

Messtechnik



I. gasteiger

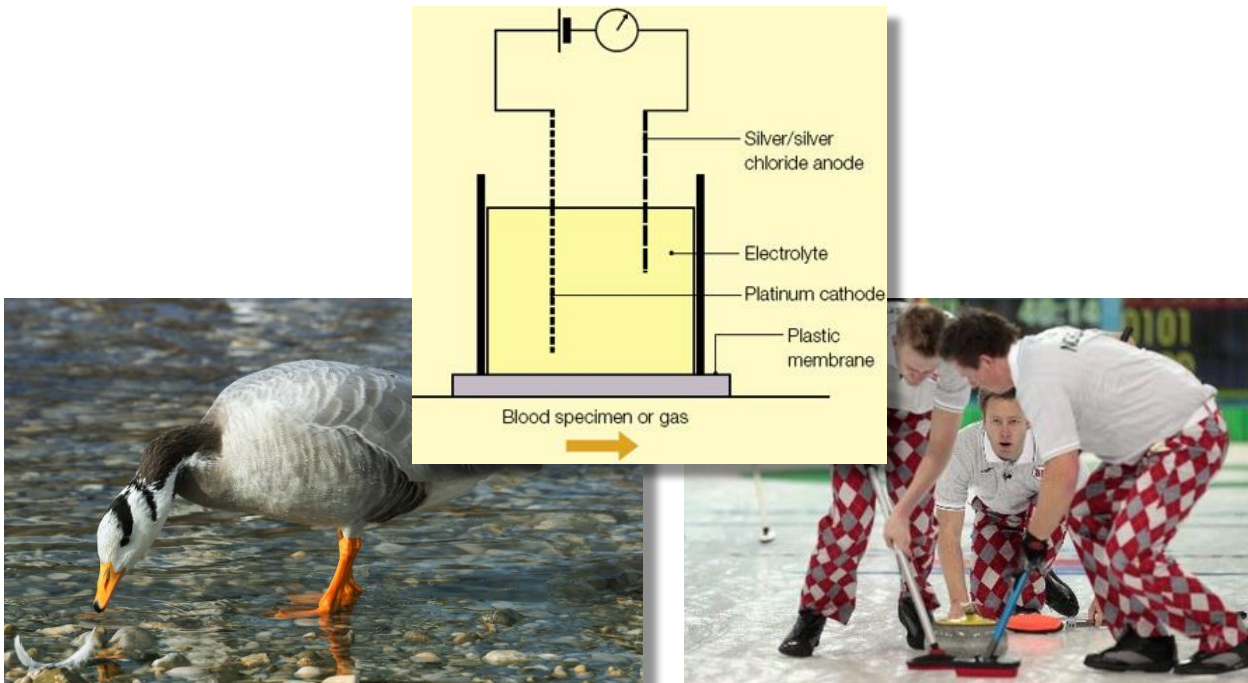
ANÄSTHESIE FORUM



ALPBACH

REPETITORIUM

Messtechnik vs. Curling vs. Streifengans



Curling



Curling 1898



wikipedia.org

Curling 2022





Alisa Craig

gavinsyme.co.uk



gavinsyme.co.uk



For Sale

David Thomas Kennedy, 9th Marquess of Ailsa

Blutgasanalyse



- Grundlagen:

- Gasförmige Bestandteile des Blutes unter physiologischen Bedingungen: O_2 , CO_2 , NO_2
- **Henry-Dalton-Gesetz:**
 - **Gaskonzentration abhängig von Löslichkeit und proportional zu den Partialdrücken**
 - Lineare Funktion

- **Ausnahme:** zusätzlicher chemischer Bindung (z.B. O_2 an Hb)
 - kein linearer Zusammenhang
 - Sigmoide O_2 – Bindungskurve

Blutgasanalyse



- Probenarten:
 - **Arteriell:**
 - **Kapillarblut:**
 - **Venös:**
 - **Gemischt-venös:**

Blutgasanalyse



- Probenarten:
 - **Arteriell:** zuverlässige Beurteilung des Säure-Basen Haushalts, Erkennung von Diffusions-, Ventilations- und Perfusionsstörungen
 - **Kapillarblut:** bei **hämodynamisch stabilen** Verhältnissen valide Alternative zu arteriellen Proben
 - **Venös:** nur für Hb, Elektrolyte und Metaboliten
 - **Gemischt-venös:** aus der Art. pulmonalis (S_vO_2)

Blutgasanalyse



- Probenentnahme:
 - Glasspritzen:
 - geringste Kontamination mit Umgebungsluft
 - Kapillaren:
 - Kunststoffspritzen:
 - Bei längerer Verweildauer beträchtliche Fehlerquelle (**Gasdurchlässigkeit**) insbesondere für CO₂
 - Probengefäße sollten Ca-titriertes Lithium Heparin enthalten
 - geringste Beeinflussung von Elektrolytanalysen
 - Cave: ACT (HLM/ECMO)

Blutgasanalyse:



- Patiententemperatur:
 - Blutgasanalyse bei 37°C
 - Möglichkeit der Temperaturkorrektur bei moderner BGA
 - Die *Gleichgewichtskonstante der Wasserdissociation* K_w ist temperaturabhängig
 - Temperaturabhängige Beeinflussung von pH, pCO_2 und pO_2
 - Veränderung der Löslichkeit von O_2 und CO_2
 - pO_2 und pCO_2 **proportionale** Veränderung mit Temperatur
 - pH **umgekehrt proportionale** Veränderung mit Temperatur

Temperatur - Blutgasanalyse



Temperatur	pH	pCO ₂ *	pO ₂ *
33 °C	+ 0,060	X 0,850	X 0,750
34 °C	+ 0,045	X 0,885	X 0,805
35 °C	+0,030	X 0,920	X 0,865
36 °C	+ 0,015	X0,960	X0,930
37 °C	+ - 0	X 1,000	X 1,000
38 °C	- 0,015	X 1,040	X 1.070
39 °C	-0,030	X 1,080	X 1,145

- Bei gleicher Gaskonzentration durch Veränderung der Löslichkeit.
- Löslichkeit steigt mit sinkender Temperatur.

Blutgasanalyse

- Probenhandhabung:
 - Vor Messung Probe mischen:
 - mögliche Fehlmessung von Hb und Hkt durch Sedimentierung
 - Vermeidung von Kontamination mit Umgebungsluft:
 - Beeinflussung von $pO_2 \uparrow$ und $pCO_2 \downarrow$
(Luftblase 0,01ml -> $pO_2 \uparrow$ 10%)
 - Zeit bis Messung kurz halten:
 - metabolische Beeinflussung von Glukose, Laktat und pO_2
 - Vermeidung von Hämolyse
 - durch starkes Schütteln, kräftiges Aspirieren und Einfrieren

Historie der Blutgasanalyse

- Klassische BGA nach Van Slyke:
 - Gasometrische Messung der physikalisch gelösten Blutgase
 - Freisetzung der chemisch gebundenen Gase durch Zusatz von Reagenzien
 - Gasometrische Hb-Bestimmung
 - durch Sauerstoffgehalt einer gesättigten Blutprobe
 - Obsolete Methode
 - großer Blutbedarf, hoher Personal und Materialaufwand

Historie der Blutgasanalyse

- Moderne BGA:
 - **Mikro pH-Elektrode von Astrup (1960)**
 - Dann Mikroelektroden für $p\text{CO}_2$, $p\text{O}_2$ (Triple-Methode)
 - Ionenselektive Elektroden:
 - Natrium, Kalium, ionisiertes Kalzium, Chlorid
 - Elektroden für Stoffwechselfparameter:
 - Glukose, Laktat
 - Mikroelektroden hintereinander angeordnet bei 37°C und anaeroben Bedingungen

Blutgasanalyse



- **Gemessene Größen:**

pH-Wert

pCO₂

pO₂

Elektrolyte (Na, K, Cl, Ca)

Hb-Derivate (Ges.Hb, O₂Hb,
HHb, COHb, MetHb)

Glukose

Laktat

Glaselektrode

Severinghaus Elektrode

Clark Elektrode

Ionenselektive Elektroden

Direkte photometrische
Messung

Glukosesensor

Laktatsensor

Blutgasanalyse

• Berechnete Größen der BGA

O₂-Gehalt im Blut: c_BO₂ (ml/dl)

$$c_B O_2 = cHb * SO_2 * 1,39 + 0,003 * p_a O_2$$

O₂-Sättigung: SO₂

$$SO_2 = cO_2 Hb (x100) / cO_2 Hb + cHHb$$

O₂-Kapazität

$$= cHb * (1 - FDysHb) * 1,39$$

Plasmabikarbonat: cHCO₃⁻ (mmol/l)

$$c_p HCO_3^- = 0,0304 * PCO_2 * 10^{pH-6,1}$$

CO₂-Gehalt Pla.: c_pCO₂ (ml/dl)

$$C_p CO_2 = 0,0304 * PCO_2 * (1 + 10^{pH-6,1})$$

CO₂-Gehalt Blut: c_BCO₂ (ml/dl)

$$c_B CO_2 = C_p CO_2 * [1 - Hkt * (1 - r_c)]$$

Base Excess Blut (mmol/l)

BE - Gleichung nach Zander

Base Excess extrazell. (Be_{ecf})

NCCLS. Gleichung

Anion Gap (AG)

$$AG = (Na^+) + (K^+) - (Cl^-) - (HCO_3^-)$$

pH-Messung



- **Glaselektrode**
 - **modifizierte ionenselektive Elektrode**
 - Bezugselektrode (pH-Elektrode) in Kombination mit Referenzelektrode
 - Bezugs-Elektrode enthält einen, in eine Pufferlösung mit bekanntem pH eingefügten, Silber-/Silberchlorid Draht
 - Bezugselektrode von Probe durch **Spezialglas (für H⁺ durchgängig)** getrennt
 - Durch H⁺ Austausch über die Glasmembran baut sich an der Messelektrode ein Membranpotential auf

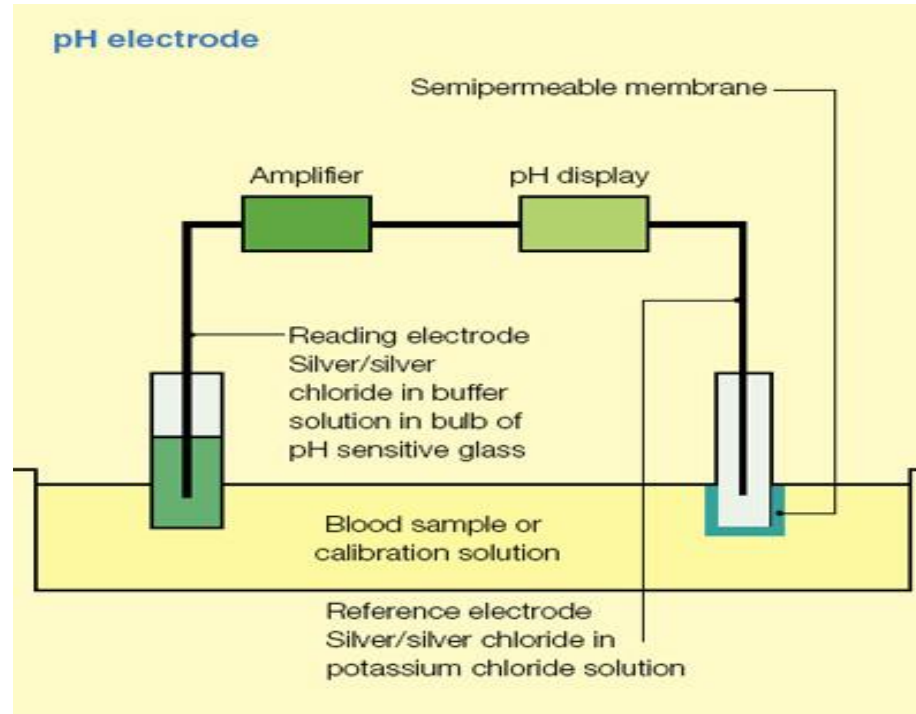
pH-Messung




- **Glaselektrode:**

- Vergleich mit konstanter Spannung der Referenzelektrode an **Voltmeter**
- **Gemessenes Potentialdifferenz (Spannung) reflektiert H^+ - Konzentration der Probe**
- -> pH Wert

Aufbau Glaselektrode




pCO₂-Messung



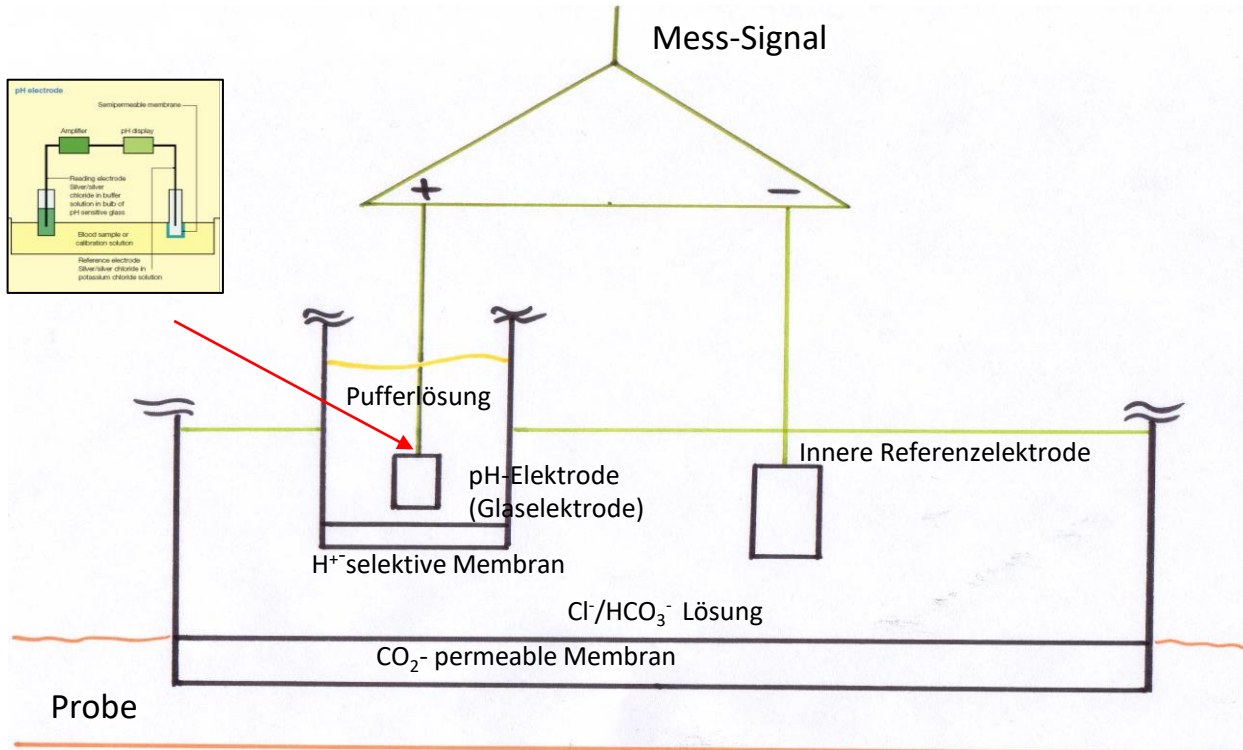
- **Severinghaus Elektrode:**
 - **Modifizierte Glaselektrode / modifizierte ionenselektive Elektrode**
 - Messelektrode (pH-Elektrode) und interne Referenzelektrode
 - Interne Referenzelektrode liefert konstantes Potential
 - Messelektrode (Glas-/pH-Elektrode) von Pufferlösung umgeben und durch H⁺ permeable Membran von einer Cl/Bikarbonat - Lösung getrennt
 - Cl/Bikarbonat - Lösung durch CO₂-permeable Membran von Probe getrennt

pCO₂-Messung



- Severinghaus Elektrode:
 - Durch CO₂-Diffusion durch Membran in Cl-Bikarbonat -Lösung kommt es zu Veränderung der H⁺-Ionenaktivität (d.H pH-Wert-Änderung)
 - Änderung wird von pH-Elektrode erkannt
 - Mess-Signal (**Voltmeter**) reflektiert die pH-Änderung der Cl-Bikarbonat - Lösung
 - **pH-Änderung entspricht dem pCO₂**

Aufbau Severinghaus Elektrode



Streifengans (anser indicus)

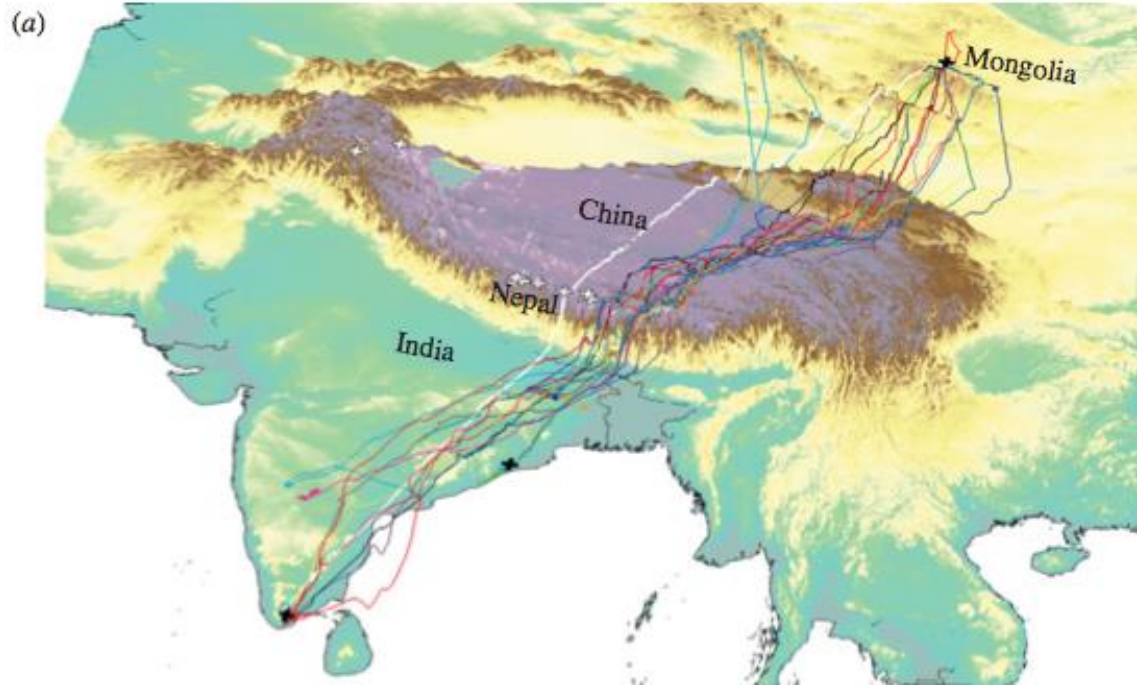


wikipedia.org

Streifengans (anser indicus)

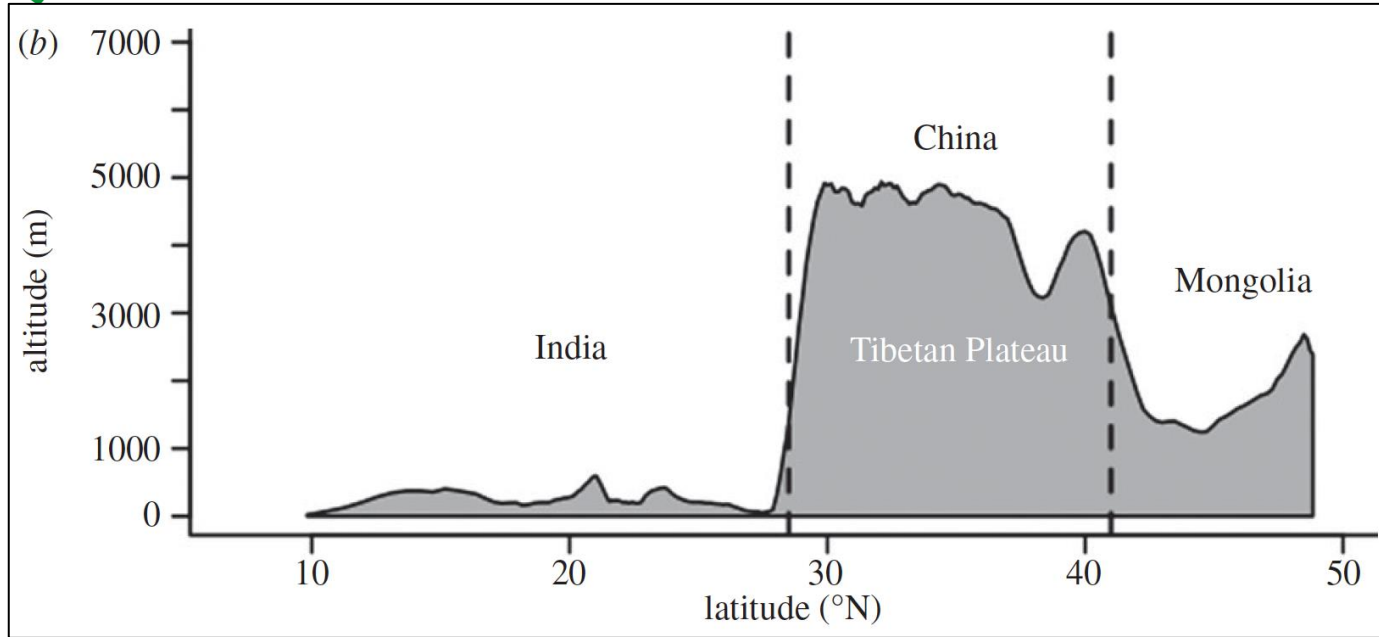


Streifengans - Flugroute



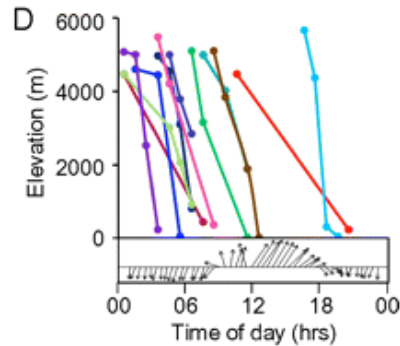
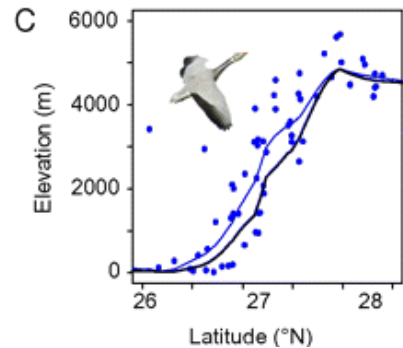
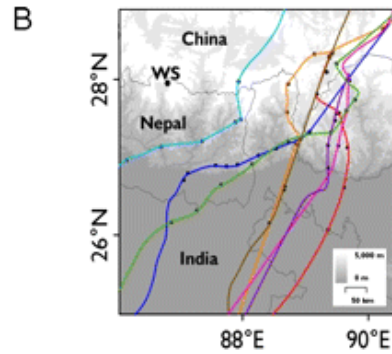
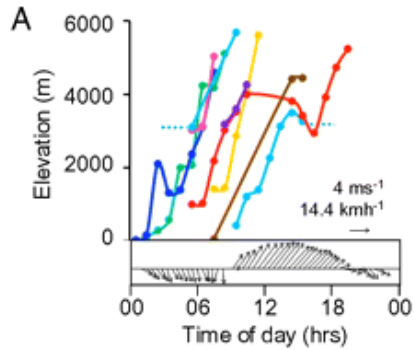
Hawkes et al. The paradox of extreme high-altitude migration in bar-headed geese *Anser indicus*. Proc R Soc B 280

Streifengans - Flugroute



Hawkes et al. The paradox of extreme high-altitude migration in bar-headed geese *Anser indicus*. Proc R Soc B 280

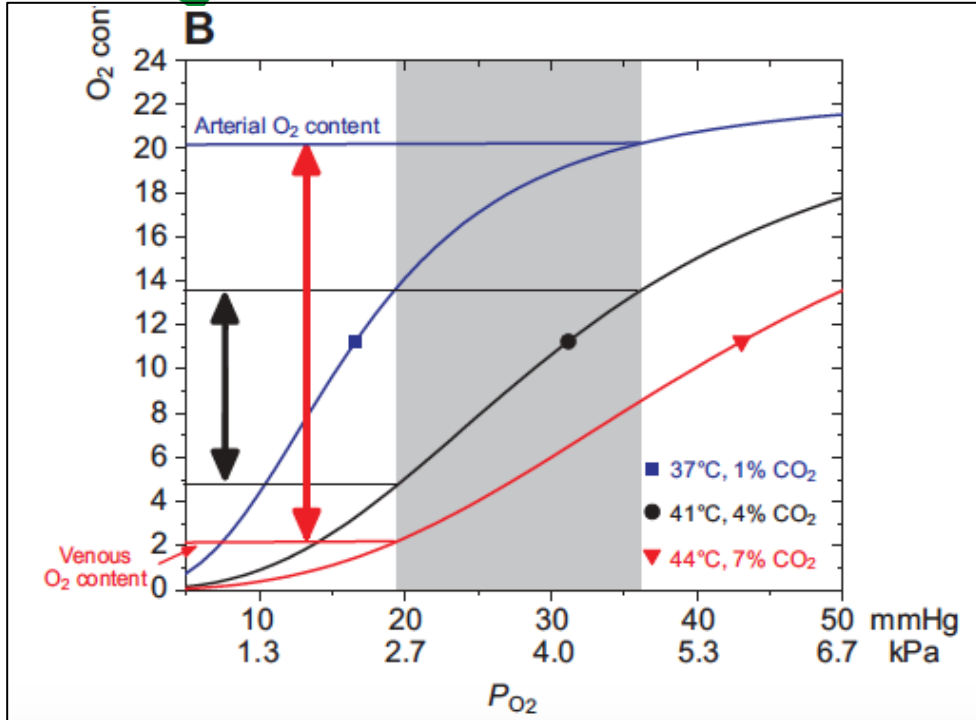
Streifengans (*anser indicus*)



Lucy A. Hawkes et al. (2011) The trans-Himalayan flights of bar-headed geese (*Anser indicus*) PNAS 108

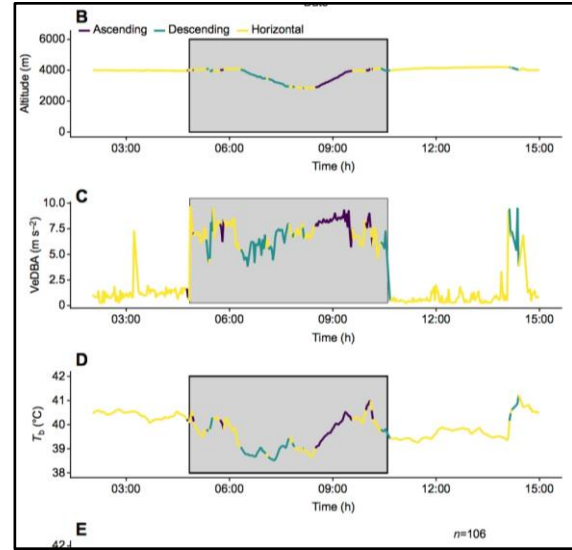
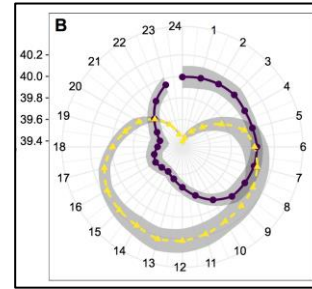
l.gasteiger_Messtechnik_2023

Streifengans (anser indicus)



Meir J et al. High thermal sensitivity of blood enhances oxygen delivery in the high-flying bar-headed goose. *The Journal of Experimental Biology* 2013;216, 2172-2175

l.gasteiger_Messtechnik_2023



Parr N et al. Tackling the Tibetan Plateau in a down suit: insights into thermoregulation by bar-headed geese during migration. *J Exp Biol.* 2019

Streifengans (anser indicus)



wikipedia.org

Streifengans (*anser indicus*)

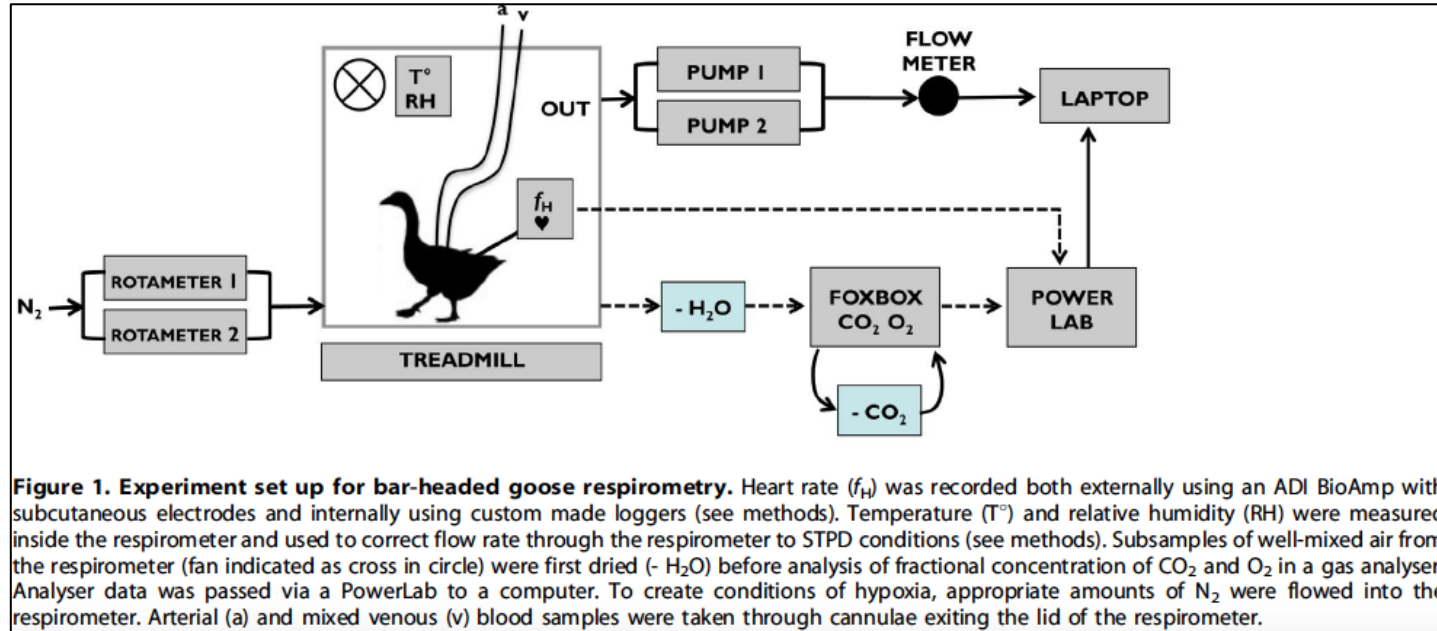


Figure 1. Experiment set up for bar-headed goose respirometry. Heart rate (f_H) was recorded both externally using an ADI BioAmp with subcutaneous electrodes and internally using custom made loggers (see methods). Temperature (T°) and relative humidity (RH) were measured inside the respirometer and used to correct flow rate through the respirometer to STPD conditions (see methods). Subsamples of well-mixed air from the respirometer (fan indicated as cross in circle) were first dried ($-H_2O$) before analysis of fractional concentration of CO_2 and O_2 in a gas analyser. Analyser data was passed via a PowerLab to a computer. To create conditions of hypoxia, appropriate amounts of N_2 were flowed into the respirometer. Arterial (a) and mixed venous (v) blood samples were taken through cannulae exiting the lid of the respirometer.

pO₂-Messung



- **Clark Elektrode:**

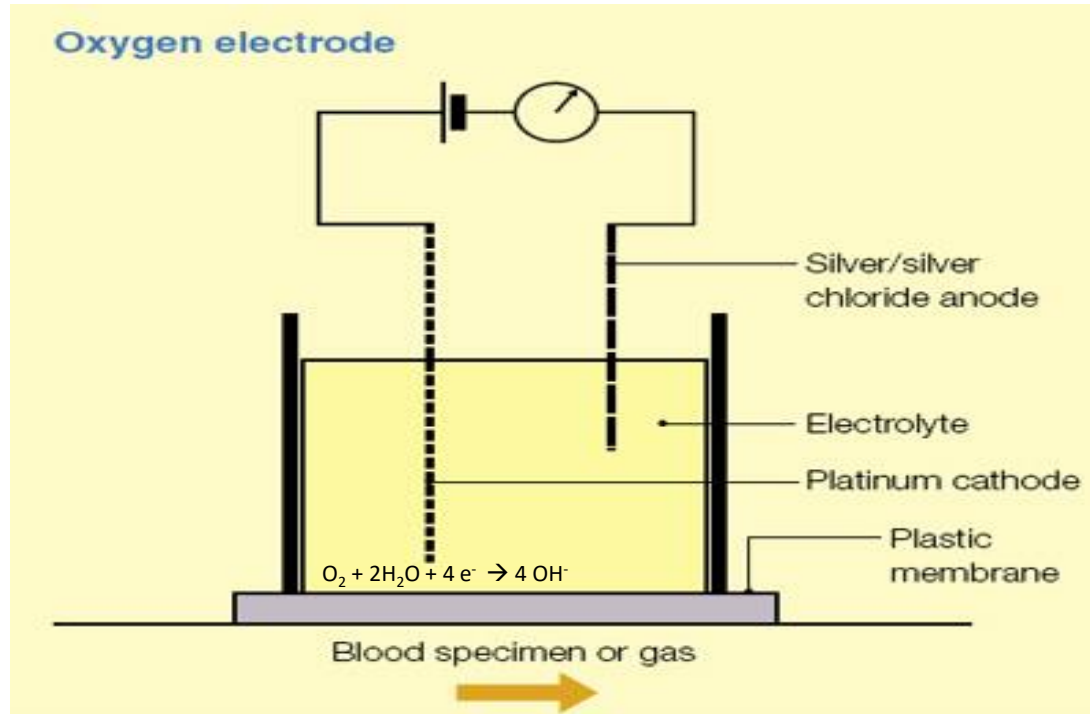
- *Clark-Elektrode – oder polarographischer Sensor: **Elektrochemische Zelle** basierend auf dem Messprinzip der **Amperometrie***
- Elektrode enthält eine Pt-Kathode, Ag-Anode, Elektrolytlösung und eine gasdurchlässige Membran
- Konstante Spannung zwischen Kathode und Anode
- O₂ wird nach Übertritt in die Elektrolytlösung an der Pt-Kathode reduziert
 - $O_2 + 2H_2O + 4 e^- \rightarrow 4 OH^-$

pO₂-Messung



- Clark Elektrode:
 - Verbrauchte Elektronen an Kathode proportional zur Menge reduziertem Sauerstoff
 - **Gemessener Strom (Elektronenfluss) zwischen Anode und Kathode direkt proportional zur Sauerstoffmenge in Elektrolytlösung**
 - **Amperometrie**

Aufbau Clark Elektrode



Elektrolytbestimmung



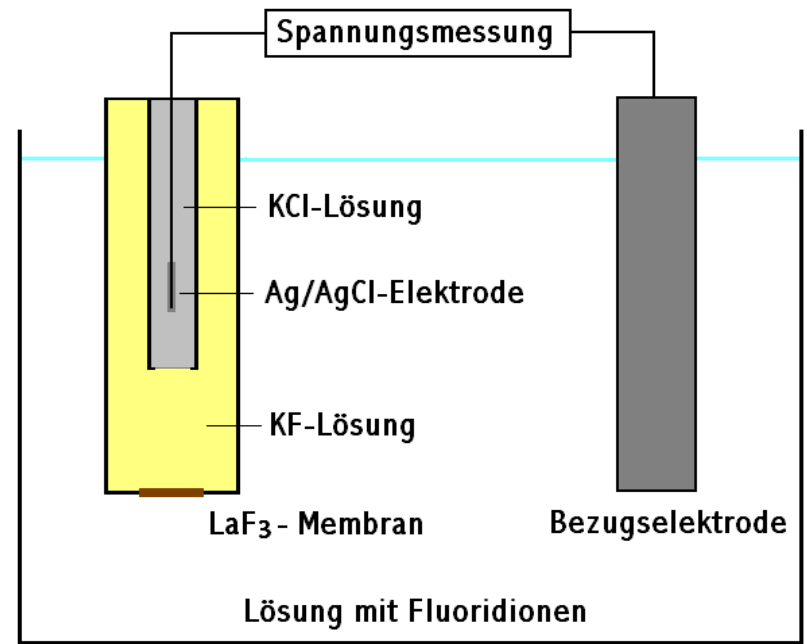
- Ionenselektive Elektroden :
 - Spannungsmessung zwischen zwei Elektroden in einer elektrochemischen Zelle
 - 2 Elektroden (Referenz- und Messelektrode), Voltmeter und Elektrolytlösung (Probe)
 - Messelektrode von Pufferlösung mit bekanntem pH umgeben
 - Probe von Messelektrode durch ionendurchlässige Teflonmembran getrennt
 - Ionenübertritt in Messelektrode

Elektrolytbestimmung



- Durch Ionen-Austausch über die Glasmembran baut sich an der Messelektrode ein Membranpotential auf
- Vergleich mit konstanter Spannung der Referenzelektrode
an **Voltmeter**
- **Gemessenes Potentialdifferenz (Spannung) reflektiert Ionen -Konzentration der Probe**

Aufbau Ionenselektive Elektrode



Glukosemessung



- Glukosesensor:
 - Biosensor bestehend aus 4 Elektroden.
 1. Platin-Messelektrode mit Glu-Oxidase beschichtet.
 2. Silber-Referenzelektrode
 3. Platin-Counter-Elektrode (Stabilisierung der Lösung)
 4. Zweite Platinmeselektrode (Bestimmung von Störsubstanzen).

Glukosemessung



- Anlage konstanter Spannung
- Oxidierung von Glukose durch GOD an der Elektrodenoberfläche zu D-Glukonat
- Freisetzung von Wasserstoffperoxid

- An Anode Oxydierung zu O_2
- Dabei freiwerdende Elektronen erhöhen den Stromfluss im Sensor
- **Stromfluss direkt proportional zu Glukosemenge in Probe**

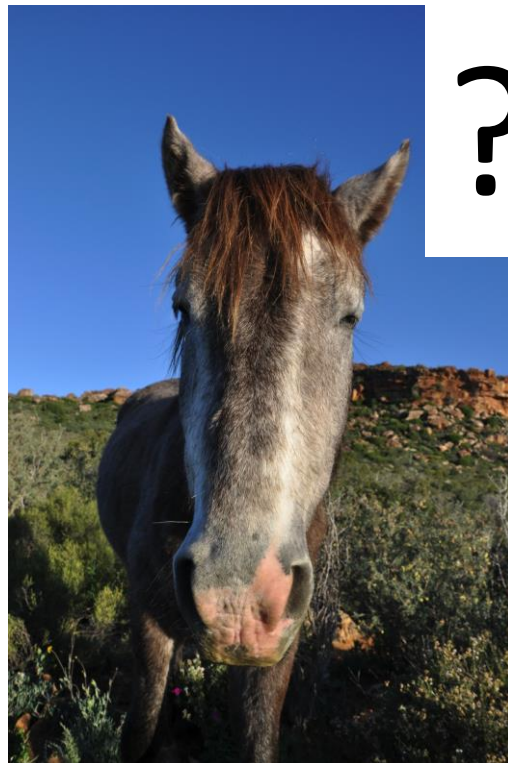
- **Amperometrie**

Laktatmessung



- Laktatsensor:
 - Biosensor bestehend aus 4 Elektroden:
 1. Platin-Messelektrode mit Laktat-Oxidase beschichtet
 2. Silber-Referenzelektrode
 3. Platin-Counter-Elektrode (Stabilisierung der Lösung)
 4. Zweite Platinmeselektrode (Bestimmung von Störsubstanzen)
 - Messung analog zu Glukosemessung
 - **Amperometrie**

pH-stat versus α -stat



pH-stat versus α -stat



Temperatur	pH	pCO ₂	pO ₂
33 °C	+ 0,060	X 0,850	X 0,750
34 °C	+ 0,045	X 0,885	X 0,805
35 °C	+0,030	X 0,920	X 0,865
36 °C	+ 0,015	X0,960	X0,930
37 °C	+ - 0	X 1,000	X 1,000
38 °C	- 0,015	X 1,040	X 1.070
39 °C	-0,030	X 1,080	X 1,145

pH-stat versus α -stat



- Strategien für pH-Management beim DHCA (Deep hypothermic circulatory arrest)
 - (Aorta ascendens- oder Aortenbogenersatz)
- Gemessener pH Wert abhängig von Temperatur
 - Temp \downarrow \rightarrow pH \uparrow
- **pH-stat:** Einsatz der Temperaturkorrektur
 - \rightarrow pH Korrektur durch Erhöhung von CO_2
 - Ausgleich der erhöhten Löslichkeit von CO_2
- **α -stat:** Kein Einsatz der Temperaturkorrektur
 - keine pH Korrektur durch CO_2

pH-stat versus α -stat



- **Theoretischer Vorteil pH-stat:**
 - Cerebrale Vasodilatation („bessere“ Hirnperfusion und homogene Hirnkühlung)
 - Verbesserte O₂-Abgabe an das Gewebe (Sauerstoffbindungskurve)
- **Theoretischer Vorteil α -stat:**
 - Normalere transmembrane pH-Gradienten, Protein- und Enzymfunktion
 - Alkalischer pH bewirkt Protektion vor ischämischer Schädigung
- **pH Stat gebräuchlich und wahrscheinlich besser**

Wie geht es dieser Patientin ?



Valori Gas Ematici		
pO_2	56,3	mmHg
pCO_2	23,9	mmHg
$pO_2(a)/FO_2(l)_c$	268	mmHg
ctO_{2c}	15,3	Vol%
Valori Corretti con la Temperatura		
$pO_2(T)$	56,3	mmHg
$pCO_2(T)$	23,9	mmHg
$pO_2(a, T)/FO_2(l)_c$	268	mmHg
Valori Ossimetrici		
$ctHb$	12,2	g/dL
Hct_c	37,5	%
sO_2	91,5	%
$F_{O_2}Hb$	89,5	%
F_{COHb}	1,4	%
F_{HHb}	8,3	%
F_{MetHb}	0,8	%
Stato Acido Base		
$pH(T)$	7,387	
ABE_c	-9,1	mmol/L
SBE_c	-10,0	mmol/L
$cHCO_3^-(P)_c$	14,0	mmol/L
Anion Gap _c	15,3	mmol/L
Valori Elettroliti		
cK^+	3,6	mmol/L
cNa^+	136	mmol/L
cCa^{2+}	1,05	mmol/L
cCl^-	107	mmol/L
Valori Metaboliti		
$cGlu$	94	mg/dL
$cLac$	66	mg/dL
$mOsm_c$	278,0	mmol/kg

Wie geht es dieser Patientin?





- **SID:** $\text{Na} - \text{Cl} - 35 =$
- **Laktateffekt:** $1 - \text{Laktat} =$
- **Albumin:** $0,25 \times (42 - \text{Albumin}) =$
- **BE =**

Valori Gas Ematici

$p\text{O}_2$	56,3	mmHg
$p\text{CO}_2$	23,9	mmHg
$p\text{O}_2(\text{a})/f\text{O}_2(\text{l})_c$	268	mmHg
$c\text{tO}_2c$	15,3	Vol%

Valori Corretti con la Temperatura

$p\text{O}_2(T)$	56,3	mmHg
$p\text{CO}_2(T)$	23,9	mmHg
$p\text{O}_2(\text{a}, T)/f\text{O}_2(\text{l})_c$	268	mmHg

Valori Ossimetrici

$c\text{tHb}$	12,2	g/dL
Hct_c	37,5	%
$s\text{O}_2$	91,5	%
$f\text{O}_2\text{Hb}$	89,5	%
$f\text{COHb}$	1,4	%
$f\text{HHb}$	8,3	%
$f\text{MetHb}$	0,8	%

Stato Acido Base

$\text{pH}(T)$	7,387	
ABE_c	-9,1	mmol/L
SBE_c	-10,0	mmol/L
$c\text{HCO}_3^-(P)_c$	14,0	mmol/L
Anion Gap _c	15,3	mmol/L

Valori Elettroliti

$c\text{K}^+$	3,6	mmol/L
$c\text{Na}^+$	136	mmol/L
$c\text{Ca}^{2+}$	1,05	mmol/L
$c\text{Cl}^-$	107	mmol/L

Valori Metaboliti

$c\text{Glu}$	94	mg/dL
$c\text{lac}$	66	mg/dL
$f\text{Osm}_c$	278,0	mmol/kg



- **SID:** $\text{Na} - \text{Cl} - 35 = - 6$
- **Laktateffekt:** $1\text{-Laktat} = - 6$
- **Albumin:** $0,25 \times (42 - \text{Albumin}) = 3$
 - Albumin: 30 g/l
- **BE = - 9**
- **Massive Laktatazidose**
- **Hyperchloäme Azidose**
- **Hypoalbuminämie Alkalose**
- **Komp. Respiratorische Alkalose**

Valori Gas Ematici

$p\text{O}_2$	56,3	mmHg
$p\text{CO}_2$	23,9	mmHg
$p\text{O}_2(\text{a})/F\text{O}_2(\text{l})_c$	268	mmHg
$ct\text{O}_{2c}$	15,3	Vol%

Valori Corretti con la Temperatura

$p\text{O}_2(T)$	56,3	mmHg
$p\text{CO}_2(T)$	23,9	mmHg
$p\text{O}_2(\text{a}, T)/F\text{O}_2(\text{l})_c$	268	mmHg

Valori Ossimetrici

$ct\text{Hb}$	12,2	g/dL
Hct_c	37,5	%
$s\text{O}_2$	91,5	%
$F\text{O}_2\text{Hb}$	89,5	%
$F\text{COHb}$	1,4	%
$F\text{HHb}$	8,3	%
$F\text{MetHb}$	0,8	%

Stato Acido Base

$\text{pH}(T)$	7,387	
ABE_c	-9,1	mmol/L
SBE_c	-10,0	mmol/L
$c\text{HCO}_3^-(P)_c$	14,0	mmol/L
Anion Gap_c	15,3	mmol/L

Valori Elettroliti

$c\text{K}^+$	3,6	mmol/L
$c\text{Na}^+$	136	mmol/L
$c\text{Ca}^{2+}$	1,05	mmol/L
$c\text{Cl}^-$	107	mmol/L

Valori Metaboliti

$c\text{Glu}$	94	mg/dL
cl_{ac}	66	mg/dL
l_{COsmc}	278,0	mmol/kg



Noch
Fragen?

