

Protokoll

Sauerstoff- und Kohlendioxidtransporteigenschaften des Blutes

Till Biskup

Matrikelnummer: 155567

29. Februar 2000

Einführung

Der Transport von Sauerstoff und Kohlendioxid gehört zu einem der wesentlichen Aufgaben des Blutes von Wirbeltieren. Im vorliegenden Versuch wurden mit besonderem Augenmerk auf der Sauerstoffbindungskurve die Einflüsse des Sauerstoffpartialdruckes P_{O_2} und des Kohlendioxidpartialdruckes P_{CO_2} , namentlich also des BOHR- und HALDANE-Effektes untersucht.

1 Sauerstoffbindungskurve von Blut

Aufgaben

1. Berechnen Sie den Sauerstoffpartialdruck P_{eq} des oxygenierten Blutes. Gehen Sie dabei von einem Luftdruck von 760 mmHg und einem Wasserdampfpartialdruck (bei 37°C) von 47 mmHg aus.
2. Bestimmen Sie gemäß Gleichung (4) die relative Sättigung des Hämoglobins im Blutgemisch. Tragen Sie die Sättigung S gegen den Sauerstoffpartialdruck P_{O_2} auf. Wählen sie dazu etwa 6–8 geeignete Mischungsverhältnisse $V_1/(V_1 + V_2)$, um die Sauerstoffbindungskurve darzustellen.

O_2 -Gehalt einer Mischung völlig gesättigten und völlig ungesättigten Blutes

$$C_{O_2} = \frac{V_1}{V_1 + V_2} \cdot (O_{2 \text{ cap}} + \alpha \cdot P_{eq}) \quad (1)$$

alternative Beschreibung des O_2 -Gehaltes

$$C_{O_2} = (O_{2 \text{ Hb}} + \alpha \cdot P_{\text{mix}}) \quad (2)$$

Kombination von (1) und (2) ergibt

$$O_{2 \text{ Hb}} = \frac{V_1}{V_1 + V_2} \cdot (O_{2 \text{ cap}} + \alpha \cdot P_{eq}) - (\alpha \cdot P_{\text{mix}}) \quad (3)$$

Teilsättigung S des Hämoglobins

$$S = \frac{V_1}{V_1 + V_2} \cdot \left(1 + \frac{\alpha \cdot P_{eq}}{O_{2 \text{ cap}}} \right) - \frac{\alpha \cdot P_{\text{mix}}}{O_{2 \text{ cap}}} \quad O_{2 \text{ cap}} = 7.012 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1} \quad (4)$$

$P_{\text{eq}} = 641.7 \text{ mmHg}$							
x	m_1/g	$m_1 + m_2/\text{g}$	$\frac{m_1}{m_1+m_2}/\text{g}$	$P_{\text{O}_2}/\text{mmHg}$	S	$\log P_{\text{O}_2}$	$\log S$
1	0.4	0.712	0.5617978	22	0.25	1.342	- 0.478
2	0.219	0.475	0.4610526	26	0.419	1.415	- 0.141
3	0.443	0.813	0.5448954	33	0.514	1.519	0.052
4	0.135	0.601	0.2246256	35	0.608	1.544	0.191
5	0.343	0.492	0.6971545	40	0.626	1.602	0.224
6	0.239	0.636	0.3757862	44	0.778	1.643	0.545

$P_{\text{eq}} = 699.0 \text{ mmHg}$							
x	m_1/g	$m_1 + m_2/\text{g}$	$\frac{m_1}{m_1+m_2}/\text{g}$	$P_{\text{O}_2}/\text{mmHg}$	S	$\log P_{\text{O}_2}$	$\log S$
1	0.431	0.856	0.5035047	11	0.232	1.0413	- 0.519
2	0.209	0.682	0.3064516	13	0.346	1.1139	- 0.276
3	0.155	0.753	0.2058433	16	0.382	1.204	- 0.209
4	0.395	0.662	0.5966767	20	0.57	1.301	0.122
5	0.332	0.449	0.7394209	21	0.681	1.3222	0.329
6	0.236	0.698	0.3381089	34	0.836	1.531	0.707

2 Haldane– und Bohr–Effekt

Aufgaben

1. Stellen Sie eine 1:1–Mischung aus oxygeniertem und desoxygeniertem Blut her und bestimmen Sie den P_{O_2} und den pH–Wert dieser Mischung. Bestimmen Sie weiterhin den pH–Wert einer oxygenierten und einer desoxygenierten Blutprobe.
2. Nehmen Sie eine weitere Sauerstoffsättigungskurve für ein Mischungsverhältnis des Äquilibrier-gases von 10% CO_2 zu 90% O_2 auf und bestimmen Sie P_{O_2} und pH–Wert dieser Mischung.
3. Tragen Sie für beide Meßserien in einer Abbildung den Sauerstoffsättigungsgrad S des Hämoglobins gegen den Sauerstoffpartialdruck P_{O_2} auf und beschreiben Sie den Kurvenverlauf.
4. Fertigen Sie den HILL–Plot für Ihre beiden Sauerstoffbindungskurven an und bestimmen Sie die jeweilige Kooperativität n_{H} der Sauerstoffbindung des Hämoglobins und den jeweiligen P_{50} für die beiden Kurven. Was sagen diese beiden Parameter aus? Erläutern Sie Ihre Ergebnisse und deren physiologische Bedeutung für den Atemgastransport im Blut.
5. Tragen Sie für die Meßreihe bei 2% CO_2 den gemessenen pH–Wert gegen die Sättigung auf. Beschreiben Sie Ihre Meßergebnisse und geben Sie eine Erklärung für den Kurvenverlauf. Berücksichtigen Sie dabei, daß die Werte bei einem konstanten P_{CO_2} bestimmt wurden.

Was bedeuten Ihre Ergebnisse für den CO_2 –Transport im Blut?

2.1 pH–Wert–Bestimmung

$P_{\text{eq}} = 699.0 \text{ mmHg}$									
	pH_1	pH_2	pH_3	pH_4	pH_5	pH_6	pH_7	pH	u_{pH}
S_{oxy}	7.672	7.668	7.668	7.669	7.669	7.671	7.672	7.6699	0.0007
S_{50}	7.666	7.662	7.662	7.661	7.666	7.660		7.663	0.001
S_{desoxy}	7.711	7.712	7.717	7.716	7.713			7.714	0.0012

$P_{\text{eq}} = 641.7 \text{ mmHg}$									
	pH_1	pH_2	pH_3	pH_4	pH_5	pH_6	pH	u_{pH}	
S_{oxy}	7.168	7.168	7.167	7.167	7.167		7.167	0.0002	
S_{50}	7.155	7.150	7.160	7.156	7.152	7.149	7.154	0.002	
S_{desoxy}	7.178	7.174	7.174	7.168	7.167		7.172	0.002	

2.2 Herleitung zur Hill-Gleichung

Sauerstoffbindungskurve als Gleichung n -ter Ordnung



Sauerstoffsättigungsgrad S

$$S = \frac{[\text{Hb}(\text{O}_2)_n]}{[\text{Hb}(\text{O}_2)_n] + [\text{Hb}]} \quad (6)$$

Massenwirkungsgesetz für Gl. (5)

$$K = \frac{[\text{Hb}(\text{O}_2)_n]}{[\text{Hb}][\text{O}_2]^n} \quad (7)$$

HILL-Gleichung

$$S = \frac{K' \cdot (P_{\text{O}_2})^n}{1 + K' \cdot (P_{\text{O}_2})^n} \quad (8)$$

Umformung von Gl. (8) als Geradengleichung

$$\log \frac{S}{1-S} = \log K' + n_H \cdot \log P_{\text{O}_2} \quad (9)$$

HILL-Plot						
P_{eq}	a	u_a	b	u_b	n_H	P_{50}
641.7	3.0	0.3	-4.5	3.1	3.0	31.6
699.0	2.5	0.2	-3.2	0.9	2.5	19.1

2.3 Bohr-Effekt

Die Kooperativität n_H entspricht dem jeweiligen Anstieg a der Ausgleichsgeraden. Für Werte vgl. Tabelle. Der P_{50} errechnet sich gemäß folgender Beziehung

$$P_{50} = 10^{-\frac{b}{a}} \quad (10)$$

aus dem Anstieg a und dem y -Achsen-Abschnitt b des HILL-Plots. Die Kooperativität ist ein Maß dafür, um welchen Betrag sich die Affinität der anderen Untereinheiten zu ihrem Substrat ändert, wenn an eine Untereinheit ein Substratmolekül bindet, und bestimmt so, wie stark sigmoid die Sättigungskurve verläuft.

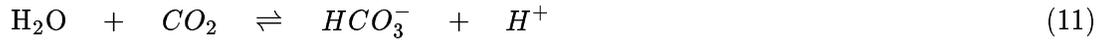
Der P_{50} ist der Sauerstoff-Partialdruck, bei dem die Hälfte des Hämoglobins gesättigt ist. Je niedriger er ist, desto höher ist die Affinität des Hämoglobins zu Sauerstoff.

Bei Erhöhung des pH-Wertes ergibt sich eine Linksverschiebung, bei Erniedrigung eine Rechtsverschiebung der Bindungskurve.

Physiologische Bedeutung Die Erniedrigung des pH-Wertes im Blut bei Passage der Gewebe durch Aufnahme von CO_2 bewirkt eine Rechtsverschiebung der Kurve in den Geweben, die durch Elimination von CO_2 in der Lunge wieder rückgängig gemacht wird. Die physiologische Sauerstoffbindungskurve verläuft daher steiler als die standardisierte und erlaubt entsprechend erhöhten Sauerstofftransport bei bestimmter arterio-venöser Differenz.

2.4 Haldane-Effekt

vereinfachtes Reaktionsschema der chemischen Löslichkeit von CO_2



Massenwirkungsgesetz zu Gl. (11)

$$k = \frac{[\text{H}^+] \cdot [\text{HCO}_3^-]}{[\text{CO}_2]} \quad (12)$$

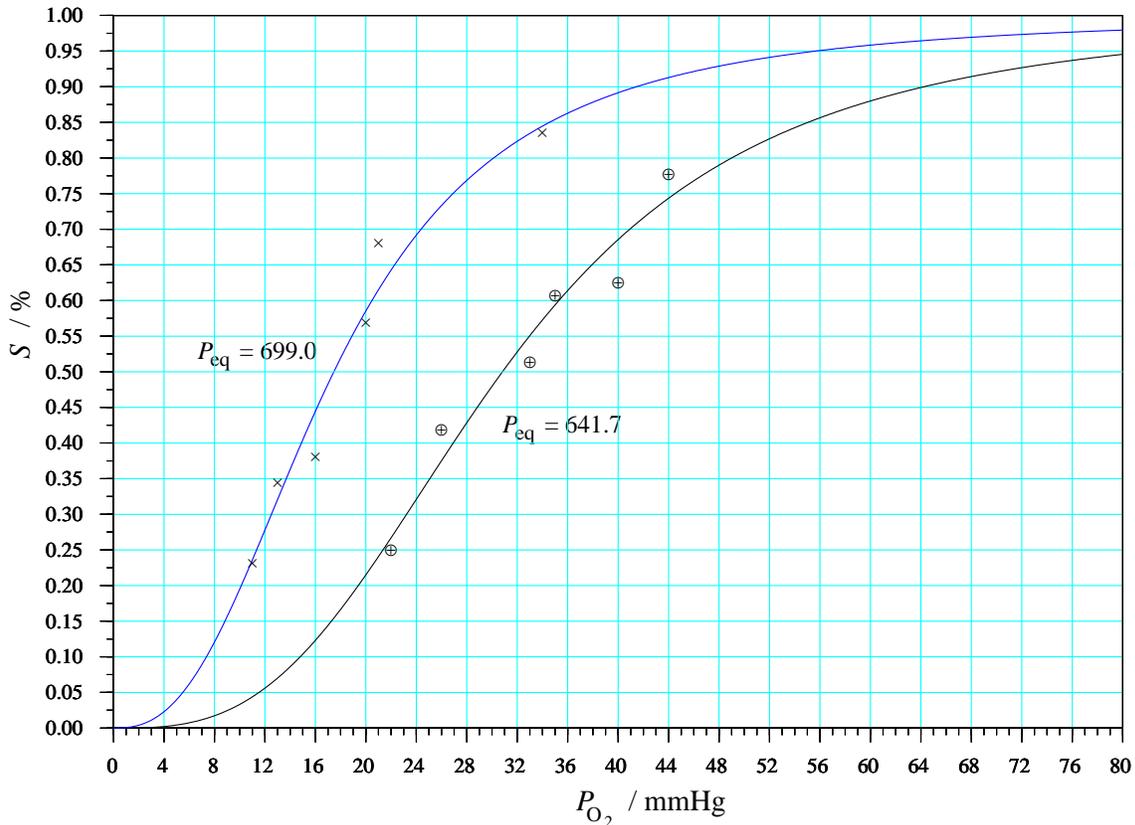


Abbildung 1: Sättigungskurve

Hämoglobin bindet mit zunehmender Sättigung weniger CO_2 . Dies ist dadurch bedingt, daß Hämoglobin zugleich mit der Bindung von O_2 Protonen abdissoziiert. Der molekulare Mechanismus des BOHR- und HALDANE-Effektes ist identisch: Erhöhung des pH-Wertes erleichtert die Abdissoziation von Protonen und steigert damit die Affinität zu O_2 .

Durch den HALDANE-Effekt wird venös wesentlich mehr Kohlendioxid bei konstanter P_{CO_2} -Differenz zwischen Arterien und Venen gebunden und kann transportiert werden. Die Steilheit der physiologischen Bindungskurve kann auf diese Weise verdoppelt werden.

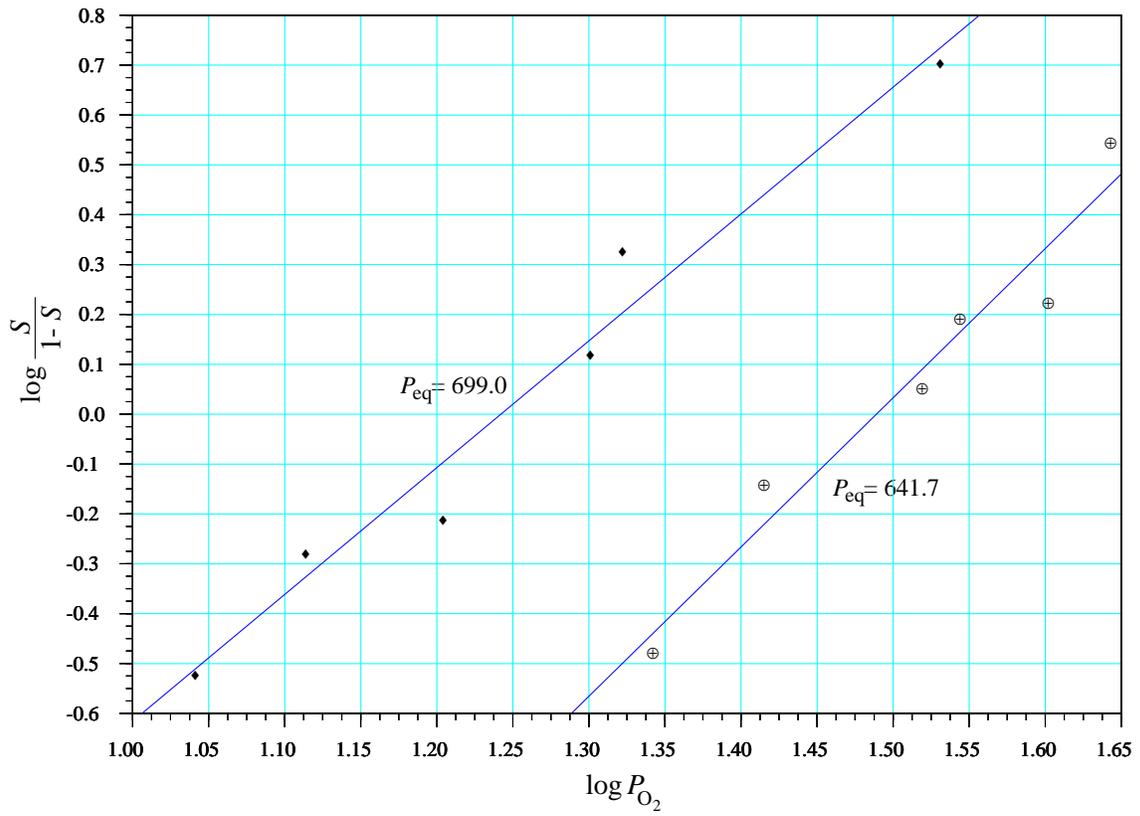


Abbildung 2: HILL-Plot

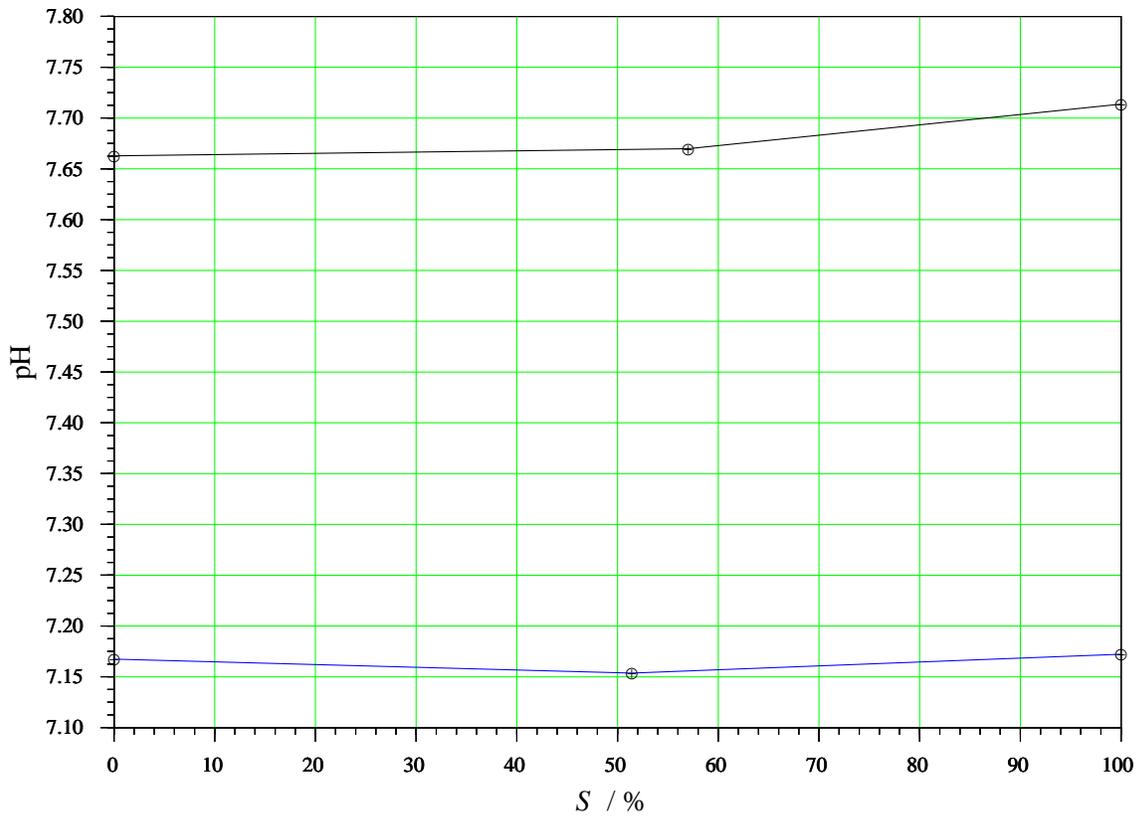


Abbildung 3: HALDANE-Effekt