

Bloedgassen en Zuur-Base Evenwicht

M.J. Nouwen anesthesioloog i.o.
St. Antonius Ziekenhuis Nieuwegein

Inhoud

- Componenten bloedgas
- Belang zuur-base evenwicht
- Scheikunde
- Fysiologie
- Oefenstof



Componenten bloedgas (1)

- pH
- P_aO_2
- P_aCO_2
- HCO_3^-
- Base Excess (BE)
- S_aO_2
- Evt. lactaat

Componenten bloedgas (2)

- **pH**
 - ΔV tussen referentie-elektrode en H^+ selectieve elektrode
- **P_aO_2**
 - spanning op elektrode $\rightarrow$ elektronen overdracht $\rightarrow P_aO_2$ evenredig met ΔA
- **P_aCO_2**
 - gemeten door pH-daling te meten van een $NaHCO_3/NaCl$ mengsel
- **HCO_3^-**
 - berekening o.b.v. Henderson-Hasselbalch vergelijking

Componenten bloedgas (3)

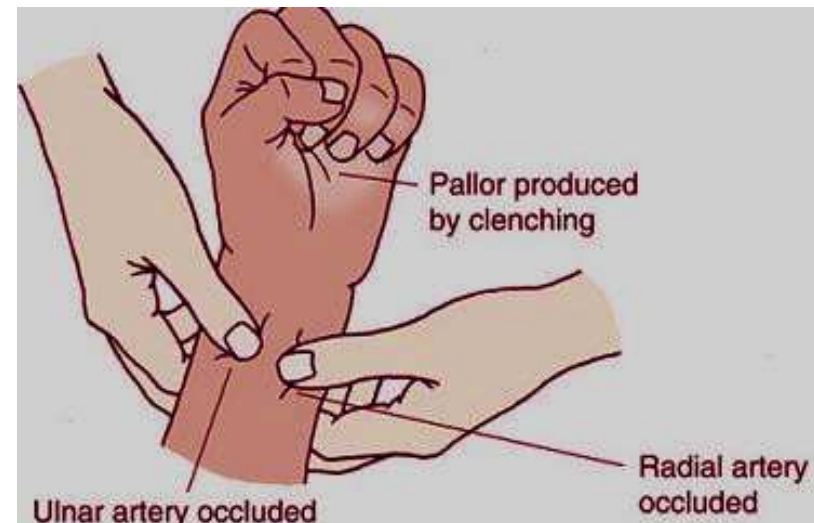
- **Base Excess (BE):**
 - $[\text{HCO}_3^-] - [\text{standaard HCO}_3^-]$
- **Anion Gap**
 - $[\text{Na}^+ (+ \text{K}^+)] - [\text{HCO}_3^- + \text{Cl}^-]$
 - Niet gemeten anionen (bv. lactaat, ketonen)
- **SaO₂**
 - Fotospectrometrie

Normale Bloedgaswaarden

	Arterieel	Veneus
pH	7,35 – 7,45	7,32 – 7,36
PO ₂	10,5 – 13,3 kPa	3,9 – 5,3 kPa
PCO ₂	5,0 – 5,6 kPa	5,3 – 6,6 kPa
HCO ₃ ⁻ (AR)	22-26 mM	23-27 mM
Standaard HCO ₃ ⁻	24 mM	25 mM
Base Excess (BE)	-2 – 2 mM	-2 – 2 mM
O2 Saturatie	94-100 %	60-80 %

Bloedgas afnemen

- **Allen test**
 - Waarde dubieus
- **Via catheter of punctie**
 - > 4x → catheter
- **Lokale anesthesie**
- **Afdrukken**
- **Kan ook veneus**
 - Niet voor oxygenatie status



Foutbronnen Bloedgas

- **Temperatuur**
- **Afnametechniek**
 - Luchtbellen
 - Lang wegleggen (> 15 minuten)
 - Verdunning
 - Heparine
 - Flush vloeistof

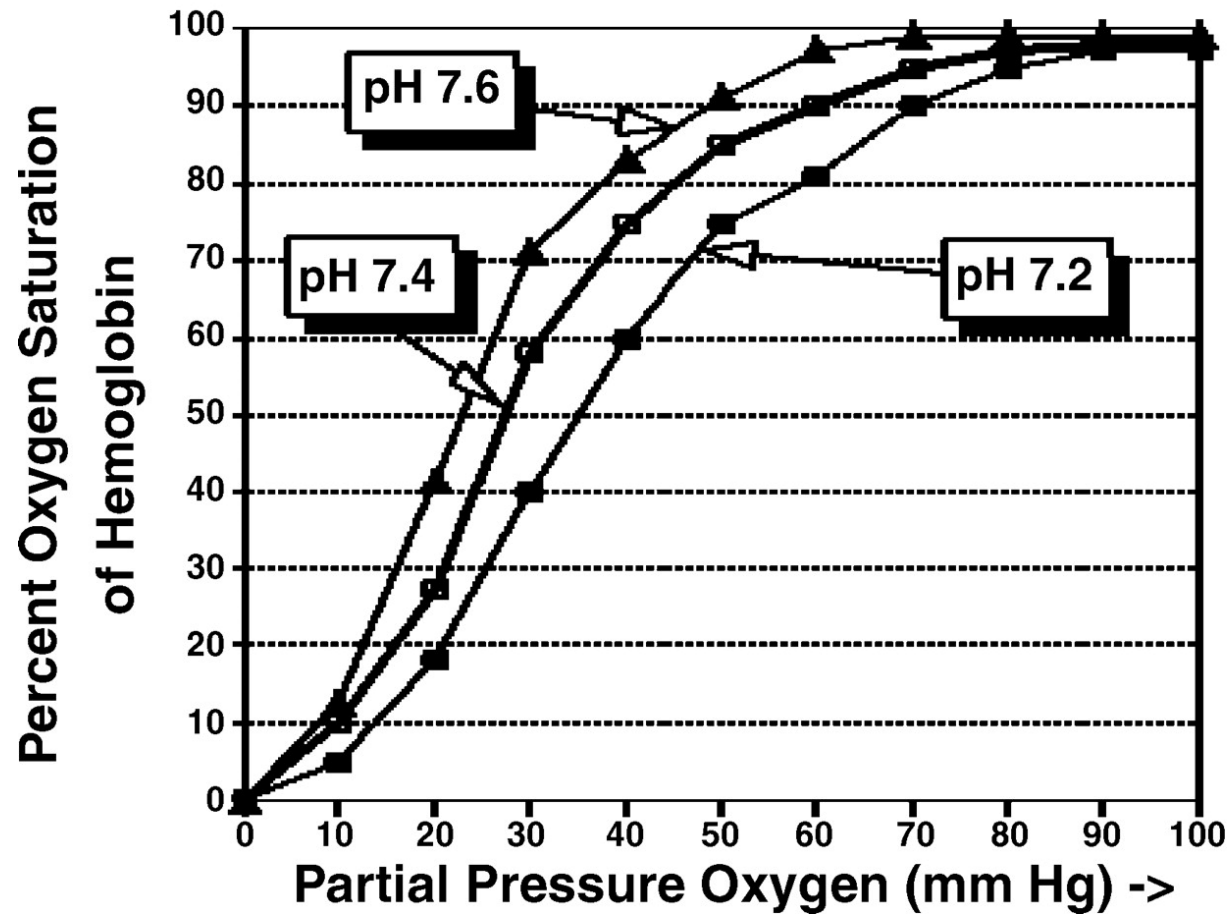
Belang van zuur-base status

- **Stoornissen komen vaak voor**
 - Vooral bij kritisch zieke patiënten
- **Uiting van een ziekte**
 - Helpt in diagnose
 - Voorbeeld: keto-acidose
- **Schadelijk op zichzelf**
 - Behandelen!

Effecten verstoring pH

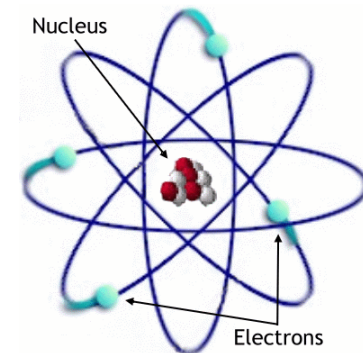
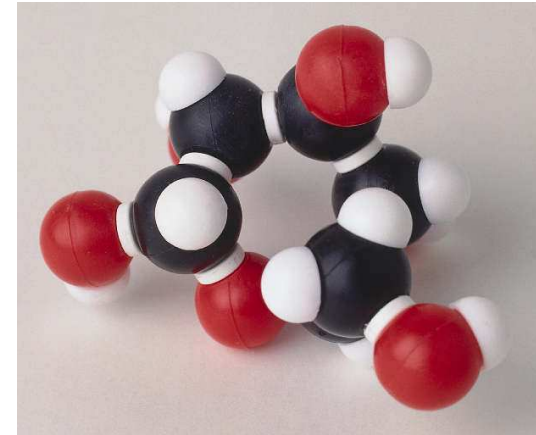
- **Cardiovasculair**
 - Myocardfunctie↓ + vasodilatatie: hypotensie
 - Minder reactie op catecholaminen
 - Lagere drempel voor VF
- **Respiratoir**
 - Hyper-/hypoventilatie
 - Verschuiving O₂-dissociatie curve
- **Metabool**
 - Hyper-/hypokalemia
 - Hypocalciëmie
- **Cerebraal**
 - Toename/afname cerebrale bloedflow
- **Immuunsysteem**
 - Eiwitfunctie
- **Stolling**

Hemoglobin-Oxygen Dissociation Curves at 3 different pH levels



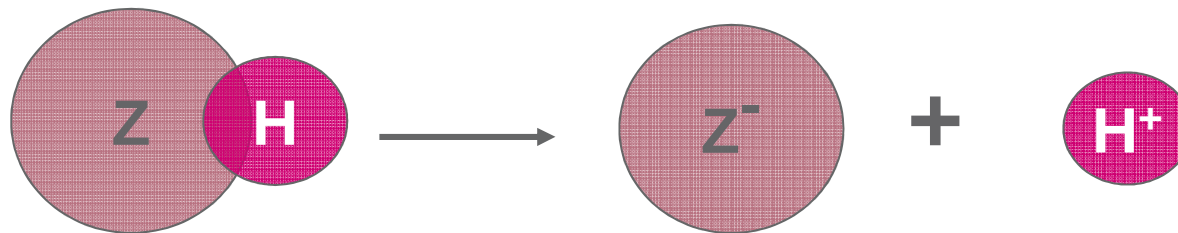
Scheikunde

- **Moleculen bestaan uit atomen**
 - Bijvoorbeeld glucose ($C_6H_{12}O_6$)
 - 6 atomen koolstof (C)
 - 12 atomen waterstof (H)
 - 6 atomen zuurstof (O)
- **Een ion is een atoom of een molecuul met een lading**
 - Bijvoorbeeld Ca^{2+} of H^+
- **Stoffen kunnen met elkaar reageren**
 - Bijvoorbeeld H^+ opnemen of afgeven

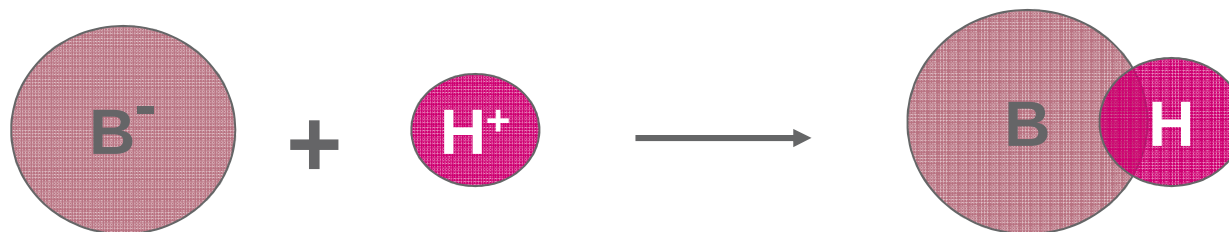


Zuren en basen

Een zuur is een H⁺ donor



Een base is een H⁺ acceptor



Zuur, H⁺ en pH

- Een oplossing is zuurder naar mate er meer H⁺ ionen in zitten
- $\text{pH} = -\log \text{H}^+$
- Zuurder = **lagere** pH
- Henderson-Hasselbalch vergelijking:

$$\text{pH} = \text{p}K + \log \frac{[\text{Z}^-]}{[\text{ZH}]}$$

Zeer kleine hoeveelheid H⁺

- H⁺ wordt in het lichaam geregeld op ongeveer 40 nM (tussen 36 en 45 nM)
- Dit is extreem weinig
 - Na⁺ 140 mM = 0,140 M
 - H⁺ 40 nM = 0,000000040 M
 - 1 mol = $\pm 6 \times 10^{23}$ deeltjes
- Uitgedrukt in pH → 7,40 (7,35 – 7,45)

Buffers

- **Buffers vangen de eerste klappen op**

- Intracellulair
 - Hemoglobine
 - Fosfaten
 - $H^+ / Na^+ / K^+$ uitwisseling
 - $H^+ \uparrow = K^+ \uparrow$ en vice versa
- Extracellulair
 - Koolzuur / Bicarbonaat (CO_2 / HCO_3^-)



Koolzuur-Bicarbonaat Buffer

- Chemisch $\neq$ ideale buffer
- Open systeem
- Longen regelen CO_2
 - Sneller of langzamer ademen
 - Zuur 'afblazen'
- Nieren regelen HCO_3^-
 - Door H^+ uitscheiding of HCO_3^- retentie
- Buffer raakt niet uitgeput

Koolzuur-Bicarbonaat Buffer



$$[\text{H}^+] = pK * \frac{[\text{HCO}_3^-]}{[\text{CO}_2]}$$

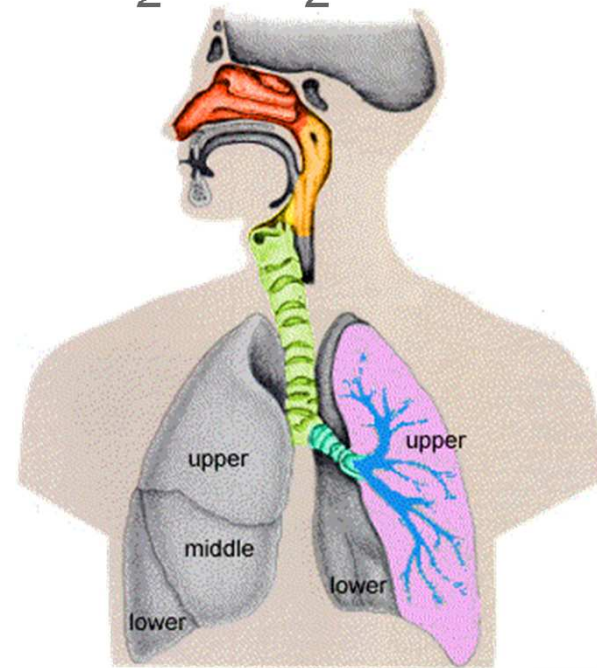
$$\text{pH} = pK + \log \frac{[\text{HCO}_3^-]}{[\text{CO}_2]}$$

$$[\text{CO}_2] = 0.225 * P_a\text{CO}_2 \text{ (in kPa)}$$

$$pK = 6.1$$

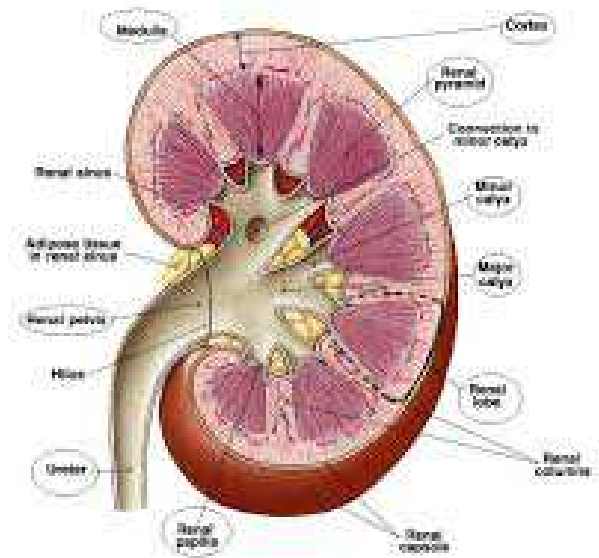
Longfysiologie

- **Gasuitwisseling**
 - O₂ naar binnen, CO₂ naar buiten
 - Glucose + O₂ → Energie + CO₂ + H₂O
- **Oxygenatie bepaalt PaO₂**
 - FiO₂
 - Ventilatie/Perfusie
 - Diffusie
- **Ventilatie bepaalt PaCO₂**
 - Minuutvolume
 - Dode ruimte



Nierfysiologie

- **Uitscheiden van zuren (H^+)**
- **Reabsorberen van HCO_3^-**
 - Katalysator: carbonic anhydrase
- **‘Traag’ proces: effect niet binnen 12-24h**
 - Uitzondering: uitscheiden bicarbonaat



Classificatie

- **Stap 1: pH**
 - $\text{pH} < 7,35 \rightarrow \text{acidose}$
 - $\text{pH} > 7,45 \rightarrow \text{alkalose}$

Classificatie

Stap 2: Primaire Probleem

- $\text{pH} < 7,35 \rightarrow$ acidose
 - $\text{PaCO}_2 > 5,6 \rightarrow$ respiratoire acidose
 - HCO_3^- verlaagd $\rightarrow$ metabole acidose
- $\text{pH} > 7,45 \rightarrow$ alkalose
 - $\text{PaCO}_2 < 5,0 \rightarrow$ respiratoire alkalose
 - HCO_3^- verhoogd $\rightarrow$ metabole alkalose

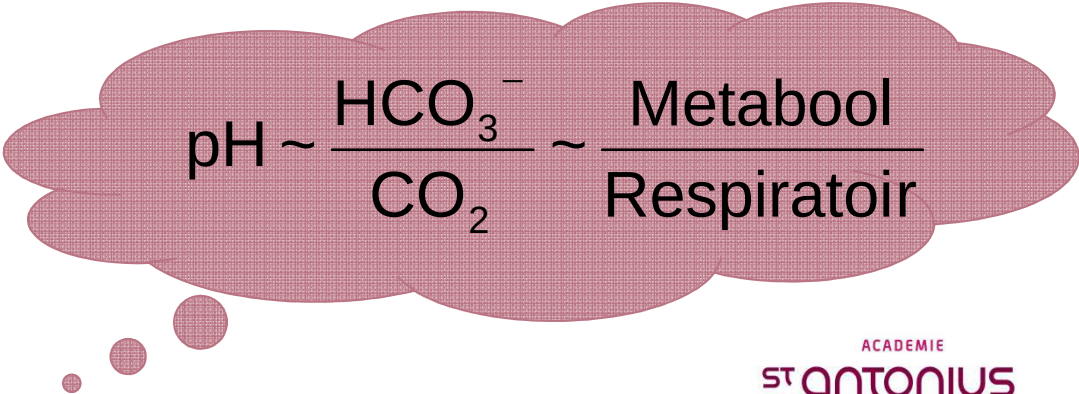
Classificatie

Stap 3: compensatie

- $\text{pH} < 7,35 \rightarrow$ acidose
 - PaCO_2 verhoogd $\rightarrow$ respiratoire acidose
 - HCO_3^- verhoogd $\rightarrow$ metabole compensatie
 - HCO_3^- verlaagd $\rightarrow$ metabole acidose
 - PaCO_2 verlaagd $\rightarrow$ respiratoire compensatie
- $\text{pH} > 7,45 \rightarrow$ alkalose
 - PaCO_2 verlaagd $\rightarrow$ respiratoire alkalose
 - HCO_3^- verlaagd $\rightarrow$ metabole compensatie
 - HCO_3^- verhoogd $\rightarrow$ metabole alkalose
 - PaCO_2 verhoogd $\rightarrow$ respiratoire compensatie

Respiratoire Compensatie

- Als pH daalt ofwel $[H^+]$ stijgt
 - Ventilatie neemt toe
 - CO_2 daalt (“afblazen”)
 - pH stijgt
- Als pH stijgt ofwel $[H^+]$ daalt
 - Ventilatie neemt af
 - CO_2 stijgt
 - pH daalt


$$pH \sim \frac{HCO_3^-}{CO_2} \sim \frac{\text{Metabool}}{\text{Respiratoir}}$$

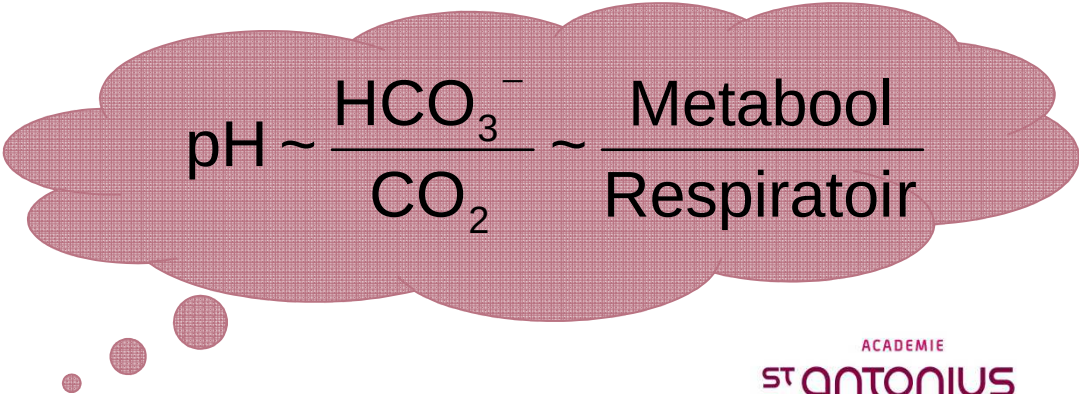
Metabole Compensatie

Als pH daalt ofwel $[H^+]$ stijgt

- H^+ uitscheiding en HCO_3^- terugresorptie nemen toe
- HCO_3^- stijgt
- pH stijgt

Als pH stijgt ofwel $[H^+]$ daalt

- H^+ uitscheiding en HCO_3^- terugresorptie nemen af
- HCO_3^- daalt
- pH daalt


$$pH \sim \frac{HCO_3^-}{CO_2} \sim \frac{\text{Metabool}}{\text{Respiratoir}}$$

Respiratoire Acidose

1. H^+

$pH < 7,35$
acidose

$pH > 7,45$
alkalose

2. Primair

$PaCO_2 \uparrow$
respiratoire acidose

$HCO_3^- \downarrow$
metabole acidose

3. Compensatie

$HCO_3^- \uparrow$
respiratoire acidose
metabole compensatie

Dus: $pH < 7,35$ en $CO_2 > 5,6$ kPa
Compensatie Metabool (Langzaam)

Oorzaken Respiratoire Acidose

- **Centrale hypoventilatie**
 - Opiaten, Hersenletsel, Hartstilstand
- **Perifere hypoventilatie**
 - Spierzwakte, Thoraxletsel, Diafragmaruptuur, Dwarslaesie
- **Transportprobleem**
 - Asthma, Aspiratie, Pneumonie, ARDS, Longoedeem

Respiratoire Alkalose

1. H^+

$pH > 7,45$
alkalose

$pH < 7,35$
acidose

2. Primair

$PaCO_2 \downarrow$
respiratoire alkalose

$HCO_3^- \uparrow$
metabole alkalose

3. Compensatie

$HCO_3^- \downarrow$
respiratoire alkalose
metabole compensatie

Dus: $pH > 7,45$ en $PaCO_2 < 5,0$ kPa
Compensatie Metabool (Langzaam)

Oorzaken Respiratoire Alkalose

- **Hyperventilatie**
 - Hypoxie
 - Longembolie, anemie, hypotensie, pneumonie, longoedeem
 - Centraal
 - Angst, pijn, CVA, sepsis, leverfalen, psychogeen
 - Iatrogeen
 - Vekeerde beademingsinstelling

Metabole Alkalose

1. H^+

$pH > 7,45$
alkalose

$pH < 7,35$
acidose

2. Primair

$HCO_3^- \uparrow$
metabole alkalose

$PaCO_2 \downarrow$
respiratoire alkalose

3. Compensatie

$PaCO_2 \uparrow$
metabole alkalose
respiratoire compensatie

Dus: $pH > 7,45$ en $HCO_3^- > 26 \text{ mM}$
Compensatie Respiratoir (Snel)

Oorzaken Metabole Alkalose

- **Verlies H^+**
 - Braken, Maaghevel, Maagfistel / Oesofagusfistel
- **Retentie HCO_3^-**
 - Afname effectief circulerend volume
 - Hypovolemie, diuretica, hartfalen
 - Posthypercapnie
- **HCO_3^- toediening**
 - Natriumbicarbonaat, massale bloedtransfusie

Metabole Acidose

1. H^+

$pH < 7,35$
acidose

$pH > 7,45$
alkalose

2. Primair

$HCO_3^- \downarrow$
metabole acidose

$PaCO_2 \uparrow$
respiratoire acidose

3. Compensatie

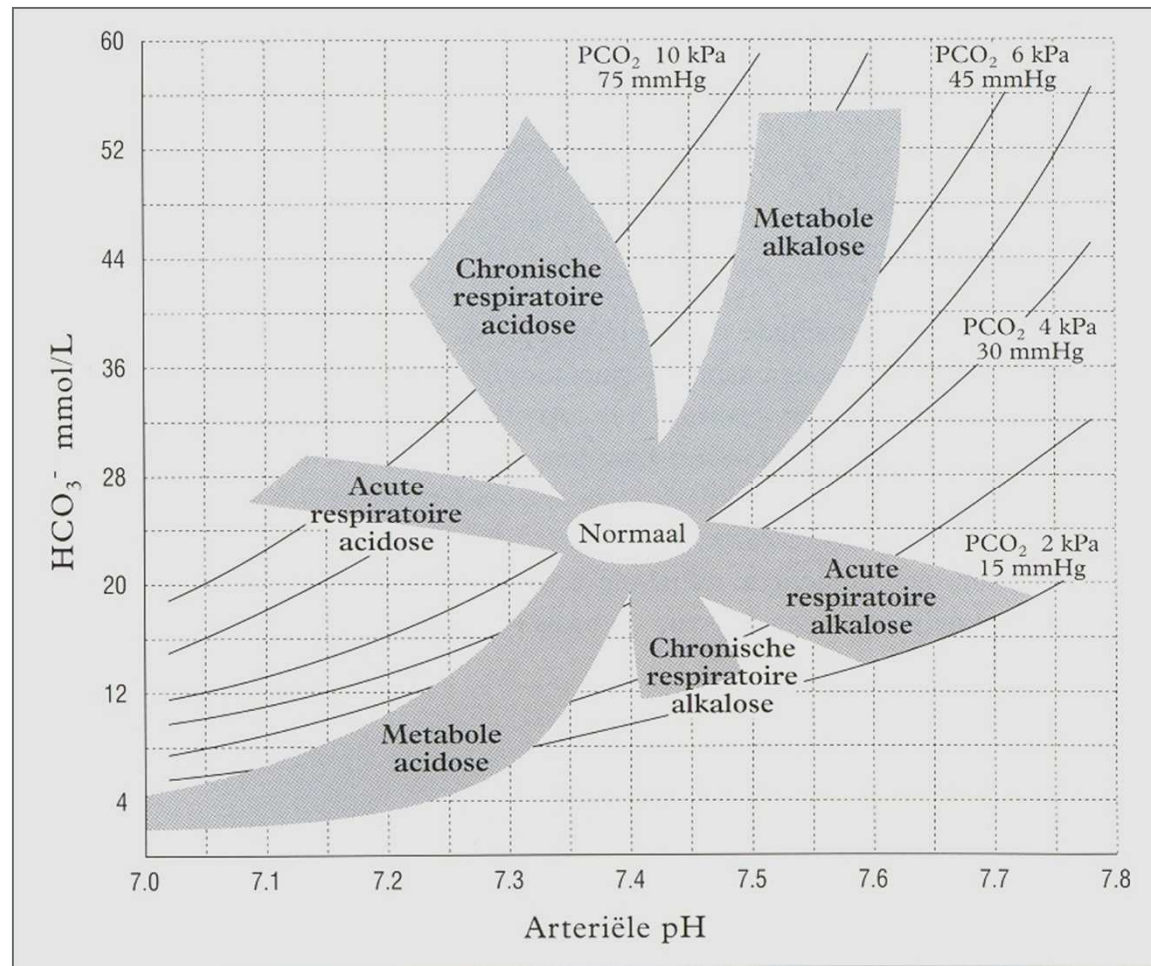
$PaCO_2 \downarrow$
metabole acidose
respiratoire compensatie

Dus: $pH < 7,35$ en $HCO_3^- < 22 \text{ mM}$
Compensatie Respiratoir (Snel)

Oorzaken Metabole Acidose

- **Verlies HCO_3^-**
 - Gastrointestinaal
 - Diarrhee, darmdrainage
 - Renaal
 - Nierinsufficiëntie, Renale tubulaire acidose, acetazolamide, bijnierinsufficiëntie
 - Overig
 - Posthypocapnie, Parenterale voeding
- **Toename H^+**
 - Endogeen
 - Nierinsufficiëntie, lactaatacidose, ketoacidose
 - Exogeen
 - Salicylaat, methanol, ethyleenglycol

Diagram



Gemengde stoornissen

Stoornis	Primaire Afwijking	Compensatie
Respiratoir	PaCO_2 1 kPa ↑ PaCO_2 1 kPa ↓	HCO_3^- 0,8 – 3,0 mmol ↑ HCO_3^- 1,5 – 4,0 mmol ↓
Metabool	HCO_3^- 1 mmol ↑ HCO_3^- 1 mmol ↓	PaCO_2 0,1 kPa ↑ PaCO_2 0,1 kPa ↓

Respiratoire Acidose

1. H^+

$pH < 7,35$

acidose

$pH > 7,45$

alkalose

2. Primair

$PaCO_2 \uparrow$

respiratoire acidose

$HCO_3^- \downarrow$

metabole acidose

3. Compensatie

$HCO_3^- \downarrow$

respiratoire acidose
metabole acidose

$HCO_3^- \uparrow$

respiratoire acidose
metabole compensatie

$HCO_3^- \uparrow\uparrow$

respiratoire acidose
metabole alkalose

Dus: $pH < 7,35$ en $CO_2 > 5,6$ kPa
Compensatie Metabool (Langzaam)

Respiratoire Alkalose

1. H^+

$pH > 7,45$
alkalose

$pH < 7,35$
acidose

2. Primair

$PaCO_2 \downarrow$
respiratoire alkalose

$HCO_3^- \uparrow$
metabole alkalose

3. Compensatie

$HCO_3^- \uparrow$
respiratoire alkalose
metabole alkalose

$HCO_3^- \downarrow$
respiratoire alkalose
metabole compensatie

$HCO_3^- \downarrow\downarrow$
respiratoire alkalose
metabole acidose

Dus: $pH > 7,45$ en $PaCO_2 < 5,0$ kPa
Compensatie Metabool (Langzaam)

Metabole Alkalose

1. H^+

$pH > 7,45$
alkalose

$pH < 7,35$
acidose

2. Primair

$HCO_3^- \uparrow$
metabole alkalose

$PaCO_2 \downarrow$
respiratoire alkalose

3. Compensatie

$PaCO_2 \downarrow$
metabole alkalose
respiratoire alkalose

$PaCO_2 \uparrow$
metabole alkalose
respiratoire compensatie

$PaCO_2 \uparrow\uparrow$
metabole alkalose
respiratoire acidose

Dus: $pH > 7,45$ en $HCO_3^- > 26 \text{ mM}$
Compensatie Respiratoir (Snel)

Metabole Acidose

1. H^+

$pH < 7,35$
acidose

$pH > 7,45$
alkalose

2. Primair

$HCO_3^- \downarrow$
metabole acidose

$PaCO_2 \uparrow$
respiratoire acidose

3. Compensatie

$PaCO_2 \uparrow$
metabole acidose
respiratoire acidose

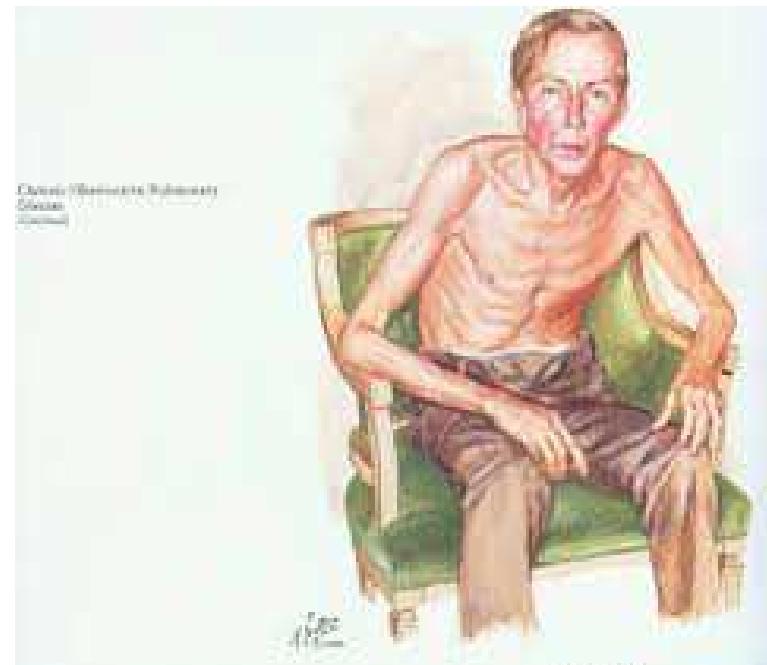
$PaCO_2 \downarrow$
metabole acidose
respiratoire compensatie

$PaCO_2 \downarrow\downarrow$
metabole acidose
respiratoire alkalose

Dus: $pH < 7,35$ en $HCO_3^- < 22 \text{ mM}$
Compensatie Respiratoir (Snel)

Casus 1

- Man, 62 jaar, COPD Gold III, 2 dagen koorts
- Via ambu op SEH: SpO₂ 83% met 5L O₂
- Bloedgas:
 - pH 7.12
 - pCO₂ 12.4
 - pO₂ 6.7
 - HCO₃⁻ 27.2
 - SpO₂ 85%
- Respiratoire acidose



Casus 2

- Man, 74j, VG: hartfalen, thuis gecollabeerd
- Comateus, pols nauwelijks voelbaar, RR ?
- Ademt, maar niet optimaal
- ECG: SR 100/min, ischemie
- ABG:
 - pH 6,88
 - pCO₂ 5,9 kPa
 - pO₂ 7,6 kPa
 - [HCO₃⁻] 8 mM
 - SaO₂ 83%



Casus 3

- Vrouw, 54 jaar, 2 dagen terug enkel # wv ORIF
- Dyspnoe en tachypnoe ondanks O₂
- X-thorax: g.b.
- ABG:
 - pH 7.49
 - pCO₂ 3.3
 - pO₂ 6.5
 - HCO₃⁻ 18.7
 - SpO₂ 90%
- Respiratoire alkalose o.b.v. hyperventilatie bij hypoxie o.b.v. longembolieën

Casus 4

- Vrouw, 65 jaar, CVD $\uparrow$, oedeem, cyanose
- Helder bewustzijn, $[K^+] = 5,0$ mM, $[HCO_3^-] = 30$ mM
- B/ Zoutarm dieet, furosemide 80 mg/dag
- CVD en gewicht dalen, maar suf en cyanotisch
- ABG:
 - pH 7,55
 - pCO_2 7,6 kPa
 - pO_2 4,2 kPa
 - $[HCO_3^-]$ 50 mM
 - $[K^+]$ 2,6 mM

Casus 5

- Man, 45j, M. Crohn, fors diarree
- Tachypnoe
- ABG:
 - pH 7,28
 - $p\text{CO}_2$ 4,4 kPa
 - $p\text{O}_2$ 17,5 kPa
 - $[\text{HCO}_3^-]$ 17 mM
 - BE -5 mM
 - SpO_2 100%
- Metabole acidose o.b.v. GI-verlies, deel respiratoire compensatie

FOKKE & SUKKE

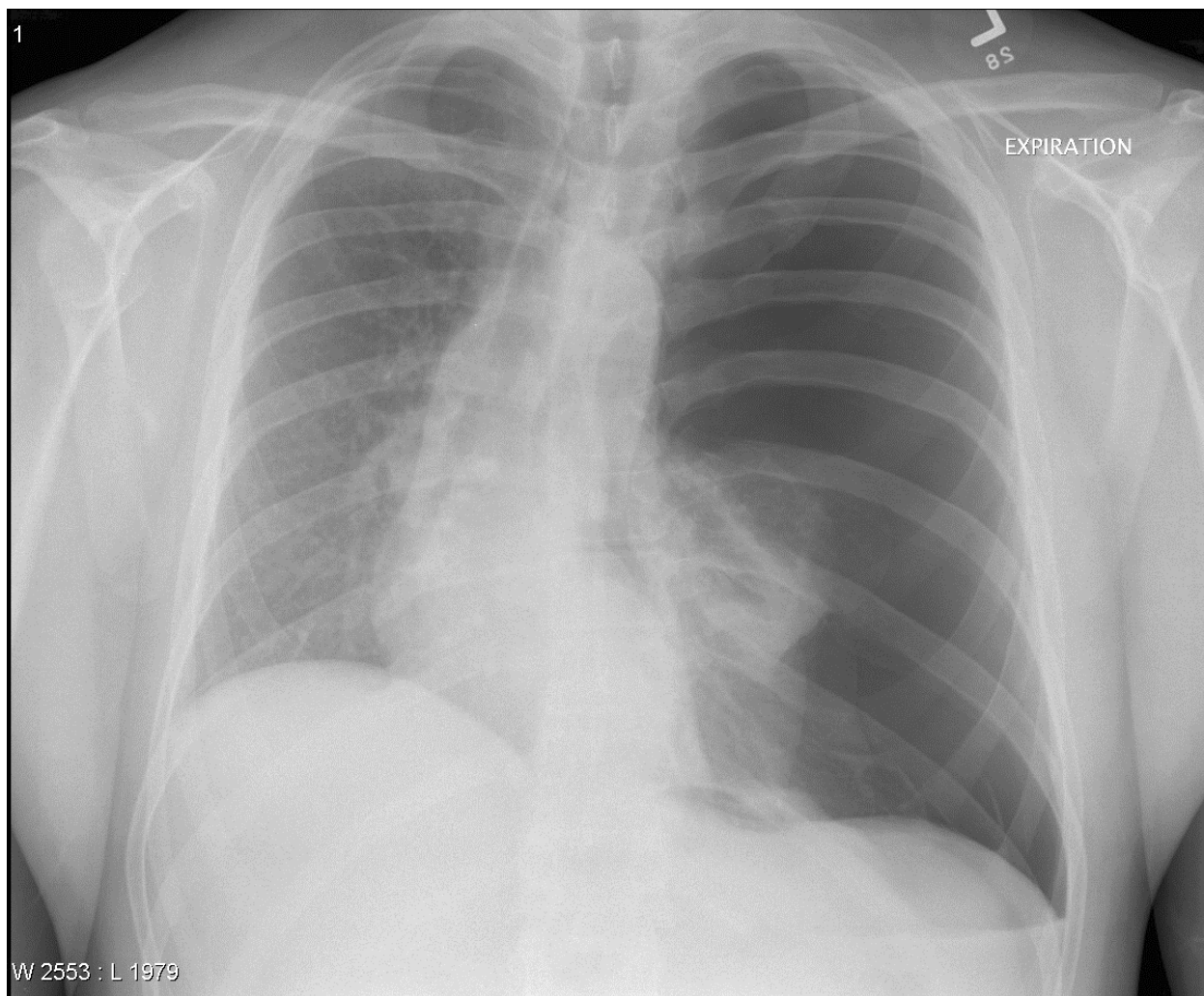
STELLEN VLOT DE
DIAGNOSE



Casus 6

- Man, stomp thoraxtrauma
- RR 150/90, ST 130, AH snel, oppervlakkig
- Bleek, klam, toenemend onrustig, dalende RR
- ABG:
 - pH 7,28
 - pCO₂ 8 kPa
 - pO₂ 4 kPa
 - [HCO₃⁻] 24 mM
 - BE -3 mM
 - SpO₂ 80%

Casus 6 (vervolg)



Casus 7

- Vrouw, reanimatie op straat, ROSC, intubatie
- Bloedgas na reanimatie
 - pH 7,17
 - pCO₂ 3,9 kPa
 - pO₂ 26,5 kPa
 - [HCO₃⁻] 14 mM
 - BE -12 mM
 - SpO₂ 99%

Casus 8

- Man, 72 jaar, 4 dagen koorts, AB via huisarts, toenemend ziek, dyspnoe, suffer
- Via ambu op SEH: RR 70/32, pols 110/min, SpO₂ 89% bij 12L via NRM
- ABG:
 - pH 7.08
 - pCO₂ 9.6
 - pO₂ 6.2
 - [HCO₃⁻] 15
 - SpO₂ 90%
- Primair metabole acidose o.b.v. acidose bij sepsis, secundair respiratoire acidose bij uitputting

Casus 9

- Vrouw, 55j, bloedbraken
- Bleek, koud, klam, RR 65/40
- Hb 4.0 mmol/l
- pH 7.28
- PaCO₂ 4,4 kPa
- HCO₃⁻ 16 mmol
- Scopie: ulcus



Casus 9 (vervolg)

- 4 dagen na scopie
- Hoge koorts, infiltraat rechts op X-thorax, kortademig
- ABG:
 - pH 7,28
 - $p\text{CO}_2$ 8,0 kPa
 - $p\text{O}_2$ 7,3 kPa
 - HCO_3^- 27 mM

Casus 9 (vervolg)

- Aspiratiepneumonie: opname IC
- Geïntubeerd en beademd
- ABG:
 - pH 7.54
 - PaCO₂ 3,3 kPa
 - HCO₃⁻ 24 mM

Casus 10

- Man, 70j, acute buikklachten, sinds weken braken en niet eten
- Buik zeer pijnlijk bij aanraking, RR niet te meten
- Na⁺ 150 mM
- K⁺ 3,0 mM
- Cl⁻ 94 mM
- pH 7.38
- HCO₃⁻ 23 mM
- PaCO₂ 5,1 kPa