

Sauerstoffbindung im Blut

Peter Bützer

„Die Fähigkeit uns zu wundern, ist das Einzige, was wir brauchen, um gute Philosophen zu werden.“
Gaarder Jostein, Sofies Welt¹

Inhalt

1	Einleitung/Theorie.....	1
2	Aufgabenstellung	2
3	Simulation	3
3.1	Simulationsdiagramm.....	3
3.2	Zeitdiagramm	4
3.3	Dokumentation (Gleichungen, Parameter).....	4
3.4	Vergleich der Messdaten mit der Simulation.....	5
3.5	Interpretation	6

1 Einleitung/Theorie

Wir nehmen in der Lunge Sauerstoff auf, der dort an das Hämoglobin (roter Blutfarbstoff) der Erythrozyten (rote Blutkörperchen) gebunden wird. Der Transport an die Orte des Verbrauchs, Gehirn, Muskeln, Organe etc. erfolgt im Blutkreislauf.

Je mehr Sauerstoff an das Hämoglobin (Hb) der Erythrozyten gebunden ist, desto mehr Sauerstoff kann transportiert werden und desto grösser ist die Leistungsfähigkeit. Das Thema ist biologisch spannend. Der wichtige Teil des Blutkreislaufs ist chemisch interessant, denn es handelt sich um ein chemisches Gleichgewicht und eine Beeinflussung durch Säuren und Basen (pH), es ist aber auch physiologisch/sportlich wichtig, denn es beeinflusst die Leistung.

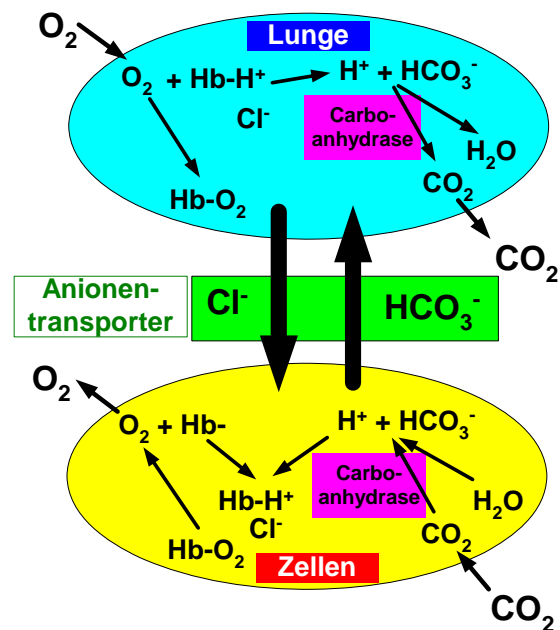


Abbildung 1: Vereinfachte, schematische Darstellung Sauerstoff und CO₂-Austausch im Körper

¹ Gaarder Jostein, Sofies Welt, Carl Hauser Verlag, München/Wien, 1993, S. 23

2 Aufgabenstellung

Die Erythrozyten binden Sauerstoff je nach pH-Wert des Blutes unterschiedlich gut, das nennt man den Bohr-Effekt. Im arteriellen, basischen Blut wird Sauerstoff besser gebunden, als im venösen, sauren Blut. Wenn somit CO_2 von den Zellen ins Blut gelangt, wird Sauerstoff vom arteriellen Blut freigesetzt.

Man simuliere die Bindungskurve für den mittleren pH-Wert von 7.4.

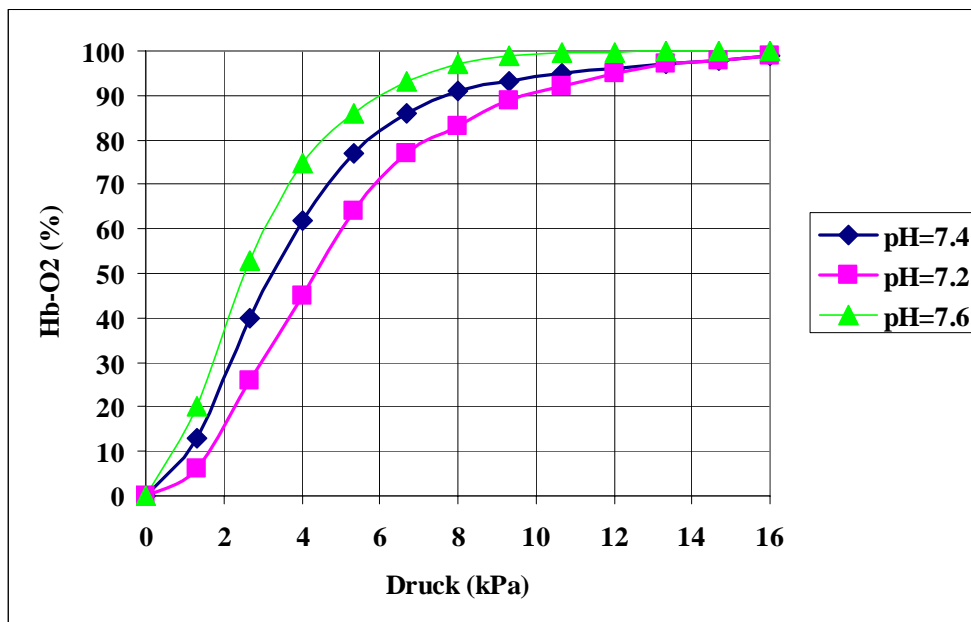


Abbildung 2: Bohr-Effekt: In den Kapillaren ist das Blut durch die CO_2 -Abgabe etwas saurer. Somit bindet es weniger O_2 , d.h. es setzt das O_2 leichter frei².

Die Sauerstoffbindungskurve ist die Beziehung zwischen Sauerstoffpartialdruck ($p\text{O}_2$) der Alveolarluft und dem prozentualen Anteil des Oxyhämoglobins (Hb-O_2) am Gesamthämoglobin. Sie wird beeinflusst von der Temperatur (ist im Körper ziemlich konstant), dem pH-Wert (ändert sich mit der Nahrung und der Leistung), dem Kohlendioxid-Partialdruck $p\text{CO}_2$ (ist von der Leistung abhängig) und dem Elektrolytgehalt des Blutes respektive des Hämoglobins (Hb) (ist abhängig von vielen Einflüssen).

Das Sauerstoffgefälle als Abnahme der O_2 -Partialdrücke zwischen Aussenluft und Körperzellen von 160 auf 20 mm Quecksilbersäule (21.3 – 2.67 kPa)(Alveolarluft 100, arterielles Blut 98-92, venöses Blut 45 mmHg = 6 kPa) bestimmt die Aufnahme.

In der Lunge ist das Blut durch die CO_2 -Abgabe etwas basischer, somit bindet es besser Sauerstoff, als in den Kapillaren.

² Sauerstoffbindungskurve, Roche-Lexikon Medizin Version 4.0, © 1984/1987/1993/1999 Urban & Fischer Verlag, CD-ROM - 4, neubearbeitete und erweiterte Auflage – 1999, ISBN 3-541-17124-3 (CD-ROM)

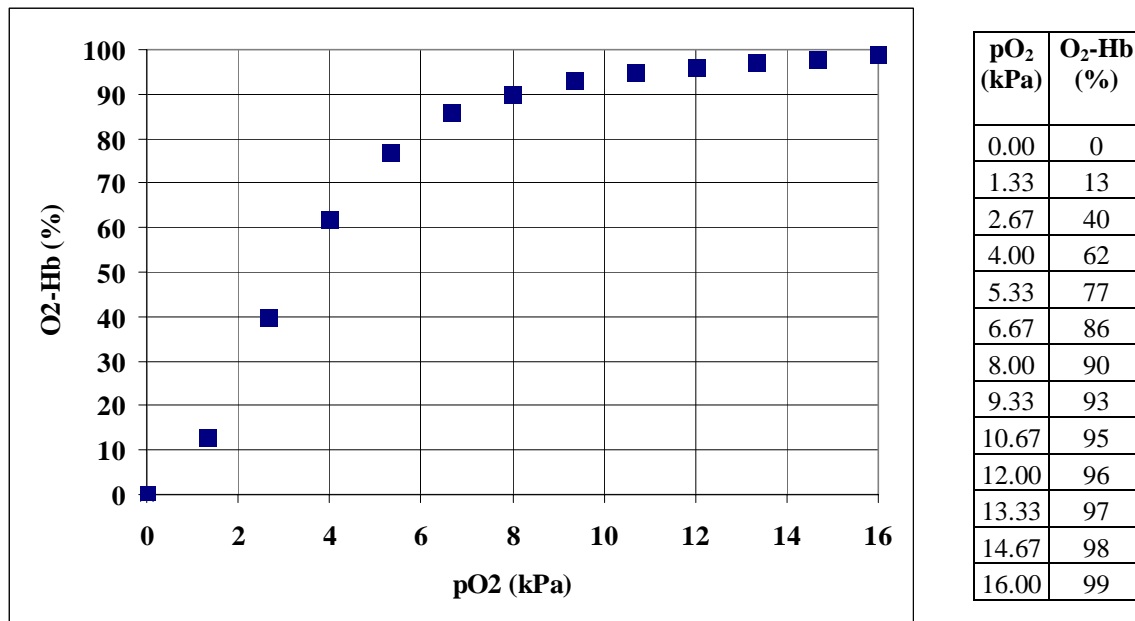


Abbildung 3: Messwerte der Sauerstoffbindung bei pH=7.4

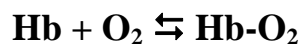
Abszisse: O₂-Druck Alveolarluft,

Ordinate: an Hämoglobin (Hb) gebundener Sauerstoff in Prozenten.

Daten zur Sauerstoffbindung sind leicht zugänglich^{3,4,5}.

Wertetabelle für pH = 7.4 (Normalwert)⁶ nebenstehend.

Reaktionsgleichung (Hb = Hämoglobin, O₂: Sauerstoff, Hb-O₂: Oxyhämoglobin):



3 Simulation

3.1 Simulationsdiagramm

Die Simulation geht davon aus, dass:

1. der Sauerstoffdruck proportional der Sauerstoffkonzentration in den Alveolen ist.
2. es sich um ein chemisches Gleichgewicht handelt, mit der Gleichgewichtskonstanten:
K = kb/kd
3. der Sauerstoff sich an das Hämoglobin (Hb) bindet, und zwar unso rascher, je mehr Sauerstoff und je mehr freies Hämoglobin vorhanden ist. Der Proportionalitätsfaktor (Reaktionsgeschwindigkeits-Konstante kb) ist eine freie Variable.
4. der an das Hämoglobin gebundene Sauerstoff sich umso rascher vom Hb löst (dissoziiert), je grösser die Hb-O₂-Konzentration ist. Der Proportionalitätsfaktor

³ Davenport H.W., Säure-Basen-Regulation, Georg Thieme Verlag, Stuttgart 1973, 9

⁴ Silbernagl S., Despopoulos A., Taschenatlas der Physiologie, Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 1983, 100

⁵ Wissenschaftliche Tabellen, Band 2, Physikalische Chemie, Blut, Humangenetik, Stoffwechsel von Xenobiotika, Ciba-Geigy Ltd., Basel, 1979,76ff

⁶ Aus der Grafik von: Sauerstoffbindungskurve, Roche-Lexikon Medizin Version 4.0, © 1984/1987/1993/1999 Urban & Fischer Verlag, CD-ROM - 4, neubearbeitete und erweiterte Auflage – 1999, ISBN 3-541-17124-3 (CD-ROM)

(Reaktionsgeschwindigkeits-Konstante k_d) hängt mit der Gleichgewichtskonstanten K und mit k_b zusammen.

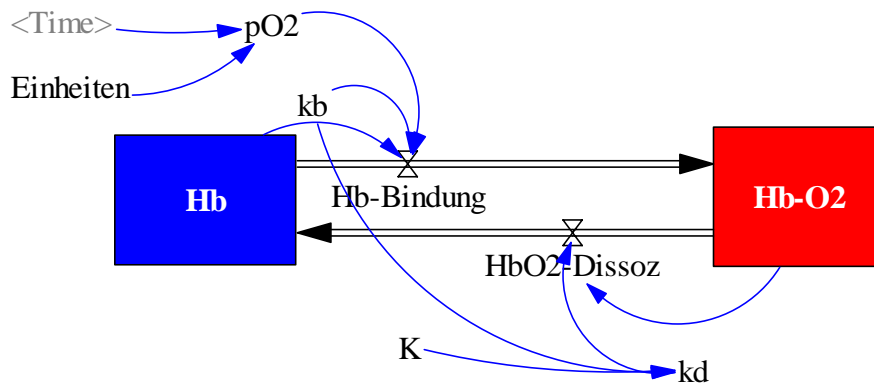


Abbildung 4: Simulationsdiagramm des Gleichgewichts der Sauerstoffbindung im Blut

3.2 Zeitdiagramm

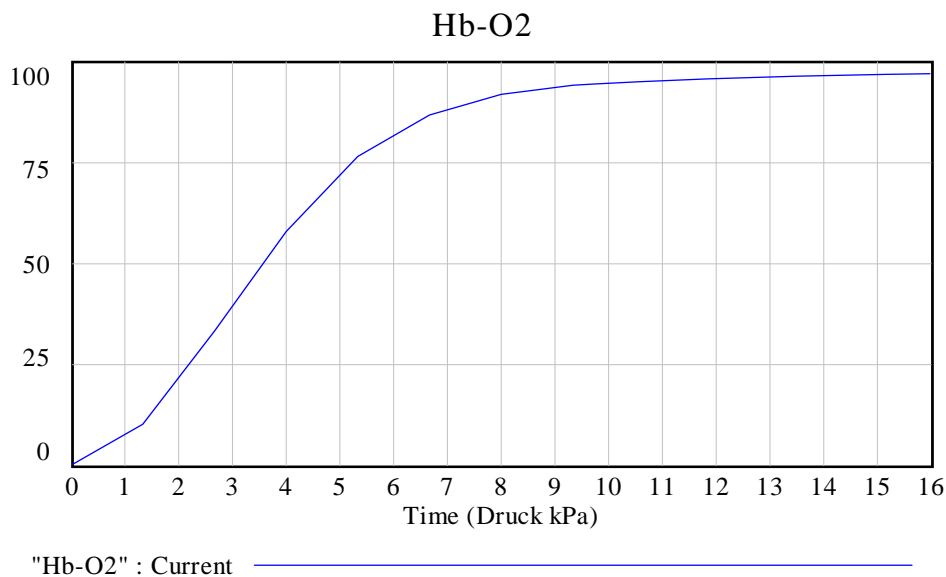


Abbildung 5: Zeitdiagramm der Sauerstoffbindung mit der Abszisse als Druck, nicht als Zeit

3.3 Dokumentation (Gleichungen, Parameter)

- (01) Einheiten= 1*1
Units: mol/l/Second
- (02) FINAL TIME = 16
Units: Second
The final time for the simulation.
- (03) Hb= INTEG ("HbO2-Dissoz"-"Hb-Bindung", 100)
Units: mol/l
Hämoglobinkonzentration von Hämoglobin, das noch frei ist und kein O2 gebunden hat.
- (04) "Hb-Bindung"= kb*Hb*pO2
Units: mol/l/Second
Die Bindungsgeschwindigkeit ist umso grösser, je höher die Konzentration an O2 und die Konzentration von Hb ist (sie treffen sich häufiger)
- (05) "Hb-O2"= INTEG ("Hb-Bindung"-"HbO2-Dissoz", 0.1)
Units: mol/l
Hämoglobinkonzentration von Hämoglobin, das Sauerstoff

- gebunden hat. Die Startkonzentration darf nicht 0 sein, daher wurde ein physiologisch unbedeutend tiefer Wert eingesetzt.
- (06) "HbO2-Dissoz" = $kd \cdot \text{"Hb-O2"}$
 Units: mol/l/Second
 Die Zerfallsgeschwindigkeit ist umso grösser, je mehr Hb-O2 vorliegt, mehr Teilchen können pro Zeit zerfallen (dissoziieren)
- (07) INITIAL TIME = 0
 Units: Second
 The initial time for the simulation.
- (08) K = 2
 Units: l/mol [0,10]
 Gleichgewichtskonstante $K = kb/kd$, falls grösser als 1 heisst das, dass die Bindung rascher ist als der Zerfall und dass mehr Hb-O2 vorliegt, als Hb
- (09) kb = 0.12
 Units: 1/Second/mol*1 [0,0.3]
 Reaktionsgeschwindigkeitskonstante für die Bindung von O2 an Hb
- (10) kd = kb/K
 Units: 1/Second
 Reaktionsgeschwindigkeitskonstante für die Dissoziation (Zerfall) von Hb-O2 in Hb und O2
- (11) pO2 = Time*Einheiten
 Units: mol/l
 Der Sauerstoffdruck ist direkt proportional der Sauerstoffkonzentration $p = c \cdot R \cdot T$
- (12) SAVEPER = 1.333
 Units: Second [0,?]
 The frequency with which output is stored.
- (13) TIME STEP = 0.001
 Units: Second [0,?]
 The time step for the simulation.

3.4 Vergleich der Messdaten mit der Simulation

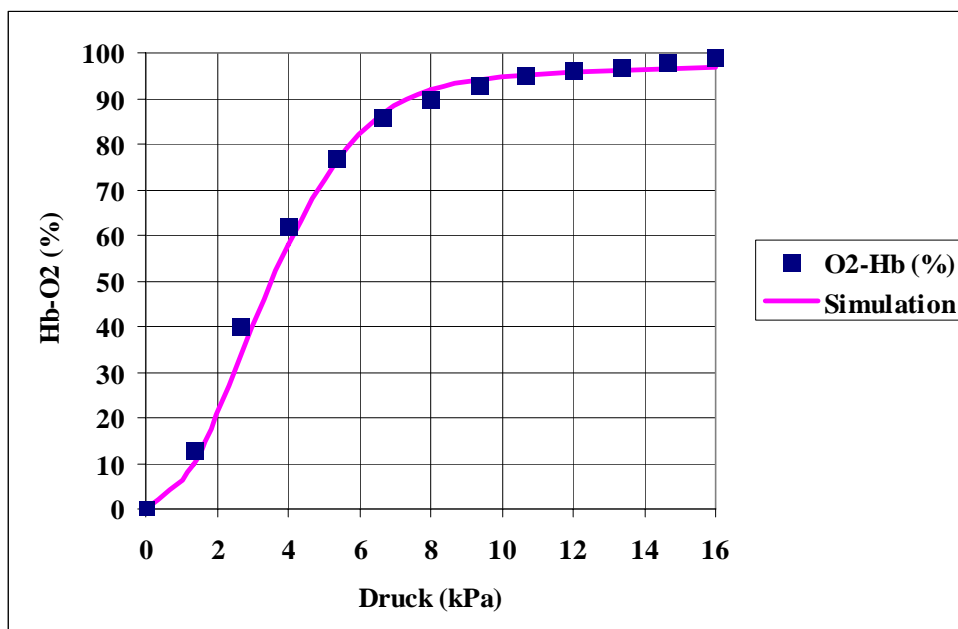


Abbildung 6: Vergleich von Messung (pH=7.4) mit Simulation

3.5 *Interpretation*

- Die Simulation stimmt mit den Messdaten sehr gut überein.
- Die Sauerstoffbindung kann mit einem chemischen Gleichgewicht verstanden werden.

Zusatzaufgabe:

Man versuche den Bohr-Effekt mit einem erweiterten Modell zu simulieren.