

Seminar: Blutgasanalytik

Dr. med. Bernhard Schlüter
Centrum für Laboratoriumsmedizin
- Zentrallaboratorium -
Universitätsklinikum Münster

Gliederung

1. Anwendungen der Blutgasanalytik
2. Blutgasparameter
3. Messtechniken
4. Qualitätskontrolle
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-Parameter

- 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

Basenabweichung (BE)

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

Sauerstoff-Parameter

- Pulmonale O₂-Aufnahme



pO₂

- O₂-Transport im Blut



sO₂

Hb

- O₂-Versorgung der Gewebe



ctO₂

p50

BGA-Normalwerte arteriell

pH	7,36 - 7,44
pCO₂	35 - 45 mm Hg
HCO₃⁻ (SBC)	22 - 26 mmol/l
BE	- 2 bis +2 mmol/l
pO₂	75 - 100 mm Hg
sO₂	> 95 %

Blutgasanalysatoren

Benchtop Analyser



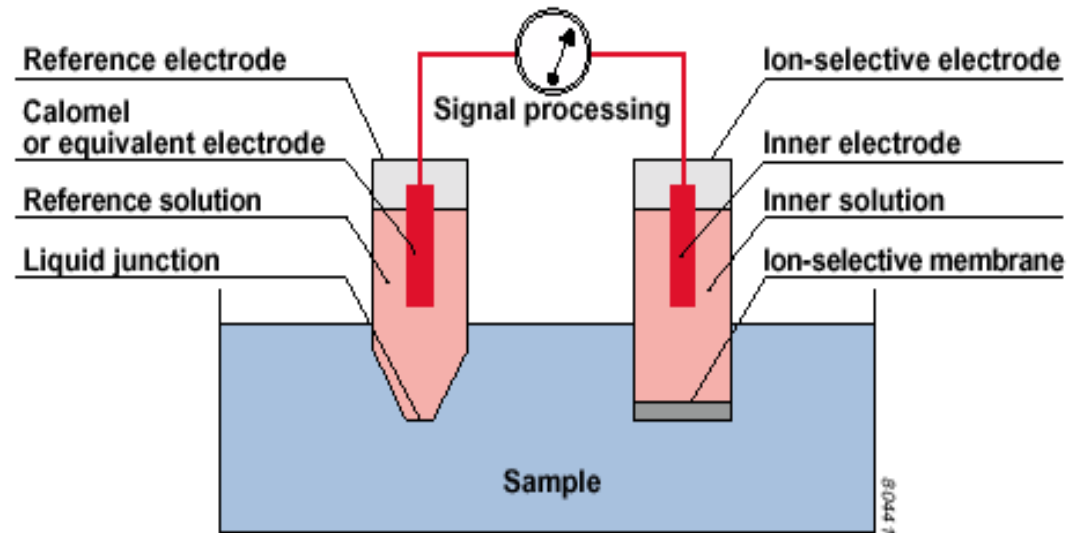
Handheld



Elektrochemie

Potentiometrie

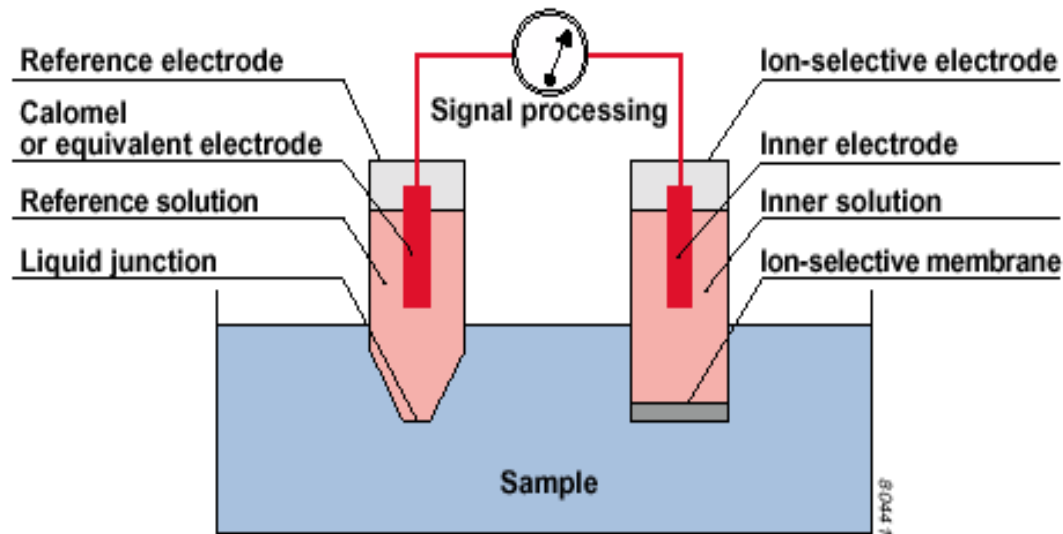
- pH, pCO₂, Elektrolyte



Amperometrie

- Glucose, Lactat, pO₂ (Polarographie)

Ionenselektive Elektrode (ISE)

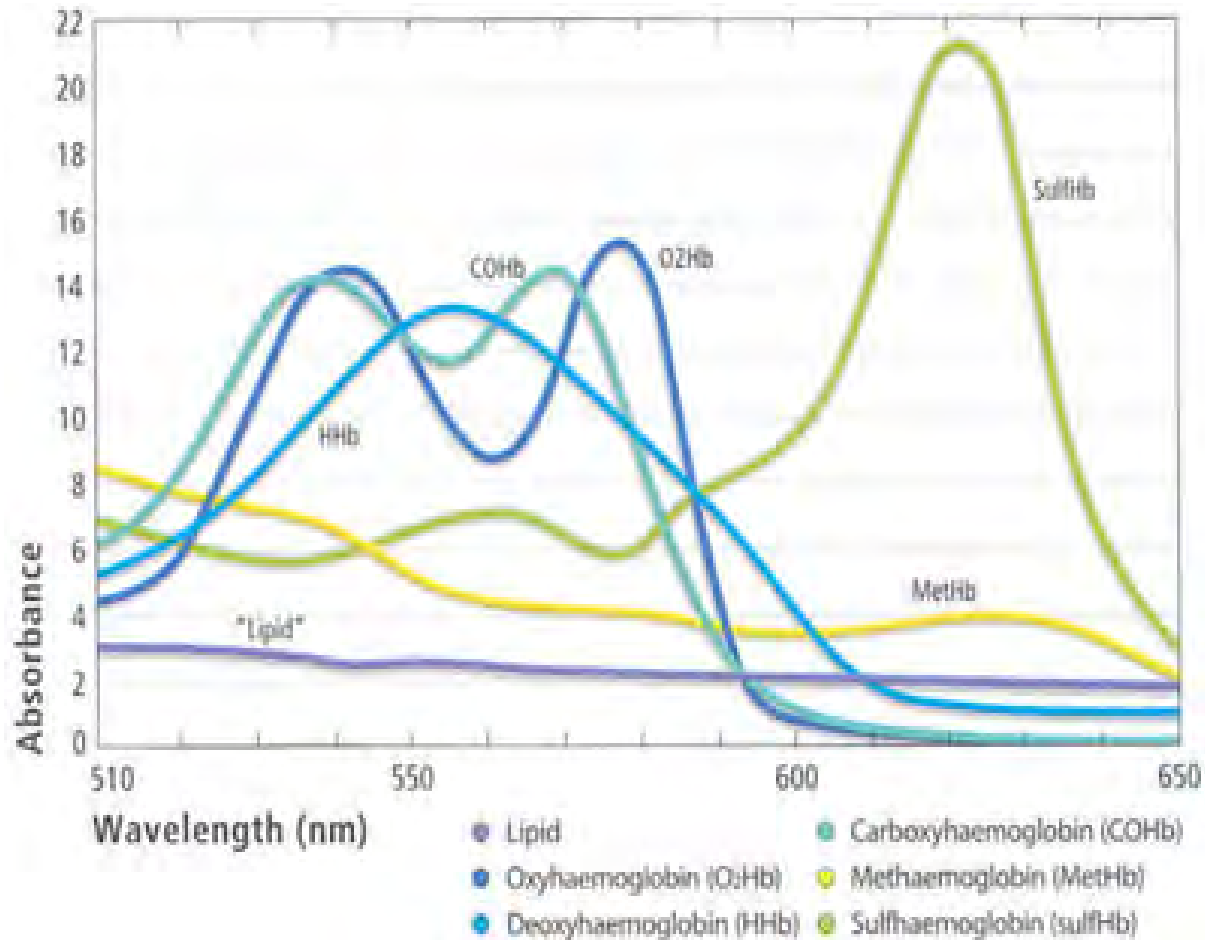


- Potentialdifferenz $\sim \log$ der Ionenkonzentration im Serumwasser
- Direkte ISE (ohne Probenverdünnung) unabhängig von Lipid / Proteinkonzentration

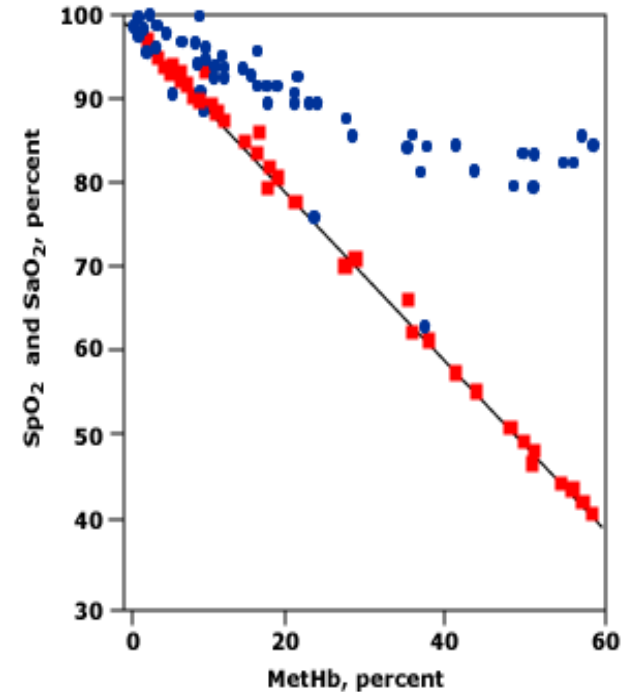
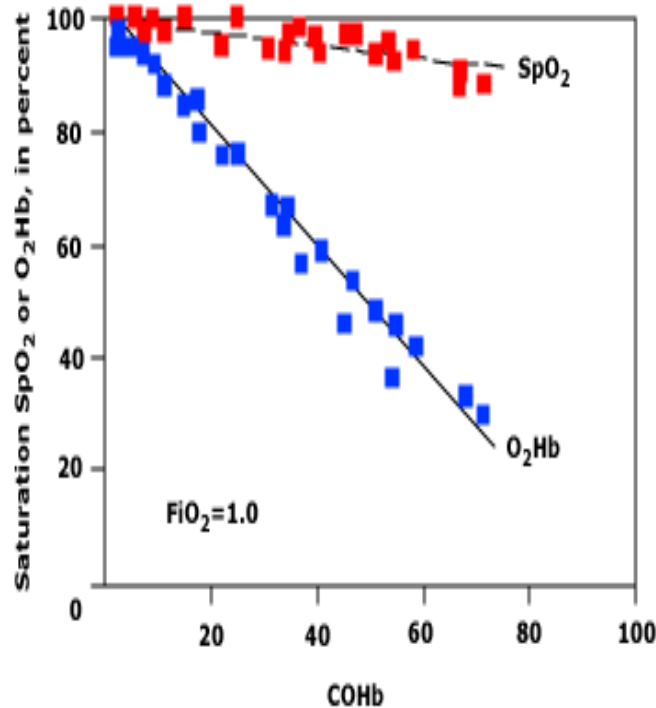
Oximetrie

Hb / Hb-Fraktionen / Sättigung / Dyshämoglobine

Messprinzip: **Multiwellenlängen-Spektrophotometrie**



Pulsoximeter



Gefahr der Überschätzung des O_2Hb -Gehalts durch Pulsoximeter bei Dyshämoglobinämie!

Vergiftungssymptome bei Dyshämoglobinämie

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

RiLiBÄK 2008

Tabelle B 1 a		Analyte in Plasma /Serum /Vollblut					
1 lfd. Nr.	2 Analyt	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		
25	Glucose	11,0 %	40 2,2	400 22	mg/dl mmol/l	15,0 %	RMW
26	Hämatokrit	5,0 %	10 0,1	60 0,6	% l/l	9,0 %	SW
27	Hämoglobin	4,0 %	2 1,2	20 12,4	g/dl mmol/l	6,0 %	RMW
49	pO ₂	5,5 %	> 125	350	mmHg	12,0 %	SW
		7,0 %	> 80	≤ 125	mmHg	18,0 %	
		11,0 %	40	≤ 80	mmHg	18,0 %	

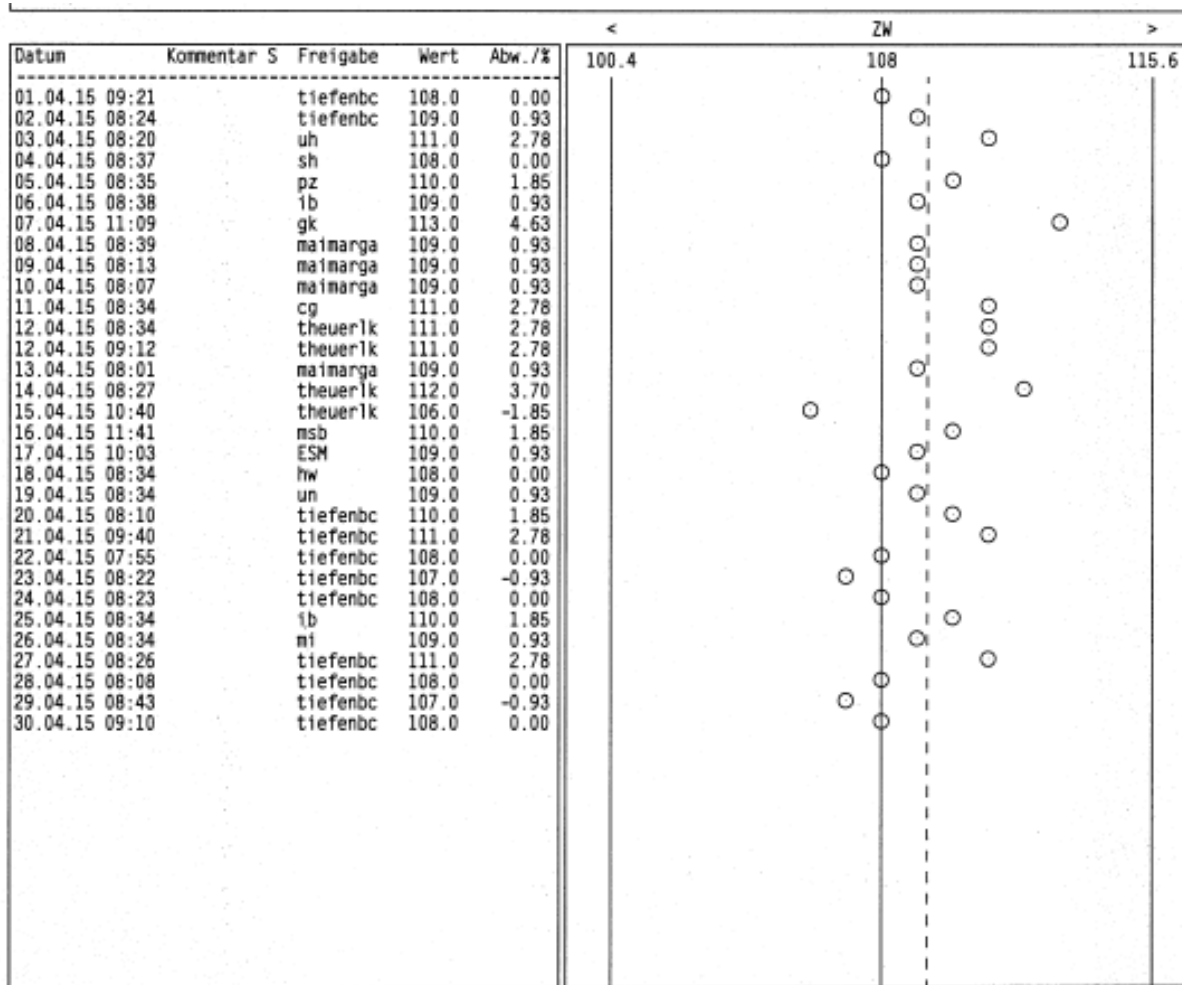
Vorgaben für die **interne und externe Qualitätskontrolle**

Interne Qualitätskontrolle

2 x pro 24 Stunden

Centrum für Laboratoriumsmedizin - Zentrallaboratorium - Leiter: Dr. med. Bernhard Schlüter		Werteverlauf Datum: 05.05.15 12:21 Seite: 1	
Analyse		Kontrolle	
Numer.....	: 9060	Chargennummer.....	: 0586
Name.....	: QK p02	Kontrollmaterial.....	: BGNL1L2
Einheit.....	: mmHg	Hersteller.....	: Radimeter Medical A/S, Dnm
Probenart.....	: art. kapilläres Blut, BGA-Ka	Messverfahren.....	: Polarographie
Gerät.....	: OsmoBGA-1	Kontrolltyp.....	: RiLiBAEK-2008
		Gültig.....	: 09.09.2014 - 30.06.2016
RiLiBAEK-2008 Kontrolle		Statistische Werte	
Zielwert.....	: 108 B1	Intervall.....	: -
Grenzen laut Tabelle B1		Auswahlkriterium.....	: wie Bildschirm
zul. rel. MAW.....	: 7.0 %	Erster Wert.....	: 01.04.2015
Untergrenze.....	: 100.4	Letzter Wert.....	: 30.04.2015
Obergrenze.....	: 115.6	Gesamtanzahl.....	: 31
Herstellergrenzen		Ausgewertet.....	: 31
zul. MAW.....	:	Minimum.....	: 106
Untergrenze.....	:	Maximum.....	: 113
Obergrenze.....	:	Mittelwert.....	: 109.29
Laborinterne Grenzen		rgMM.....	: 1.9 %
berechnet am.....	:	Standardabweichung.....	: 1.575
zul. rel. MAW.....	: %	Variationskoeffizient.....	: 1.4 %
Untergrenze.....	:	2S-Bereich.....	: 106.14 - 112.44
Obergrenze.....	:	Verantwortlicher.....	: Bernhard Schlüter

Interne Qualitätskontrolle 2 x pro 24 Stunden



Externe Qualitätskontrolle Ringversuch, 4x pro Jahr

5303

S.1 / 1

Instand e.V.
Ringversuche

Januar - 2015

Ergebnisausdruck

Ubier - Str. 20 / PF 250211
40223 / 40093 Düsseldorf
Tel (0211) 159213 - 0
FAX (0211) 159213 - 30

5303 Herr Dr. med. Bernhard Schlüter (L) Centrum für Laboratoriumsmedizin

2.3.2015

Blutgase (161) (Prof. Dr. med. Peter B. Luppä)		Probe	Ihr Wert	Zielwert	Bewertungsbereich	Abw. (%)	
pH-Wert andere Geräete, M.0-9999	148 RA04	11	7.199	7.20	7.14 - 7.26	0 + R	
		12	7.626	7.62	7.56 - 7.68	0 + R	
pCO2 mmHg G.RA01,RA02,RA03,RA04,RA99,RA06	149 RA04	11	79.00	77.7	68.4 - 87.0	2 +	
		12	21.70	21.5	18.9 - 24.1	1 +	
pO2 mmHg G.RA04	151 RA04	11	76.60	keine Bewertung		2 +	
		12	162.0	159	140 - 178	2 +	
Natrium mmol/L alle Methoden	70 RA04	11	125.0	125	119 - 131	0 + R	
		12	155.0	160	152 - 168	-3 + R	
Kalium mmol/L alle Methoden	70 RA04	11	2.00	1.88	1.73 - 2.03	6 + R	
		12	5.50	5.64	5.19 - 6.09	-2 + R	
Chlorid mmol/L alle Methoden	70 RA04	11	92.00	91.4	84.1 - 98.7	1 + R	
		12	125.0	122	112 - 132	2 + R	
ionisiertes Calcium mmol/L G.RA01,RA02,RA03,RA04,RA05,RA99,RA06	154 RA04	11	2.16	2.23	1.90 - 2.56	-3 +	
		12	.440	.483	.396 - .570	-9 +	
Glucose mg/dL alle Methoden	155 RA04	11	82.00	81.9	69.6 - 94.2	0 + R	
		12	39.00	39.2	33.3 - 45.1	0 + R	
Lactat mg/dL G.RA01,RA02,RA03,RA04,RA05,RA99,RA06,RA07	155 RA04	11	10.81	11.4	9.35 - 13.5	-5 +	
		12	2.70	keine Bewertung			

Zur Umrechnung Ihrer Ergebnisse (Pr.11=1.20 und Pr.12=.300) von mmol/l -> mg/dL verwendeter Faktor : 9.00900

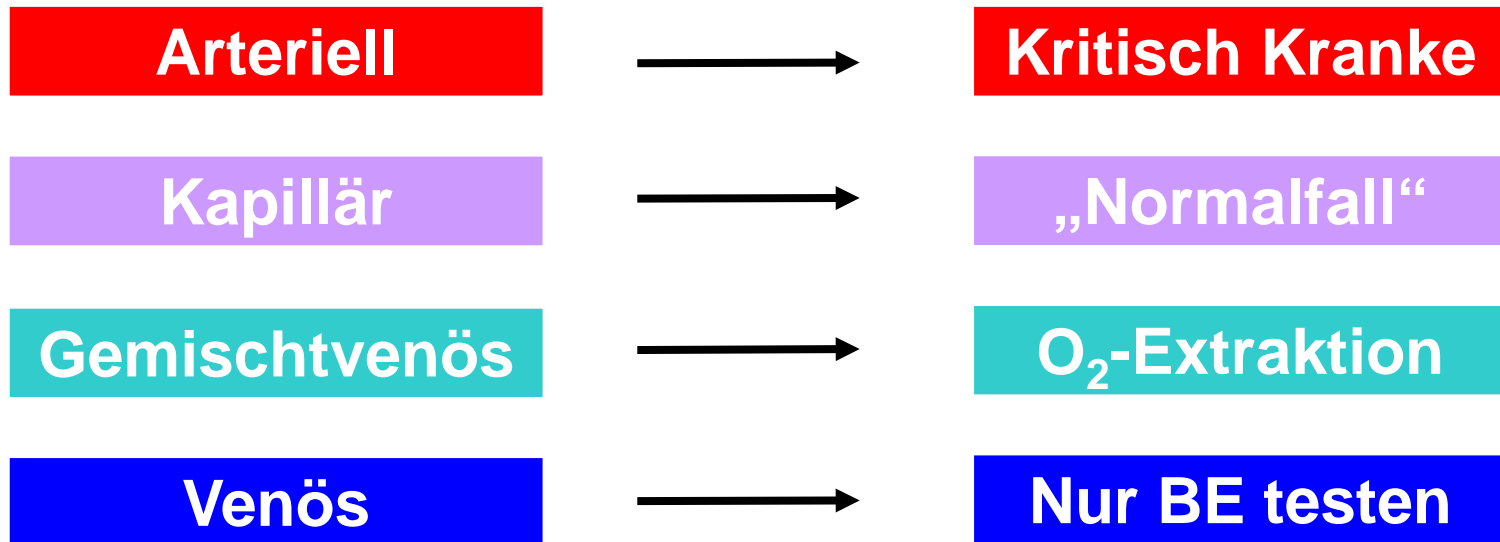
Externe Qualitätskontrolle

Ringversuch, 4 x pro Jahr

3. pO2 mmHg									
G.AB01,AB99	11	81.4	66.7 - 96.1	81.4	6.54	21	95.2	95.2	
	12	153	135 - 171	153	6.92		95.2		
G.BG22,BG23	11	Keine Bewertung					67		
	12	154	136 - 172	154	5.39	67	92.5		
G.BG24	11	57.6	47.2 - 68.0	57.6	14.4	33	78.8	78.8	
	12	154	136 - 172	154	4.12		93.9		
G.BG20,BG21,BG24,BG99	11	Keine Bewertung					198		
	12	157	138 - 176	157	3.89	197	98.5		
G.ES01,ES99	11	73.8	60.5 - 87.1	73.8	14.6	17	82.4	76.5	
	12	162	143 - 181	162	4.02		94.1		
G.IL99	11	66.5	54.5 - 78.5	66.5	6.03	224	96.4	94.2	
	12	173	152 - 194	173	4.71		97.3		
G.NV01,NV02,NV03,NV04,NV05,NV99	11	60.6	49.7 - 71.5	60.6	7.02	21	90.5	90.5	
	12	168	148 - 188	168	4.51		100		
G.RA01	11	58.4	47.9 - 68.9	58.4	5.63	127	92.1	90.6	
	12	167	147 - 187	167	3.45		97.6		
G.RA02,RA03,RA05,RA99	11	Keine Bewertung					86		
	12	157	138 - 176	157	5.74	86	95.3		
G.RA04	11	Keine Bewertung					357		
	12	159	140 - 178	159	2.77	357	97.2		
G.RA07	11	56.7	46.5 - 66.9	56.7	13.3	124	83.1	81.5	
	12	162	143 - 181	162	4.10		96.8		
G.RO01,RO02,RO03,RO04,RO05,RO72,RO99	11	93.6	76.8 - 110	93.6	9.01	108	83.3	83.3	
	12	161	142 - 180	161	3.63		99.1		
G.VV01,VV99	11	52.1	42.7 - 61.5	52.1	5.50	9	88.9	88.9	
	12	158	139 - 177	158	5.51		100		
andere Geraete, M.0-9999	11	Keine Bewertung					54		
	12	169	149 - 189	169	7.60	54	90.7		
				Anzahl Tnr. gesamt = 1446					

Probengewinnung und Präanalytik

Probenarten



Ausschließlich heparinisiertes Vollblut !

Patientenvorbereitung für BGA

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

Normale kapilläre Zirkulation

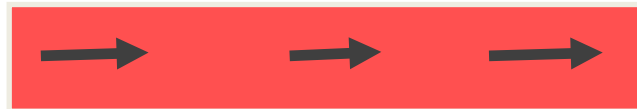
$pO_2(a)$ 90 mmHg
 $pCO_2(a)$ 40 mmHg



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

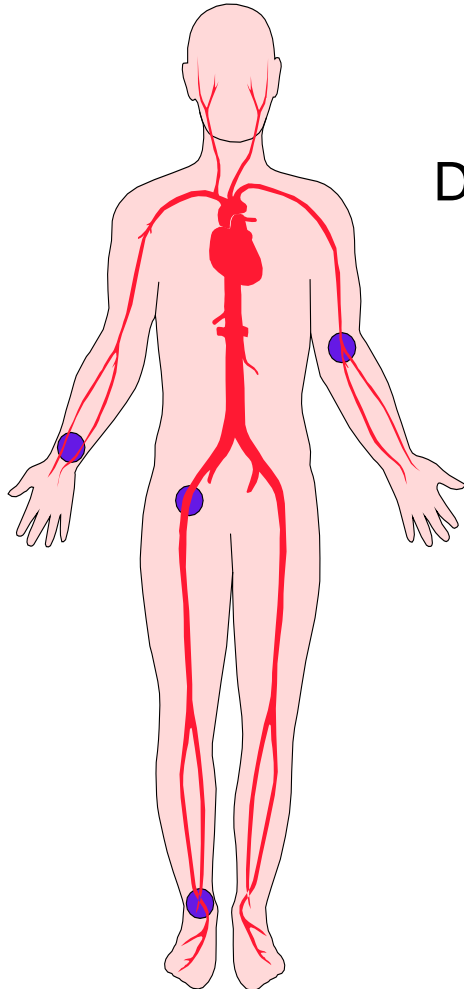
nach Arterialisierung

$pO_2(a)$ 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 folgenschwer

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

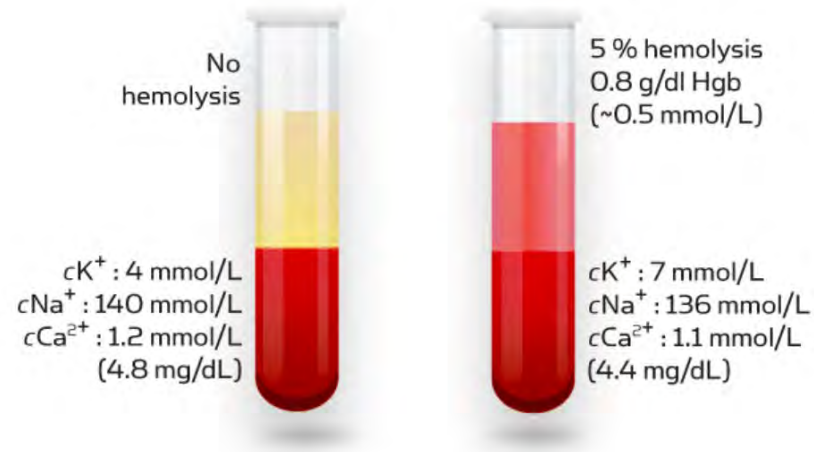
- **Kunststoffprobennehmer bei Raumtemperatur lagern**
- Probenkühlung in Eiswasser nur bei Glasprobennehmern

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 pO₂**
Auswirkung abhängig vom

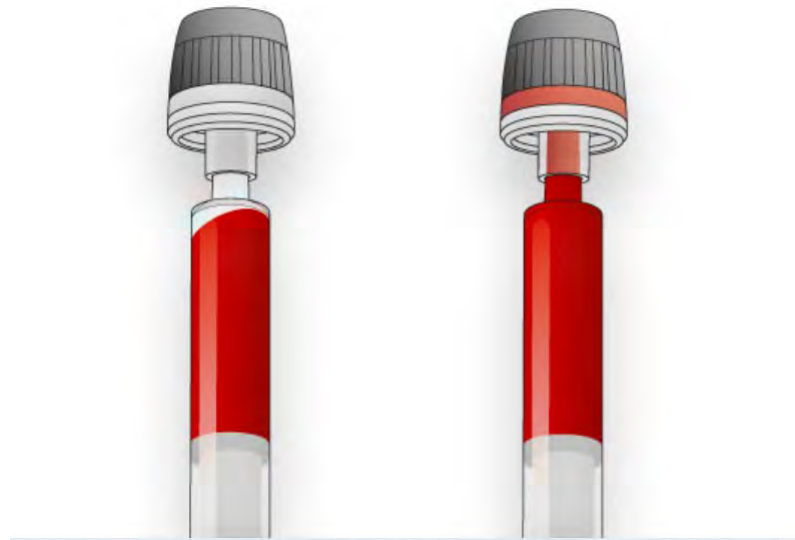
- Volumen der Luftblase
- ursprünglichen pO₂ der Probe
- Mischen der Probe
- Probentransport (z.B. Rohrpost)

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

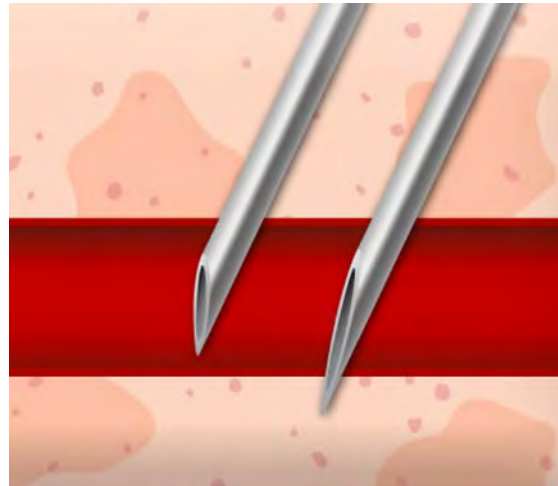
Beispiel	Parameter	arteriell	kontaminiert
Venöse Beimengung in arterieller Probe	pO ₂ [mm Hg]	100	90
	pCO ₂ [mm Hg]	41	41,5
	sO ₂ [%]	98	97,4

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, pO₂ variabel, andere Parameter erniedrigt

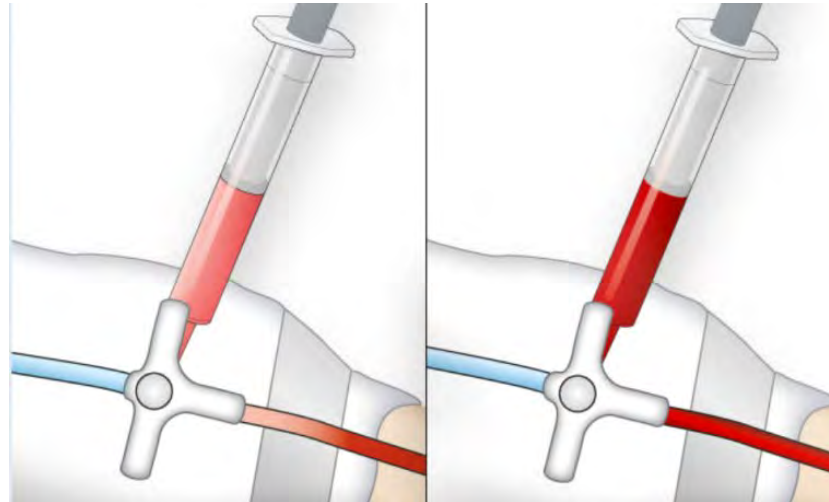
Beispiel	Parameter	1 x Totraum	6 x Totraum
Entfernung unterschiedlicher Katheter-Totraumvolumina vor Probennahme	K ⁺ [mmol/l]	3,4	4,1
	Na ⁺ [mmol/l]	147	141
	Cl ⁻ [mmol/l]	110	100

Probenkontamination

Probenahme aus **arteriellem Katheter**

Maßnahme zur Fehlervermeidung

- **mindestens 3 x Totraumvolumen** des Katheters verwerfen vor Probenahme



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

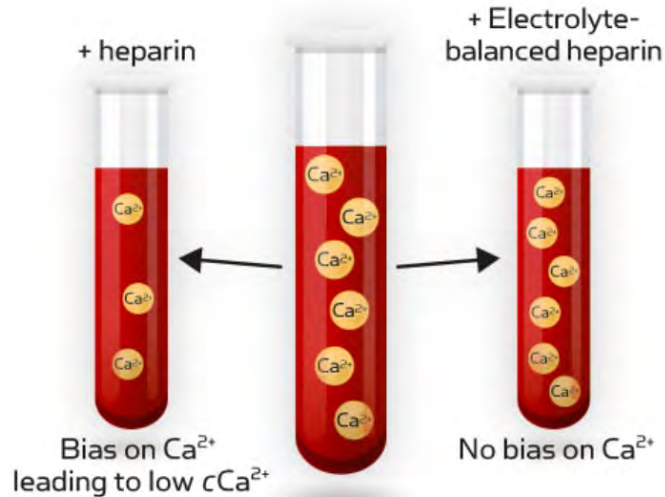
Antikoagulation

Vermeidung von Gerinnselformung 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

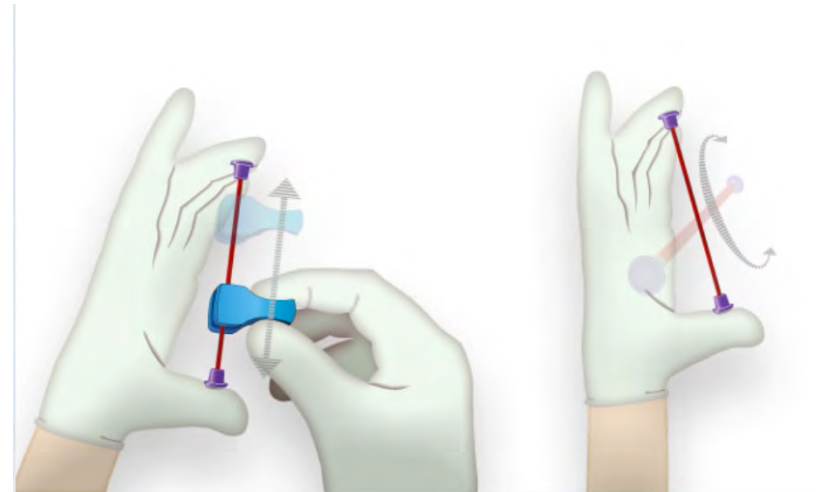
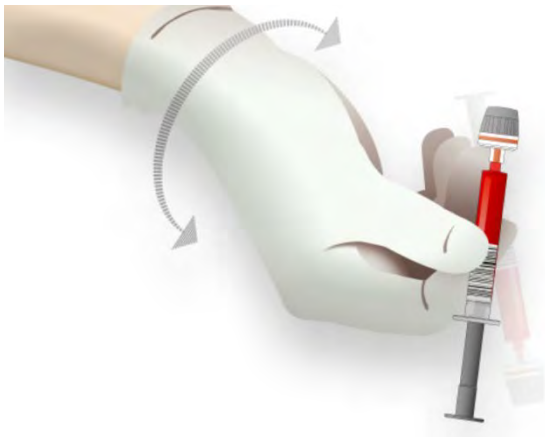
- Hohe Sedimentationsrate (BSG)
- Kein standardisiertes Mischen
- Probennehmer mit geringem Durchmesser

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?

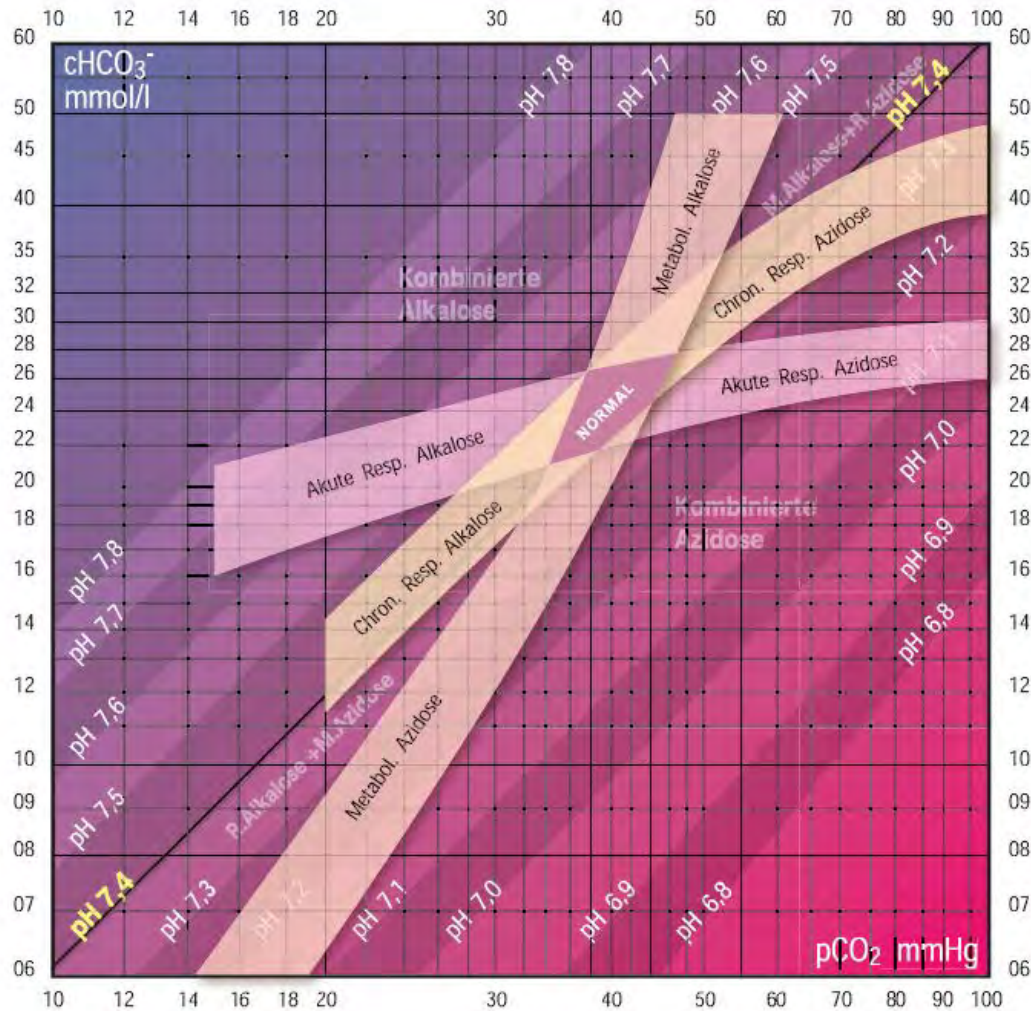
Klinik

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 ↓