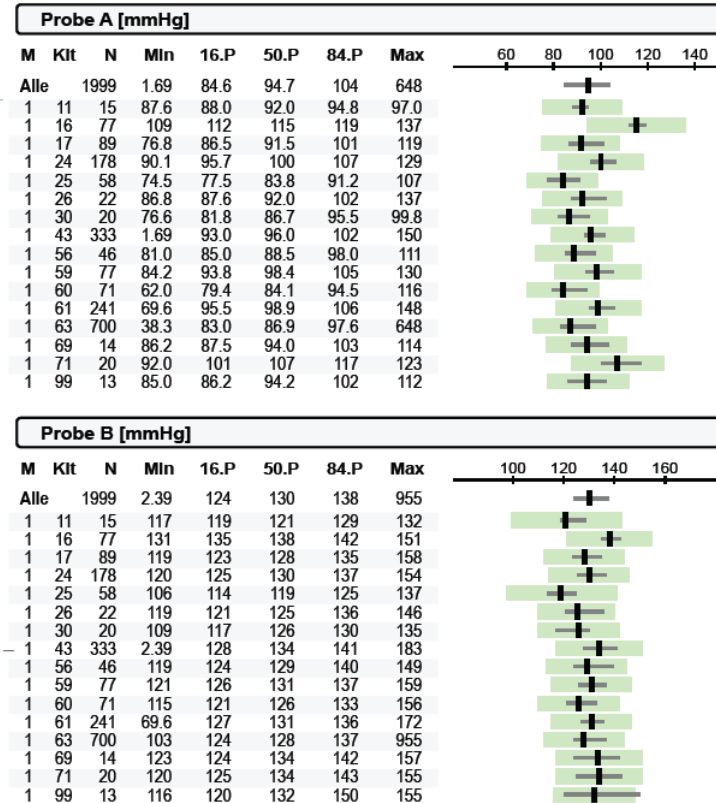
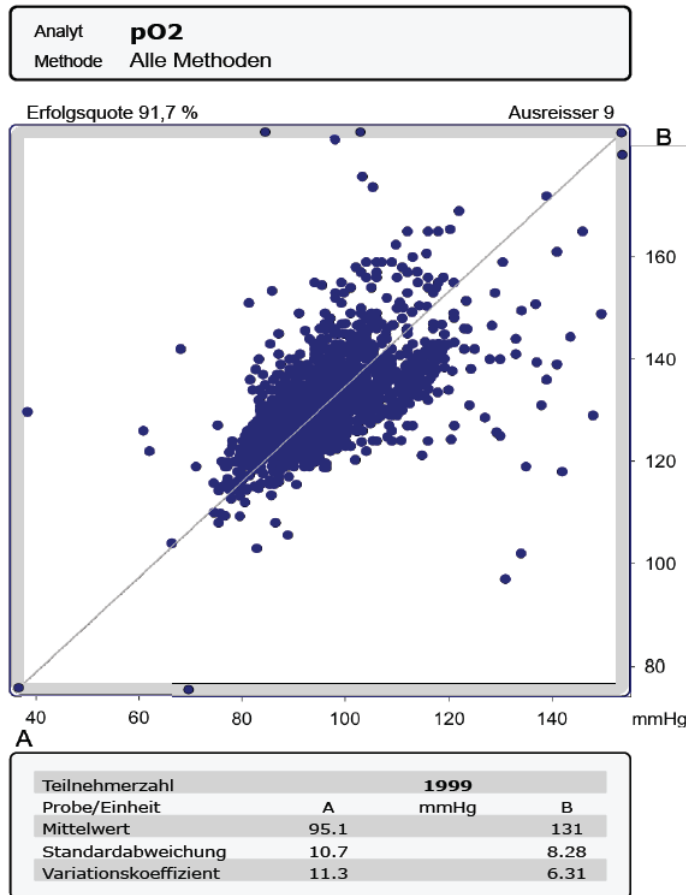
- 1 RV pro Quartal
- RV-Proben mit **unbekanntem Zielwert**
- **Ursachenklärung** bei unzulässiger Messabweichung

RiLiBÄK Vorgaben: Beispiel pO₂

1 lfd. Nr.	2 Messgröße	3 Zulässige relative Abweichung des Einzelwertes bzw. des relativen quadratischen Mittelwertes	4 Gültigkeitsbereich der Spalten 3 und 5			5 Zulässige relative Abweichung beim Ringversuch	6 Zielwertart beim Ringversuch
			von	bis	Einheit		
73	pO ₂	5,5 % 7,0 % 11,0 %	> 125 > 80 40	350 ≤ 125 ≤ 80	mmHg mmHg mmHg	12,0 % 18,0 % 18,0 %	SW

RV-Auswertung Beispiel pO₂

Youdenplots BG1/19, Seite 2 von 6



Andere Kits (Anzahl):
1-13(3), 1-31(2), 1-40(1), 1-44(5), 1-62(4), 1-64(1), 1-67(9),

RV BG1/2019, RfB

Vereinfachte Regeln für Messsysteme mit unit-use-Reagenzien

- Geräte **mit** benutzungstäglichem Autocheck
(elektronischer/physikalischer Standard, integrierte Prüfung):
mindestens 1x pro Woche Kontrollprobenmessung
- Geräte **ohne** benutzungstäglichen Autocheck
(elektronischer/physikalischer Standard, integrierte Prüfung):
2 Kontrollprobenmessungen /24 Stunden
- **Keine statistische Fehlerkontrolle**
- **Keine RV-Pflicht** in
 - Arztpraxen
 - Medizinischen Diensten ohne ZL
 - Krankenhäusern (Voraussetzung: Durchführung der internen QK
in Verantwortung des ZL und Bestimmung der Messgröße im ZL)

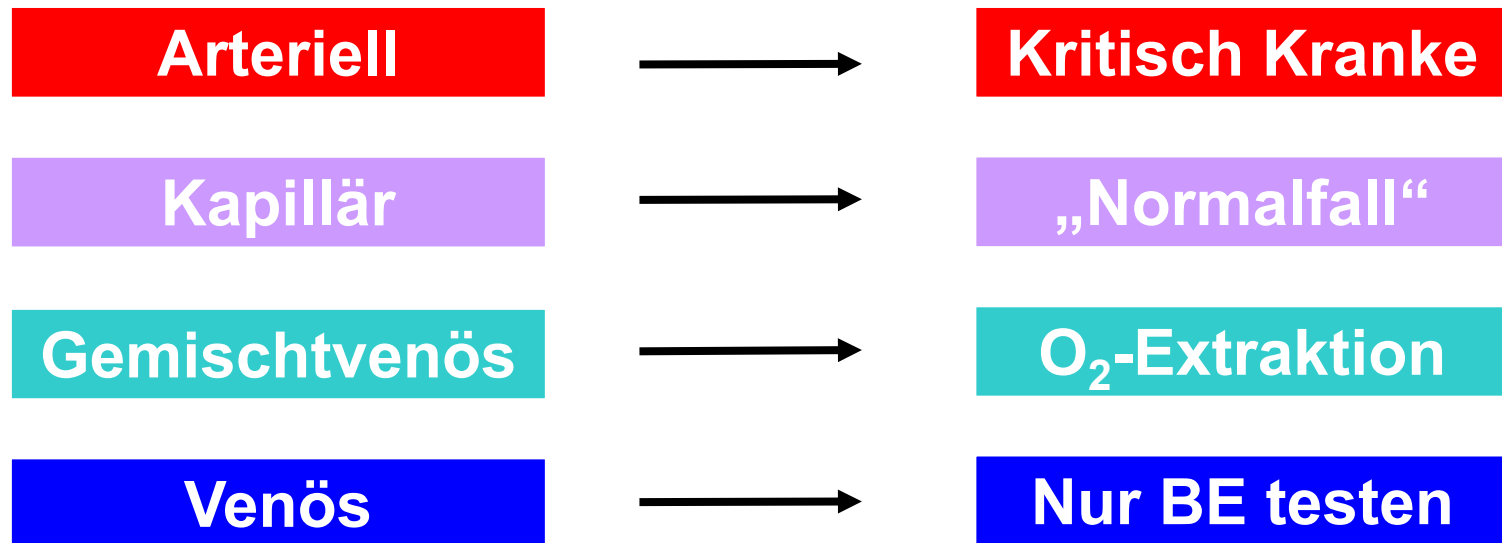


Probengewinnung und Präanalytik

Blutgase $\neq$ Blut + Gase



Probenarten



Ausschließlich heparinisiertes Vollblut !

Patientenvorbereitung für BGA

- **Stressminimierung** vor und während Probennahme
- Probenahme im „**steady state**“
- Vorherige **Arterialisierung** bei kapillärer Entnahme

Normale kapilläre Zirkulation

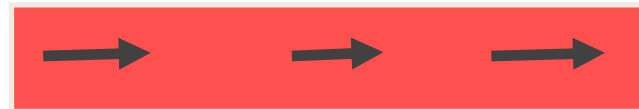
$pO_2(a)$ 90 mmHg
 $pCO_2(a)$ 40 mmHg



$pO_2(c)$ 60 mmHg
 $pCO_2(c)$ 42 mmHg

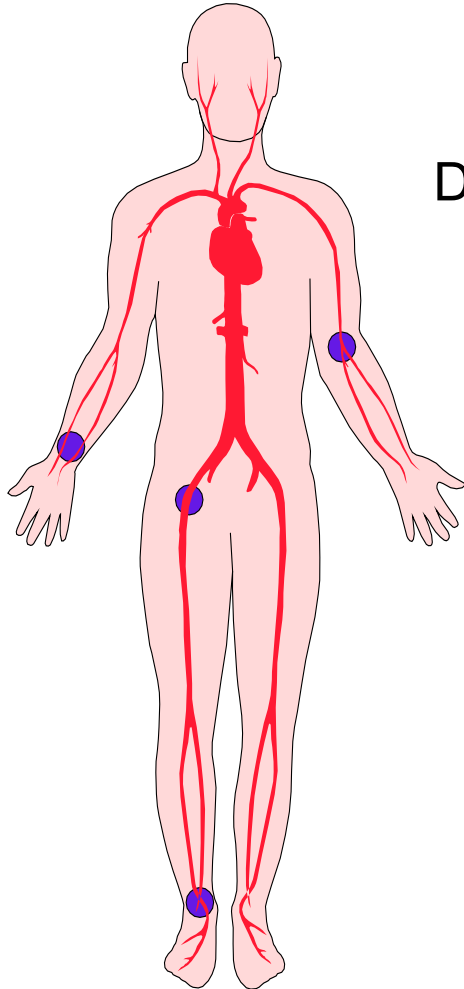
nach Arterialisierung

$pO_2(a)$ 90 mmHg
 $pCO_2(a)$ 40 mmHg



$pO_2(c)$ 86 mmHg
 $pCO_2(c)$ 41 mmHg

Arterielle Probengewinnung



Direkte Gefäßpunktion
oder über Katheter

Plastikspritze mit Trockenheparin



Kapilläre Probengewinnung



Alternativen:
Fingerkuppe, Großzehe,
Ferse, Ohrhelix

Kapillare blasenfrei füllen
Mischen mit Magnet



Probenidentifizierung

Fehlende oder falsche Identifikation der Probe häufig und folgeschwer

Ursachen:

- Fehlende Patientenidentifikation und/oder Probenetikettierung
- Übertragungsfehler bei manueller Dateneingabe
- Fehlen eines vorgeschriebenen Verfahrens

Maßnahmen

- Mindestens 2 Methoden der Patientenidentifikation (Patientenname und Geburtsdatum oder Auftrags-ID)
- **Vor Verlassen des Patienten muss ID-Etikett auf Probennehmer sein**
- Möglichst Strichcode-Scanner verwenden zur bettseitigen Identifikation und am Analysator

Lagerungsdauer

Parameter	Veränderung	Ursache
pO ₂	↓	Zellulärer O ₂ -Verbrauch
pCO ₂	↑	Zelluläre CO ₂ -Produktion
pH	↓	CO ₂ -Produktion und Glykolyse
Glucose	↓	Glykolyse
Lactat	↑	Glykolyse

Beispiel	Parameter	0 min	60 min
Lagerung bei Raumtemperatur	pH	7,41	7,39
	Glucose [mg/dl]	97	88
	Lactat [mmol/l]	1,5	2,0

Lagerungsdauer

Konsequenz:

- Keine Lagerung ist die beste Lagerung
- Unmittelbare Messung nach Entnahme anstreben!
- Bei unvermeidbarer Lagerung bis 30 Minuten tolerabel
- Spezielle Proben innerhalb von 5 Minuten messen:
 - Hoher pO_2
 - Hohe Leukozytenzahl
 - Für Shuntberechnung

Lagerungstemperatur

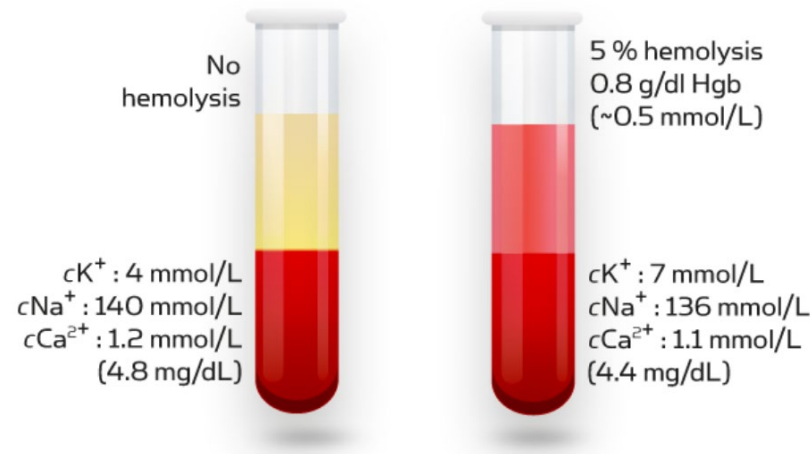
- Kunststoffprobennehmer bei Raumtemperatur lagern
- Probenkühlung in Eiswasser nur bei Glasprobennehmern

Beispiel	Parameter	0 min	30 min
Kunststoffspritze in Eiswasser	pO ₂ [mm Hg]	90	96

Hämolyse

Ursachen

- Zu schnelles Befüllen des Probennehmers
- Heftiges Mischen der Probe
- Fallenlassen der Probe auf den Boden
- Probenkühlung auf Eiswürfeln



Hämolyse

Maßnahmen zur Vermeidung

- Selbstfüllende Probennehmer
- **Vorsichtiges Mischen** der Probe
- Möglichst automatische Mischvorrichtung
- Korrekte Lagerung der Probe bei Raumtemperatur

Luftkontamination der BGA-Probe

Verfälschung der Messwerte durch Luftblasen, **besonders des pO_2**

Auswirkung abhängig vom

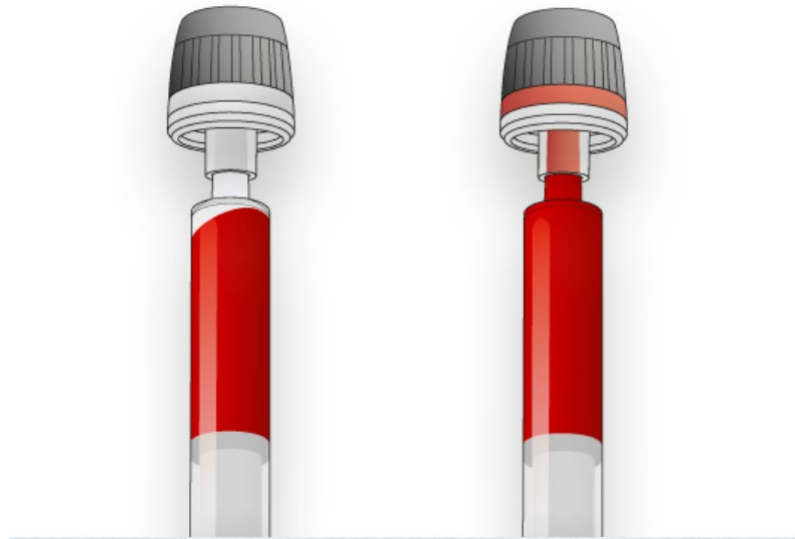
- Volumen der Luftblase
- ursprünglichen pO_2 der Probe
- Mischen der Probe
- Proben transport (z.B. Rohrpost)

Beispiel	Parameter	Ohne Luftblasen	Mit Luftblasen
Nach 5 min gemessen	pO_2 [mm Hg]	70	90
	pCO_2 [mm Hg]	45,6	45,4
	sO_2 [%]	94,0	96,9

Luftkontamination der BGA-Probe

Maßnahmen zur Fehlervermeidung

- Unmittelbar nach Entnahme visuelle Prüfung auf Luftblasen
- Luftblasen entfernen durch Beklopfen und vor der Probenmischung
- Probennehmer mit belüfteten Verschlusskappen verwenden



Probenkontamination

Probenahme durch **arterielle Direktpunktion**

- Risiko der versehentlichen Venenpunktion mit Beimengung sauerstoffarmen Blutes

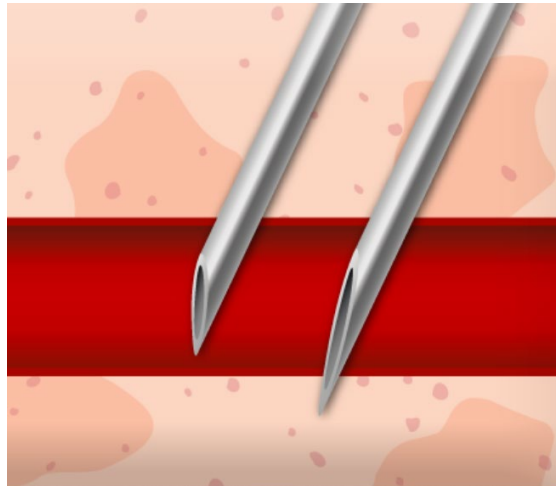
Beispiel	Parameter	arteriell	kontaminiert
Venöse Beimengung in arterieller Probe	pO ₂ [mm Hg]	100	90
	pCO ₂ [mm Hg]	41	41,5
	sO ₂ [%]	98	97,4

Probenkontamination

Probenahme durch **arterielle Direktpunktion**

Maßnahme zur Fehlervermeidung:

- selbstfüllende Probennehmer
- kurz angeschrägte Kanülen
- 45 ° Punktionswinkel zur Hautoberfläche



Probenkontamination

Probenahme aus **arteriellem Katheter**

- Risiko Probenverdünnung durch Infusionslösung
- Folge: Na^+ und Cl^- erhöht, pO_2 variabel, andere Parameter erniedrigt

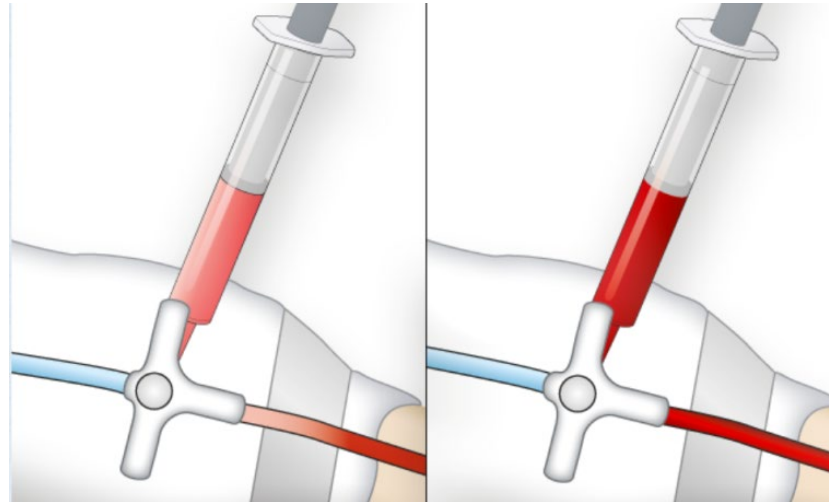
Beispiel	Parameter	1 x Totraum	6 x Totraum
Entfernung unterschiedlicher Katheter-Totraumvolumina vor Probennahme	K^+ [mmol/l]	3,4	4,1
	Na^+ [mmol/l]	147	141
	Cl^- [mmol/l]	110	100

Probenkontamination

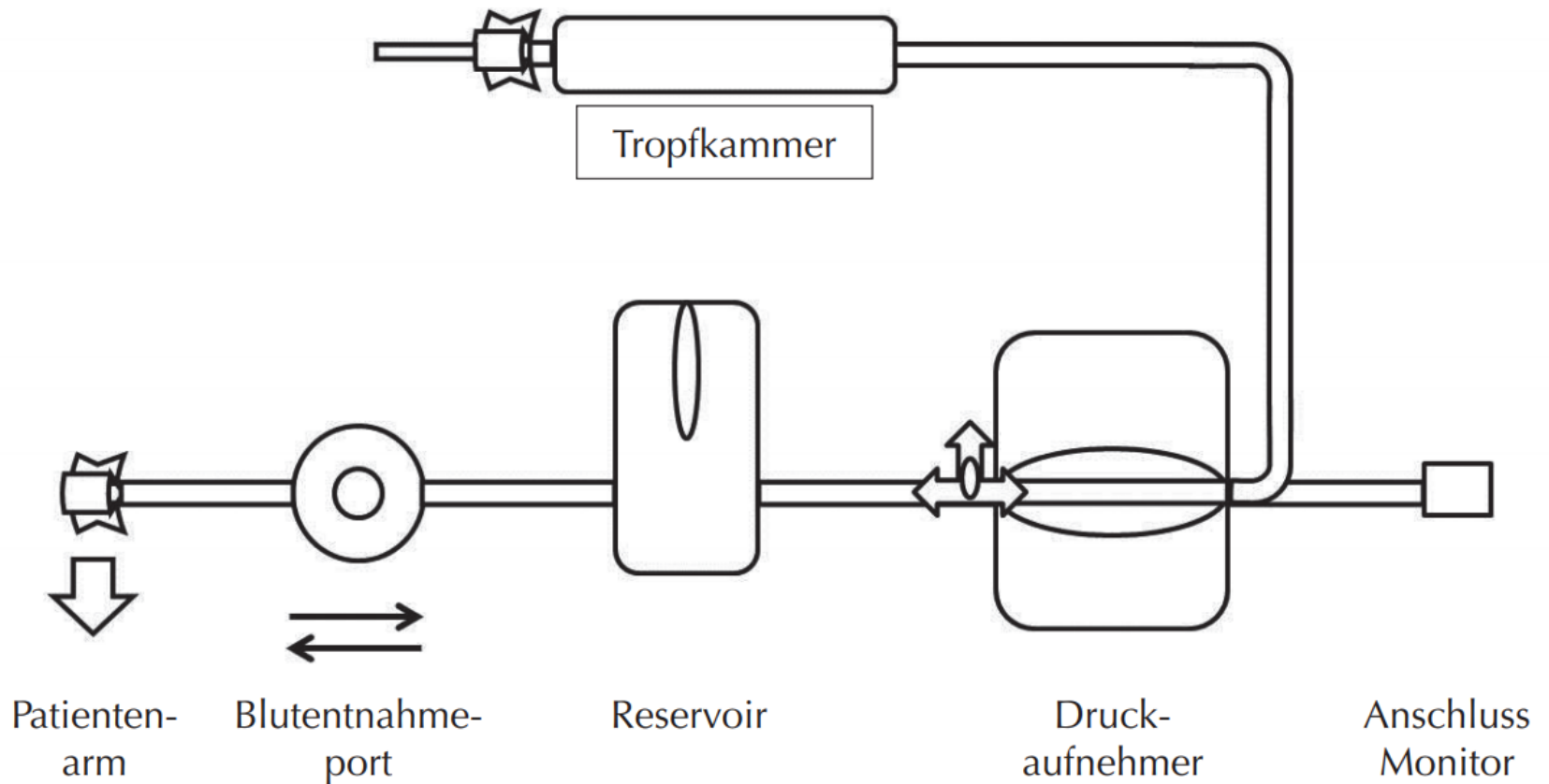
Probenahme aus arteriellem Katheter

Maßnahme zur Fehlervermeidung

- mindestens 3 x Totraumvolumen des Katheters verwerfen vor Probenahme



Alternative: geschlossene Druckaufnehmersysteme



Probenkontamination

Kapilläre Probenahme

- Risiko der **Beimengung von interstitieller Flüssigkeit** zum Blut durch intensives Quetschen des Gewebes
- Folge: Hämolyse und falsch hohes K^+

Maßnahmen zur Fehlervermeidung:

- Hyperämisierung (Wärme, Finalgon®)
- Kein Quetschen

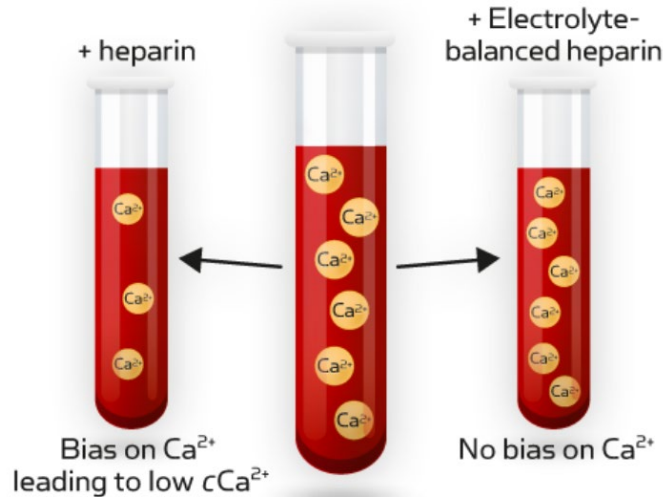
Antikoagulation

Vermeidung von Gerinnungsbildung in der Vollblutprobe
Ausschließlich Heparin als Antikoagulans bei BGA zu verwenden
EDTA, Citrat als stärkere Säuren ungeeignet

Probleme durch angeronnene Proben:

- **Beeinträchtigte Messverfügbarkeit des Analysators**
- Gefahr ungenauer Messwerte in der geronnenen Probe und folgenden Proben

Antikoagulation



Maßnahmen

- **Elektrolytkompensation des Heparins**, um falsch niedrige Calcium-Werte zu vermeiden
- **Trockenheparin** zur Vermeidung von Verdünnungseffekten
- Sofort nach Probenahme **mischen** zur Anlösung des Trockenheparins
- Verwendung von **Gerinnselfängern** bei Kapillarproben

Probenmischung

Gründliches Mischen der Probe Voraussetzung für korrekte Ergebnisse

- Homogene Suspension der Zellen
- Besonders wichtig für Hb, HK und abgeleitete Parameter

Fehlerquellen

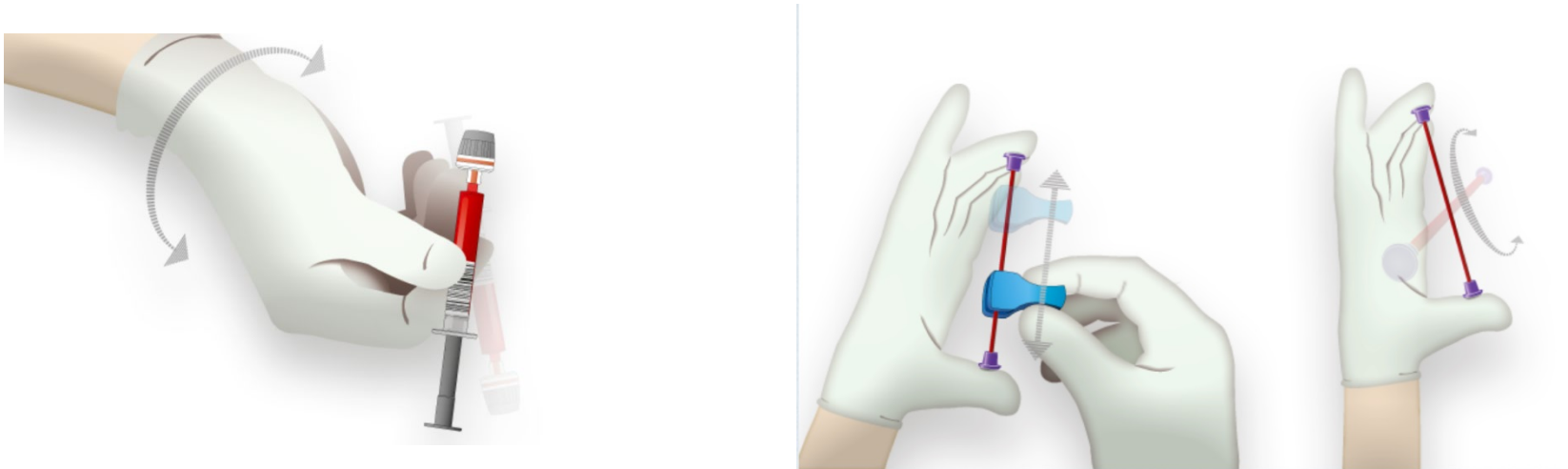
- Hohe Sedimentationsrate (BSG)
- Kein standardisiertes Mischen
- Probennehmer mit geringem Durchmesser

Beispiel	Parameter	Gründlich gemischt	Ungenügend gemischt
10 min gelagert vor Messung	Hb [g/dl]	10,0	7,2

Probenmischung

Maßnahmen zur Fehlervermeidung

- Manuelles Mischen der Probe **1 Minute** lang horizontal und vertikal



- Bei sichtbarer Sedimentierung Mischung über mehrere Minuten
- Automatische Mischvorrichtung im Blutgasgerät
- Probennehmer mit integrierter Mischkugel bzw. Mischstäbchen bei Kapillaren

Diagnostische Strategien

Diagnostischer Algorithmus

Blut-pH

Azidose *oder* Alkalose?

Ursache

Respiratorische *oder*
metabolische *oder*
kombinierte Störung?

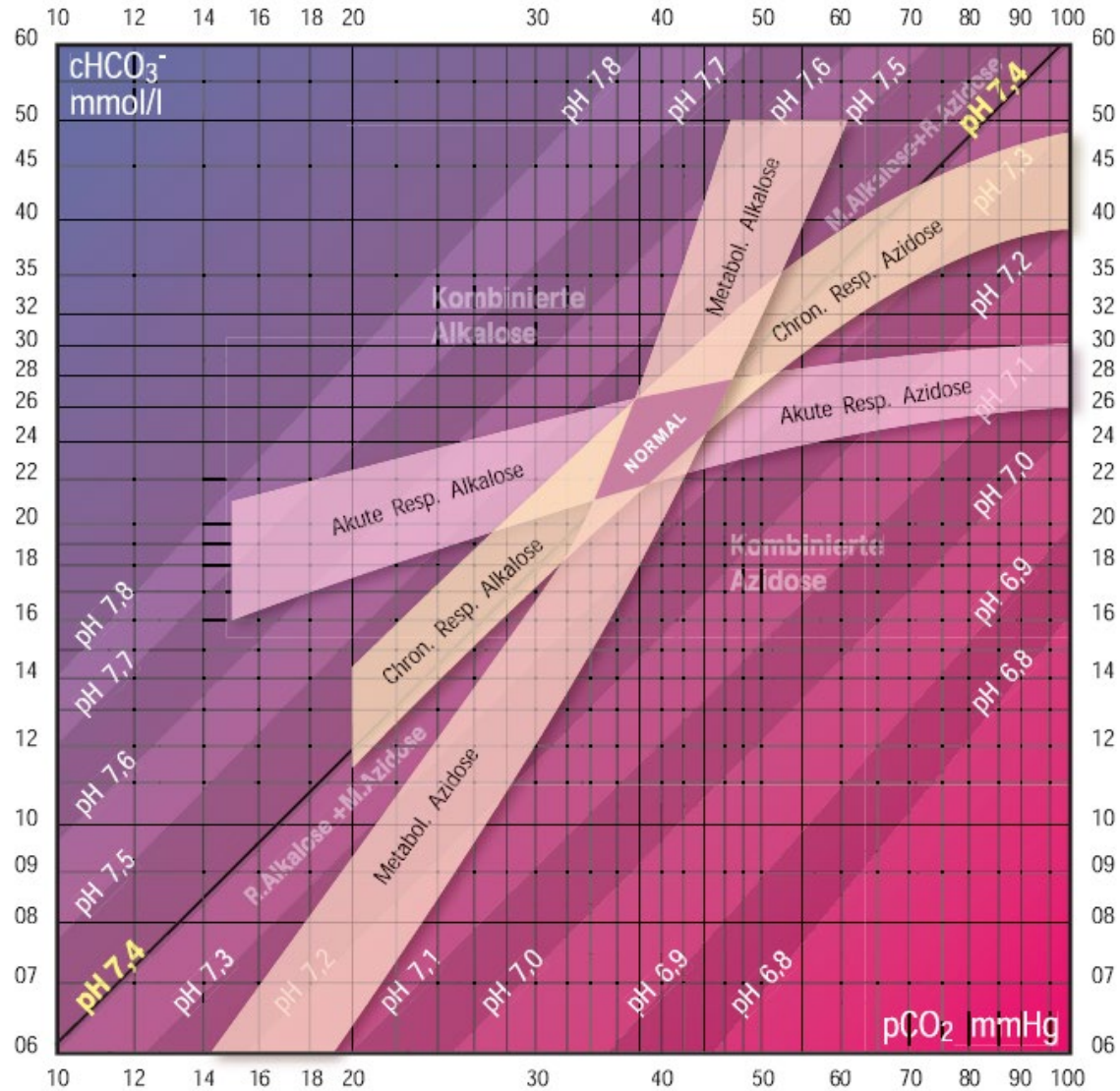
Klinik

Akut *oder* chronisch?

Kompensation

Respiratorisch *oder* metabolisch?
Teil- *oder* vollkompensiert?

Diagnostik-Nomogramm



Formen der Hypoxie

Hypoxämie

$pO_2(a)$ und $sO_2(a)$ ↓

Anämie

Hb ↓

Vergiftung

Dyshämoglobine ↑

Ischämie

HZV ↓