

Übungen zur Biologie III (Biochemie und Physiologie)

Kurse 4-7 (Tierphysiologie)

Kurs 4 (Sehen):

Zu diesem Kurs ist die Zusammenfassung schon in der Vorlesungszusammenfassung Tierphysiologie enthalten, daher wird das hier nicht mehr behandelt.

Kurs 5 (Hören):

Auch dieser Kurs ist weitestgehend in der Vorlesungszusammenfassung drin, was fehlt ist das Richtungshören, das dann hier noch erklärt wird.

Richtungshören:

Die Schallquelle wird unterschiedlich durch Zeitdifferenzen, Pegeldifferenzen und Phasendifferenzen zwischen den Signalen geortet. Dazu kommt die Änderung der Klangfarbe bei komplexeren Signalen.

Zeitdifferenz:

Kommt der Schall aus einer bestimmten seitlichen Richtung, ist der Weg zum einen Ohr kürzer als zum anderen Ohr.

Abb. 1: Zeitdifferenz

Daraus lässt sich die Zeitdifferenz nach folgender Formel berechnen:

$\Delta t = R / c = \Delta s / c$, wobei c die Schallgeschwindigkeit von 340 m/s darstellt.

Ebenso kann man daraus dann den Winkel α berechnen, bei dem der Unterschied gerade noch gehört wird. Dazu müssen allerdings die Mittelwerte der Angaben im Versuch gebildet werden und auf Millimeterpapier gegen die Entfernung der Markierungen vom Nullpunkt aus aufgetragen. Daraus kann dann der Nullpunkt und die beiden 50%-Werte (bei +0,5 und -0,5) entnommen werden. Der Abstand der beiden Werte ist dann R .

Die Winkelberechnung erfolgt dann nach folgender Formel:

$\sin \alpha = R / d$, d entspricht dem mittleren Ohrabstand von 17cm

Pegeldifferenzen:

Pegeldifferenzen bedeuten so gesehen einen Intensitätsunterschied, der so gesehen einen Lautstärkeunterschied zur Folge hat. Kommt der Schall von einer Seite, liegt das andere Ohr im „Schallschatten“, d.h. die Wellen kommen dort nicht alle an, da sie durch den Kopf abgehalten wurden.

Phasendifferenzen:

Die Schallwellen kommen meist unterschiedlich an den beiden Ohren an: am einen Ohr kommt eine Welle mit dem Amplitudenmaximum an, am anderen Ohr mit Amplitudenminimum.

Änderung der Klangfarbe:

In einem bestimmten Bereich vorne und hinten ist keine Ortung der Schallquelle durch Zeit-, Pegel- und Phasendifferenzen möglich. Dann fungiert das Ohr durch seine Anatomie als „Kammfilter“, wodurch die Klangfarbe geändert wird. So ist auch eine vertikale Ortung der Schallquelle möglich.

Kurs 6 (Nerv-Muskel-Herz):

Auch zu diesem Kurs steht schon einiges in der Vorlesungszusammenfassung, wie zum Beispiel die Membranspannung, die hier nicht mehr erwähnt wird.

Versuch 2 (Achillessehnenreflex):

Der Muskel besteht aus kurzen, quergestreiften Muskelfasern, den so genannten „*intrafusalen Muskelfasern*“. Parallel zu ihnen liegen die „*extrafusalen Muskelfasern*“, die die so genannte *Arbeitsmuskulatur* bilden. Durch Bindegewebe sind die Muskelfasern miteinander verbunden und auch umhüllt, wodurch sich eine *Muskelspindel* ergibt.

Innerviert werden die Muskelspindeln afferent durch eine *Ia-Faser*, efferent durch eine *A γ -Faser*. Der Reiz für die Ia-Fasern wird durch die Länge der intrafusalen Muskelfasern ausgelöst. Sobald die extrafusalen Muskelfasern kontrahieren, verringern auch die intrafusalen Fasern ihre Länge. Daraufhin hören die Muskelspindeln dann auf Aktionspotentiale über die Nervenbahn zu schicken.

Die A γ -Fasern bewirken lediglich eine Kontraktion der intrafusalen, nicht aber der extrafusalen Muskulatur. Dadurch wird eine Soll-Länge vorgegeben, die über den Regelkreis der Affferenz zu einem bestimmten Kontraktionszustand der Arbeitsmuskulatur führt.

Die extrafusalen Muskelfasern sind efferent durch *A α -Motoneurone* innerviert, wobei eine Nervenfasern stark verzweigt und über jeweils eine motorische Endplatte die Muskelfasern erregt, die dann gleichzeitig kontrahieren. Diese bilden die so genannte *motorische Einheit*.

Letztendlich wird jede Längenänderung der extrafusalen Muskelfasern passiv von den intrafusalen Fasern mit vollzogen.

Über die Ia-Faser wird die *Änderung der Impulsfrequenz* der Muskelspindel zum Rückenmark geleitet, wo dann über Synapsen in der *grauen Substanz* auf das α -Motoneuron umgeschaltet wird. Wird im Motoneuron durch zeitliche und räumliche Summation die Schwelle überschritten, werden Aktionspotentiale ausgesandt, die dann zu einer Kontraktion der extrafusalen Muskelfasern führen.

Beim Achillessehnenreflex wird der Wadenmuskel (*Musculus gastrocnemius*) passiv gedehnt, was oben erläuterte Reaktion auslöst. Dieser Reflex wird als *monosynaptischer Eigenreflex* bezeichnet, da nur eine zentrale Synapse zwischen Afferenz und Efferenz besteht und Rezeptor und Effektor im gleichen Organ liegen.

Versuch 3 (Blutdruck und EKG):

Das Säugerherz ist ein aus *vier Kammern* bestehendes *muskuläres Hohlorgan*. Die Pumpleistung wird durch rhythmische Erschlaffung (*Diastole*) und Kontraktion (*Systole*) erreicht. Dabei füllen sich während der Diastole die Kammern, während der Systole wird das Blut durch Druckentwicklung in die Arterien gepumpt. Von der rechten Kammer (= *rechter Ventrikel*) wird das Blut über den *Truncus pulmonalis* in den *Lungenkreislauf* gepumpt, aus der linken Kammer (*linker Ventrikel*) fließt das Blut über die *Aorta* in den *Körperkreislauf*. Die *Herzklappen* haben dabei die Funktion von Ventilen, die den Rückstrom des Blutes in die Ventrikel verhindert. Der Schrittmacher des Herzens, oder das *Automatiezentrum*, ist der *Sinusknoten*, der elektrische Impulse aussendet, die die Vorhöfe zur Kontraktion veranlassen. Danach gibt der *AV-Knoten (Atrioventrikularknoten)* ebenfalls ein Signal ab, so dass sich dann die Ventrikel kontrahieren. Um zu gewährleisten, dass erst die Herzspitze kontrahiert und die Kontraktionen sich dann zur Herzbasis am oberen Ende fortsetzen, werden die elektrischen Signale vom AV-Knoten zunächst über die *Hiss'schen Bündel* und die *Purkinje-Fasern* zur Herzspitze geleitet und erst dann an die Muskulatur übergeben.

Abb. 2: Bau des Herzens

(aus dem Skript zu den BioIII-Übungen)

Abb. 3: Automatiezentren

(aus: Müller, Tier- und Humanphysiologie, Springer-Verlag, 2. Auflage 2004, S. 340)

In den großen Arterien wird ein Teil des während der Systole ausgeworfenen Blutes gespeichert, der dann während der Diastole an die weiteren Gefäßabschnitte abgegeben wird. Dadurch wird eine relativ kontinuierliche Strömung des Blutes in den peripheren Gefäßen gewährleistet.

Auf den periodischen Druckänderungen, die an allen Orten des arteriellen Kreislaufsystems messbar sind, basiert die Definition der Blutdruckwerte. Das Maximum der Pulskurve während der Systole wird als systolischer Blutdruck, das Minimum während der Diastole als diastolischer Blutdruck bezeichnet.

Die Signalausbreitung im Herzen wird durch das *EKG* ausgedrückt. Dabei wird das Signal vom Sinusknoten mit dem Signal des AV-Knotens zur *P-Welle* zusammengefasst, womit die P-Welle das Aktionspotential in den Vorhöfen ausdrückt. Die *PQ-Strecke* beinhaltet die Signalweiterleitung vom AV-Knoten zur Herzspitze, die Ausbreitung des Signals über die Ventrikel ist als *QRS-Strecke* zusammengefasst und ist im EKG als Ausschlag zu sehen. Während der *ST-Strecke* sind sämtliche Teile der Herzkammer gleichmäßig depolarisiert, durch die *T-Welle* wird dann die Repolarisation der Herzkammern wiedergegeben, wobei der wellenartige Verlauf daher kommt, dass die Erregung nicht an allen Orten gleichzeitig erlischt.

Abb. 4: Typisches EKG

Kurs 7 (Atmung):

Versuch 1a (Abhängigkeit des Absorptionsspektrums des Blutes vom O₂-Gehalt):

In den verschiedenen Medien (Wasser, Luft) hängt die Sauerstoffkonzentration von unterschiedlichen Faktoren ab. In der Luft beeinflussen hauptsächlich die Luftfeuchtigkeit und der Partialdruck den Sauerstoffgehalt, im Wasser gibt es aufgrund von Temperatur, Salzgehalt, Besiedlung und Stratifikation des Gewässers starke Schwankungen.

Die gelöste Gasmenge in einem bestimmten Wasservolumen ist vom Druck des Gases abhängig, was durch das *Henry'sche Gesetz* ausgedrückt wird:

$$V_g = \alpha \frac{P_g}{760} V_{H_2O}$$

P_g : Partialdruck des Gases bzgl. Normaldruck, hier $P_g = P_{O_2, \text{Luft}}$

V_g : Volumen des gelösten Gases unter Standardbedingungen

α : Löslichkeitskoeffizient

Ebenso spielt die Dichte der Medien eine Rolle, weshalb die verschiedenen Lebewesen unterschiedliche Organe zum Gasaustausch entwickelt haben: Fische haben Kiemen, Landtiere haben Lungen, Tracheen oder Buchlungen. Bei Tieren mit einem großen Oberflächen/Volumen-Verhältnis, genügt der Gasaustausch über die Körperoberfläche, wodurch keine speziellen Atemorgane nötig sind.

Der *Gastransport* im Organismus erfolgt *passiv* durch *Diffusion*. Diese ist jedoch nicht ausreichend, weshalb *respiratorische Pigmente* aus Proteinen und Metallionen nötig sind.

Das respiratorische Pigment der Säuger ist das *Hämoglobin*, das aus 2 α - und 2 β -Globinketten besteht, die jeweils eine *Häm-Gruppe* mit einem Fe^{2+} -Zentralatom tragen. Am Zentralatom kann jeweils ein Sauerstoff-Molekül *koordinativ und reversibel* gebunden werden.

Hämoglobin hat je nach Sauerstoffgehalt unterschiedliche *Absorptionsspektren*, wodurch die einzelnen Verbindungen unterschieden werden können. Allerdings erhält man die charakteristischen Absorptionen nur in verdünnten Lösungen.

Bei allen Verbindungen ergibt sich zunächst eine starke Absorptionsbande (= *Soretbande*) in der Gegend um 400 nm. *Oxygeniertes Hämoglobin*, das eine hellrote Farbe aufweist, besitzt zusätzlich zwei kleinere Absorptionsbanden bei 541 und 576 nm. *Desoxygeniertes Hämoglobin* (dunkelrote Färbung) weist nur noch ein Absorptionsmaximum bei 555 nm auf.

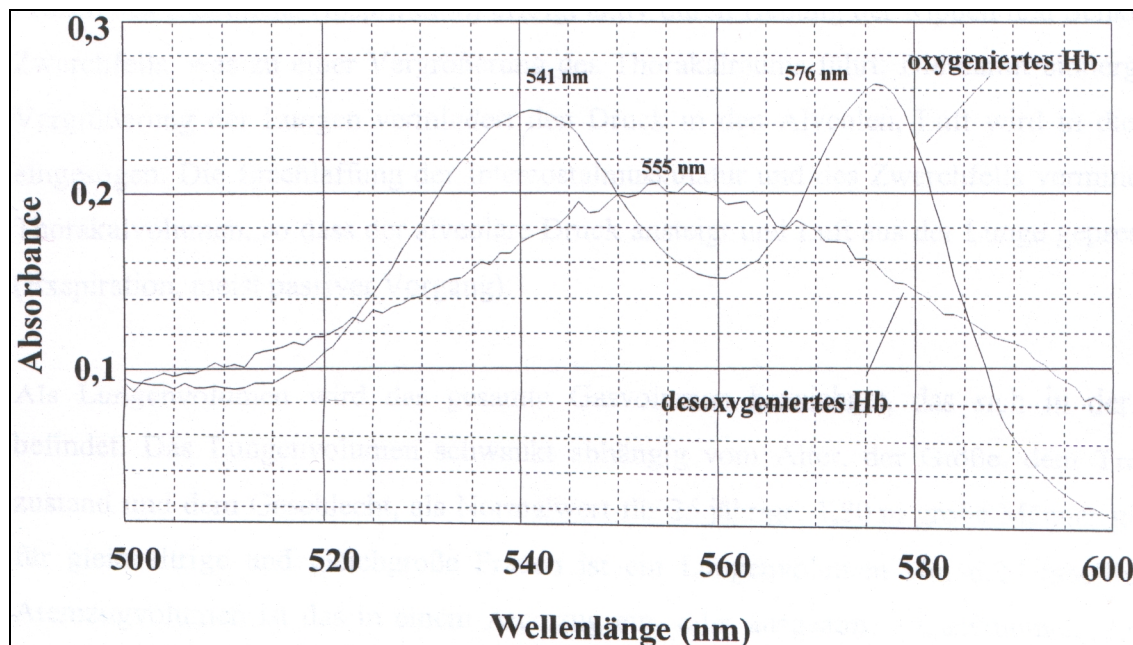
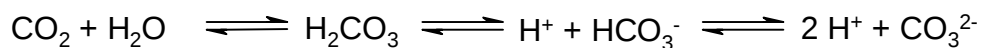


Abb. 5: Absorptionsspektren

Der Transport von CO_2 von den Zellen zur Lunge erfolgt nach anderen Prinzipien als der Diffusion, da es mit Wasser zu Kohlensäure hydratisiert wird und diese wieder dissoziiert:



Versuch 1b (Bestimmung der Vitalkapazität der Lunge):

Die Lunge der Säugetiere besteht aus zwei *stark gekammerten Flügeln*, die sich in den *dicht abgeschlossenen Pleurahöhlen* befinden. Die Verbindung zur Außenwelt wird über die beiden *Bronchien* und die *Trachea* hergestellt. Die Pleurahöhlen werden durch das *Zwerchfell* begrenzt und von allen Seiten durch die *glatten Pleurablätter* ausgekleidet, zwischen denen sich ein sehr *schmaler, flüssigkeitsgefüllter Interpleuralspalt* befindet, durch den die Lunge am Brustraum gehalten wird. Wird dieser Raum verletzt, gelangt Luft hinein und die Lunge kollabiert (= *Pneumothorax*).

Durch die *Intercostalmuskulatur* zwischen den Rippenbögen und das Zwerchfell wird der *Thorakalraum* aktiv vergrößert, wodurch der Druck in den *Alveolen* (= *Lungenbläschen*) vermindert und Luft in die Lunge eingesogen wird. Das Ausatmen ist dann ein passiver Vorgang, der auf der Erschlaffung der Intercostalmuskulatur und des Zwerchfells beruht, was eine Verminderung des Thorakalvolumens, ein Ansteigen des alveolären Drucks und letztendlich das Hinauspressen der Luft aus der Lunge zur Folge hat.

Das gesamte Gasvolumen, das sich in der Lunge befindet, wird als *Lungenvolumen* bezeichnet. Dieses ist abhängig vom Alter, Geschlecht, Größe, Trainingszustand und Raucher oder Nichtraucher. Das Gasvolumen, das bei einem Atemzug ein- oder ausgeatmet wird, bezeichnet man als *Atemzugvolumen*. Nach normaler Ausatmung bleiben ca. 3 l Gas in der Lunge zurück, was das *endexpiratorische Lungenvolumen* darstellt. Dieser Puffer ist als Ausgleich für die atemzyklischen Schwankungen da und bildet die Reserve für Sprechen, Singen oder Atemanhalten. Letztendlich verbleibt noch das *Residualvolumen* von 1,5 l Gas in der Lunge zurück, das nicht mehr ausgeatmet werden kann.

Versuch 2 (Blutgruppen- und Erythrozytenzahlbestimmung):

Blut ist ein flüssiges Körpergewebe, das aus einer Lösung (= *Plasma*) mit darin schwimmenden Zellen besteht. Es dient vor allem als *Transportmittel* im Organismus, es beteiligt sich aber auch an der *Aufrechterhaltung des konstanten inneren Milieus* und an der *Abwehr* eindringender Fremdstoffe und Krankheitserreger.

Das Plasma ist eine *klare gelbe Flüssigkeit*, die pro Liter etwa *0,9 l Wasser*, *9g Elektrolyte* und *72g Proteine* enthält. Die Proteine sind *Albumin* mit 40 g/l und verschiedene *Globuline* mit einer Gesamtkonzentration von ca. 32 g/l. Die Eiweiße haben verschiedene wichtige Aufgaben im Organismus:

1. Sie haben *Nährfunktion*, da sie eine schnell verfügbare Proteinreserve darstellen
2. *Pufferfunktion*, indem sie den pH-Wert konstant halten
3. *Transportfunktion*: kleine Moleküle werden an die Proteine gebunden und im Blut transportiert
4. *Bindung* eines Teils der im Blut enthaltenen Kationen
5. *Abwehrfunktion*: Es seien hier nur die Immunglobuline erwähnt
6. *Blutgerinnung*: Das Plasmaprotein Fibrinogen ist ein wichtiger Gerinnungsfaktor, allerdings gibt es auch noch andere Faktoren
7. *Erzeugung und Aufrechterhaltung des kolloidosmotischen Drucks*, der für die Wasserverteilung zwischen intra- und extravasalem Raum wichtig ist

Das Plasma transportiert mehrere unterschiedliche Zelltypen, die verschiedene Aufgaben ausführen:

1. **Erythrocyten**: sie bilden die Hauptmasse des zellulären Blutbestandteils und sind für den *Sauerstofftransport* zuständig. Ebenso beteiligen sie sich am *CO₂-Transport* und an der *pH-Regulierung*. Ihre Konzentration beträgt bei Männern durchschnittlich 5,1 Mio. Zellen / μ l Blut, bei Frauen ist sie geringer und beträgt 4,6 Mio. Zellen / μ l Blut. Sie haben die Form von *eingedellten Scheiben*, deren Durchmesser 7,5 μ m, die Randdicke etwa 2 μ m und die zentrale Dicke ca. 1 μ m beträgt. Diese Gestalt ist für den Sauerstofftransport eine wichtige Voraussetzung. Gebildet werden sie im *roten Knochenmark*, wo sie aus mitotischen Teilungen aus *unreifen, kernhaltigen Vorstufen* entstehen. Bei der Reifung füllt sich der Zell-Leib mit Hämoglobin, die Zellkernstruktur verändert sich und das Zellvolumen wird geringer. Durch die Entfernung des Zellkerns ist die Entwicklung (= *Erythropoiese*) abgeschlossen. Der Zellstoffwechsel beruht auf der *Glykolyse*. Nach 110-120 Tagen werden die abgestorbenen Zellen *in der Milz, Leber oder im Knochenmark phagozytiert*.

2. **Thrombozyten (= Blutplättchen):** diese *flachen, kernlosen Plättchen* mit einem Längsdurchmesser von 1,5-4 μm entstehen im *Knochenmark* durch *Abschnürung aus dem Cytoplasma von Knochenmarksriesenzellen*. Die 140 000 bis 360 000 Plättchen / μl Blut eines gesunden Menschen haben eine Lebensdauer von 8-14 Tagen. Sie tragen neben den speziellen Plasmaproteinen zur *Blutgerinnung* bei.
3. **Leukozyten (= weiße Blutkörperchen):** sie haben Abwehrfunktion im Organismus und teilen sich in drei Zelltypen auf:
 - *Granulozyten:* Gebildet werden sie aus *Stammzellen im Knochenmark* durch *mehrere Zellteilungen und Zellreifung*. Sie sind *amöboid beweglich* und dienen der *unspezifischen Immunabwehr* durch *Phagozytose* von Fremdmaterial, Gewebetrümmern und Krankheitserregern in großem Ausmaß. Werden die Granulozyten aktiviert, setzen sie *Leukotriene* frei, die an *Entzündungsreaktionen* mitwirken. Die Lebensdauer beträgt nur einige Tage.
 - *Monozyten:* Die größten Blutzellen werden ebenfalls aus *Stammzellen im Knochenmark* gebildet, sind auch *gut amöboid beweglich*. Sie *phagozytieren und speichern* größere Teilchen, was zur Aktivierung der Zellen führt. Daraufhin geben sie *Leukotriene* frei, die die *spezifische Immunabwehr stimulieren*.
 - *Lymphozyten:* Hierbei handelt es sich um *kugelige Zellen* mit einem runden Kern. Gebildet werden sie ebenso *aus pluripotenten Stammzellen im Knochenmark*, die *Reifung* erfolgt aber entweder *im Thymus (= T-Zellen)* oder *im Knochenmark (= B-Zellen)*. Beide Typen sind an der *spezifischen Immunabwehr* zentral beteiligt (*Immun-Reaktionen, Antikörper-Bildung*) und können Tochterzellen durch *mitotische Teilung* bilden.

Das Blutgruppensystem:

Entdeckt wurde es von Landsteiner im Jahr 1900, der die Blutgruppen als A, B, 0 und AB bezeichnete. Dieses System wird am häufigsten verwendet und wird als das *AB0-System* bezeichnet. Das System beruht auf Eigenschaften der roten Blutkörperchen und des Plasmas. In der *Erythrozytenmembran* sind *Glykoproteine oder Glykolipide eingelagert*, die als *Agglutinogene* bezeichnet werden. Diese sind *genetisch codiert*, weshalb die Blutgruppen vererbt werden. Im *Plasma* finden sich den Agglutinogenen entsprechende Antikörper *Anti-A* oder *Anti-B*, die hauptsächlich zu den *Immunoglobulinen M (IgM)* gehören. Man bezeichnet sie auch als *Agglutinine*.

Ein Beispiel:

Ein Träger der Blutgruppe A hat Erythrozyten mit Agglutinogen A, im Plasma befinden sich Anti-B-Agglutinine, die mit Erythrozyten der Blutgruppe B verklumpen. Bei der Blutgruppe B ist dies entsprechend umgekehrt. Die Blutgruppen A und B sind aber ko-dominant, weshalb es auch zur Blutgruppe AB kommen kann. Ein Träger dieser Blutgruppe hat in der Erythrozytenmembran die Agglutinogene A und B, das Plasma enthält aber keine Agglutinine.

Die ebenfalls vorkommende Blutgruppe 0 trägt auf der Erythrozytenmembran keine Agglutinogene, enthält aber im Plasma die Agglutinine Anti-A und Anti-B.

Dies ist nochmals in folgender Tabelle dargestellt:

Blut- gruppe	Häufigkeit des Vorkommens in Deutschland	Die Erythrocytenmembranen		Das Blutplasma	
		enthalten die agglutinable Substanz	werden agglutin. durch Blutplas- ma der Gruppen:	enthält die Agglutinine:	agglutiniert die Blutkörp. der Blutgruppen
A	43,8 %	A	0 und B	Anti-B	B und AB
B	12,2 %	B	0 und A	Anti-A	A und AB
AB	5,2 %	AB	0, A, B	keine	keiner Gruppe
0	38,7 %	weder A noch B	keiner Gruppe	Anti-A + B	A, B, AB

Abb. 6: Blutgruppenschema

Später wurde auch der *Rhesusfaktor* entdeckt: bei etwa 84% der Mitteleuropäer verklumpt das Blut bei Zugabe von *Rh-Antikörpern*, sie sind also *Rhesus-positiv*. Bei *Rhesus-negativen* Menschen werden die Antikörper erst gebildet, wenn sie Kontakt zu Rhesus-positivem Blut hatten, wenn also eine *Sensibilisierung* stattgefunden hat.

Versuch 3 (Bestimmung des Q_{10} -Wertes bei *Tenebrio spec.*):

Der Q_{10} -Wert gibt die *Änderung der Stoffwechselrate bei Temperaturerhöhung* wieder. Nach der *RGT-Regel* von van t'Hoff erhöht sich die Reaktionsgeschwindigkeit bei einer Temperaturerhöhung um 10°C um das 2-4fache.

Viele tierische Organismen erhalten ihre Energie durch den *oxidativen Abbau* von Fetten, Kohlenhydraten und Proteinen zu CO_2 und Wasser. Kohlenhydrate sind sauerstoffreichere Verbindungen als Fette und verbrauchen somit bei der Umsetzung weniger Sauerstoff, allerdings wird auch weniger Energie gewonnen

Um den Q_{10} -Wert berechnen zu können, muss man zunächst die Stoffmenge des verbrauchten Sauerstoffs n_{O_2} ($\mu\text{mol} \times \text{g}^{-1} \times \text{h}^{-1}$) berechnen. Dazu muss das Gesamtvolumen V_{ges} des veratmeten Sauerstoffs pro Stunde und Gramm Frischgewicht der Versuchstiere ($\text{ml} \times \text{g}^{-1} \times \text{h}^{-1}$) bei verschiedenen Temperaturen bestimmt werden.

$$n_{\text{O}_2} = \frac{V_{\text{ges}}}{0,0224} \cdot \frac{273}{T}$$

T: absolute Temperatur; 0,0224 ($\text{ml} \times \mu\text{mol}^{-1}$): Umrechnungsfaktor

Hat man die Stoffmenge des verbrauchten Sauerstoffs n_{O_2} ($\mu\text{mol} \times \text{g}^{-1} \times \text{h}^{-1}$) berechnet, kann man die Stoffwechselrate S berechnen, wozu man allerdings den Energieinhalt E ($\text{kJ} \times \text{g}^{-1}$) und den spezifischen Sauerstoffbedarf B ($\mu\text{mol} \times \text{g}^{-1}$) des veratmeten Substrats kennen muss.

$$S = |n_{\text{O}_2}| \cdot \frac{E}{B} \quad (\text{kJ} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1})$$

Die Stoffwechselrate kann man dann in die Formel für den Q_{10} -Wert einsetzen:

$$Q_{10} = \frac{S_{(t+10)}}{S_t}$$

$S_{(t+10)}$: Stoffwechselrate bei der um 10 Grad erhöhten Temperatur
 S_t : Stoffwechselrate bei der Temperatur t

Um auch bei Temperaturdifferenzen, die nicht genau 10°C betragen, den Q10-Wert berechnen zu können, nimmt man folgende Formel:

$$\log Q_{10} = \frac{10}{t_1 - t_2} \cdot \log \frac{S_{t_1}}{S_{t_2}}$$

t_1 : höhere Temperatur in °C

t_2 : tiefere Temperatur in °C

S_{t_1} : Stoffwechselrate bei t_1

S_{t_2} : Stoffwechselrate bei t_2