

Unkommentierte Protokolle aus dem Praktikum:

Schulversuche zur Humanbiologie, Teil bei Prof. Dr. Reinhold Hustert

**Inhalt Sommersemester 2006:**

**1) Dokumentieren von schnellen Bewegungen mit Hilfe von Stroboskop und Videoaufnahme - am Beispiel des menschlichen Fingerschnippens**

Monique Heß, Aleen Koch, Katja Koebernick & Mireille Otto

**2) Temperatursensor: Wärmeabgabe über die Haut**

Nadine Beetz, Mieke Westermann, Katinka Seever

**3) Berechnung des Energieverbrauchs verschiedener Tätigkeiten**

Kathleen Opitz, Judith Schröter, Anna-Katharina Stiffel

**4) Kaudruckverteilung im menschlichen Kiefer**

Tobias Bruhne, Anke Eisenhauer, Julia Elena Thiel

**5) Kniesehnenreflex** Katharina Meuser, Frauke Müller, Sina Stremme

**6) Anemometer zur Registrierung der Atmung**

Linda Schneider, Frauke Ostermeyer, Kathrin Brozko

**7) Augenbewegungen** Stephanie Albrecht, Stefanie Vollstädt, Simone Wagner

**8) Hautsinne: Thermorezeption und Tastschärfe**

Christoph Ochs, Paul Mühlenhoff und Christian Buske

**9) Lidschlussreflex registriert mit Hallgenerator**

Melanie Faustmann, Johanna Rudolph, Thomas Zwafink

**10) Messung des Lungenvolumens mittels Lasertechnik**

Von Linda Blank, Fabian Fuchs und Philipp Spring

Offen: Licht-Frequenz-Konverter > Anzeiger für Lichteinfall, z.B. Modell für primitives Auge/Photorezeptor König

---

**1) Dokumentieren von schnellen Bewegungen mit Hilfe von Stroboskop und Videoaufnahme - am Beispiel des menschlichen Fingerschnippens**

Monique Heß, Aleen Koch, Katja Koebernick & Mireille Otto

**Zielsetzung**

Ziel des Versuchs ist es, das menschliche Fingerschnippen als Beispiel für eine schnelle Bewegung mit Hilfe eines Stroboskops zu dokumentieren. Dabei soll die Geschwindigkeit der Bewegung bestimmt werden. Beim Fingerschnippen unterscheiden wir zwischen Fingerschnippen mit Widerstand und ohne Widerstand.

**A. Versuchsbeschreibung**

Das Stroboskop ist ein Lichtblitzgerät, mit dessen Hilfe man schnelle Bewegungsabläufe sichtbar machen kann. Stellt man am Stroboskop eine Frequenz von z.B. 200 Hz ein, so werden in regelmäßigen Abständen 200 Lichtblitze pro Sekunde ausgesendet. Befindet man sich in einer dunklen Umgebung, beispielsweise in einer Diskothek, so stellt sich das Auge auf die Helligkeit des Stroboskops ein und man nimmt eine Abfolge von stehenden Bildern wahr (abgehackte Bewegungen). Allerdings kann das menschliche Auge einzelne Bilder nur bis zu

einer bestimmten Frequenz wahrnehmen. Werden viele Lichtblitze schnell hintereinander ausgesendet, können wir nur noch ein kontinuierliches Bild beobachten. Mit Hilfe einer Kamera und dem Programm „Ulead Video Studio“ können wir solch ein Bild in einer Standbildaufnahme festhalten und einzelne Blitze erkennen. Wie viele Blitze auf einem Bild zu erwarten sind kann man wie folgt berechnen:

$$200 \text{ Hz} = 200 \text{ Impulse/s} \quad \rightarrow 1 \text{ Impuls in } 5 \text{ ms}$$

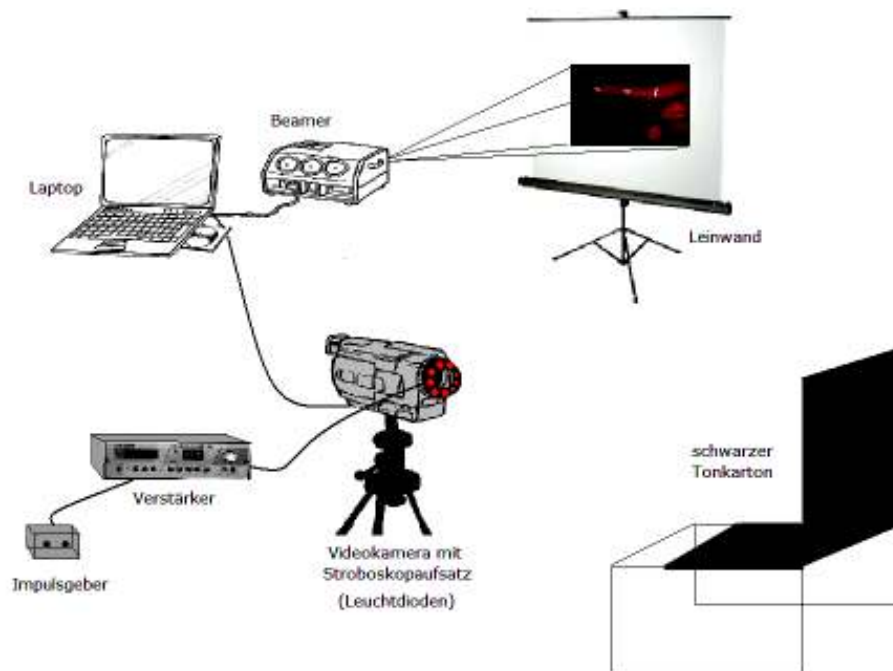
Ein ganzes Bild einer Videoaufnahme besteht aus zwei Teilbildern. Unsere Technik gibt ein halbes Bild von 20ms-Umfang wieder.

20 ms sind ein halbes Bild:  $\rightarrow 20\text{ms}/5\text{ms} = 4 \text{ Impulse (4 Blitze)}$

40ms sind ein ganzes Bild:  $\rightarrow 40\text{ms}/5\text{ms} = 8 \text{ Impulse (8 Blitze)}$

Mit Hilfe dieser Techniken wollen wir den Bewegungsablauf des Fingerschnippens mit und ohne Widerstand sichtbar machen und deren Bewegungsgeschwindigkeiten berechnen.

**a) Skizze**



**b)**

## Versuchsdurchführung

Der Raum sollte zunächst leicht abgedunkelt werden, damit die Stroboskopaufnahmen bestmöglich funktionieren können. Dann stellt man am Stroboskop eine geeignete Frequenz ein (200 Hz) und fixiert das Objekt mit der Kamera, so dass der Rand des Tonpapiers noch erkennbar ist. In unserem Fall muss der aufzunehmende Finger mit Reflektierfolie beklebt werden. Dazu eignen sich besonders schmale Dreiecke, die kurz hinter den Gelenken des Fingers anzubringen sind, da die einzelnen Bewegungen des Fingers hier am schnellsten sind und ihren Ursprung haben. Die beiden vorderen Dreiecke sind in Längsrichtung zu platzieren, das hintere Dreieck sollte senkrecht zu den beiden anderen Reflektierdreiecken aufgeklebt werden, da es ansonsten bei der späteren Auswertung zu einer Ansammlung von Aufnahmepunkten des 2. und 3. Dreiecks kommt und man dann keine Unterscheidung zwischen beiden machen kann. Die Aufnahme erfolgt über das Programm „Ulead Video Studio“. Mit diesem Programm kann man Videoaufnahmen digitalisieren und Stroboskopaufnahmen sichtbar machen. Zweckmäßig ist es, mehrere Aufnahmen anzufertigen und die beste zur Weiterverarbeitung zu verwenden.



## c) Quellen

[http://leifi.physik.uni-muenchen.de/web\\_ph11/versuche/06stroboskop/wurf.htm](http://leifi.physik.uni-muenchen.de/web_ph11/versuche/06stroboskop/wurf.htm)

## B. Zum Versuch

### a) Erklärung für ein biologisches Prinzip

Die Geschwindigkeit von Muskelkontraktionen ist je nach Muskelfaserart verschieden.

Bei den Muskelfasertypen unterscheidet man in 1.) langsame auch tonische oder rote genannt und 2.) in schnelle auch phasische oder weiße genannt. Sie sind weiß, da der Myoglobinanteil gering ist bzw. rot da der Myoglobinanteil hoch ist.

Kommt es zum Einsatz von schnellen Muskelfasern gegen einen Widerstand, so sind hier zusätzlich serienelastische Elemente wie z. B. Sehnen und Bänder beteiligt. Beim „Loslassen“ dieser vorgespannten Bereiche, kommt es zur Entstehung eines Katapultmechanismus.

Einsatz der unterschiedlichen Muskelfasertypen: Die Schnellen werden für schnelle und kraftvolle Kontraktionen verwendet. Die Langsamen dagegen für Kontraktionen die über einen längeren Zeitraum stattfinden, wobei es zu keiner Ermüdung der Muskeln kommt. Dies ist zum Beispiel bei den Muskeln für die Körperhaltung der Fall.

Bei einer schnellen Bewegung ist zuvor eine Ausbildung von Vorspannung notwendig. Diese wird durch das Zusammenwirken von Muskelfasern und den serienelastischen Elementen erreicht. Um den genannten Katapultmechanismus zu erhalten, müssen die Sarkomere mit Unterstützung der serienelastischen Elemente angespannt werden und bis zum „Loslassen“ in diesem Zustand verbleiben. Dies muss man sich wie bei einem angespannten Gummiband vorstellen, bevor es losgelassen wird. Durch diese Anspannung kommt es zur Speicherung von potentieller Energie. Beim „Loslassen“ wird diese gespeicherte potentielle Energie (Kontraktionskraft) in kinetische Energie umgewandelt und führt zu einer maximalen Beschleunigung. In unserem Versuch soll dies mit Hilfe des Zeigefingers (Extensor carpiradialis) verdeutlicht werden.

Die langsame Bewegung erfolgt ohne Widerstand. Somit kommt es zu keiner Vordehnung und auch zu keinem Spannungsaufbau. Da keine Kontraktionskraft vorhanden ist, kann keine maximale Beschleunigung erreicht werden. Es erfolgt nur eine relativ langsame Streckung durch das Auseinandergleiten der Sarkomereinheiten.

### b) Schlussfolgerungen aus dem Versuch

Als Schlussfolgerung aus dem Versuch soll dem Schüler vermittelt werden, dass die Entstehung von schnellen bzw. langsamen Bewegungen verschiedene Muskelfasertypen beansprucht, die voneinander abweichende Abläufe aufweisen (hier: Vorspannung ja / nein) und somit zu unterschiedlichen Beschleunigungen führen.

### c) Schul bzw. Unterrichtsbezug sowie fachliche Voraussetzung

Die Thematik 'Muskulatur' wird in der Schule in der Oberstufe eingesetzt. (Linder Biologie, Sek II, 21.Auflage]

#### Neurobiologie

##### • Entstehung von Bewegungen

##### - Muskulatur

- Bau der Muskeln
- Funktion der quer gestreiften Muskelfasern
- Molekulare Grundlagen der Muskelkontraktion
- Energetische Prozesse bei der Muskelkontraktion
- Training

Betrachtet man ein Schulbuch, so wird die Thematik 'Muskulatur' im Zusammenhang mit "Neurobiologie" und mit „Entstehung von Bewegungen“ behandelt. Wir denken, unser Versuch könnte am Ende einer Unterrichtseinheit zum Thema 'Muskulatur' eingesetzt werden, wenn die Schüler den Aufbau von Muskeln, den Mechanismus der Muskelkontraktion kennen und Kenntnisse über molekulare Grundlagen und energetische Prozesse haben.

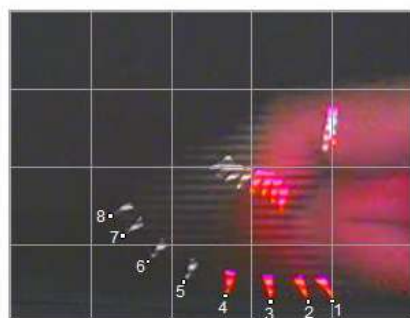
### d) Eignung des Versuches für welche Altersstufe?

Unserer Versuch eignet sich für Schüler und Schülerinnen der Oberstufe im Anschluss an die Unterrichtseinheit ‚Muskulatur‘.

### e) Beispiel einer Auswertung des Versuches

Mit Hilfe der Einzelbildschaltung wird aus verschiedenen Videoaufnahmen ein repräsentatives Bild ausgewählt, in dem die schnellste Phase der Fingerbewegung möglichst gut aufgelöst ist, d.h. in welchem möglichst die Abbilder aller 8 Lichtblitze (bei 200 Hz) gut zu erkennen sind. Dieses Einzelbild wird exportiert, ein Raster mit dem realen Größenmaßstab darüber gelegt und ausgedruckt (der Maßstab kann z.B. durch Ausmessen der Markierungsdreiecke berechnet werden). Zur annähernden Bestimmung der Bewegungsgeschwindigkeit wird nun ein Eckpunkt des am äußersten Fingerglied befestigten Dreiecks gewählt und die (linearen) Strecken zwischen den markierten Abbildungen dieses Punktes gemessen (siehe Abb.).

Fingerschnippen „ohne Widerstand“

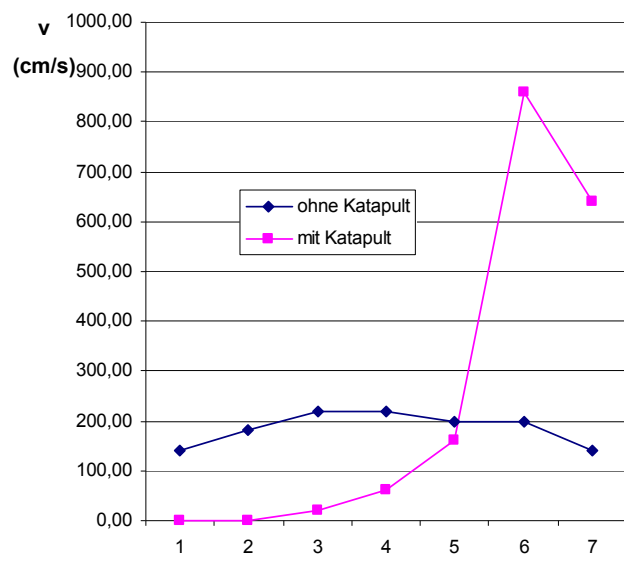


Fingerschnippen „mit Widerstand“



Die Bewegungsgeschwindigkeit ( $\Delta s/\Delta t$  [cm/s]) ergibt sich aus den bekannten Zeitabständen zwischen den Lichtimpulsen (je 5 ms). Der zeitliche Verlauf der Geschwindigkeitswerte und sowie der daraus abgeleiteten Beschleunigung ( $\Delta v/\Delta t$  [cm/s<sup>2</sup>]) kann als Kurve dargestellt werden (s. Abb. A, B). Im Vergleich der Meßwerte zeigt sich, dass bei der Fingerbewegung ohne Widerstand die Geschwindigkeit gleichmäßig verläuft, während sie mit vorangegangenem Spannungsaufbau ca. 4fach erhöht wird.

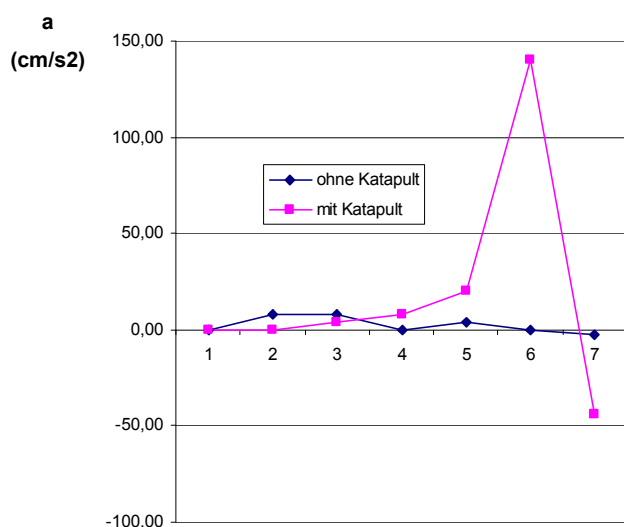
### A) Zeitlicher Verlauf der Geschwindigkeit beim Fingerschnippen mit und ohne Widerstand



Geschwindigkeit	
ohne Katapult	ohne Katapult
$v = \Delta s/\Delta t$ (cm/ms)	$v = \Delta s/\Delta t$ (cm/s)
0,14	140,00
0,18	180,00
0,22	220,00
0,22	220,00
0,20	200,00
0,20	200,00
0,14	140,00

Geschwindigkeit	
mit Katapult	mit Katapult
$v = \Delta s/\Delta t$ (cm/ms)	$v = \Delta s/\Delta t$ (cm/s)
0,00	0,00
0,00	0,00
0,02	20,00
0,06	60,00
0,16	160,00
0,86	860,00
0,64	640,00

### B) Zeitlicher Verlauf der Beschleunigung beim Fingerschnippen mit und ohne Widerstand



Beschleunigung	
mit Katapult	mit Katapult
$\Delta v$	$a = \Delta v/\Delta t$ (cm/s <sup>2</sup> )
0,00	0
0,00	0
20,00	4
40,00	8
100,00	20
700,00	140
-220,00	-44

Beschleunigung	
ohne Katapult	ohne Katapult
$\Delta v$	$a = \Delta v/\Delta t$ (cm/s <sup>2</sup> )
0	0,00
40	8,00
40	8,00
0	0,00
20	4,00
0	0,00
-60	-3,00

## f) Kritik am Experiment

- Die Reflektierfolie darf keine beliebige Form und Platzierung besitzen:  
Bei einem Kreis oder einem zu breiten Dreieck überdecken sich die Flächen bei der Standbildaufnahme.
- Kein Verlass auf die Technik! → Probleme bei der Live-Übertragung vom Laptop über den Beamer (Auflösungsunterschiede); weitere Möglichkeiten der Visualisierung über einen DVD-Player und Fernseher, Digitalkamera ...
- aufwendiger Aufbau → geeignet für ein Schulprojekt oder ähnliches ...
- zeitintensiv

## C. Dokumentieren der Verbesserungsvorschläge aus der Diskussion

In der abschließenden Diskussion kam es zu keinen großen Verbesserungsvorschlägen. Angedeutet wurde lediglich, dass es sinnvoll wäre, diesen Exkurs „Bewegung“ gegebenenfalls fächerübergreifend mit Physik oder Sport durchzuführen. Möglicherweise fehlende Programme könnten als Testversion im Internet erhalten werden, wie auch erfragte Bauanweisungen für ein Stroboskop.

**Dozentenkommentar: Das Fingerschnippen ist eine extrem schnell beschleunigte Bewegung mit einer kurzen Extremität und mit dem Ziel einer hohen Endgeschwindigkeit. Dies ist nur durch katapultartige Vorspannung eines Muskels erreichbar. Ähnlich schnelle Bewegungen erreicht der Mensch meistens erst auf langen Beschleunigungswegen und über den Einsatz mehrerer Muskeln und Gelenke (Werfen, Treten).**

## 2) Temperatursensor: Wärmeabgabe über die Haut Nadine Beetz, Mieke Westermann, Katinka Seever

### Einleitung:

Der Mensch gehört zu der Gruppe der homoiothermen (warmblütigen) Lebewesen, das heißt, er ist in der Lage seine Körpertemperatur und die damit einhergehende Aktivität unabhängig von der Außentemperatur konstant zu halten. Die oberflächlichen Körperteile besitzen eine geringere Temperatur als die zentralen, da die Wärme in den Körperzellen beim Stoffwechsel gebildet und über die Körperoberfläche abgestrahlt wird. Die Folge ist ein gleichwarmer (homoiothermer) Körperkern, der sich über Brust- und Bauchraum, sowie dem Schädelinneren erstreckt, und eine wechselwarme (poikilotherme) Körperschale, deren Größe und Gradient je nach Außentemperatur variiert. Der größte Teil der Wärmeabgabe erfolgt über die Wärmeabstrahlung durch langwellige Infrarotstrahlung.

Die Beeinflussung der Temperatur durch Konvektion, Wärmeleitfähigkeit und Verdunstung soll im Folgenden auf der Haut untersucht werden.

Der Wärmeverlust durch Leitung wird durch die Wärmeleitfähigkeit des Kontaktmittels bestimmt. Im Alltag ist diese Wärmeabgabe meistens gering, da der Mensch weiche Unterlagen mit einer niedrigen Leitfähigkeit bevorzugt.

Bei der Wärmekonvektion leitet die anliegende Luft die Wärme vom Körper ab. Die warmen Luftmassen steigen aufgrund ihrer geringeren Dichte auf und werden durch von unten nachströmende, kühle Luft ersetzt. Die Temperaturdifferenz zwischen Haut und Luft bestimmt hierbei die Wärmeabgabe. Auch eine erhöhte Windgeschwindigkeit lässt die konvektive Wärmeabgabe steigen. Durch Bekleidung aus mehrschichtigem Gewebe einer geringen Wärmeleitfähigkeit kann die Konvektion unterdrückt und der Körper vor einer Auskühlung geschützt werden.

Erheblich zur Wärmeregulation trägt die Sekretion von Schweiß bei. Durch aktiven Transport gelangt Wasser auf die Hautoberfläche und verdunstet dort. Die benötigte Verdampfungsenthalpie wird der Haut entzogen, wodurch ihre Temperatur sinkt. Bei körperlicher Arbeit und hohen Temperaturen erfolgt die Abkühlung hauptsächlich über diesen Weg, da die Verdunstung nicht von der Außentemperatur, sondern von der Differenz der Wasserdampfpartialdrücke abhängt. Mit der Windgeschwindigkeit nimmt auch hier die Wärmeabgabe zu.

### **Durchführung:**

Für die Experimente werden Einstechthermometer verwendet. Vor Beginn der Versuche werden beide Thermometer geeicht, indem man sie in ein Gefäß mit Wasser stellt und Temperaturunterschiede gegebenenfalls notiert.

### Versuch 1: Bestimmung der Konvektion

Der Arm einer Versuchsperson wird so auf eine Erhöhung gelegt, dass die Temperaturmessung oberhalb und unterhalb des Armes möglich ist. Nun wird zeitgleich sowohl die Temperatur oberhalb als auch unterhalb des Armes gemessen.

In folgenden Versuchen (2) und (3) werden die Temperaturmessungen der Haut jeweils an beiden Armen durchgeführt. Es ist darauf zu achten, dass die Positionen der Thermometer auf der Haut in etwa auf gleicher Höhe sind.

### Versuch 2: Wärmeleitfähigkeit

Auf einem Arm wird die Temperatur der Haut direkt gemessen. Auf dem anderen Arm befindet sich ein durchbohrter Styroporblock. Die Messung der Hauttemperatur erfolgt durch die Öffnung im Styroporblock. Die Einstellung von konstanten Temperaturen der Haut wird abgewartet.

Danach wird der Styroporblock gegen ein Metallstück ausgewechselt und der Versuch wird mit diesem Material wiederholt.

### Versuch 3: Verdunstungskälte

Die Temperatur des einen Armes wird direkt gemessen. Der andere Arm wird mit lauwarmem Wasser angefeuchtet, die Messung der Temperatur erfolgt direkt auf der nassen Haut. Es wird gewartet bis sich ein konstanter Temperaturwert eingestellt hat.

### **Auswertung:**

#### Versuch 1:

Die am Unterarm abgegebene Wärme wird von der Umgebungsluft nach oben transportiert (warme Luft steigt nach oben). Diese warmen Luftmassen werden an der Oberseite des Armes noch zusätzlich zu den abgegebenen Luftmassen registriert. Somit ist die Temperatur oben höher als unten.

#### Versuch 2:

Der Styroporblock hat eine geringe Wärmeleitfähigkeit. Somit bleibt die Wärme am Arm und die Temperatur erhöht sich.

Der Metallblock hat eine höhere Wärmeleitfähigkeit und leitet die Wärme somit schneller von der Haut weg. Die Temperatur sinkt.

#### Versuch 3:

Das Wasser auf dem Arm verdunstet. Dabei geht Energie in Form von Wärme verloren. Der Arm, der mit Wasser benetzt wurde, hat damit eine geringere Temperatur.

### **Diskussion**

Der Versuch ist gut dazu geeignet, die verschiedenen Faktoren der Wärmeregulation der menschlichen Haut darzustellen. Er ist mit einfachen Mitteln durchzuführen und deshalb durchaus für den Einsatz im Unterricht geeignet. Die Einstechthermometer benötigen zwar einige Zeit, bis sie sich auf die Temperatur eingestellt haben, sie eignen sich aber dazu, die Effekte der Temperaturänderung darzustellen.

Zum Verständnis der Hintergründe des Versuches müssen die Schüler mit physikalischen Phänomenen der Verdunstung, der Wärmeleitfähigkeit und Konvektion vertraut sein. Wir denken, dass man den Versuch in der Mittelstufe in Rahmen der Unterrichtseinheit Ökologie bei der Behandlung der Thematik gleich- und wechselwarme Tiere einsetzen kann. Gleichmaßen ist der Versuch auch für den Physikunterricht im Zusammenhang mit Wärmeleitfähigkeit und Verdunstung geeignet.

Zu kritisieren ist die lange Wartezeit bei der Einstellung der Temperatur am Thermometer. Diese könnte durch den Einsatz empfindlicherer Messgeräte entgegengewirkt werde, was allerdings einen komplizierteren Versuchsaufbau zur Folge hätte. Da der Versuch aber die tendenziellen



Temperaturänderungen deutlich erkennen lässt sind wir der Meinung, dass man die „Trägheit“ der Einstechthermometer in Kauf nehmen kann.

Vorteil des Versuches ist es, dass neben dem Thermometer keine weiteren Materialien erforderlich sind und es der durchaus einfache Versuchsaufbau anbietet, das Experiment als Schülerexperiment in kleinen Gruppen durchführen zu lassen.

**Dozentenkommentar:**

- **wäre es nicht noch möglich gewesen, Wärmestrahlung zu registrieren, indem z.B. zwische zwei angenäherten Handflächen ohne Kontakt zum Thermometer zu registrieren?**
- **Ideal wäre eine kontinuierliche Temperaturmessung zu haben mit einer Großanzeige.**

### **3) Berechnung des Energieverbrauchs verschiedener Tätigkeiten** Kathleen Opitz, Judith Schröter, Anna-Katharina Stiffel

Theorie
---------

**Grundlegendes für den Versuch**

Das Atemminutenvolumen ist die in einer Minute ventilierte Luft und berechnet sich folglich aus Atemzugvolumen und Atemfrequenz. In Ruhe beträgt es ca. 10l, unter Belastung wird leicht das vier- bis fünffache erreicht.

Die atmosphärische Luft setzt sich aus knapp 21% Sauerstoff, 79% Stickstoff und geringen Mengen Kohlendioxid und Edelgasen zusammen. Die ausgeatmete Luft eines Menschen enthält noch ca. 16% Sauerstoff. Je höher der Sauerstoffverbrauch während einer Tätigkeit ist, desto mehr Energie verbraucht diese (s. Auswertung).

**Die Atemregulation**

Die Atemregulation ist das Anpassen der Ventilationsgrößen an die Stoffwechselbedürfnisse eines Organismus.

Neurone in der Medulla oblongata (Nachhirn), die als Atemneurone bezeichnet werden (inspiratorische und expiratorische) und zusammen komplex verschaltet sind, bilden den Rhythmusgenerator (unpräzise auch Atemzentrum genannt). Dieser Rhythmusgenerator bewirkt einen Atemrhythmus, der von Atemreizen beeinflusst werden kann, um ihn an die momentanen Bedingungen des Organismus anzupassen. Diese Atemreize können von höheren Hirnzentren oder aus der Umwelt stammen. Einige wirken in Form von Regelung, einige sind nicht rückgekoppelt.

Innere Faktoren sind der  $CO_2$ -Partialdruck, der  $O_2$ -Partialdruck und der pH-Wert. Äußere Faktoren sind z.B. Schmerzreize oder die Temperatur, bzw. plötzliche Temperaturschwankungen.

Physische Atemregulation (rückgekoppelt)

Die Dehnung der Lungen wird über Dehnungsrezeptoren in Luftröhre, Bronchien und Bronchiolen erfasst und hemmt die Atmung (Hering-Breuer-Reflex). Dadurch wird eine Überdehnung der Lunge verhindert. Die Entdehnung fördert die Atmung. Lungendehnung und Atemtiefe bilden einen geschlossenen Regelkreis. Beim Menschen ist der Hering-Breuer-Reflex für die Ruheatmung kaum von Bedeutung, er bewirkt jedoch eine Begrenzung der Atemtiefe bei vermehrter Atmung.

Chemische Atemreize (rückgekoppelt)

Die Atmung bewirkt Veränderungen auf die Werte von  $P_{O_2}$ ,  $P_{CO_2}$  und pH, aber ebenso haben Veränderungen dieser Werte Veränderungen bei der Atmung zur Folge.

Eine Erhöhung der  $CO_2$ -Konzentration der Atemluft bewirkt einen Anstieg des Atemzeitvolumens, das hauptsächlich über eine Steigerung des Atemzugvolumens erreicht wird.

Ein Absinken der  $O_2$ -Konzentration im Blut bewirkt ebenfalls eine Atmungssteigerung, ebenso ein arterieller pH-Wert von unter 7,4.

#### Atemantriebe ohne Rückkopplung

Hierzu gehören Temperaturreize, Emotionen und Hormone, ebenso eine willkürliche Veränderung der Atmung. Diese kann beim z.B. Sprechen, Singen, Husten, bestimmten Atemtechniken (Sport, Musikinstrument) oder Luftanhalten genutzt werden.

### Der Versuch



#### **Der Versuch im Überblick**

Der Versuch soll dazu dienen den Energieverbrauch von unterschiedlichen Tätigkeiten zu bestimmen. Dazu wird über einen bestimmten Zeitraum die ausgeatmete Luft in einem Douglassack aufgefangen, ihre Menge bestimmt und daraus der Kalorienverbrauch errechnet. Bei der Wahl der Tätigkeiten sind der Fantasie durch den recht großen Douglassack Grenzen gesetzt, am einfachsten sind solche, bei denen sich der Proband nur auf der Stelle bewegt (Fahrradergometer, auf der Stelle treten, in Ruhe sitzen).

#### **Materialien und Methode**

- Douglassack (großer, luftdichter Plastiksack)
- Atemventil, Schläuche
- Trockengasuhr
- Plastikrohr
- Nasenklammer
- evt. alte Schwimmweste oder Ähnliches

Die verwendeten Materialien gehören nicht unbedingt zur Standardausstattung einer Schule. Wir haben uns alles vom Göttinger Institut für Sportwissenschaft kostenlos ausleihen können. Ohne diese Möglichkeit wäre es aber auch möglich einen Douglassack aus einem etwas stabileren Plastiksack selbst herzustellen oder den Atemschlauch direkt an die Trockengasuhr anzuschließen. Dabei entfällt dann allerdings die Möglichkeit eines anschaulichen Vergleichs der Menge der ausgeatmeten Luft bei unterschiedlichen Tätigkeiten.

Der Proband nimmt einen Schlauch in den Mund, der an ein Atemventil angeschlossen ist. Dieses lässt den Probanden Raumlufteinatmen und die ausgeatmete Luft in den Douglassack strömen. Bei der Ausrüstung, die wir uns geliehen hatten, war das Ventil an einer Schwimmweste befestigt, die der Proband anzieht. Das erleichtert den Versuchsablauf, da niemand das Ventil festhalten muss.

Der Proband bekommt zusätzlich noch einer Nasenklammer, die verhindert, dass unwillentlich Luft durch die Nase ausgeatmet wird, was das Ergebnis verfälschen würde.

Am Ende der Versuchszeit, wird der Douglassack an die Trockengasuhr angeschlossen. Nun wird er mit dem Plastikrohr aufgerollt und damit entleert. Die Luft strömt durch die Trockengasuhr, von der dann das Volumen abgelesen werden kann. Der Douglassack muss im Anschluss an den Versuch mit Raumluft gefüllt werden (mit Hilfe einer Luftpumpe oder eines Föns) und mit offenem Verschluss einen Tag lang gelagert werden, damit die Feuchtigkeit, die mit der Atemluft hineingelangte, wieder entweichen kann.

### **Möglichkeiten und Probleme bei der Durchführung**

Es können verschiedene Fragestellungen bearbeitet werden. Wir haben im Praktikum einen Vergleich des Energieverbrauchs bei unterschiedlichen Tätigkeiten angestellt.

Dazu hat ein Proband drei Minuten sitzend in Ruhe in den Douglassack geatmet, anschließend drei Minuten bei leichter Belastung auf dem Fahrradergometer und anschließend noch einmal zwei Minuten bei höherer Belastung auf dem Fahrradergometer. Errechnet wurde immer der Verbrauch pro Stunde. Dass bei hoher Belastung nur zwei Minuten gemessen wurden, lag daran, dass das Volumen des Douglassackes nicht groß genug war um die Atemluft von drei Minuten Belastung zu fassen. Grundsätzlich ist es aber sinnvoll eine längere Zeit zu wählen, da die Ergebnisse so genauer ausfallen.

Wir haben den Versuch im Vorfeld auch mit Sitzen, auf der Stelle laufen und Hüpfen ausprobiert, was auch gute Messwerte erbrachte. Will man allerdings den Verbrauch von zwei Probanden bei der selben Tätigkeit vergleichen, bietet sich der Fahrradergometer eher an, weil hier der Tretwiderstand und die Tretgeschwindigkeit abgelesen und nahezu konstant gehalten werden können, wohingegen es schwierig ist, zwei Probanden im gleichen Tempo, mit gleichem „Schwung“ auf der Stelle treten zu lassen.

Wenn mehrere Douglassäcke zur Verfügung stehen, bietet es sich an, die Volumenbestimmung erst dann durchzuführen, wenn alle drei Durchgänge bei unterschiedlicher Belastung abgeschlossen sind. Der Vergleich zwischen dem nur leicht gefüllten ersten Sack des Ruheversuchs und dem prall gefüllten aus dem Durchgang mit hoher Belastung, ist allein schon sehr anschaulich. Wenn die Zeit allerdings eher knapp ist, kann aber auch auf diesen Vergleich verzichtet werden und der erste Douglassack schon an die Trockengasuhr angeschlossen werden, während der Proband den zweiten Durchgang macht.

Es wurde schon angesprochen, dass auch anderen Fragestellungen bearbeitet werden können. Neben dem Vergleich des Energieverbrauchs von einzelnen Tätigkeiten, kann auch der Verbrauch von verschiedenen Probanden verglichen werden. Um deutliche Unterschiede zu zeigen, ist es sinnvoll eine Bewegungsart zu wählen, in der ein Proband Übung hat, der andere hingegen nicht. Der Ungeübte, wird einen höheren Verbrauch haben, da er noch zusätzlich Muskeln anspannt. Der Geübte hingegen ist mit der Bewegung vertrauter und kann sie effizienter ausführen.

Probleme und Messwertverfälschungen können besonders in der Schule dadurch entstehen, dass der Proband in Ruhe nicht völlig entspannt ist. Er steht im Mittelpunkt des Interesses und ist dadurch auch Stressfaktoren ausgesetzt. Besonders die von uns verwendete Konstruktion mit der Schwimmweste und auch die Nasenklammer, wird bei einem der Klasse exponierten Schüler vermutlich Unwohlsein auslösen. Außerdem kann es auch passieren, dass Schüler und der Proband anfangen zu lachen, was das Ergebnis dann ebenfalls verfälscht.

Sollen zwei Probanden verglichen werden ist es, wie bereits erwähnt, wichtig eine Belastungsart zu wählen, bei der für beide Probanden möglichst gleiche Bedingungen geschaffen werden und nicht einer mehr leistet als der andere.

### **Auswertung**

Für die Bestimmung des kJoule-Verbrauchs pro Stunde wird zunächst der Sauerstoffverbrauch pro Stunde berechnet. Dafür gehen wir davon aus, dass 5% des ausgeatmeten Luftvolumens dem Volumen des verbrauchten Sauerstoffs entsprechen. Folglich wird zuerst berechnet wie viel 5% der im Douglassack aufgefangenen ausgeatmeten Luft sind und das Ergebnis dann entsprechend der Versuchszeit multipliziert um zu dem Wert für eine Stunde zu gelangen.

Der Verbrauch von kJoule/h ergibt sich dann aus der Formel: 
$$\text{kJoule/h} = \frac{O_2\text{-Verbrauch/h}}{2} \cdot 20$$

### Quellen

Lehrbuch der Physiologie; Hrsg. Klinke, Rainer und Silbernagl, Stefan; 3. korr. Auflage, Georg Thieme Verlag, 2000

Herder-Lexikon der Biologie, Spektrum Akademischer Verlag, 1994

## 4) Kaudruckverteilung im menschlichen Kiefer

Tobias Bruhne, Anke Eisenhauer, Julia Elena Thiel

### Theorie

Laut Definition ist ein Kiefer eine harte, cuticuläre oder knochige Bildung am Mund, die der Nahrungsaufnahme dient.

Im Tierreich ist eine breit gefächerte Variation solcher Bildungen zu finden. So hat der Seeigel beispielsweise einen kompliziert gebauten, kalkigen Kauapparat. Er besteht aus fünf mit einem Zahn endenden Kieferspangen, der so genannten Laterne des Aristoteles.

Bei Gliederfüßern hingegen sind die vorderen Gliedmaßen zu Mundwerkzeugen umgebildet.

Wirbeltiere besitzen einen Kiefer, der aus Teilen des Kopfskeletts besteht. Meist trägt dieser Zähne.

Bei Vögeln ist der Kiefer zu einem zahnlosen, hornüberzogenen Schnabel geworden. Säugetiere besitzen ein sekundäres Kiefergelenk. Teile des primären Kiefergelenks übernehmen im Mittelohr die Funktion der Gehörknöchelchen.

Der Kiefer besteht einerseits aus dem Oberkiefer (Maxilla), der fest mit dem Schädel verwachsen ist und durch Form, Größe und Stellung die Gesichtsform bestimmt.

Der Unterkiefer (Mandibula) hingegen ist gelenkig mit dem Schläfenbein verbunden, die Kaumuskulatur bewegt den Unterkiefer.

Die für den Kauvorgang wichtigsten Muskeln sind:

- M. temporalis (Schläfenmuskel)

Dieser kräftige Schließmuskel ist für den Kieferschluss und das Zurückziehen des Unterkiefers verantwortlich, aber auch für die Erhaltung der Ruheposition der Mandibula.

- M. masseter (Kaumuskel)

Auch hier handelt es sich um einen Adduktor, der auch zum Kieferschluss beiträgt. Er ermöglicht außerdem bei einseitiger Aktivierung die Ausführung von Mahlbewegungen.

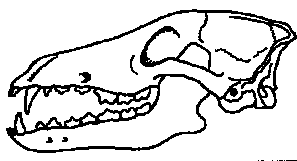
- M. pterygoideus medialis (innerer Flügelmuskel)

Der innere Flügelmuskel sitzt innen am Unterkiefer und spielt ebenfalls für den Kieferschluss eine wichtige Rolle.

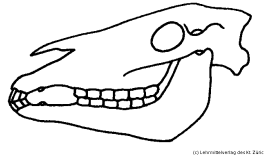
- M. pterygoideus lateralis (äußerer Flügelmuskel)

Dieser Muskel ermöglicht ein Öffnen des Kiefers, das Vorschieben des Unterkiefers, sowie Mahl-Gleitbewegungen.

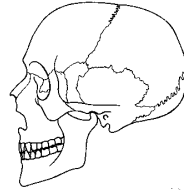
Ein typisches Merkmal bei Säugetieren ist ein heterodontes Gebiss. Es gibt hier viele morphologische Varianten der Gebisse infolge unterschiedlicher Kost.



Carnivore (Wolf)



Herbivore (Pferd)



Omnivore (Mensch)

Physikalische Grundlagen

Die Funktionsweise des Kiefers beruht u.a. auf der Hebelwirkung (einarmiger Hebel). Ein Hebel ist hierfür als ein um eine Achse drehbarer, meist stabförmiger Körper definiert.

Er dient zum Heben einer Last oder wie hier zur Verstärkung von Druck. Mit geringem Kraftaufwand wird großer Druck erzeugt. Der Druck nimmt mit Annäherung an das Gelenk zu, das heißt in Richtung der Backenzähne.

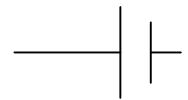
Druck ist als Kraft pro Fläche definiert, daher entstehen aber auch an den Schneidezähnen aufgrund ihrer geringen Fläche z.T. hohe Druckverhältnisse.

Zum Modell

Die Konstruktion ist ein zweidimensionales, vereinfachtes Kiefermodell. Als Messmethode wird ein Drucksensor (bis 10 kg) verwendet. Dieser ist ein Halbleiter, daher sinkt der Widerstand mit steigendem Druck.

Ebenfalls wird ein Voltage controlled oscillator (VCO) in die Schaltung eingebaut, dieser wandelt die Stromstärke in eine Frequenz um.

Diese Frequenz wird über einen Lautsprecher hörbar gemacht. Mit steigendem Druck steigt auch die Tonhöhe.



Bauanleitung

Material:

2 Spanplatten 40x40cm

3 Schrauben

Unterlegscheiben

4 Ösenschrauben

Thera-Band

Voltage controlled oscillator

leicht elastisches Material zum Nachbau der Zähne

Drucksensor

Lautsprecher

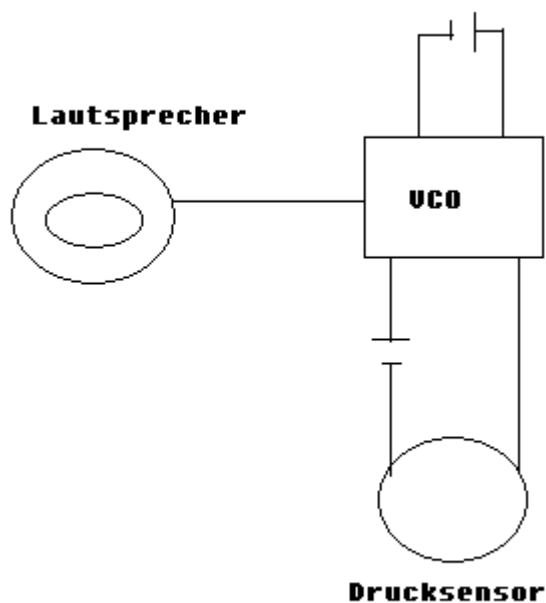
2 9V Batterien

mehrere Kabel

Zunächst wird einer der Spanplatten in zwei Teile zersägt, die Ober- und Unterkiefer darstellen sollen. Wie anhand des Fotos zu sehen ist, genügt es, diese vereinfacht darzustellen. Wichtig ist es, dass der Oberkiefer fixiert wird, während der Unterkiefer mithilfe einer Schraube und einer Unterlegscheibe so befestigt wird, dass ein Gelenk entsteht und der Unterkiefer beweglich ist. Der Unterkiefer sollte einen Winkel zwischen  $90^\circ$  und  $120^\circ$  haben.

Nun werden an Ober- und Unterkiefer jeweils zwei Ösenschrauben befestigt, zwischen denen das Thera-Band gespannt wird. Auf der Innenseite des Unterkiefers werden vereinfachte Zähne befestigt, die leicht elastisch sein sollten, da sonst der Drucksensor nicht wie gewünscht funktioniert. Es sollten verschiedene Materialien getestet werden.

#### Schaltkreis der Messgeräte



Der Drucksensor kann nun an verschiedenen Stellen des Kiefers zum Messen des Druckes verwendet werden.

#### Diskussion und Kritik

Die curricularen Vorgaben sehen folgende Themenbereiche in den einzelnen Klassenstufen vor:

5.Klasse: Gebisstypen und Verdauungssysteme

8. Klasse: Hebelgesetze im Physikunterricht

9. Klasse: Ernährung und Verdauung (physiologisch)

Das Modell scheint für den Einsatz in der fünften Klasse durchaus geeignet, da es den Schülern einen Einblick in die Kaudruckverteilung im menschlichen Kiefer vermitteln kann. Das menschliche Gebiss kann also als Beispiel eines Omnivoren-Gebisses behandelt werden. Allerdings können in der fünften Klasse die dem Modell zugrunde liegenden physikalischen Grundlagen nicht erörtert werden. Dieses kann durchaus als Nachteil angesehen werden.

Sehr gut einsetzbar könnte das Modell im Physikunterricht der achten Klassenstufe sein, denn es demonstriert auf einfache Weise die Hebelwirkung. Desweiteren würde es so einen Beitrag für einen fächerübergreifenden naturwissenschaftlichen Unterricht leisten, der in der Biologiedidaktik ein erstrebenswertes Ziel darstellt. In der neunten Klasse kann das Modell ebenfalls eingesetzt werden. Da das Modell jedoch nicht direkt auf die Unterrichtsinhalte abzielt, ist der Einsatz anderer Modelle oder auch Versuche vielleicht sinnvoller.

Das Modell ist im großen und ganzen sehr kostengünstig. Auch der Bau des Modells ist nicht sehr aufwendig. Probleme bereitete jedoch der Drucksensor, welcher relativ empfindlich ist. Unserer Gruppe verbrauchte zwei von diesen, obwohl wir vorsichtig mit ihnen umgingen.

Des Weiteren ist anzumerken, dass die Drucksensoren nur bis zu zehn Kilogramm belastbar sind. Der menschliche Kaudruck liegt jedoch um einiges höher (bis zu 200 kg). Zu diesem Thema wurde von einem Kommilitonen angemerkt, dass die physikalische Einheit Druck natürlich nicht in kg angegeben wird. Diese Tatsache muss den Schülern ebenfalls vermittelt werden.

Anstatt eines Lautsprechers kann außerdem zur Darstellung der Druckdifferenz ein Oszilloskop an den Drucksensor angeschlossen werden. Dieses würde jedoch in einer fünften Klasse berechtigterweise zu Verwirrungen führen.

Abschließend ist festzuhalten, dass das Modell wie schon beschrieben durchaus einen Einsatz im naturwissenschaftlichen Unterricht finden kann, zum Beispiel zum Einstieg in ein neues Themengebiet.

## 5) Kniesehenreflex

Katharina Meuser, Frauke Müller, Sina Stremme

### 1. Einleitung

### 2. Theorie

- 2.1. Reflexe allgemein
- 2.2. Typischer monosynaptischer Reflex (Muskeldehnungsreflex/„Sehnenreflex“/Patellarsehnenreflex)
- 2.3. Antagonistische Hemmung

### 3. Versuche zum Kniesehenreflex

- 3.1. *Versuch 1 - Kniesehenreflex quantitativ*
  - 3.1.1 Material
  - 3.1.2. Versuchsdurchführung
- 3.2. *Versuch 2 - Messung der Reflexzeit des Kniesehenreflexes, näherungsweise Ermittlung der Leitungsgeschwindigkeit der Erregung beim Kniesehenreflex*
  - 3.2.1. Material
  - 3.2.2. Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung
- 3.3. *Versuch 3 - Ableitung eines diphasischen Aktionspotentials*
  - 3.3.1. Material
  - 3.3.2. Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung

### 4. Fragen zu den Versuchen

- 4.1. Eignen sich die Versuche als Erklärung für ein biologisches Prinzip?

- 4.2. Welche sachlichen Schlussfolgerungen sind auf Grund des Versuches möglich?
- 4.3. Welche Überlegungen zur folgenden Thematik respektive Unterrichtseinheit wären möglich?
- 4.4. Welche Voraussetzungen im fachlichen Wissen sind erforderlich?
- 4.5. Für welche Altersstufe eignen sich die Versuche?
- 4.6 Kritik an den Versuchen

## 5. Dokumentation der Verbesserungsvorschläge aus der Diskussion und eigene Verbesserungsvorschläge

## 6. Literatur

### 1. Einleitung

Der Patellarsehnenreflex, der auch unter den Bezeichnungen Kniescheibensehnenreflex oder Kniesehnenreflex bekannt ist, kann durch einen Schlag mit dem Reflexhammer auf die Patellarsehne unterhalb der Kniescheibe ausgelöst werden. Seine Bezeichnung geht auf eine veraltete Hypothese zurück, nach der die Sensoren in der Sehne die Kickbewegung auslösen (Gropengießer 1997:8).

Wir werden nachfolgend drei Versuche zum Kniesehnenreflex vorstellen, welcher den Schülerinnen und Schülern durch ärztliche Untersuchungen bekannt sein sollte.

### 2. Theorie

Nachfolgend wird die den Versuchen zugrunde liegende Theorie kurz umrissen.

#### 2.1. Reflexe allgemein

Reflexe sind nervös ausgelöste, zweckgerichtete Antworten auf Reize (Birbauer & Schmidt 2003:256). Sie laufen automatisch ab, können aber durch höhere Zentren aktiviert oder gehemmt werden. Entgegen der ursprünglichen und namensgebenden Definition, die einen Reflex

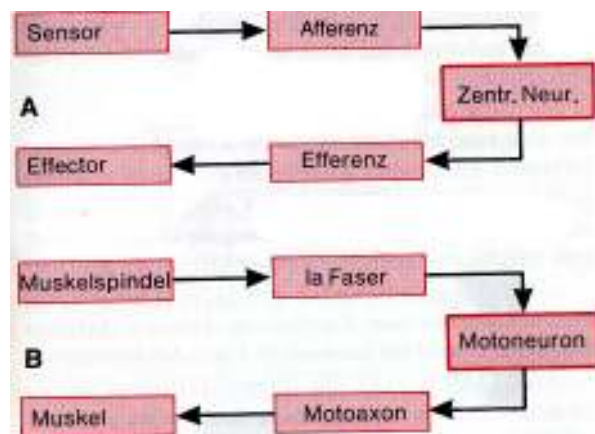


Abb. 1: A) Allgemeine Bezeichnung der Anteile eines Reflexbogens. B) Reflexbogenanteile des Kniesehnenreflexes (Birbauer & Schmidt 2003:257)

als eine stereotype, vom Rückenmark reflektierte Äußerung ansah, verlaufen Reflexe demnach nicht stereotyp (Schmidt 2000:98; Birbauer & Schmidt 2003:254). An jedem Reflex sind sensorische, neuronale und effektorische Stationen beteiligt. Am Rezeptor wird der auslösende Reiz aufgenommen, am Effektor findet die Reaktion statt. Neuronen stellen die Verbindung her. Eine solche Schaltwegkette nennt man „Reflexbogen“. Marshall Hall prägte diesen Begriff (Penzlin 2005:559). Die Neuronen des Reflexbogens, die vom Rezeptor kommen, werden als afferente (sensible) Neuronen bezeichnet, zum Effektor ziehende Neuronen nennt man efferent (Penzlin 2005:559).

Normalerweise sind mehrere Neuronen am Aufbau eines Reflexbogens beteiligt. Man spricht dann von polysynaptischen Reflexen. Wenn zwischen afferentem und efferentem Neuron nur eine einzige Synapse geschaltet ist, nennt man den Reflex monosynaptisch (Silbernagel 1991:278). Daraus ergibt sich auch, dass die Reflexzeit eines monosynaptischen Reflexes besonders kurz (ca. 20 ms) ist (Silbernagel 1991:278). Beim Kniesehnenreflex handelt es sich um einen solchen monosynaptischen Reflex. Ein spinaler Reflexbogen besteht aus einem oder mehreren Sensoren (Rezeptortypen), einem afferenten Schenkel (zuführende sensible Fasern zum ZNS), einem Reflexzentrum (Rückenmarksneuron oder Rückenmarksneurone), einem efferenten Schenkel (motorische Einheiten) und einem Effektor (Schmidt 2000:98). In Abb. 1 sind die Reflexbogenanteile des Kniesehnenreflexes wiedergegeben.

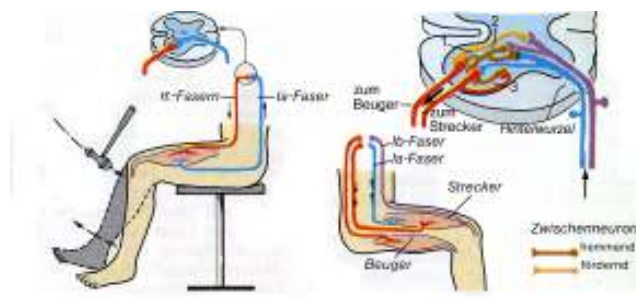


Abb. 2: Patellarsehnenreflex (Silbernagel 1991:279)

Der monosynaptische Dehnungsreflex stellt das einfachste Beispiel eines komplett motorischen Reflexbogens dar (Schmidt 2000:99).

Normalerweise sind mehrere Neuronen am Aufbau eines Reflexbogens beteiligt. Man spricht dann von polysynaptischen Reflexen. Wenn zwischen afferentem und efferentem Neuron nur eine einzige Synapse geschaltet ist, nennt man den Reflex monosynaptisch (Silbernagel 1991:278). Daraus ergibt sich auch, dass die Reflexzeit eines monosynaptischen Reflexes besonders kurz (ca. 20 ms) ist (Silbernagel 1991:278). Beim Kniesehnenreflex handelt es sich um einen solchen monosynaptischen Reflex. Ein spinaler Reflexbogen besteht aus einem oder mehreren Sensoren (Rezeptortypen), einem afferenten Schenkel (zuführende sensible Fasern zum ZNS), einem Reflexzentrum (Rückenmarksneuron oder Rückenmarksneurone), einem efferenten Schenkel (motorische Einheiten) und einem Effektor (Schmidt 2000:98). In Abb. 1 sind die Reflexbogenanteile des Kniesehnenreflexes wiedergegeben.

#### 2.2. Typischer monosynaptischer Reflex (Muskeldehnungsreflex/„Sehnenreflex“/Patellarsehnenreflex)

Als Sensor des Patellarsehnenreflexes fungiert die Muskelspindel, welche der Regelung der Muskellänge dient (Silbernagel 1991:278). Muskelspindeln sind aus einem muskulären und einem nervösen Teil aufgebaut. Der nervöse Teil besteht aus den großkalibrigen Ia-Muskelspindel-



afferenzen, die mit einem mittleren Faserdurchmesser von 13  $\mu\text{m}$  eine mittlere Leitungsgeschwindigkeit von 75 m/s haben (Schmidt 2000:37). Sie weisen demnach eine sehr hohe Leitungsgeschwindigkeit auf.

Ein Schlag auf die Kniescheibe bewirkt eine Dehnung des *Musculus quadriceps femoris*. Da die Muskelspindeln parallel zu der Arbeitsmuskulatur angeordnet sind, sind auch sie von dieser Dehnung betroffen (Schmidt 2000:99). Ihre Dehnung führt zu einer Erregung und damit zu einer Erhöhung der Aktionspotentiale der Ia-Fasern, welche über die Hinterwurzel zum Vorderhorn des Rückenmarks ziehen und dort direkt die A- $\alpha$ -Motoneurone desselben Muskels erregen, was zu dessen Kontraktion führt (Silbernagel 1991:278). Da die Reizung und die Reaktion am gleichen Muskel erfolgen, bezeichnet man den Dehnungsreflex auch als Eigenreflex (Schmidt 2000:99). Von einem Fremdreiflex spricht man hingegen, wenn Sensor und Effektor nicht am selben Organ lokalisiert sind. Der Lidschlagreflex sei als Beispiel für einen Fremdreiflex genannt.

### 2.3. Antagonistische Hemmung

Während des zu einer Muskelkontraktion führenden Reflexes muss der antagonistische Muskel gehemmt werden, um die Ausführung der Kontraktion sicherzustellen. Es existieren verschiedene Mechanismen, um dieses Ziel zu erreichen:

Innerhalb einer Seite des Rückenmarks bilden die Ia-Afferenzen der Muskelspindeln neben ihrer monosynaptischen Verbindung zum Motoneuron des Dehnungsreflexbogens noch eine weitere Verbindung; eine Kollaterale (Verzweigung) der Ia-Afferenz führt mit einer Synapse zu einem hemmenden Interneuron, das den antagonistischen Muskel hemmt. Die am selben Gelenk angreifenden Antagonisten werden also gehemmt. Dieser Mechanismus wird reziproke antagonistische Hemmung genannt, was bedeutet, dass die gegenspielenden Muskeln wechselseitig gehemmt werden. Die Beuger hemmen also die Strecker und umgekehrt (Penzlin 1989:167).

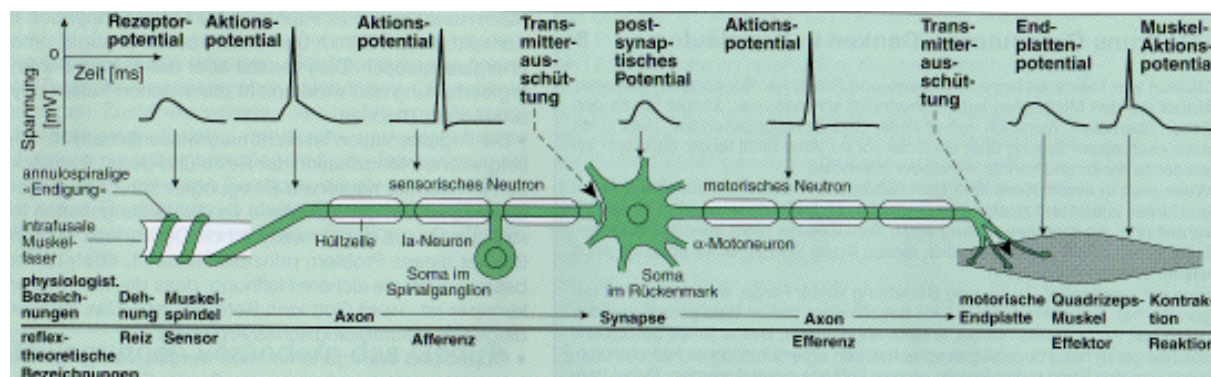


Abb. 3: Fortleitung der Erregung beim Reflexbogen (Gropengießer 1997:9)

### 3. Versuche zum Kniesehenreflex

Nachfolgend sollen drei Versuche zum Kniesehenreflex vorgestellt werden, die sich in ihrem Komplexitätsgrad, im benötigten Zeitaufwand und hinsichtlich des technischen Materials deutlich unterscheiden. Sie können daher sehr variabel eingesetzt werden.

Sollte der Patellarsehenreflex zu schwach ausfallen, so können die Schülerinnen und Schüler aufgefordert werden, ihre Hände vor der Brust ineinander zu haken und sie anschließend ohne den Griff zu locker auseinander zu ziehen oder aber einer dritten Person die Hand zu drücken (Jendrassik Handgriff). Diese Anstrengung bewirkt eine bahnde Mitinnervation der Motoneurone des Lumalmarks und verstärkt die Reflexe, da die Erregbarkeit der motorischen Einheiten näher zum Schwellenwert rückt (Birbauer & Schmidt 2003:258).

#### 3.1. Versuch 1 - Kniesehenreflex quantitativ

##### 3.1.1 Material

- Lineal oder Reflexhammer
- Tisch
- oder
- Stuhl

##### 3.1.2. Versuchsdurchführung

Der erste Versuch wird in drei Varianten durchgeführt.

V1) Die Versuchsperson setzt sich mit locker überschlagenem Bein auf einen Tisch. Eine zweite Person schlägt mit einem Reflexhammer oder der Kante eines Lineals leicht gegen die Kniesehne (Sehne des *Musculus quadriceps femoris*) der Versuchsperson kurz unterhalb der Kniescheibe (Patella).

V2) Der Versuch wird wie V1 ausgeführt, wobei der Schlag auf die Kniesehne etwas heftiger ausgeführt wird.

V3) Der Versuch wird wie V2 durchgeführt, die Versuchsperson soll jedoch versuchen, die Reaktion zu unterdrücken.

## 3.2. Versuch 2 - Messung der Reflexzeit des Kniesehenreflexes, näherungsweise Ermittlung der Leitungsgeschwindigkeit der Erregung beim Kniesehenreflex

### 3.2.1. Material

Zur Versuchsdurchführung werden folgende Materialien benötigt:

- elektronischer Einheitenzähler (Digitalzähler)
- 4 Kabel (je 1,5 m)
- 4 Krokodilklemmen
- Aluminiumfolie
- Klebeband
- Reflexhammer oder Lineal
- 2 Stativfüße
- 2 Stativstangen (lang)
- 2 Stativstangen (kurz), eine Stange besser aus Holz
- Drehmuffe
- Maßband
- Tisch oder Stuhl

### 3.2.2. Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung

Die Versuchsperson setzt sich mit locker überschlagenem Bein auf einen Tisch. Ein etwa 10 x 3 cm großes Stück Aluminiumfolie wird mit Klebeband auf das Bein der Versuchsperson geklebt. Hierzu muss das Hosenbein hochgezogen werden.

Mit einer Krokodilklemme wird das Kabel 1 zunächst am Rand der Aluminiumfolie befestigt. Anschließend wird dieses „Startkabel“ mit dem Einheitenzähler verbunden.

Der Reflexhammer (oder ein als solches genutztes „Schlaginstrument“) wird mit Aluminiumfolie umwickelt. Mithilfe einer an dieser Aluminiumfolie befestigten Krokodilklemme wird das zweite Kabel (2) – das zweite „Startkabel“ – mit dem Einheitenzähler verbunden.

An einem langen Stativ wird mithilfe einer Drehmuffe eine kurze, mit Aluminiumfolie umwickelte Stativstange befestigt, die sich nach oben wegklappen lässt (Noch besser eignet sich ei-

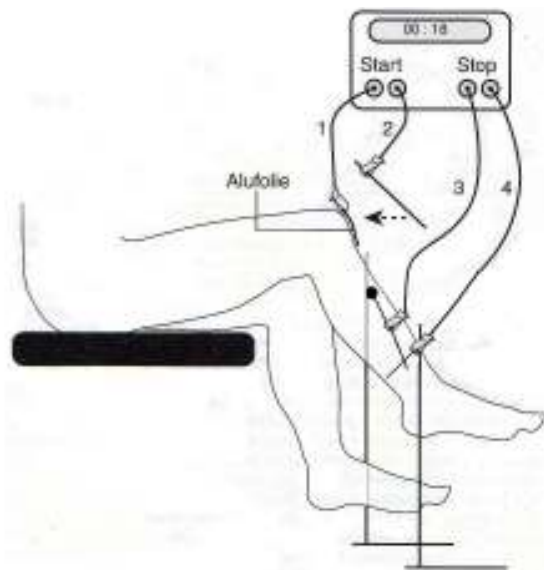


Abb. 4: Versuchsaufbau (verändert nach Graf (Graf 1997:52))

ne leichtere Stange, beispielsweise aus Holz, da sie leichter zu bewegen ist und die Versuchsperson nicht verletzen kann.). Das Kabel 3 wird mit einer Krokodilklemme am Rand der Aluminiumfolie befestigt. Das andere Ende dieses Kabels wird mit dem Einheitenzähler verbunden. Das Kabel 3 dient somit als „Stoppkabel“. Eine weitere Verbindung zum Einheitenzähler wird über das Kabel 4 hergestellt, welches über eine Krokodilklemme mit einer aluminiumfolieumwickelten, kurzen Stativstange verbunden ist. Diese kurze Stativstange ist senkrecht einer großen Stativstange befestigt und so angebracht, dass sie beim Ausschlagen der beweglichen Stativstange von dieser berührt wird. Die Stativstangen sind in der Höhe des unteren Schienbeines aufzustellen, welches etwa in 1 cm Abstand von der drehbaren Stativstange platziert werden sollte.

Die Schaltung am Einheitenzähler ist so zu wählen, dass beim Auftreffen des Reflexhammers auf die in Kniehöhe befestigte Aluminiumfolie ein Kontakt hergestellt wird und der Zähler zu zählen beginnt. Nach der Auslösung des Kniesehenreflexes wird die drehbare Stativstange weggedrückt und berührt die senkrecht angebrachte Stativstange. Der somit hergestellte Kontakt zwischen der drehbaren und der senkrechten Stativstange stoppt die Zählung.

Der Versuch ist mit mehreren Versuchspersonen jeweils dreimal durchzuführen. Unter Zuhilfenahme eines Maßbandes ist bei jeder Versuchsperson die Strecke näherungsweise zu vermessen, die die Erregung zwischen Auftreten des Reflexhammers unter der Kniescheibe über das Rückenmark bis hin zu den Muskeln zurücklegt. Mithilfe der ermittelten Werte ist die Leistungsgeschwindigkeit der Erregung beim Kniesehenreflex näherungsweise (jedoch nicht exakt und nur unter Vernachlässigung anderer Parameter; siehe 4.4.) zu ermitteln.



Abb. 5: Versuchsaufbau

### 3.3. Versuch 3 - Ableitung eines diphasischen Aktionspotentials

#### 3.3.1. Material

Zur Versuchsdurchführung werden folgende Materialien benötigt:



Ableitelektroden Differenzverstärker Optokoppler Oszillograph Reflexhammer

Abb. 6: Versuchsmaterialien ([https://zope.schule-bw.de/unterricht/faecher/biologie/unterrichtsmaterialien/kniesehne/index\\_html](https://zope.schule-bw.de/unterricht/faecher/biologie/unterrichtsmaterialien/kniesehne/index_html))

- > Kabel (je 1,5 m)

- > 2 Mess-, 1 Differenzelektrode
- > Differenzverstärker
- > Optokoppler
- > Oszillograph
- > Reflexhammer
- > Tisch oder Stuhl
- > Maßband

#### 3.3.2. Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung

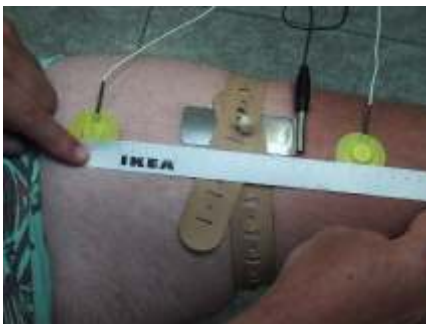


Abb. 7: Anbringung der Elektroden

([https://zope.schule-bw.de/unterricht/faecher/biologie/unterrichtsmaterialien/kniesehne/index\\_html](https://zope.schule-bw.de/unterricht/faecher/biologie/unterrichtsmaterialien/kniesehne/index_html))

Die Versuchsperson setzt sich mit locker überschlagenem Bein auf einen Tisch. An ihrem Oberschenkel werden die drei Ableitelektroden angebracht. Dabei sollten die beiden äußeren Messelektroden einen Abstand von 19 cm haben. Bei der mittleren Elektrode handelt es sich um eine Differenzelektrode.

Der Oszillograph wird wie nachfolgend abgebildet eingestellt.

Die Amplitude (1) sollte auf ca. 100 mV/cm eingestellt werden und die Timebase (2) auf 10 ms/cm. Zur Triggerung muss die Taste Trigger gedrückt werden. Der Trigger Level Regler ist soweit aufzudrehen, dass ein horizontaler Strahlendurchlauf durch einen Schlag mit dem Reflexhammer ausgelöst wird.

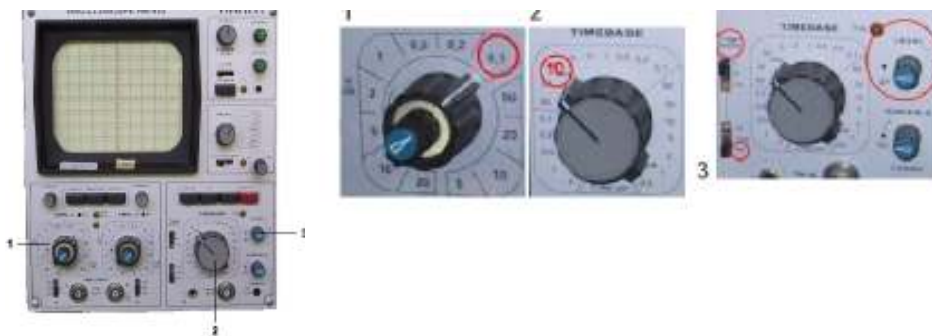


Abb. 8: Einstellung des Oszillographen ([https://zope.schule-bw.de/unterricht/faecher/biologie/unterrichtsmaterialien/kniesehne/index\\_html](https://zope.schule-bw.de/unterricht/faecher/biologie/unterrichtsmaterialien/kniesehne/index_html))

### 4. Fragen zu den Versuchen

#### **4.1. Eignen sich die Versuche als Erklärung für ein biologisches Prinzip?**

Die Versuche eignen sich dazu, das Prinzip eines Reflexbogens und eines monosynaptischen Reflexes zu erklären. Zudem können Eigenreflexe anhand des Versuches thematisiert und von Fremdrelexen abgegrenzt werden. Ferner kann das Prinzip von Sensoren am Beispiel der Muskelspindel (Dehnungssensor) eingeführt werden.

Im Weiteren läßt sich der Versuch dazu nutzen, den Aufbau eines Muskels und die Nervenphysiologie zu besprechen. Sachverhalte wie Aktionspotentiale und deren Weiterleitung, Aufbau und Funktion von Synapsen, Vorkommen und Funktion verschiedener Fasertypen und die Reflexzeit lassen sich mit diesem Versuch verdeutlichen.

#### **4.2. Welche sachlichen Schlussfolgerungen sind auf Grund des Versuches möglich?**

Im ersten Versuch erproben die Schüler und Schülerinnen einen Eigenreflex und erfahren, dass Reflexe unbewusst ablaufen und unter Anstrengung bewusst unterdrückbar sind.

Die Schülerinnen und Schüler messen im zweiten Versuch die Zeit, die zwischen dem Schlag (dem Reiz) und dem Hervorschnellen des Unterschenkels (der Reaktion) liegt. Sie können durch die exakte Zeitmessung, jedoch auch durch ihre Beobachtungen, erkennen, dass die Reaktion mit einer gewissen Zeitverzögerung eintritt.

Unter Zuhilfenahme des dritten Versuches, in welchem Aktionspotentiale abgeleitet werden, können sie erkennen, dass die Reaktionszeit u.a. davon abhängt, mit welcher Geschwindigkeit die Aktionspotentiale über die afferenten und efferenten Nerven weitergeleitet werden. Sie sollten zudem wissen, dass die Aktionspotentiale an Synapsen übertragen werden müssen und auch diese Erregungsübertragung eine gewisse Zeit in Anspruch nimmt. Ferner könnten sie bei Vorkenntnissen über motorische Endplatten darauf schließen, dass auch die dort stattfindende Erregungsübertragung Zeit in Anspruch nimmt.

Mit Hilfe des dritten Versuches können die Schülerinnen und Schüler erkennen, dass der Reiz zu einer Erregungsauslösung führt und Aktionspotentiale generiert werden.

Durch die Ableitung der Aktionspotentiale mit dem Oszillographen wird sichtbar, dass eine Verstärkung des Reizes zu einer Verstärkung der Aktionspotentiale führt.

#### **4.3. Welche Überlegungen zur folgenden Thematik respektive Unterrichtseinheit wären möglich?**

Die drei Versuche zum Kniesehnenreflex können zu sehr unterschiedlichen Zeitpunkten in den Unterricht eingebracht werden.

Einerseits könnte der Versuch 1 als einführender Versuch in die Thematik Reflexe genutzt werden, da ein den Schülerinnen und Schülern bekannter Reflex aufgegriffen wird und so einen lebensweltlichen Bezug herstellt. Dieser Versuch gehört zum „Standardprogramm“ und „gilt als Beweis für die Nichtbeeinflussbarkeit des Ablaufes von Reflexen“ (Graf 1997:52). Anschließend könnte eine genauere Betrachtung von Reflexen folgen und weitere Reflexe, wie der Lidreflex oder der Achillsehnenreflex, könnten untersucht werden.

Andererseits könnten sich die Versuche auch an eine Unterrichtseinheit zum Aufbau und der Funktion der Muskeln anschließen, wenn das besondere Augenmerk auf die Muskelspindeln gelegt wird, oder aber auch zu einer Unterrichtseinheit zum Muskelaufbau überleiten.

Weiterhin könnte besonders durch den Versuch 2 eine Überleitung zu Nerven und Leitungsgeschwindigkeiten erfolgen. Durch diesen Versuch erhalten die Schülerinnen und Schüler einen Einblick in die Leitungsfähigkeit ihres Nervensystems, was sie motivieren könnte, sich mit den Grundlagen der Leitungsgeschwindigkeit der Erregung weiter zu befassen (Graf 1997:52).

Ferner könnte eine nachfolgende Unterrichtseinheit beispielsweise Nerven- und Rückenmarkserkrankungen behandeln. So wird der Patellarsehnenreflex in der Klinik als diagnostisches Mittel genutzt, da Störungen beim Auftreten einzelner Reflexe Hinweise auf die Höhe eines krankhaften Rückenmarksprozesses liefern können. Dies ist damit zu erklären, dass die Reflexbahnen über verschiedene Rückenmarkssegmente verlaufen (Birbauer & Schmidt 2003:258).

#### **4.4. Welche Voraussetzungen im fachlichen Wissen sind erforderlich?**

Wie bereits angeführt haben wir drei Versuche mit unterschiedlichem Komplexitätsgrad gewählt. Daher ergeben sich unterschiedliche Voraussetzungen für das erforderliche fachliche Vorwissen.

Der erste, qualitative Versuch erfordert kein fachliches Vorwissen. Er soll den Schülerinnen und Schülern als Beispiel für einen Reflex dienen und die Nichtbeeinflussbarkeit des Ablaufes von Reflexen betonen. Zudem können die Schülerinnen und Schüler mit Hilfe des Versuches erkennen, dass ein stärkerer Schlag einen stärkeren Reflex auslöst, da bei einem stärkeren Reiz mehr Muskelspindeln erregt werden und die Reizantwort damit höher ausfällt.

Der zweite Versuch erfordert bereits mehr fachliches Vorwissen. So sollten die Schülerinnen und Schüler wissen, dass es sich bei diesem Reflex um einen monosynaptischen Dehnungsreflex handelt, der an den Dehnungsrezeptoren (Muskelspindeln) ausgelöst wird, über die afferenten Nervenbahnen (Ia-Fasern) die im Rückenmark gelegene einzige Schaltstelle erreicht und von dort auf die efferente Bahn, die  $\alpha$ -Motoneuronen, übertragen wird, welche wiederum den *Musculus quadriceps* zur Kontraktion veranlassen. Dieses Wissen ist notwendig,

damit die Schülerinnen und Schüler die Reflexzeit nicht nur messen, sondern auch ein Verständnis dafür entwickeln sollen, warum zwischen Reiz und Reaktion eine gewisse Zeit verstreicht und wie sie sich zusammensetzt. So sollte in diesem Kontext erörtert werden, dass sich die Reflexzeit aus

- „der Auslösung der Erregung durch den Reiz,
- der Geschwindigkeit mit der das Aktionspotential über die efferenten Nerven weitergeleitet wird,
- der Übertragung der Erregung an der Synapse im Rückenmark,
- der spezifischen «Wanderungsgeschwindigkeit» des Aktionspotentials über den efferenten Nerven und
- der Übertragung der Erregung auf den Muskel (Effektor) und dessen Kontraktion“ (Graf 1997:53)

zusammensetzt. Mit diesem Wissen können die Schülerinnen und Schüler durch das Vermessen der bei der Erregungsleitung zurückgelegten Strecke die Leistungsgeschwindigkeit der Erregung beim Kniesehnenreflex näherungsweise ermitteln, da die Fortleitung des Aktionspotentials über die Nervenbahnen den größten Zeitanteil der Reflexzeit beansprucht (Graf 1997:53). Sie sollten jedoch noch einmal explizit darauf hingewiesen werden, dass sie die Leitungsgeschwindigkeit der Nervenfasern nur näherungsweise (unter Vernachlässigung der Auslösung der Erregung, der Übertragung an der Synapse,...) und nicht absolut ermitteln können.

Für den letzten Versuch sind die größten fachlichen Vorkenntnisse erforderlich. So müssen die Schülerinnen und Schüler über ein fundiertes Vorwissen im Bereich der Neurobiologie verfügen und zudem mit sehr vielen ihnen nicht vertrauten technischen Geräten arbeiten. Dieser Versuch sollte daher erst in der Oberstufe eingesetzt werden, ist jedoch sowohl für einen Grund- wie auch einen Leistungskurs geeignet.

#### **4.5. Für welche Altersstufe eignen sich die Versuche?**

Die Versuche 1 und 2 können bedingt durch ihren geringeren Schwierigkeitsgrad gut in der Sekundarstufe I eingesetzt werden. Das Durchführen des Versuches 2 in der Sekundarstufe II ist jedoch ebenso möglich. Versuch 3 eignet sich nur für Grund- respektive Leistungskurse. In einigen Schulen sind vermutlich nicht alle für diesen Versuch benötigten Geräte vorhanden. Da die entsprechenden Messungen jedoch im täglichen Leben (EEG, EKG und EMG) häufig durchgeführt werden, bietet besonders dieser Versuch zur extrazellulären Ableitung einen hohen Alltagsbezug.

#### **4.6 Kritik an den Versuchen**

Besonders kritisch ist Versuch 3 zu betrachten, da die für diesen Versuch notwendigen Geräte vermutlich nicht in jeder Schule zur Verfügung stehen und der technische Aufwand bei der Versuchsdurchführung sehr hoch ist. Andererseits bietet dieser Versuch den Schülerinnen und Schülern die Möglichkeit, technische Geräte kennen zu lernen, die im Labor und in der Klinik eingesetzt werden.

Kritisch am Versuch 2 könnte es sein, dass den Schülern und Schülerinnen suggeriert werden könnte, bei der abgelesenen Zeit handele es sich um die exakte Leitungsgeschwindigkeit der Erregung. Dies sollte demnach mit den Schülern und Schülerinnen ausführlich diskutiert werden.

Versuch 1 ist sehr einfach und benötigt wenig materiellen Aufwand. Er lässt sich so vermutlich am besten als Einstieg nutzen.

#### **5. Dokumentation der Verbesserungsvorschläge aus der Diskussion und eigene Verbesserungsvorschläge**

Da in der Diskussion lediglich Kritik an Versuch 2 und der etwaigen Gleichsetzung von der Leistungsgeschwindigkeit bei der Erregungsleitung und der Reaktionszeit geäußert wurde, soll hier lediglich auf die unter 4.6 kritisch angemerkten Punkte rückverwiesen werden.

Da während des Praktikums von allen Teilnehmern verschiedene kleinere Experimente entwickelt wurden, könnte man überlegen, ob man zu bestimmten Überthemen aus dieser Auswahl auch ein Stationen-Lernen entwickeln könnte. Dies bedeutet zwar immer einen großen Aufwand im Vorfeld, ist aber für die Schüler und Schülerinnen sehr motivierend und zeigt einen nachhaltigen Lernerfolg.

#### **6. Literatur**

- [1] Birnbaumer, N. & Schmidt, R. F. (2003). Biologische Psychologie. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.
- [2] Eckert, R. (2002). Tierphysiologie. Stuttgart: Georg Thieme Verlag.
- [3] Graf, H.-U. (1997). Messung der Leitungsgeschwindigkeit der Erregung beim Kniesehnenreflex. In Gropengießer, I. (2003). Unterricht Biologie, Jg. 21, 52f.
- [4] Gropengießer, H. (1997). Wahrnehmung und Bewegung. In Gropengießer, I. (2003). Unterricht Biologie, Jg. 21, Oktober 1997.
- [5] Penzlin, H. (2005). Lehrbuch der Tierphysiologie. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.
- [6] Penzlin, H. (1989). Lehrbuch der Tierphysiologie. Stuttgart, New York: Gustav Fischer Verlag.
- [7] Schmidt, R. F. & Thews, G. & Lang, F. (2000). Physiologie des Menschen. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag.
- [8] Silbernagel, S.; Despopoulos, A. (1991). Taschenatlas der Physiologie. Stuttgart, New York: Deutscher Taschenbuch Verlag.

## 6) Anemometer zur Registrierung der Atmung

Linda Schneider, Frauke Ostermeyer, Kathrin Brozko

### Einleitung:

Der hier vorgestellte Versuch eignet sich für die 8. Klasse und kann im Rahmen der Unterrichtseinheit zum Thema Blutkreislauf und Atmung durchgeführt werden. Für das Experiment wird ein Anemometer genutzt um Atemluft-Geschwindigkeiten und Atemvolumina zu messen.

Das Atemzeitvolumen ist das Gasvolumen, das in einer bestimmten Zeit ein- und ausgeatmet wird. Es ergibt sich aus dem Produkt von Atemvolumen und Atemfrequenz. Das Atemvolumen beschreibt das Volumen, das bei einem Atemzug, also beim Ein- bzw. Ausatmen erzeugt wird. Bei Ruhe ist dies gleich und beträgt durchschnittlich ca. 500-700ml. Die Atemfrequenz ist die Zahl der Atemzüge pro Minute. In Ruhe beträgt diese bei Erwachsenen ungefähr 14-18 Atemzüge pro Minute. Berechnet man nun das Atemzeitvolumen ergibt sich ein Atemminutenvolumen von 7-10l/min.

Die Atemfrequenz in Ruhe ist allerdings stark abhängig vom Alter. Neugeborene atmen viel häufiger, nämlich 40-50 Mal in der Minute, Kleinkinder 30-40 mal und Kinder 20-30 mal. Bei körperlicher Arbeit steigt das Atemzeitvolumen an. Bei schwerer Arbeit steigt die Atemfrequenz auf 40 Atemzüge pro Minute und das Atemvolumen auf 2l. Somit können sich Atemminutenvolumina von 80 l/min ergeben.

Atmet man maximal aus, bleibt immer noch ein Rest von 1-2 Litern Luft in der Lunge. Sie wird Residualluft genannt. Nach normalem ruhigem Ausatmen bleiben noch 2-4 Liter Luft in der Lunge, die eben genannte Residualluft und zusätzlich noch die bei forcierter Ausatmung noch abgebbare Luft. Diese wird expiratorisches Reservevolumen genannt.

Beim Versuch sollen auch Atemluftgeschwindigkeiten gemessen werden. Außerdem kann auch die Geschwindigkeit der Atemluft beim Husten gemessen werden. Husten ist das willkürliche oder aufgrund eines Hustenreizes über den Hustenreflex ausgelöste unwillkürliche explosionsartige Ausstoßen von Luft, die dabei die zuvor geschlossene Stimmritze mit einer Geschwindigkeit von bis zu 480km/h sprengt.

Niesen läuft in zwei Phasen ab. In der ersten Phase wird Luft tief eingeatmet. Da die Luft dabei die Stimmbänder umfließt, kommt es zum charakteristischen Haa- Geräusch. Nachdem der Atem kurz angehalten worden ist, ziehen sich in der zweiten Phase die Ausatemsmuskeln des Bauches und der Brust schlagartig zusammen. Dabei wird die eingeatmete Luft über die Nase oder den Mund wieder ausgestoßen. Die Luft kann dabei eine Geschwindigkeit von über 160km/h erreichen. Die Geschwindigkeit der Luft beim Niesen lässt sich aus technischen Gründen leider nicht messen.

Die Funktion von Anemometern liegt hauptsächlich darin, Windgeschwindigkeiten zu messen. Da dies aber für den Biologieunterricht nicht ganz so interessant ist, macht man sich weitere Funktionen verschiedener Anemometer zunutze. Bei dem von uns gewählten Anemometer handelt es sich um ein Hitzdrahtanemometer. In ihm befindet sich ein Edelmetalldraht, der auf eine bestimmte Temperatur

erhitzt wird. Je stärker und kühler der Wind ist, der auf den Draht kommt, desto stärker muss der Draht erhitzt werden. Über die Heizleistung, die erforderlich ist, die Drahttemperatur konstant zu halten, kann man die Windgeschwindigkeit ableiten. Dabei ist der Zusammenhang zwischen Heizleistung und Windgeschwindigkeit annähernd exponentiell. Besonders gut sind Hitzdrahtanemometer für die Messung sehr geringer Windgeschwindigkeiten unter 1 m/s geeignet. Die Windrichtung kann mit Hitzdrahtanemometern nicht bestimmt werden, zudem sind sie sehr empfindlich. Bei dem von uns benutzten Anemometer ist es zusätzlich möglich, die Raumtemperatur festzustellen und Luftvolumina zu erhalten.

### **Material und Versuchsaufbau:**

- Hitzdrahtanemometer
- Klein-Videokamera
- PVC-Röhren verschiedener Durchmesser
- Schaumstoff zur Abdichtung
- Halterung zum Einspannen des Anemometers

Für den Versuch haben wir das Anemometer in eine Halterung eingespannt. Der Digitalanzeige des Anemometers gegenüber haben wir eine Klein-Videokamera angebracht, um die Messergebnisse dem Plenum auf einem Fernseher sichtbar zu machen. Die eigentliche Messstelle, eine Öffnung die den Hitzdraht enthält, wird in ein Loch in einem PVC-Rohr mit einem Durchmesser von 2,7cm gesetzt. Dieses Loch befindet sich im hinteren Drittel des Rohres. Da der Messbereich des Anemometers sehr gering ist und viele Messwerte nicht mehr angezeigt werden konnten, wird der Aufbau um ein weiteres Rohr mit geringem Durchmesser verlängert und darauf noch einen Schlauch mit einem Durchmesser von etwa 0,8cm angebracht um eine möglichst realistische Ruheatmung messen zu können. Die jeweiligen Verbindungsstellen wurden durch Schaumstoff und Klebeband versiegelt. (siehe Foto)

Für die Bestimmung des Atemvolumen wird im Anemometer der Flächeninhalt eingestellt. Da sich die Messstelle im größten Rohr befindet, kann ein Wert von 0,006m<sup>2</sup> eingestellt werden.

### **Umrechnung:**

Da das Anemometer besonders in der Klimaanlage-technik seinen Einsatz findet, müssen die Messwerte umgerechnet werden, um sie mit Literaturwerten vergleichen zu können.

Das gemessene Atemvolumen ist in [(m<sup>3</sup>/h) \* 10] angegeben. Da aber Atemvolumina in der Literatur in [l/min] angegeben sind, muss der Messwert mit 6/10 multipliziert werden.

Um das gewünschte Atemminutenvolumen errechnen zu können, muss das Atemvolumen [l/min] mit der Atemfrequenz multipliziert werden.

Atemminutenvolumen [l/min] = Atemfrequenz \* Atemvolumen [l/min]

Auch die Geschwindigkeit kann durch Multiplikation mit 3,6 auf km/h umgerechnet werden. Dies scheint besonders sinnvoll für die Vorstellung über die erreichten Geschwindigkeiten, da man es leicht mit einem Auto oder ähnlichem vergleichen kann.

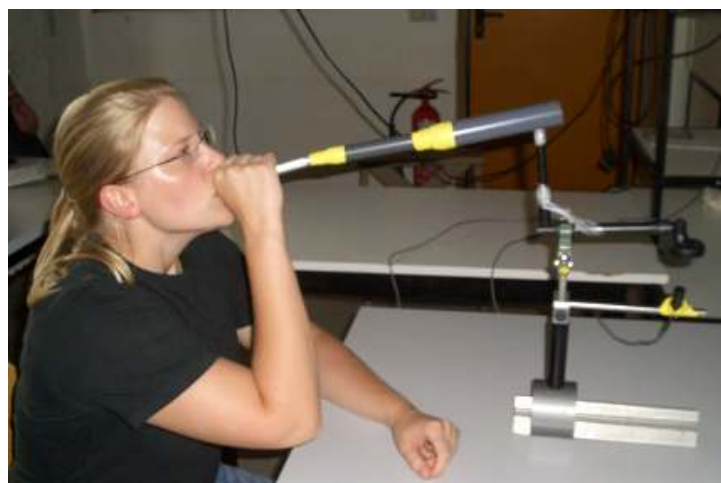
### Durchführung:

**1. Teil:** Zunächst werden drei Personen aus der Gruppe ausgewählt. Um besonders eindeutige Messwerte zu erhalten, wählen wir eine sehr sportliche Person, einen Raucher und eine wenig sportliche Person aus.

Diese drei Personen messen in Ruhe und unter körperlicher Arbeit ihre Atemfrequenz (=Zahl der Atemzüge pro Minute). Dies wird in eine Tabelle eingegeben (s.u.).

Anschließend wird mit Hilfe des Anemometers das Atemvolumen (=Volumen des Ausatmens) in Ruhe bestimmt. Auch diese Werte werden in der Tabelle aufgetragen.

Nun werden die Probanden nacheinander auf den Fahrrad-Ergometer durch Steigerung des Widerstandes in Anstrengung versetzt.



Nach 3 min. wird erneut das Atemvolumen bestimmt und in der Tabelle aufgetragen.

Atemminutenvolumen  $[\frac{l}{min}] =$   
Atemvolumen  $\cdot$  Frequenz

	Frequenz	Atemvolumen. gemessen $\frac{l}{10}$ $\frac{6}{60 \text{ sec}}$	FIMV
Steffi	R 16	0,48	7,68
	A 37	1,14	42,18
Linda	R 14	0,66	9,24
	A 24	1,56	37,44
Simone	R 8	0,72 $\frac{l}{min}$	5,76
	A 13	1,2	15,6

Nun wird für jede Versuchsperson das Atemminutenvolumen (AMV) in Ruhe (R) und unter Anstrengung (A) errechnet.



**2. Teil:** In diesem Versuchsteil soll die Geschwindigkeit von Husten ermittelt werden. Ein Proband wird dafür erneut vor das Anemometer gesetzt. Die zwei kleineren Zusatzröhren werden abgebaut. Er hustet jetzt nacheinander drei Mal in die große Röhre, in der das Messinstrument des Anemometers sitzt.

Da der Messbereich des Anemometers nur bis etwa 10m/s geht und die Windgeschwindigkeit beim Husten weit darüberliegt, konnten keine genauen Werte mehr gemessen werden.

### Diskussion:

Der Versuch scheint für den Einsatz in der Schule weniger geeignet zu sein, da der hohe Anschaffungspreis des Anemometers es nicht ermöglicht ausreichend viele davon in der Klasse zur Verfügung zu haben. So können immer wenige aktiv an dem Versuch teilnehmen, sodass es bei den Übrigen schnell zu Langeweile kommen könnte und daraus wiederum Unruhe resultieren kann. Außerdem ist die große Zeitverzögerung der Anzeige ein großer Nachteil. Da das Gerät eigentlich für die Bestimmung von Windgeschwindigkeiten dient, bestand das eigentliche Ziel des Versuches darin die Unterschiede der Atmungsstärken beim Sprechen zu messen. Doch die lange Verzögerung machte dies nicht möglich.

Ein weiterer Nachteil besteht in der Durchführung der Messung der AMVs. Durch das große Rohr muss beim Atmen der Mund ziemlich weit geöffnet und fest um das Rohr geschlossen werden, damit keine Luft daran vorbeikommt. Daraus resultiert aber eine ungewöhnliche Haltung beim Atmen und es kommt vor allem bei unerfahrenen Schülern wahrscheinlich häufig zu schlechten Ergebnissen. L

Weiterhin ist das Anemometer und der sich darin befindende Hitzdraht sehr empfindlich, sodass es bei unvorsichtigem Umgang von Schülern schnell kaputt gehen könnte. Insgesamt halten wir das Anemometer für eher ungeeignet, da sich nur ein Teil der Versuchsziele erreichen lassen und auch das nur unter idealen Umständen.

## **7) Augenbewegungen (...als extra PDF...)**

Stephanie Albrecht, Stefanie Vollstädt, Simone Wagner

## **8) Hautsinne: Thermorezeption und Tastschärfe**

Christoph Ochs, Paul Mühlenhoff und Christian Buske

### **Hautsinne: Thermorezeption und Tastschärfe**

Referat von Christoph Ochs, Paul Mühlenhoff und Christian Buske

Den Versuch zu den Hautsinnen haben wir in zwei Teilversuche, Thermorezeption und Tastschärfe, untergliedert, die im Folgenden kurz beschrieben werden sollen. Im Vorfeld ist noch anzumerken, dass wir beide Versuche mit einer Kamera aufgezeichnet haben, um so die auf relativ kleiner Fläche stattfindenden Versuche auch für eine größere Zuschauermenge gut sichtbar darstellen zu können. Zudem dauerte die Durchführung des Teilversuchs Thermorezeption recht lange, so dass der Zeitgewinn, der durch Zeitrafferfunktion der Videoaufzeichnung erreicht werden konnte, ein weiterer positiver Nebeneffekt war.

a) Thermorezeptionen

Es wurde eine aufgeboogene und in einen Nadelhalter eingeklemmte Büroklammer in ein Eisbad gestellt. Gleichzeitig wurde ein Quadrat von 4x4 cm auf der Innenseite des Unterarmes einer Testperson durch vier Eckpunkte markiert. Nachdem die Büroklammer gut abgekühlt war,

wurde das Testareal auf dem Unterarm langsam mit der zuvor kurz abgetrockneten Klammer beprobt. Dies geschah, indem der Tester die Klammer vorsichtig auf mehrere dicht nebeneinander liegende Punkte des Arms legte und die Testperson ehrlich sagen musste, ob sie spüre, dass das Testwerkzeug kalt war. Nach kurzer Zeit musste der Halter wieder im Eisbad abgekühlt werden. Die positiven Punkte wurden mit einem Stift markiert.

#### b) Tastschärfe

Um die Tastschärfe zu bestimmen, wurde aus einem normalen Zirkel die Bleistiftmine entfernt und an dessen Stelle eine zweite Metallnadel eingesetzt. Nun wurde eine Testperson vorsichtig mit dem Zirkel berührt, wobei die zu testende Person wegschauen und herausfinden sollte, ob es sich um zwei Nadeln, oder nur um eine handelte. Zur besseren Erfolgskontrolle kann abwechselnd auch nur mit einer Nadel getestet werden. Bei dem ganzen Testen ist es sehr wichtig, dass beide Nadeln gleichzeitig und gleichstark aufgesetzt werden müssen. Als zu testende Bereiche eignen sich zum einen der Unterarm, aber auch die um einiges sensibleren Fingerkuppen.

Unser Modell bzw. unsere Versuchsanordnung eignet sich zum Beispiel als einleitendes Experiment bezüglich Themen wie Sinneswahrnehmung der Haut im Allgemeinen und, spezieller, Themenkomplexen wie Sinnesrezeption und Informationsweiterleitung im Zentralnervensystem. Erste Schlussfolgerungen anhand der Resultate des Versuchs sind im Fall der Tastschärfe z.B. die ungleiche Verteilung von Mechanorezeptoren in den unterschiedlichen Körperoberflächen und eine hieraus resultierende unterschiedliche starke subjektive Empfindsamkeit. Im Fall des Versuchs zur Thermorezeption gilt ebenso, dass die ungleichmäßige Verteilung der Kaltrezeptoren, wie wir sie mittels Markierungen dargestellt haben, zu einer körperoberflächenspezifischen Thermosensibilität führt.

Gedacht ist das Experiment zur exemplarischen Heranführung von Schülern der 7ten oder 8ten Jahrgangsstufe an den Themenkomplex Sinneswahrnehmung und Sinnesorgane. Der Aufbau der Haut mit seinen verschiedenen Hautschichten, der dortigen Lokalisation der Rezeptoren sowie deren Dichte in den diversen Körperflächen und die Funktionsweise der Informationsweiterleitung könnten hier Themen sein, auf die das Experiment „Appetit“ macht.

Grundsätzlich eignen sich beide beschriebenen Experimente auch für Alterstufen ab der 5ten Jahrgangsstufe, da für die Durchführung in beiden Fällen nur wenig Material benötigt wird und fachliches Wissen als Voraussetzung nicht in hohem Maß nötig ist. Eher ist es so, dass aufgrund der Versuchsdurchführung das Wissen einprägsam vermittelt werden kann.

Insgesamt sind wenige Kritikpunkte an den Experimenten und deren Vermittlung mittels Kamera und Beamer aufgetaucht. Lediglich die Verwendung einer Büroklammer stellte sich als problematisch dar, da sich diese doch relativ schnell nach dem Kühlvorgang wieder erwärmt und man immer wieder nachkühlen musste. Letztendlich kann die Darstellung über den Beamer das eigenständige Experimentieren nicht ersetzen, sondern allenfalls zur Ergänzung der Durchführung und Auswertung dienen. Anstelle von Büroklammern könnte man evtl. sehr dünne Aluminiumstäbe verwenden, wobei diese nicht spontan verfügbar und auch mit Mehrkosten verbunden sind. Um die Dauer des Experiments zu verkürzen, wäre es hilfreich mehrere Büroklammern parallel zu verwenden. Der Einsatz von Zirkeln kann unter Umständen problematisch sein, da die Spitzen ein gewisses Verletzungspotential haben. Hier wäre der Einsatz von abgerundeten Spitzen vorteilhaft.

# 9) Lidschlussreflex registriert mit Hallgenerator

Melanie Faustmann, Johanna Rudolph, Thomas Zwafink

## 1. Einleitung

In diesem Versuch soll gezeigt werden, inwiefern eine Hall-Sonde im Biologieunterricht eingesetzt werden kann, um kleine Bewegungen des Körpers abzuleiten. Dazu wird diese hier exemplarisch eingesetzt um den Lidschlussreflex zu untersuchen.

Im Folgenden wird erst der theoretische Hintergrund betrachtet, dann der Versuch beschrieben und zum Abschluss selbiger kritisch beleuchtet werden.

## 2. Theoretischer Hintergrund

Unter einem Lidschlag, im englischen Sprachraum auch „blink“ genannt, versteht man eine phasische, bilateral synchrone Lidkontraktion [...] unter Beteiligung beider Ober- und Unterlider. (V. CRAMON 1980)

Wie oben schon angedeutet, wird der Lidschlag beim Menschen also immer mit beiden Augenlidern gleichzeitig ausgeführt, wobei hier natürlich das auch mit einem Auge mögliche Zwinkern unterschieden werden muss. Des Weiteren führt beim Menschen das Oberlid die Hauptarbeit beim Lidschlag durch, während das Unterlid eher weniger bewegt wird. Dies kann bei anderen Tierarten durchaus anders auftreten. Der Lidschlag besteht aus drei Phasen: der Lidschlussphase, der Plateauphase und der Lidöffnungsphase. Beim Menschen ist die Plateauphase normalerweise sehr kurz und kann kaum deutlich von den anderen beiden Phasen unterschieden werden. Lediglich bei starker Ermüdung wird diese Phase bis zu mehr als 200ms lang. Insgesamt dauert ein Lidschlag ca. 250ms. Von dem hier beschriebenen Lidschlag, der die Lidöffnungsphase einschließt, weicht jene Lidbewegung ab, die beim Einschlafen auftritt und keine Lidöffnung beinhaltet. In diesem Fall treten Mechanismen auf, die die Lidöffnung unterdrücken.

### 2.1 Phänomenologie des Lidschlags

Man unterscheidet drei Arten des Lidschlags. Zum einen kennt man den unwillkürlich-unbewussten spontanen Lidschlag, der der Benetzung der Conrea mit Tränenflüssigkeit dient und diese so vor dem Austrocknen schützt. Er ist kaum bzw. nur für kurze Zeit unterdrückbar. Unter normalen Bedingungen findet dieser Lidschlag sieben bis neun Mal pro Minute statt. Er wird unwillkürlich so platziert, dass die entstehende „Sehpause“ die Tätigkeit des Menschen oder seine Wahrnehmung nicht wesentlich stört. Immerhin gehen durch diese Art des Lidschlags pro Minute 2 Sekunden verloren.

Des Weiteren tritt ein willkürlich-bewusster Lidschlag auf, der komplett steuerbar und aktiv einsetzbar ist.

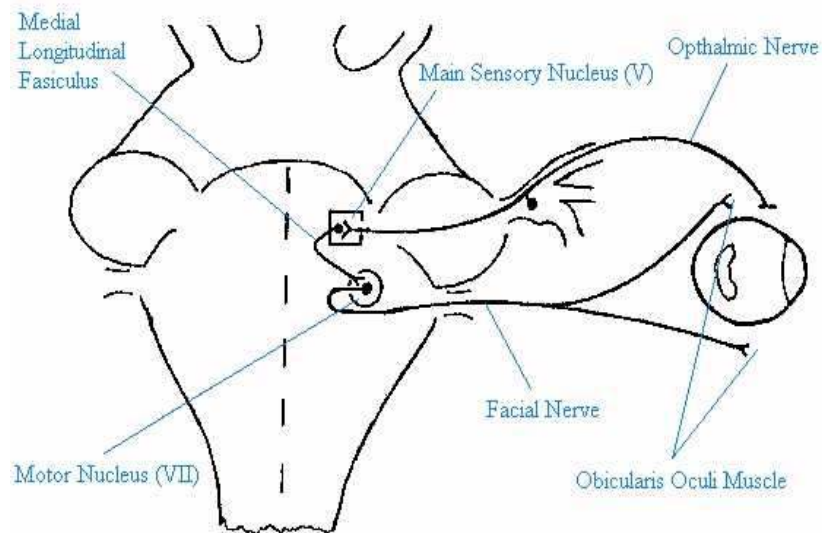
Letztlich tritt der unwillkürlich-unbewusste reflexive Lidschlag auf, als Antwort auf Reize, also als Lidschlussreflex. Er ist nicht steuerbar.

### 2.2 Aspekte des Lidschlussreflexes

Im Gegensatz zum Lidschlag wird auf dem Gebiet des Reflexes vom Lidschluss gesprochen, da der Reflex letztlich nur den Lidschluss beinhaltet. Die Lidöffnung gehört nicht mehr zum Reflex.

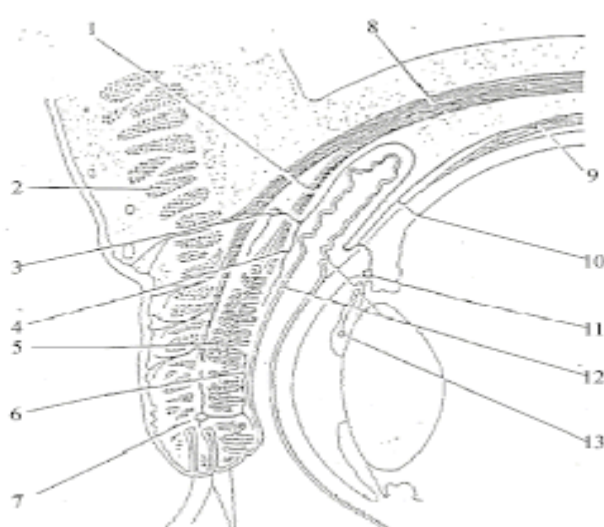
Der Reflex kann durch verschiedene Arten von Reizen ausgelöst werden. Zu nennen sind optische, mechanische und akustische Reize. Der beantwortende Reflex wird als Fremdre reflex bezeichnet, da in allen drei Fällen der Reizort nicht gleich dem Erfolgsorgan ist (nicht das Lid wird gereizt, sondern z.B. die Lichtsinneszellen oder der Gehörsinn).

Der Reflex dient in allen drei Fällen dem Schutz des Auges, z.B. vor Verletzung, Infektion oder Austrocknung. Er tritt mit einer Latenzzeit von 30 bis 40 ms auf und wird zumeist begleitet von einem so genannten Flexoreflex, der sich in einem Zusammenzucken des gesamten Körpers vom Kopfbereich bis in die Gliedmaßen äußern kann.



In der obigen Zeichnung ist der polysynaptische Reiz, hier ausgehend von den Lichtsinneszellen als Reizort, schematisch dargestellt. Der ophthalmische Nerv überträgt den im Auge aufgenommenen Reiz am sensorischen Hauptnucleus auf den medialen longitudinalen Fasciculus übertragen, von dort an einen motorischen Nucleus weitergegeben, der letztendlich den Reiz an einen Gesichtsnerven übertragen wird und am obicularen Oculus-Muskel den Lidschluss auslöst.

Unten sind die am Lidschluss beteiligten Muskeln im Querschnitt dargestellt.



- 1 M. tarsalis superior (Müller Muskel),  
innerer Teil des Lidhebers
- 2 M. orbicularis oculi (Lidschließer)
- 8 M. levator palpebrae superioris (Lidheber)
- 9 M. rectus superior (äußerer Augenmuskel,  
Lidheber)

Während einzig der Musculus orbicularis oculi als Lidschließer fungiert, arbeiten M. tarsalis superior, M. levator palpebrae superioris und M. rectus superior als Lidheber.

### **3. Durchführung**

#### **3.1 Vorbereitungen am Probanden**

Zunächst wird ein Minimagnet an das Augenlid des Probanden geklebt. Dabei sollte darauf geachtet werden, dass ein hautfreundlicher Kleber verwendet wird, der leicht wieder entfernt werden kann. Wimpernkleber hat sich in dieser Hinsicht bewährt. Des Weiteren solle man für die Applikation des Minimagneten an das Augenlid unbedingt eine stumpfe Plastik-Pinzette benutzen. Dies birgt zwei Vorteile. Zum einen minimiert es die Verletzungsgefahr, zum anderen sind Plastikpinzetten nicht magnetisch, wodurch sich der Magnet leichter von dieser trennt. Optimal ist die Anbringung des Magneten direkt oberhalb der Wimpern. Dort stört er den Probanden nicht und kann das Signal zuverlässig auslösen.

#### **3.2 Aufbau der Apparatur**

Im nächsten Schritt sollte die Apparatur aufgebaut werden. Sie besteht aus einem Oszilloskop, an das zwei Kanäle angeschlossen sind. Am ersten Kanal befindet sich der Reizgeber, in diesem Fall die Lampe. Wird sie eingeschaltet, so zeigt das Oszilloskop dies im Display an.

Am zweiten Kanal ist die Brille mit der integrierten Hallsonde angeschlossen. Wird der Magnet an der Sonde vorbeigeführt, so ist auch dies auf dem Oszilloskop als Signal sichtbar.

#### **3.3 Versuch**

Die Durchführung kann nun gestartet werden. Der Proband setzt zunächst die Brille auf, wobei noch einmal sichergestellt wird, dass der Magnet auch wirklich an der Sonde vorbeiläuft, wenn das Lid geschlossen wird. Der Sitz der Sonde kann bei Bedarf durch leichtes Biegen korrigiert werden. Nun setzt sich der Proband mit geöffneten Augen vor die ausgeschaltete Lampe. Der Versuch klappt am besten, wenn der Blick auf „unendlich“ gestellt wird. Eine zweite Person dunkelt nun den Raum ab, damit das Auge des Probanden für Licht sensibilisiert wird. Eine dritte Person löst dann nach etwa einer halben Minute Dunkelheit den Lichtreiz für einen kurzen Moment aus. Dabei ist darauf zu achten, dass der Reiz überraschend kommt und nicht angekündigt wird um die gewünschte Wirkung zu erreichen.

#### **3.4 Auswertung**

Bei erfolgreicher Durchführung bekommt man auf dem Oszilloskop zwei Signale; das der Lampe und das des Lidschlusses. Der Abstand zwischen den beiden Peaks der Einzelsignale steht dabei für die Zeit, die zwischen Reizgebung und dem Auslösen des Reflexes verstreicht. Diese Zeit wird ermittelt und kann dann mit den Schülerinnen und Schülern diskutiert werden. Optional kann der Versuch anschließend wiederholt werden, unter Umständen auch mit einer zweiten Testperson, um vergleichbare Werte zu erhalten.

### **4 Diskussion**

Im Folgenden werden die im Versuch ermittelten Ergebnisse, der Versuchsaufbau, das verwendete Material, der Bezug zur Schule und die Eignung für Schüler kritisch betrachtet und diskutiert.

## 4.1 Schlussfolgerungen aus den Ergebnissen

Der durchgeführte Versuch zeigt, dass der Lidschlag verzögert zum gegebenen Lichtreiz erfolgt. Hieraus lässt sich schließen, dass es eine Latenzzeit geben muss. Die während der Vorbereitung und während der Vorführung gemessenen Latenzzeiten weisen deutliche Unterschiede bezüglich der Dauer der Latenzzeit auf. Es wurden maximale Werte von 300ms und minimale Werte von 65ms gemessen. Dies deutet auf die Ungenauigkeit der Messmethode hin, welche sich bereits in der Vorbereitungsphase des Versuches zeigte. Da hier sehr hohe Latenzzeiten gemessen wurden, wurden um Defekte an den Kabeln selbige getauscht und aneinander gehängt. Diese Maßnahme bewirkte trotz verlängerter Kabel verkürzte gemessene Latenzzeiten, welches den Gesetzen der Physik widerspricht. Ebenfalls kommen Ablesefehler am Oszilloskop hinzu, da die Skala auf dem Bildschirm nicht genau abzulesen war, so dass hier ebenfalls das Ergebnis beeinträchtigt werden kann.

Als weitere Fehlerquelle ist die Anbringung des Hallgenerators zu betrachten. Dieser wurde am Bügel einer Schutzbrille befestigt, so dass der Hallgenerator sich ungefähr auf Höhe der Pupille des Auges der Probandin befand. Dies hat zur Folge, dass der Ausschlag erst erfolgt, wenn das Lid auf Höhe der Pupille ist, wodurch ein verspäteter Ausschlag abzulesen ist. Mit der Befestigung des Hallgenerators auf der Höhe des geöffneten Lides kann diese Fehlerquelle umgangen werden.

## 4.2 Verwendetes Material

Damit der Hallgenerator ein Magnetfeld wahrnehmen kann wurde auf dem Lid ein kleiner Magnet (MTG Europe, [www.powermagnetshop.de](http://www.powermagnetshop.de)) befestigt, welcher trotz seiner Größe sehr leistungsstark ist. Aufgrund seiner Anziehungskraft und seiner Größe war die Anbringung des Magneten schwierig, da er wegen seiner Größe nur mit einer Pinzette angefasst werden konnte, welche dann zumeist vom Magneten angezogen wurden. Problematisch war auch der Umgang mit den Pinzetten, da sie sehr spitz sein mussten, um den Magneten festhalten zu können (*Dozentenkommentar: Alternative> Magnet einfach mit dünnem Eisendraht manipulieren*). Hierin birgt sich die Gefahr der Verletzung des Auges des Probanden. Der verwendete Wimpernkleber ist für die Haut verträglich, dennoch ist er wahrscheinlich schädlich, wenn er ins Auge des Probanden gelangt. So ist hier ebenso wie mit der Pinzette Obacht geboten, wenn dieser Versuch mit Schülern durchgeführt wird.

Bei diesem Versuch als Demonstrationsversuch ist das Oszilloskop als Visualisierung der Spannungsänderung kritisch einzuschätzen, da der recht kleine Bildschirm schlecht von allen in einem Klassenraum eingesehen werden kann. Abhilfe könnten Oszillographen schaffen, die an Beamer angeschlossen werden können oder aber auch Laptops, die mit entsprechenden Programmen ausgerüstet sind um Potentialdifferenzen anzuzeigen.

Der verwendete Hallgenerator erwies sich als sehr sensitives und zuverlässiges Registrierungsgerät von Änderungen im Magnetfeld, so dass er sich gut für Auszeichnung der schnellen Bewegung des Lidschlages einsetzen lässt. Die Funktionsweise ist für den Versuch kaum von Belang, ist dennoch nicht zu kompliziert, als dass sie nicht erklärt werden könnte.

## 4.3 Bezug zur Schule

Anhand dieses Versuches wird das Phänomen des Reflexes als unbewusste nicht steuerbare Reaktion auf äußere Reize anschaulich verdeutlicht. Modifiziert man den Versuchsaufbau etwas und lässt die Latenzzeit außer Acht, so kann gezeigt werden, dass es verschiedene

Reize gibt, die den Lidschlag auslösen (akustische Reize, visuelle Reize, etc.). Mit dem Versuch kann also die Fragestellung der Reflexauslösung bearbeitet werden.

In einer ganzen Versuchsreihe zu Reflexen kann dieser Versuch, dazu eingesetzt werden um zu zeigen, dass es verschiedene Reflexe gibt. Denkbar wäre auch der Einsatz um die Latenzzeit verschiedener Reflexe zu ermitteln.

Baut man die Versuchsapparatur weiter um, so kann mit ihr auch gezeigt werden, welche Distanz zwischen Auge und Lichtreiz herrschen muss, damit ein Lidschlag ausgelöst wird.

#### 4.4 Eignung für Schüler

Abhängig von der gegebenen Fragestellung kann der Versuch in unterschiedlichen Klassenstufen eingesetzt werden. In der fünften Klasse eignet er sich gut für einen Einstieg in die Sinne des Menschen im Zusammenhang mit dem Sehsinn und seinem Nutzen. In der achten Klasse beschäftigen sich die Schüler mit dem Bau und der Leistung von Sinnesorganen, so dass auch hier ein Einsatz sinnvoll erscheint. In der Oberstufe beschäftigen sich die Schüler erneut mit Neurobiologie, so dass auch hier ein Einsatz des von uns durchgeführten Versuchs oder einer modifizierten Variante denkbar wäre. Auch ein Einsatz zur Darstellung des Kniesehenreflexes und der dazugehörigen Latenzzeit wäre in verschiedenen Klassenstufen vorstellbar.

Obwohl der vorgestellte Versuch sich wegen seiner leichten Durchführbarkeit als Kleingruppenversuch eignet, ist er es vermutlich aufgrund des technischen Bedarfs nicht. Besonders die Oszilloskope könnten an Schulen nicht in ausreichendem Maße vorhanden sein. Zur besseren Visualisierung könnte jedoch auf die Laptop-Oszilloskope zurückgegriffen werden, so dass ein Versuch mit der gesamten Klasse möglich wäre.

Besonders aufwendig ist die Befestigung der Magnete mit Wimpernkleber und spitzen Pinzetten, so dass sich der Versuch an dieser Stelle nur bedingt für Schüler in Kleingruppen eignet.

Der vorgestellte Versuch veranschaulicht das Phänomen des Reflexes sehr schön und auch die Latenzzeit wird so glaubwürdig sichtbar gemacht.

## 10) Messung des Lungenvolumens mittels Lasertechnik

Von Linda Blank, Fabian Fuchs und Philipp Spring

### 1.) Theoretischer Teil

#### Anatomie

Das Atemsystem des Menschen untergliedert sich in die oberen und unteren Atemwege. Die oberen Atemwege bestehen aus der Nase, dem Nasen-Rachenraum (Larynx) und dem Mund-Rachenraum. Unterhalb des Kehlkopfes (Pharynx) schließt sich die Luftröhre (Trachea), welche in den linken und rechten Lungenflügel mündet. Die Lunge besteht aus Bronchien, welche sich im weiteren Verlauf in die immer feineren Bronchiolen und anschließend in den Alveolen aufteilen. Die oberen Atemwege erfüllen mehrere Aufgaben. Darunter zählen z.B. die Anwärmung, Reinigung und Anfeuchtung, sowie mit Hilfe der olfaktorischen Rezeptoren eine chemische Überprüfung der Atemluft. Die

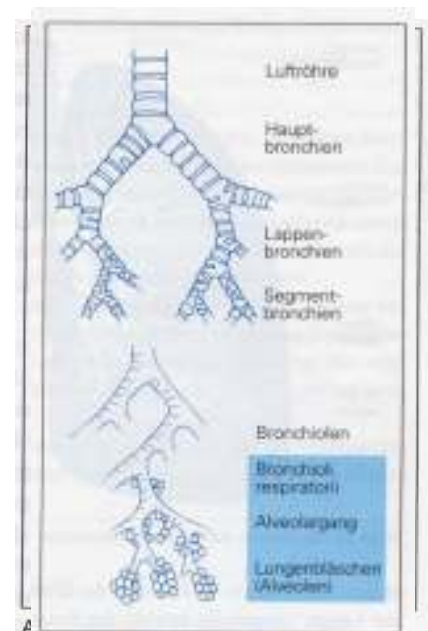


Abb. 19 - Das Geäst des Bronchialbaums

Alveolen sind der Ort der inneren Atmung, d.h. in ihnen findet der Gasaustausch statt. Sauerstoff diffundiert durch die Alveolarwände und die Kapillarwände in das Blut und im Gegenzug wird Kohlenstoffdioxid auf umgekehrtem Wege aus dem Blut in die Lunge transportiert. In einem erwachsenen menschlichen Körper lassen sich je nach Alter, Geschlecht und körperlicher Verfassung zwischen 300 und 750 Millionen Alveolen finden, die zusammen eine Oberfläche von ca. 100-200 m<sup>2</sup> ausmachen.

Zu dem „Organsystem Atmung“ gehören neben dem Brustkorb auch die Atemmuskulaturen. Der größte und wichtigste Atemmuskel ist das Zwerchfell (Diaphragma). Es trennt den Brustkorb von der Bauchhöhle. Neben dem Zwerchfell sind auch verschiedene andere Muskelgruppen an der Atmung beteiligt: zum einen die zwischen den Rippen befindliche, äußere und innere Zwischenrippenmuskulatur und zum anderen, die so genannte Atemhilfsmuskulatur. Diese werden meist dann in Anspruch genommen, wenn besonders tief oder schnell geatmet werden soll.

## **Physiologie**

Atmung ist ein Zusammenspiel der Atemmuskulatur. Man unterscheidet zwischen Ein- und Ausatmung (Inspiration und Expiration). Bei der Inspiration kontrahiert das Zwerchfell und senkt sich dabei ab. Gleichzeitig vergrößert die äußere Zwischenrippenmuskulatur den Brustkorb. In dem nun vergrößerten Lungeninnenraum entsteht ein Unterdruck und als Folge dessen strömt sauerstoffreiche Atemluft ein. Die Einatmung ist ein aktiver Vorgang, bei dem Muskelarbeit geleistet werden muss. Bei der Expiration erschlafft das Zwerchfell und die Lunge zieht sich aufgrund ihrer dynamischen Rückstellkräfte wieder zusammen. Durch den entstehenden Überdruck wird die nach dem Gasaustausch kohlenstoffdioxidreiche Luft ohne aktive Arbeit nach außen abgegeben.

## **Lungenvolumina**

Bei jedem Atemzug werden bei einem Erwachsenen in Ruhe ca. 500 mL Luft die Lungen eingeatmet. Dieses Atemzugvolumen (AZV) wird mit einer Atemfrequenz (AF) von ca. 12-14 mal pro Minute eingeatmet. Ausgerechnet ergibt das ein Atemminutenvolumen (AMV) von ca. 7,5 L Luft. Während körperlicher Anstrengungen kann dieses AMV um ein Vielfaches gesteigert werden. Dies kann auf zwei Wegen geschehen. Zum einen über die Atemfrequenz oder zum anderen durch eine Erhöhung des Atemzugvolumens. Es ist möglich zu dem normalen Ruheatemzugvolumen noch ein inspiratorisches Reservevolumen von 2-3 L einzusatmen. Zusätzlich zu dem inspiratorischen Reservevolumen ist es möglich durch verstärkte Ausatmung noch bis zu einem Liter Luft auszusatmen. Diese Luftmenge wird als expiratorisches Reservevolumen bezeichnet. Selbst bei stärkster Ausatmung verbleibt immer eine Restmenge Luft in den

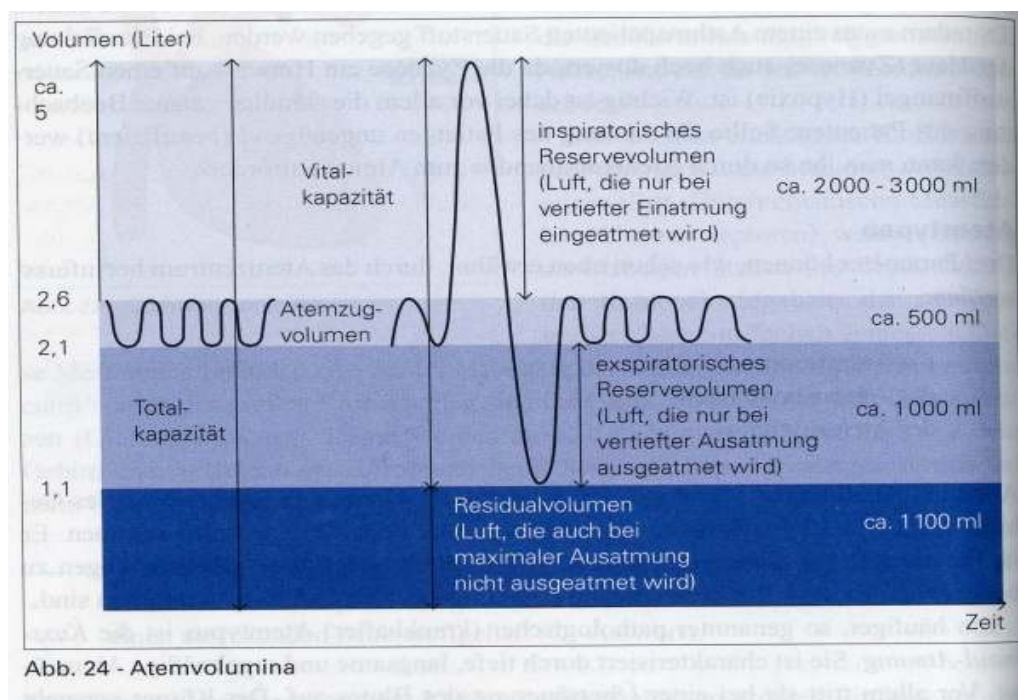


Lungenflügeln. Diese Menge entspricht ca. einem Liter und wird als Residualvolumen bezeichnet.

Summiert man alle Atemvolumina auf, erhält man die Vitalkapazität. Nach empirischen Studien kann man die Vitalkapazität näherungsweise mit folgenden Formeln errechnen:

$$VK(\text{Mann}) = [27,63 - (0,112 \times \text{Alter})] \times \text{Größe}$$

$$VK(\text{Frau}) = [21,78 - (0,101 \times \text{Alter})] \times \text{Größe}$$



2)

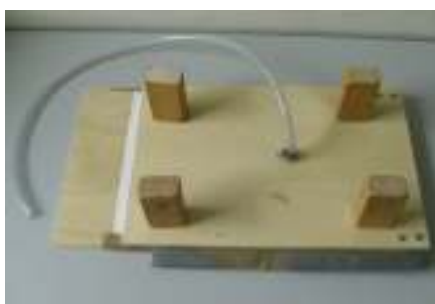
### Versuchsaufbau:

Zur Messung des Lungenvolumens (Lungenkapazität) haben wir zunächst mit Hilfe einfacher und preiswerter Materialien aus dem Baumarkt ein so genanntes Spirometer gebaut.

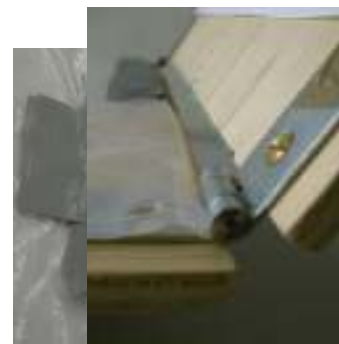
#### Materialien:

- zwei Holzbretter
- zwei Scharniere
- vier Holzklötze
- eine Kunststofftüte
- ein Metallventil
- ein Kunststoffschlauch
- ein Laserstrahlgerät
- ein Pappkarton
- UHU-Klebstoff, Paketklebeband, Panzertape
- Werkzeuge wie Säge, Bohrer, Schraubenzieher

#### Bau des Spirometers:



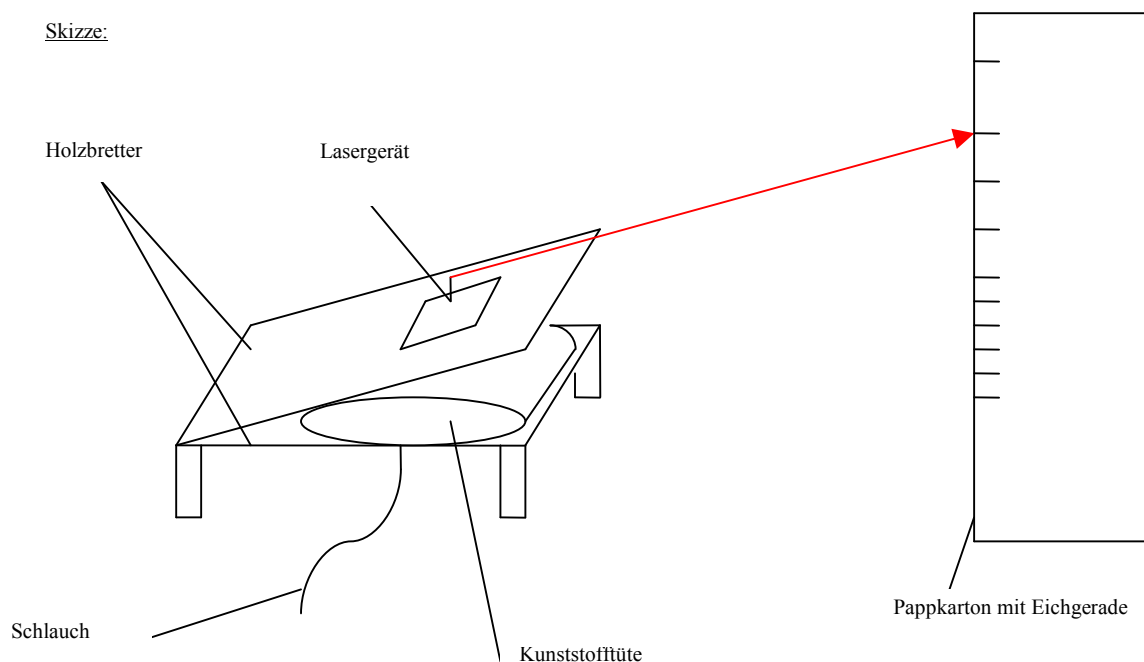
Die beiden Holzbretter wurden an einer Kante mit Hilfe der beiden Scharniere



aufeinander geschraubt. In das untere der beiden Bretter wurde ein Loch gesägt, durch das später das Metallventil gesteckt wurde, welches als Verbindungsglied zwischen Tüte und Schlauch diente. Die vier Holzklötze wurden unter das untere Brett geschraubt, so dass das Ventil mit dem Schlauch ungehindert durch das Brett ragen konnte. Die Kunststofftüte wurde in etwa auf die Größe der Bretter zugeschnitten. In die eine Seite der Tüte wurde ein kleines Loch geschnitten, durch das das Ventil gesteckt wurde. Der Ventilrand wurde nach außen hin mit einem Dichtungsring, sowie UHU-Klebstoff und Panzertape luftdicht verschlossen. Anschließend wurde die Tüte an der noch offenen Seite mehrfach glatt gefaltet und mit Paketband und Panzertape ebenfalls luftdicht verschlossen. Die Tüte wurde dann zwischen die beiden Bretter gelegt und mit dem Ventil durch die Öffnung im Brett nach unten mit dem Schlauch verbunden. Zum Schluss wurde auf dem oberen Brett das Lasergerät mit Panzertape fixiert.

Zum Erstellen einer Eichgerade auf einem Pappkarton haben wir Spirometer und Pappkarton in einem bestimmten Abstand zu einander aufgestellt, den Laser eingeschaltet und mit einer 100mL Spritze, welche mit einem Drei-Wege-Hahn am Schlauch befestigt war, die Kunststofftüte mit Luft befüllt. Nach jeweils 100mL haben wir einen Strich auf den Pappkarton gezeichnet. Dieses haben wir bis zu einem Volumen von 5,2L wiederholt.

Skizze:



### **3) Versuchsdurchführung:**

Bei der Vorstellung des Versuches so wie der Versuchsdurchführung lag unser Augenmerk darauf darzustellen, dass Lungenvolumina von verschiedenen Faktoren abhängig sind. Diese Faktoren sind z.B. Geschlecht, Körpergröße, Sportlichkeit. So wählten wir unsere Probanden nach den Faktoren Geschlecht und Größe aus.

Die drei Probanden waren:

- 1) männlich, groß    2) weiblich, groß    3) weiblich, klein

Jeder dieser Probanden atmete tief durch den Schlauch in die Tüte aus, wobei er nach Möglichkeit die Nase geschlossen hielt, sodass nicht zu viel Luft aus dem Atemsystem entweichen konnte. Hierbei füllte sich die Tüte mit der Atemluft und hob das obere Holzbrett mit dem Laser an. Der höchste Ausschlag des Lasers auf dem Pappkarton entsprach der Vitalkapazität des jeweiligen Probanden. Mit Hilfe der zuvor erstellten Eichskala konnte dieser Wert direkt vom Pappkarton abgelesen werden.

Parallel zur experimentellen Messung des Lungenvolumens wurde dieses jeweils rechnerisch durch folgende Gleichung bestimmt:

$$VK(\text{Mann}) = [27,63 - (0,112 \times \text{Alter})] \times \text{Größe}$$

$$VK(\text{Frau}) = [21,78 - (0,101 \times \text{Alter})] \times \text{Größe}$$

Die Ergebnisse wurden tabellarisch an der Tafel festgehalten und diskutiert.

#### 4) Auswertung:

ProbandIn	Körpergröße [m]	Vitalkapazität [l]	
		experimentell	rechnerisch
1) männlich	1.88	> 5.2	4.7
2) weiblich	1.76	4.8	3.3
3) weiblich	1.63	4.4	3.1

Die Ergebnisse lassen zwei Punkte der Interpretation zu:

- Der Vergleich der experimentell bestimmten Daten zeigt, dass der männliche Proband eine größere Vitalkapazität als die weiblichen Probanden hat. Der genaue Wert konnte leider nicht ermittelt werden, da der Laserstrahl über die Skala hinaus ging. Die Vermutung, das größere Lungenvolumen könne auch allein aus der Körpergröße resultieren, wird durch die Formel zur theoretischen Berechnung widerlegt: Setzt man die Größe von 1.88 m für eine weibliche Probandin ein, so liegt das Ergebnis (3,65 l) unter den ermittelten 4.7 l. Somit passt das Ergebnis in den Trend, dass Männer eine größere Vitalkapazität als Frauen besitzen.
- Die experimentell bestimmte Vitalkapazität der größeren Probandin ist größer als die der kleineren. Auch dies passt in den allgemeinen Trend, wie wiederum die Formel verdeutlicht.

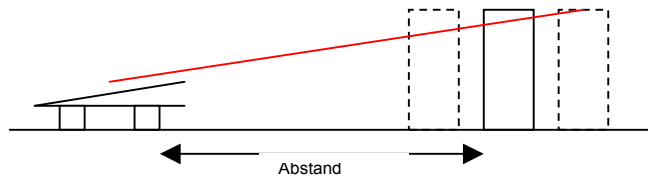
Die Auswirkung der Faktoren Geschlecht und Größe konnte durch unsere Messungen also gezeigt werden. Zur Leistungsfähigkeit der Messungen muss jedoch beachtet werden, dass weitere Faktoren wie z.B. das Alter oder die Sportlichkeit der ProbandInnen nicht berücksichtigt wurden. Da die ProbandInnen alle StudentInnen ähnlichen Semesters waren, hat das Alter aber wahrscheinlich nur einen geringen Einfluss auf den Unterschied der Werte.

Auffällig ist, dass die experimentellen Werte allesamt wesentlich größer sind als die rechnerisch ermittelten (bei den Probandinnen um mehr als 40%). Mögliche Ursachen werden im nächsten Kapitel betrachtet.

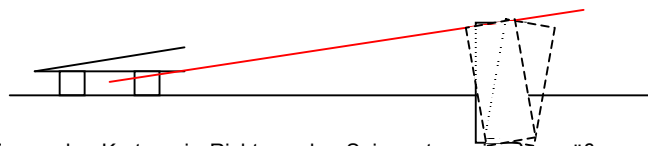
#### 5) Fehlerbetrachtung und praktische Probleme

Die Differenz zwischen den theoretischen und den experimentellen Werten kann verschiedene Gründe haben. Zum einen wäre möglich, dass die Formel generell zu niedrige Werte ergibt. Da es sich hierbei allerdings um eine Gleichung handelt, die auf empirischen Ergebnissen und deren statistischem Mittel basiert, sollte sich dieser Effekt nicht allzu stark auswirken. Wahrscheinlich resultieren die Abweichungen daher aus fehlerhaften Werten der Messungen. Diese könnten durch verschiedene Effekte zustande gekommen sein, von denen zwei im Folgenden eingehend diskutiert werden.

- Geometrie der Apparatur.** Die Apparatur wurde längs auf einem Tisch aufgebaut. Das Spirometer hatte während der Erstellung der Eichskala einen definierten Abstand von dem Karton, auf dem die Eichstriche eingezeichnet wurden. Eine Abweichung des Abstandes während der Präsentation könnte eine Vergrößerung bzw. Verkleinerung der Messwerte bewirkt haben, wie die folgende Abbildung zeigt:



Durch Kennzeichnungen auf dem Tisch wurden die Positionen von Spirometer und Karton während der Eichung zwar vermerkt, es ist aber nicht auszuschließen, dass der Abstand sich bei der Präsentation leicht änderte. Die vergleichsweise hohen Werte für die Vitalkapazitäten könnten unter anderem durch einen zu großen Abstand zustande gekommen sein. Außerdem könnte eine unterschiedliche Neigung des Kartons zu unterschiedlichen Werten geführt haben, wie die nächste Abbildung verdeutlicht:



Somit hätte eine Neigung des Kartons in Richtung des Spirometers eine Vergrößerung der Werte bewirken können. Schließlich könnten Unebenheiten des Tisches zu unterschiedlichen Ergebnissen geführt haben (z.B. eine Erhöhung der Vorderseite des Spirometers zu zu hohen Werten).

Die Auswirkungen dieser geometrischen Ungenauigkeiten schätzen wir einzeln als geringfügig ein – in Kombination sind sie aber womöglich nicht zu vernachlässigen.

2. **Eichfehler.** Zunächst einmal gab es beim Bau der Apparatur mehrfach Probleme mit der Dichtigkeit der Kunststofftüte. Diese konnte festgestellt werden, wenn die Tüte mit Luft gefüllt war, der Schlauch zugehalten wurde und der Laserpunkt auf der Eichskala langsam absank. Die undichte Stelle wurde jeweils in einem Wasserbad lokalisiert und mit Panzertape überklebt. Die Dichtigkeit wurde dann erneut erprobt. Trotz großer Bemühungen war die Tüte zum Zeitpunkt der Eichung nicht absolut dicht: Der Laserstrahl sank stets sehr langsam ab. Die Erstellung der Eichskala erfolgte mit Hilfe einer 100 mL-Spritze in insgesamt 52 Schritten (vgl. Versuchsaufbau, S. 3). Es ist davon auszugehen, dass während des jeweiligen Einzeichnens des Skalenteils ein sehr geringes Volumen an Luft aus dem System entwich. Durch ein schnelles Einzeichnen des Punktes wurde versucht, diesen Fehler möglichst klein zu halten. Da die Befüllung der Tüte mit Luft jedoch schrittweise erfolgte, wirkte sich jeder Fehler auch auf alle darauf folgenden Skalenteile aus, sodass die Ungenauigkeit bei den großen Volumina wesentlich erheblicher als bei den kleinen war. Dieses Problem hätten wir auch nicht umgehen können, indem wir ein beliebiges Maximalvolumen (z.B. 6 L) eingefüllt hätten und die Skala dementsprechend in gleich große 100 mL-Teile eingeteilt hätten: Wie man in der Fotoserie deutlich sieht, ist die Auslenkung des Lasers nicht proportional zur eingefüllten Luftmenge. Dies geht auf die spezielle Ausfaltung der Tüte zurück. Weitere Ursachen für die Ungenauigkeit der Skala könnten in der Spritze oder dem Dreiwegehahn liegen. Ein fehlerhaftes Volumen der Spritze hätte sich bei 52 Befüllungen wahrscheinlich bemerkbar gemacht. Ebenso könnte der Dreiwegehahn eine Schwachstelle für die Dichtigkeit des Systems gewesen sein. Den Effekt einer fehlerhaften Eichskala schätzen wir bezüglich der zu hohen Messwerte als maßgeblich ein. Gerade der sich fortplanzende Volumenfehler durch die schrittweise Befüllung könnte die Differenzen zu den rechnerischen Werten erklären.



Neben diesen systematischen Fehlern sind jegliche Messfehler vernachlässigbar. Zwar hatte der Laserstrahl auf dem Karton eine vertikale Breite von 1-2 mm, jedoch scheint die Unsicherheit bei der Zuordnung zu einem Skalenteil angesichts der Ungenauigkeit der Skalenteile selber als uninteressant.

Das Phänomen, dass der Laserstrahl nach Entlassen der Atemluft nicht immer genau auf den Nullpunkt der Skala zeigte, lässt sich durch die spezielle Faltung der Kunststofftüte erklären, die offensichtlich nicht in allen Fällen identisch war. Auch dieser Fehler dürfte aber insgesamt nicht gewichtig sein.