

# PROTOKOLLSAMMLUNG: Schulversuche zur Humanbiologie, Teil in der Zoologie, Prof. Hustert, SS2004.

\*\* ) neu oder \*) erstmals in diesem Praktikum

## Biomechanische Modelle

<b>Modell: Konstruktion des Fußgewölbes</b> Eickmann, Britta; Wimschulte, Philip; Müller, Peter	<b>S. 2</b>
<b>**Funktionsmodell: Funktion der Kniescheibe</b> Müller, Sandra; Klingbeil Christian; Henseleit, Marie	<b>S. 5</b>
<b>**Funktionsmodell: Gluteus medius beim Laufen (&gt;&gt;Bipedie)</b> Endig, Holger; Schaare-Schlüterhof, Anja; Baumgarten, Berit	<b>S. 12</b>
<b>**Modell mit Messung: Hebel des Kiefers gelenkfern und –nah</b> Brandt, Sabrina; Wallenstein, Kathrin; Schmitz, Jessica	<b>S. 15</b>

## Sinnesorgan-Modelle

<b>**Modell: Mittelohr / Gehörknöchelchen:</b> Mahlmann, Tanja; Sturmfels, Antje; Rechenberg, Leif-Erik	<b>S. 18</b>
<b>**Modell: Linse + Ciliarmuskel</b> Krause, Sibylle ; Frey, Alexandra; Kohlmorgen, Nadine	<b>S. 22</b>
<b>Funktionsmodell eines Gleichgewichtsorgans mit Sensor</b> Grams, Tobias; Schlichte, Merle; Weinrich, Anja	<b>S. 27</b>

## Experimente

<b>*Farbsehen: LED-Platte mit RGB vor Milchglas</b> Golomek, Annika-Christiane; Künstler, Philipp; Schulze, Britta	<b>S. 35</b>
<b>*Modell: Wärmeisolation der Körperoberfläche</b> Heer, Christina; Riediger, Sonja; Wiederhold, Nina	<b>S. 38</b>
<b>Muskelbiologie mit in Schulen einsetzbarer Ausrüstung</b> Fadavi, Azadeh; Koch, Dorothea; Novak, Alexandra	<b>S. 43</b>
<b>Zielbewegung / Entscheidungsgeschwindigkeit</b> Frie, Tabea ; Heitmann, Nicole; Deuster, Annalena	<b>S. 47</b>
<b>*Registrierung schneller Bewegung mit LED-Stroboskop</b> Beerlink, Johannes	<b>S. 49</b>

## Verwendete Kleingeräte: Funktionen und Selbstbau      **S. 56/58/59/60**

a) Differenzverstärker b) Stroboskop c) Lichtschranke d) VCO (Gleichspannung hörbar)

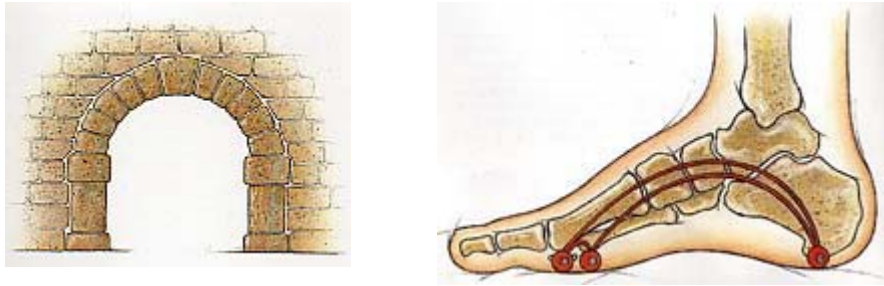
# Biomechanische Modelle

## Die Bedeutung des Fußgewölbes

Britta Eickmann, Peter Müller, Philip Wimschulte

### 1. Theorie:

Das Fußgewölbe lässt sich grundsätzlich mit einem gemauerten Brückengewölbe vergleichen:

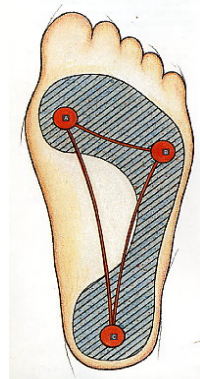


Allerdings gibt es auch bedeutsame Unterschiede:

Bei der Brückenkonstruktion drücken alle Steine auf das Widerlager, der Bogen hält sich von selbst. Das Fußgewölbe hingegen hält erst durch Kapseln, Muskeln und Bänder. Der Fuß federt und ermöglicht dem Menschen so kleine ausgleichende Bewegungen. Außerdem können so Erschütterungen, die sonst direkt auf Wirbelsäule und Kopf einwirken, abgefangen werden. Das Fußgewölbe erfüllt somit folgende Aufgaben:

- Dämpfung des Auftritts
- Ausgleichen von Bodenunebenheiten (hierfür ist auch Muskelleistung nötig)

Aufgrund dieser Konstruktion kann der Mensch auf seinen Füßen „einfach stehen“, wobei die Auflagefläche des Fußes so gering wie möglich gehalten wird.



Insgesamt gibt es beim gesunden Fuß nur 3 Auflagepunkte:

- Großzehenballen
- Kleinzehenballen
- Ferse

Auf diese Weise kann das gesamte Körpergewicht des Menschen, was beim Gehen und Stehen vollständig auf dem Fußgewölbe lastet, gehalten werden.

Ein weiterer bedeutsamer Aspekt ist die Energiespeicherung in Achillessehne und Fußgewölbe:

Wenn der Fuß beim Laufen während der Landung zusammengedrückt wird, dann streckt sich die Achillessehne, um sich beim Absprung, wenn der Fuß auf den Zehen ruht, wieder zusammenzuziehen. Auf diese Weise wird bis zu 40% der beim Aufprall des Fußes absorbierten Energie in der Achillessehne gespeichert und beim Absprung des Fußes wieder freigesetzt und damit für den Vortrieb nutzbar gemacht.

Ebenso wird das Längs- und das Quergewölbe des Fußes eingedrückt und dabei werden etwa 70 % der im eingedrückten Gewölbe gespeicherten Energie bei der Rückformierung des

Gewölbes während der Absprunghase des Fußes wieder freigegeben. Auch dieses dient dem Vortrieb während des Laufens.

Die Energieabsorption ist im Wesentlichen abhängig vom Untergrund. Versuche haben gezeigt, dass eine 5-8 mm dicke Bahn für Läufer am effektivsten ist. Bis zu 90% der in der Bahn gespeicherten Energie können so zurückgegeben werden.

## 2. Fußknochen:

Unser Modell zeigt folgende Fußknochen:

- Wadenbein (Fibula)
- Fersenbein (Calcaneus)
- Sprungbein (Talus)
- Kahnbein (Os naviculare)
- Keilbein (Os cuneiforme)
- Mittelfußknochen (Os metatarsi)
- Zehengrundglied (Phalanx proximalis)
- Großzehenglied (Phalanx distalis hallucis)
- Plantaraponeurose (Aponeurosis plantaris)

## 3. Fußgewölbe:

- besteht aus Längsbogen (Längswölbung) und Querbogen (Querwölbung) → Verwindungskonstruktion, [*beim Abrollen bildet sich großer Zeh als Widerlager aus.*]
- **Verspannung** der Bögen durch Bänder/Fußmuskeln, Muskeln sind aktives Verspannungssystem, [ohne sie hält Bandkonstruktion nicht] → Folge: Plattfuß
- **Last des Körpers** wirkt über Unterschenkel auf Gewölbe → **Neigung, sich abzuflachen**
- Bänder/Muskeln wirken der Tendenz entgegen: straffe Bänder, **Endsehnen langer Unterschenkelmuskeln** halten Fußgewölbe in Form

## 4. Bedeutung des Fußgewölbes:

Schäden des Fußgewölbes – Auswirkungen auf Hüftgelenk

-FG leistet Beitrag zur **Verringerung der Gelenkbelastung**, (Federt auch Erschütterungen auf Kopf und Wirbelsäule ab)

**Fuß als Kontaktpunkt** des Körpers zur Unterlage, **Fußmuskulatur ist in Zusammenhang** mit hüftgelenksumgebender Muskulatur

**bei Abflachung des FG:** Verringerung der Stoßdämpferwirkung des Hüftgelenkes → starke Belastung

weitere Probleme

Zweck Fußgewölbe: Auflagefläche sehr gering halten : FG hat 3 Stützpunkte **Großzehballen, Außenzehballen, Ferse** → Belastung wird aufgenommen und gedämpft, in Abstoßphase Entspannung des Gewölbes → wirkt so als **Energie Impulsgeber** --> Auflagefläche nur im Zehen und Fersen Bereich-----→ **Bei Sehnenerschläffen**, Fußgewölbe wird nicht gehalten, Mittelfuß senkt sich ab, (Senkfuß ist entstanden), auch Plattfuß genannt

Verschlimmerung: **Fersensporn**

Fersenknochen wird anders belastet, erhält an der Vorderkante einen höheren Druck. → Spornbildung, → Struktur (*Fußanomalie*) die *Gewebereizung* hervorruft, Entzündungen, die verursachen weitere Vergröß. d. Sporns, alles recht schmerzhaft

Verursacht durch: 1) Druck/Zug bei Überbelastung 2) ungünstiges Schuhwerk 3) Übergewicht

Therapie: *Gewichtsreduktion oder Fersenkissen* mit (Locheinlage), *Schuhwerkwechsel* Ultraschalltherapie oder Stoßwellentherapie um Sporn zu zerstören, notfalls OP (regionaler Anästhesie oder Vollnarkose) 30-60 Minuten → recht schwerwiegend

Vorkehrungen: beste Sache: passendes Schuhwerk (Druckreizungen, Begünstigungen von Fehlstellen werden vermieden),

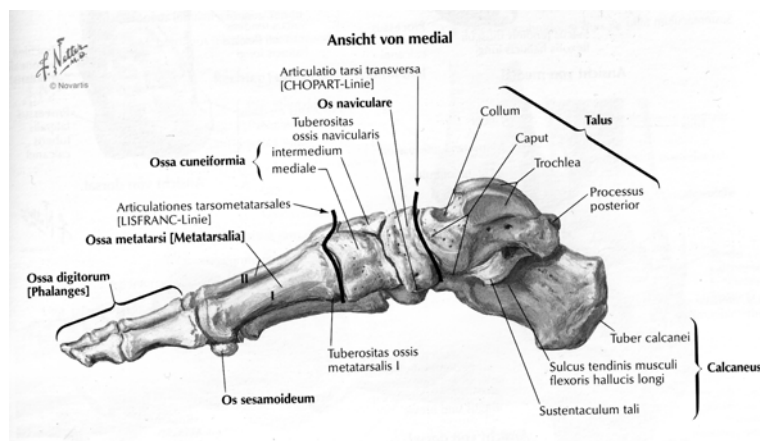
zu empfehlen ist auch Barfuß Laufen: *Fußdeformationen* durch Einengung/ Druckpunkte wird vorgebeugt

## 5. Bau des Modells:

Vor dem Bau des Modells muss die Entscheidung gefällt werden, was die für unsere Versuche relevanten Teile des Fußgewölbes sind. Je nach Versuch können andere Knochen des Fußes wichtig sein. Da wir die Stützfunktion analog zu einer Rundbogenbrücke zeigen wollten, entschieden wir uns für ein zweidimensionales Modell, dass der medialen Ansicht des Fußes entspricht. Allerdings sind dann auch die Knochen wegzulassen, die im Bild teilweise (weil in zweiter Ebene liegend) zu sehen sind.

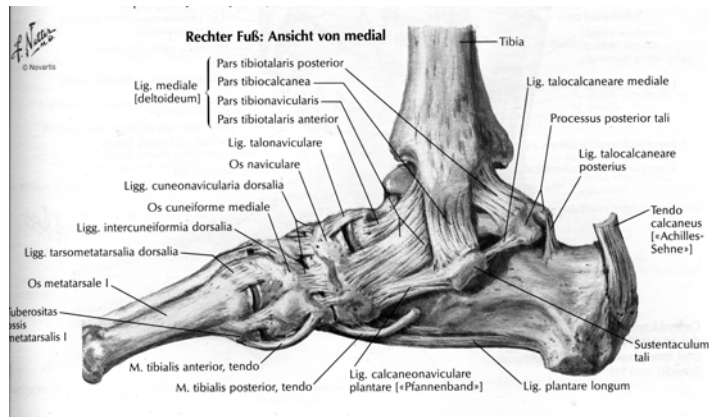
Wir reduzierten das Modell auf folgende Knochen:

- Calcaneus
- Talus
- Os naviculare
- Ossa cuneiformia (zu einem verschmolzen)
- Os metatarsi (des großen Zeh)
- Ossa phalanges (des großen Zeh)



Die Knochen haben wir aus einer Schichtholzplatte mit 1,5cm Stärke mit einer Stichsäge ausgesägt. Die genaue Form wurde durch schmirgeln erreicht. Sie ist wichtig, da das ohnehin schon sehr reduzierte Modell sonst an den Berührungsflächen der Knochen keinen Halt hat und schlechte Beweglichkeit erhält.

Anschließend müssen die Knochen elastisch miteinander verbunden werden. Das folgende Bild verdeutlicht die Vielzahl an Bändern, die ein Fußgewölbe verspannen:



Auch hier muss die Vorlage entsprechend den an das Modell gestellten Ansprüche reduziert werden.

Alte Fahrradschläuche haben ein gutes Verhältnis zwischen Elastizität und Stabilität, so dass sie sich als Modell-Bänder sehr gut eignen. Die einzelnen Knochen wurden von beiden Seiten mit einer gewissen Grundspannung verbunden. Das eigentliche Fußgewölbe wurde mit einer langen, zusammenhängenden „Sehne“ von beiden Seiten verspannt, um eine zusätzliche Steifigkeit zu erreichen. Zur Befestigung dienen kleine Nägel bzw. Reißzwecken.

Die Plantaraponeurose und die Achillessehne wurden entsprechend der Vorlage (Anatomieatlas) ergänzt.

Das Ergebnis ist ein Modell eines Schnittes des Fußes in der Sagittalebene mit den wichtigsten Bändern. Damit lassen sich z.B. das Abrollverhalten eines Fußes zeigen sowie die Stützfunktion und Fehlstellungen (hochhackige Schuhe, etc...)

## Funktionsmodell des Kniegelenks mit besonderem Fokus auf die Kniescheibe

Marie Henseleit, Sandra Müller, Christian Klingbeil

### 1. Theoretische Einführung

#### 1.1 Bänder

(Zur weiteren Verdeutlichung siehe Folien im Anhang dieses Protokolls)

Die wichtigsten Bänder am Knie sind die Seiten- und die Kreuzbänder. Sie sind für die Stabilität und Funktion des Knies verantwortlich.

Bei gestrecktem Knie sind das Außen- und Innenband gespannt und verhindern somit die Kreiselung und Seitenbewegung des Knies. Sie stellen das Knie fest. Je mehr das Knie gebeugt wird, desto stärker lockern sich die Seitenbänder durch den kleineren Krümmungsradius und eine Kreiselung wird möglich. Krankhafte Lockerungen der Bänder bewirken ein Aufklaffen des Gelenkspalts. Sind die Außenbänder gelockert, so folgen O-Beine. Bei Lockerung der Innenbänder ergeben sich X-Beine.

Das Innenband ist das breitere von beiden und verläuft von der medialen Gelenkrolle des Oberschenkelknochens zum medialen hinteren Rand des Schienbeinkopfes. Außerdem ist dieses Band mit dem medialen Meniscus verwachsen, weshalb die innere Gelenkrolle in Beugstellung weniger Spielraum hat als die äußere. Zusammen mit der Gelenkkapsel verhindert es ein Aufklappen des Gelenkspalts.

Das Außenband zieht von der lateralen Gelenkrolle zum seitlich abstehenden Wadenbeinkopf, wodurch es von der Gelenkkapsel abgehoben wird.

Die beiden Kreuzbänder bilden die sogenannten zentralen Pfeiler des Kniegelenks. Sie befinden sich in der Kniemitte.

Das vordere Kreuzband entspringt an der inneren Fläche der lateralen Gelenkrolle des Femur und ist mit dem anderen Ende vorn zwischen den Schienbeintellern befestigt. Es verhindert ein Weggleiten des Unterschenkelknochens gegen den Oberschenkelknochen.

Das hintere Kreuzband entspringt an der vorderen medialen Innenfläche des Femur und verläuft nach schräg hinten in die Mitte der Schienbeinkopfrückseite.

Die Kreuzbänder sind so gelagert, dass in fast jeder Stellung des Kniegelenks Teile von ihnen unter Spannung stehen. Sie bilden eine wesentliche Sicherung des Kniegelenks, besonders bei der Beugung. Reißen die Bänder ab, so können die Knochen nach vorn und hinten gegeneinander verschoben werden. Bei der Streckung spannen sich der vordere Anteil des vorderen Kreuzbandes und der hintere Anteil des hinteren. Bei der Einwärtskreiselung des Unterschenkels wickeln sich die Kreuzbänder umeinander, wodurch diese Bewegung schnell gehemmt wird. Die Auswärtskreiselung ist die einzige Bewegung, die von den sich abwickelnden Bändern völlig freigegeben ist.

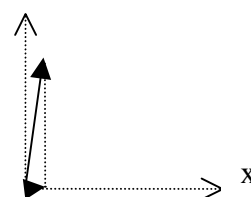
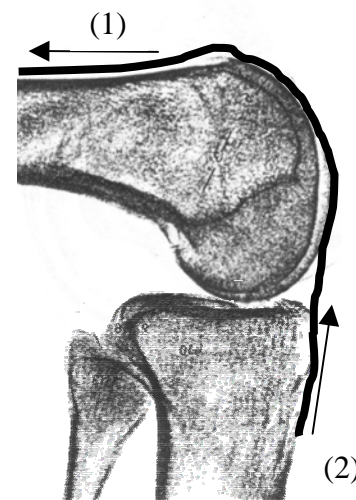
Die bedeutendste Sehne ist die Patellasehne. Sie verläuft vom Quadrizeps des Femur über die Vorderseite des Knies als starker Strang über die Patella zur Tibia. Oberhalb der Patella wird diese Sehne noch als Quadrizepssehne bezeichnet. Rechts und links der Patella befinden sich derbe Faserstreifen, die mit den Sehnen des Quadrizeps zusammenhängen. Die ganze Vorderwand der Gelenkkapsel mit Bändern und Sehnen wirkt als Zuggurtung bei gebeugtem Knie.

## 1.2 Zur Mechanik der Kniescheibe

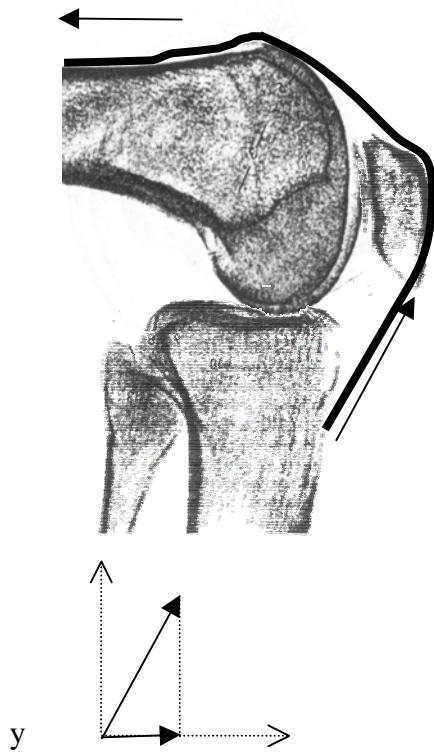
Der Kniescheibe kommt neben allgemeinen Stütz- und Stabilisierungsfunktionen eine mechanische Umlenkfunktion zu. Diese steht im Zentrum unseres zweidimensionalen Modells und soll daher hier kurz erläutert werden.

Um sich diese spezielle Funktion zu verdeutlichen, ist es sinnvoll, zunächst eine hypothetische Situation ohne Kniescheibe zu betrachten.

Der Oberschenkelmuskel wirkt eine rückziehende Kraft in Pfeilrichtung aus (1). Selbst im Idealfall, in dem keinerlei Reibungskräfte über das Knie hinweg angenommen werden, ist die Kraftübertragung am Ansatzpunkt der Sehne (2) besonders ungünstig. Dies zeigt sich auch in unserem Modell, sofern die Kniescheibe heraus genommen ist: es benötigt viel Kraft, um den „Unterschenkel“ aus dieser Position in die gestreckte Position zu bringen. Die Gründe dafür verdeutlicht eine vektorielle Zerlegung der am Schienbeinansatzpunkt wirkenden Kraft in x- und y-Komponenten. Bedingt durch den flachen Winkel der resultierenden Kraft ist der in x- Richtung wirkende Anteil besonders klein. Genau in dieser Richtung muss sich aber der Unterschenkel zunächst bewegen, soll das Bein durchgestreckt werden.



Resultierende Kraft



Setzt man nun im Modell die Kniescheibe ein, muss deutlich weniger Kraft aufgewendet werden. Der Grund dafür zeigt sich in nebenstehendem Schema: Die Kniescheibe, eingelagert in die Patellasehne, verändert den Winkel der Kraftwirkung am Ansatzpunkt am Schienbein. Der steilere Winkel dort hat einen größeren x- Betrag der wirkenden Kraft zur Folge. Somit kann mehr ausgeübte Muskelkraft für die tatsächliche Auslenkung des Schienbeins wirksam werden; der Muskel (oder am Modell: die Schülerin/der Schüler) muss weniger Kraft aufwenden als im Fall ohne Kniescheibe.

## 2. Das Modell

### 2.1 Materialien

Als Auflage:	Sperrholzplatte 30*60*2 cm, überklebt mit Tonkarton
Für das Funktionsmodell:	Sperrholz (weiß furniert) 25*25*2 cm Einweckring Overheadprojektorfolie Nägeln, 2 Kreuzschlitzschrauben, Draht 1 Ösenschraube Akkuschrauber, Stichsäge, Feile
Muskel:	ideal: Federkraftmesser Ersatzweise rotes Gummi

### 2.2 Bau des Modells

Das Röntgenbild der Knochen (s. Anhang) wurde auf die Sperrholzplatte gepast, Oberschenkelknochen, Kniescheibe und Schienbein mittels Stichsäge ausgesägt. Das Wadenbein wurde aus Gründen der Stabilität weggelassen. Die „Gelenkflächen“ wurden so glatt wie möglich gefeilt, um Reibungskräfte zu minimieren.

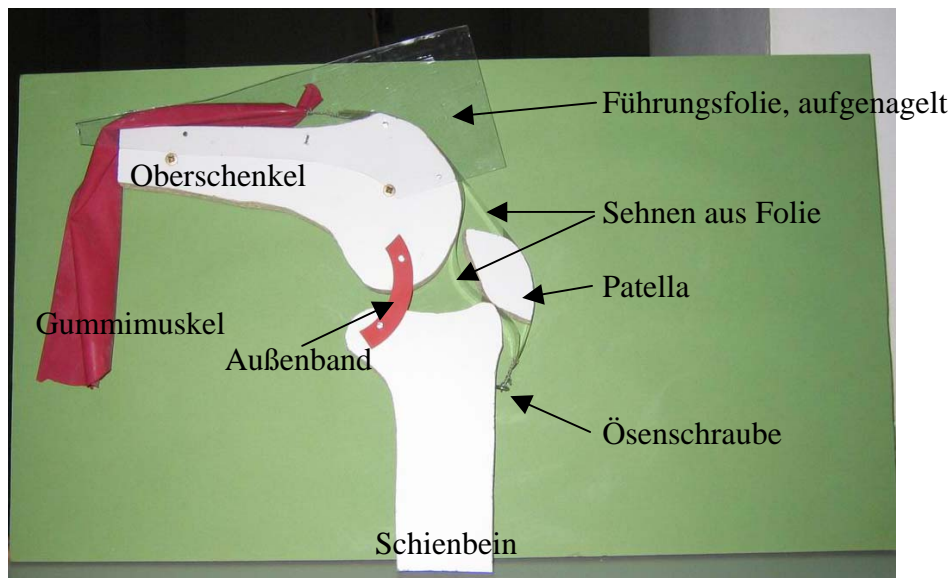
Der „Oberschenkelknochen“ wurde mittels Akkuschrauber auf der Auflageplatte befestigt. Das „Schienbein“ wurde zunächst mit einem „Außenband“ (Einweckring) an der linken Seite locker (Abstand der Knochen in 90° Stellung ca. 2cm, sonst funktioniert es nicht) am „Oberschenkel“ befestigt. Als Sehnenansatzpunkt wurde seitlich eine Ösenschraube in den „Knochen“ gedreht.

Aus der Folie wurden zunächst zwei 1cm breite Streifen geschnitten. Diese wurden an beiden Enden durchstoßen und mit Draht aneinander befestigt. Die eine Seite der so übereinanderliegenden „Sehnen“ wurde mit Draht an der Ösenschraube befestigt, an der anderen Seite am „Muskel“ (Federkraftmesser/ Gummi).

Um zu verhindern, dass die „Sehnen“ während des Ziehens vom „Oberschenkel“ abrutschen, wurde aus dem Rest der Overheadprojektorfolie eine Führung auf den Oberschenkel mittels Nägeln befestigt.



## 2.3 Das fertige Modell



## 2.4 Funktion

Eine Schülerin/ ein Schüler kann zunächst bei herausgenommener Kniescheibe versuchen, das „stilisierte Bein“ durchzustrecken. Zugrichtung beachten: Nur der Zug am Oberschenkelknochen entlang ist erlaubt! Anschließend wird die Kniescheibe eingesetzt und erneut das „Bein“ gestreckt. Man braucht weniger Kraft.

Alternativ kann das Modell auch zur Demonstration durch die Lehrkraft eingesetzt werden. Dann jedoch ist ein Federkraftmesser vonnöten, um die unterschiedlichen Kraftbeträge deutlich darzustellen.

## 3. Diskussion

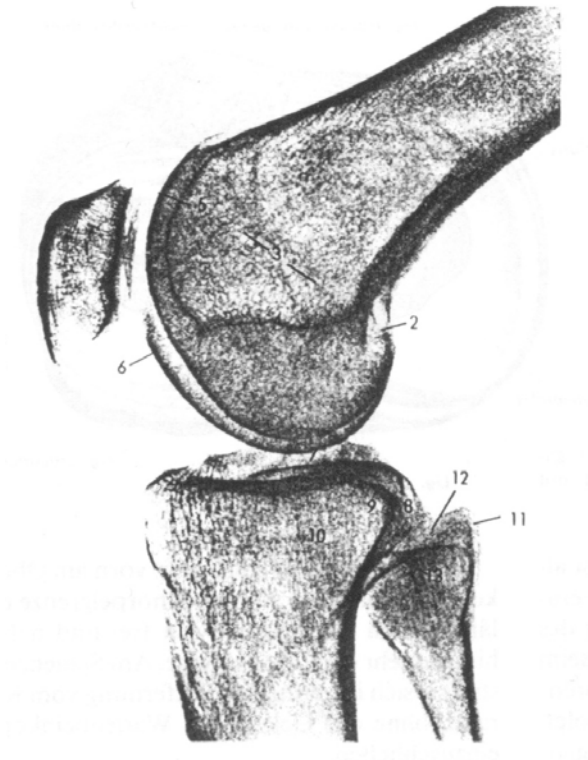
Das Modell eignet sich für die Mittelstufe. Unser Modell funktionierte zu unserer Zufriedenheit, eine Studentin, die als „Versuchsperson“ fungierte, bestätigte die Fühlbarkeit der unterschiedlichen Kräfte. Dennoch war der Effekt nicht allzu deutlich spürbar, da uns leider kein Federkraftmesser zur Verfügung stand. Dieser dürfte jedoch in einer Schule leicht aus der Physiksammlung ausleihbar sein.

Die Herstellung des Modells ist nicht besonders aufwendig, die verwendeten Materialien kostengünstig (Sperrholzplatten, auch lackiert, gibt es als Zuschnittreste im Baumarkt). Der größte Schwachpunkt des Modells ist die grobe Reduktion von Bau und Funktion des Kniegelenks. Fast alle Sehnen wurden weggelassen, dem Modell fehlt Dreidimensionalität. Für eine umfassende Besprechung dieses komplizierten Gelenks reicht das Modell bei weitem nicht aus, es kann lediglich einen kleinen Teilaspekt des großen Komplexes „Knie“ darstellen.

## 4. Anhang

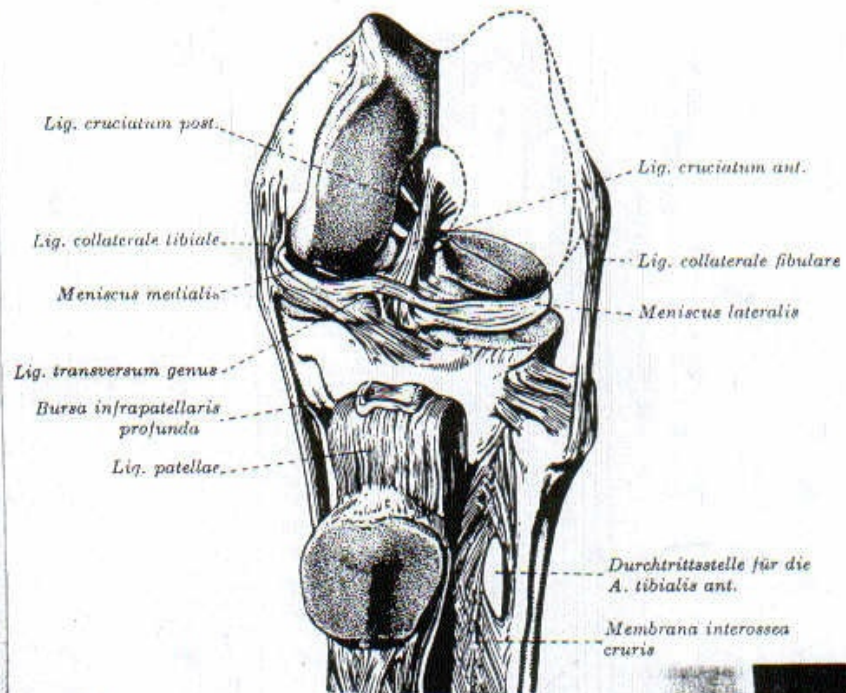
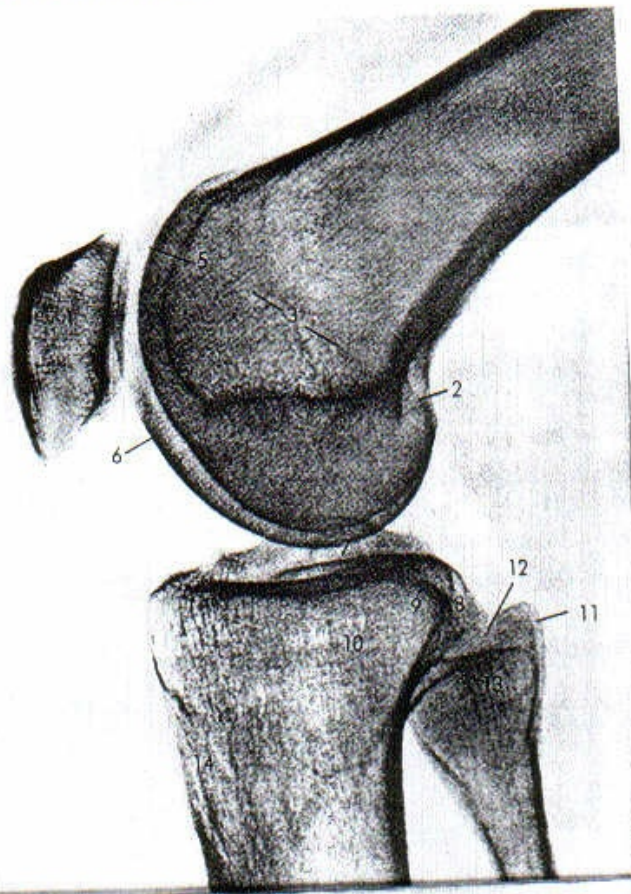
Röntgenbild des Knies zum Größerkopieren und Durchpausen:





Folien zur Verdeutlichung der Theorie:

Makroskopische Anatomie des Bewegungsapparates



▲ Abb. 4.5-33. Linkes Kniegelenk von ventral. Lateraler Femur-Condylus zur Darstellung des lateralen Meniskus nur in Umrissen gezeichnet. Vgl. mit Abb. 4.5-42.

4.5. Untere Gliedmaßen

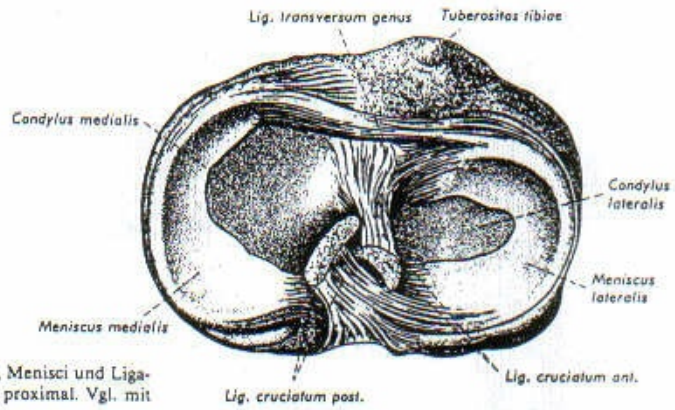


Abb. 4.5-37. Condylen der rechten Tibia, Menisci und Ligamenta cruciata genus in der Ansicht von proximal. Vgl. mit Abb. 4.5-46.

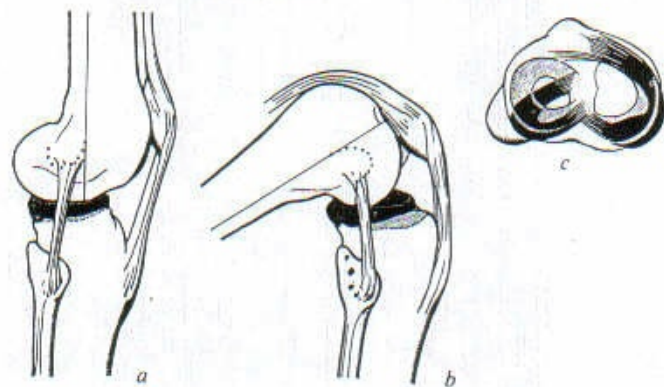
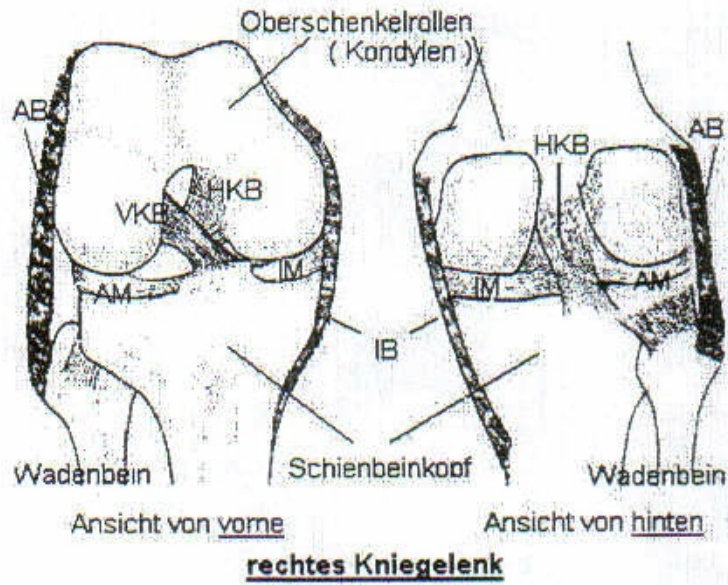


Abb. 4.5-38. a) Rechtes Kniegelenk in Streckstellung von lateral. b) In Beugstellung. c) Aufblick auf den linken Schienbeinteller. Menisci bei Streckstellung punktiert, bei Beugstellung schwarz.

# **Bipedie des Menschen**

## **Funktionsmodell: Gluteus medius beim Laufen**

Berit Baumgarten, Holger Endig, Anja Schaare – Schlüterhof

### **1.Aspekte der Evolution**

Es gibt viele Theorien, wie der aufrechte Gang des heutigen Menschen entstanden ist. Mit hoher Wahrscheinlichkeit kann man heute davon ausgehen, dass dieser im wesentlichen im ausgehenden Tertiär, vor etwa 7 bis 4 Millionen Jahren, entstanden ist. Erst, nachdem der aufrechte Gang als gewöhnliche Fortbewegungsweise ausgeübt wurde, kam es vor allem im anschließenden Pleistozän zur typisch menschlichen Entwicklung von Schädel, Gehirn und Gebiss.

Es ist anzunehmen, dass eine evolutiv zunehmende Körpergröße unsere Vorfahren zwang, sich mehr und mehr an das Leben auf dem Boden anzupassen.

Es erscheint heute auch eher wahrscheinlich, dass sich der aufrechte Gang noch im Wald entwickelt hat, als in der Steppe und Savanne. Die Hypothese, dass das Aufrichten in hohem Steppengras von Vorteil gewesen sei, um nach Fressfeinden Ausschau zu halten, steht auf wackeligen Beinen, da diese Betrachtungsweise sich auf den reinen Umweltaspekt bezieht. Man darf auch nicht den aufrechten Stand und den aufrechten Gang verwechseln. Zu ersterem sind viele Säugetiere fähig, zu letzterem nur der Mensch.

Vielmehr bildet der aufrechte Gang erst die Voraussetzung für einen erfolgreichen Übergang in diesen Lebensraum. Untersuchungen der chemischen Zusammensetzung des Bodens in vielen Teilen Ostafrikas hat ergeben, dass sich die afrikanische Savanne erst vor 3 Millionen Jahren entwickelt hat, lange nachdem es bereits die ersten zweibeinigen Hominiden gab. Die Vorstellung, dass sich die Ausprägung der Bipedie noch im Wald entwickelt hat, bestätigt sich auch heute am Beispiel des Berggorillas, der sich unter allen heutigen Menschenaffen am meisten auf dem Boden, und zwar dem des Regenwaldes bewegt. Die Berggorillas sind in ihrer Konstruktion auch am weitesten auf die biomechanischen Erfordernisse des aufrechten Ganges eingestellt.

Als die Wälder zurückgingen, lagen die in bewaldeten Habitaten vorkommenden Nahrungsquellen wie etwa Obstbäume zu weit auseinander, um von den bisherigen Affen effizient genutzt werden zu können. Mit ihren Händen konnten die menschlichen Vorfahren u.a. Werkzeuge gebrauchen, um leichter Früchte von Bäumen pflücken zu können, mehr Beute transportieren als zuvor und in seichtem Wasser nach Nahrung tasten.

Die zweibeinige Fortbewegungsweise des Menschen ist auch effizienter als die von Schimpansen. Die Gegenbehauptung von Wissenschaftlern der Harvard Universität, lässt sich nicht mehr halten, da sie die Energieeffizienz zweibeiniger Menschen mit vierbeinigen Pferden und Hunden verglichen.

Der aufrechte Gang, könnte letztlich zu einer Steigerung des Fortpflanzungserfolges geführt haben. Die geringen Geburten der Menschenaffen führen u.a. dazu, dass sie vom Aussterben bedroht sind. Schimpansen Weibchen zum Beispiel bekommen ein einziges Kind alle 3-5 Jahre, welches sie alleine aufziehen, wobei sie den Nachwuchs jahrelang mit sich herumtragen. Für die ersten Hominiden könnte die Zweibeinigkeit und ein verändertes Sozialverhalten die Fortpflanzung gesteigert haben.

Abschließend bleibt zu erwähnen, dass die Bipedie ziemlich rasch entstanden sein muss, ansonsten wären unsere Vorfahren vielleicht in der Übergangszeit ausgestorben, da sie eine leichte Beute darstellten.

## **2. Welche Veränderungen des Körpers fanden mit der Entwicklung des aufrechten Ganges im Laufe der Evolution des Menschen statt?**

Die Zweifüßigkeit (Bipedie) bezeichnet die ständig aufrechte Haltung, welche die Hominiden charakterisiert. Fossile Fußabdrücke in Tansania weisen darauf hin, dass der aufrechte Gang bereits vor etwa 3,5 Millionen Jahren bei Australopithecus ramidus (=Wurzel) die Regel war. Die Entwicklung der Bipedie war begleitet von einigen anatomischen Veränderungen. So wanderte z.B. das Hinterhauptloch, die Ansatzstelle der Wirbelsäule am Schädel, von der Schädelbasis nach vorn und sorgte für ein Ausbalancieren des Kopfes. Das Becken ist breit und nach oben erweitert, damit sich die kräftigen Gesäßmuskeln darin einfügen können. Die heutige Form vor allem des weiblichen Beckens stellt einen Kompromiss zwischen der Gebärfähigkeit und dem aufrechten Gehen dar. So war das Becken von „Lucy“ (1974, das erste zu 40 % vollständig gefundene Skelett eines vor 3,18 Millionen Jahren lebenden Australopithecus afarensis – ein echter Hominide) breiter und besser geeignet zum Gehen, jedoch war die Beckenöffnung recht klein. Das Becken des heutigen Menschen ist verbreitert und leicht nach vorn gedreht. Es dient als tragende Schüssel für die Eingeweide. Der Geburtskanal ist außerdem stark vergrößert, eine Veränderung die aufgrund des größeren Schädels des Neugeborenen nötig ist. Eine weitere evolutive Veränderung war die Verkürzung der oberen Gliedmaßen. Die unteren dagegen sind länger und muskulöser. Der Fuß besitzt bei Homo sapiens sapiens kurze, nicht abspreizbare Zehen, so dass er nicht mehr zum Klettern geeignet ist. Der Fuß wird damit zum ausschließlichen Gehwerkzeug.

Ein Vergleich des Oberschenkelhalses eines Schimpansen mit dem des Menschen zeigt einen bedeutsamen Unterschied. Im Querschnitt zeigt der Oberschenkelhals des Schimpansen (Bild 8, Abb. links) eine robuste Knochenmasse mit einer Verstärkungsleiste oben (dort ist ein Vorsprung zu erkennen). Diese Merkmale ermöglichen es dem Oberschenkelhals des Schimpansen beim Klettern und Springen den hohen Biegebelastungen standzuhalten. Da der Mensch (Bild 8, Abb. Mitte) diese Merkmale zum Überleben nicht braucht, besitzt der Oberschenkelhals nur eine dünne Knochenrinde. Damit eignet er sich nur für Beanspruchungen beim aufrechten Gang und Laufen, solange die Abduktoren dem Zug im oberen Bereich des Halses entgegenwirken. Der fossile Oberschenkelhals von Lucy (Bild 8, Abb. rechts) weist dasselbe Gefüge wie der des heutigen Menschen auf. Offenbar war er auch ausschließlich für das Gehen auf zwei Beinen ausgelegt.

Bevor der Mensch jedoch aufrecht auf zwei Beinen zu gehen begann, waren seine Bewegungsmöglichkeiten noch eingeschränkt. Sein Bewegungsapparat konnte sich nur nach rechts und links, vorwärts und rückwärts entfalten. Mit dem aufrechten Gang kam eine neue Dimension dazu, denn Bewegungen konnten nun zusätzlich nach oben und unten gerichtet werden. Das machte einen äußerst präzisen Gleichgewichtssinn notwendig.

### **Funktion des Gluteus medius:**

#### **Theorie der Funktion:**

Der Gluteus medius erleichtert uns das Laufen. An unserem Modell werden wir euch nun vorstellen, wie er funktioniert und welche Rolle er beim Laufen übernimmt.

Der Gluteus medius stellt eine Verbindung zwischen dem Darmbein und dem Oberschenkelknochen her. Dabei greift er an der äußeren Seite des Knochens an. Durch eine Kontraktion des Muskels verkürzt sich der Abstand zwischen dem Darmbein und dem Oberschenkelknochen. Da sich aber der Knochen in einem Kugelgelenk befindet, das seitlich vom Knochen wegsteht, kommt es bei dieser Kontraktion zu einer Bewegung des Beckens auf



den Knochen zu. Der Beckenknochen senkt sich auf der Seite, wo sich der Muskel kontrahiert.

Durch diese Bewegung kommt es auf der anderen Seite zu einer Aufwärtsbewegung des Darmbeins. Dadurch wird der Oberschenkel entlastet und hebt sich vom Boden. Zum Gehen müssen wir nun nur noch das entlastete Bein nach vorne setzen.

### **Bauanleitung des Modells:**

Man benötigt:

- 1 Holzkleiderbügel,
- 2 Rund- oder eckige Hölzer,
- Gummiband,
- Nägel, Ringschrauben, Krampen

Zuerst entfernt man von dem Kleiderbügel den Metallaufhänger. Anschließend verschraubt man die Hölzer mit dem Bügel so, dass sie noch beweglich sind. Dann verbindet man die Hölzer mit dem Gummiband seitlich mit dem Bügel.

### **Funktion des Modells:**

Man verkürze den Muskel auf der einen Seite, wodurch sich der Oberschenkel auf der anderen Seite vom Boden abhebt.



## **4. Kritik**

Nachdem der Versuch vorgestellt und vorgeführt wurde, kam es zu einer Diskussion über den Inhalt des Vortrages und über das Modell. So fragte ein Student nach dem evolutiven Vorteil der Bipedie für den Menschen, da die Vorfahren auf Bäume klettern konnten um so Fressfeinden zu entkommen. Generell spielt hier der Sozialaspekt eine vorrangige Rolle, denn die Menschen bildeten verstärkt Gemeinschaften und gingen gemeinsam auf die Jagd. Im Gegensatz zu ihren Vorfahren nutzten die „modernerer“ Menschen mehr als eine Fressquelle und hatten durch den aufrechten Gang die Arme frei um Beute zu erlegen und die Kinder festzuhalten, wogegen die Mütter der Vorfahren ihre Jungen über einen längeren Zeitraum hinweg am Körper tragen mussten und so bei der Nahrungssuche erheblich eingeschränkt waren. Bezüglich der Anatomie kam die Frage, ob denn alle evolutiven Veränderungen vorteilhaft waren. Dieser Einwand muss verneint werden, denn bei Lucy war das Becken bezüglich des aufrechten Ganges besser entwickelt, denn der Hebel konnte besser genutzt werden. Da Kinder heutzutage einen größeren Kopf haben, musste der Hebel als Kompromiss zur besseren Gebärfähigkeit wieder verkleinert werden.

Im Allgemeinen wurde das Modell gut angenommen, da es die Kernaussage wiedergibt und den Muskel gut nachahmt. Außerdem zeige das Modell kurz und schnell das Wichtigste und hat einen hohen Wiedererkennungswert für die Schüler, da es gebräuchliche Gegenstände verwendet und somit für die Schüler leicht nachzubauen ist. Als Nachteile des Modells wurden genannt, dass die Kontraktion des Muskels nicht gut nachzuahmen war und man dies vielleicht besser durch das Drehen eines Stiftes darstellen sollte. Diese Methode hatten wir zuvor jedoch schon ausprobiert und als weniger sinnvoll empfunden. Ein weiterer Vorschlag, über den wir zuvor auch schon nachgedacht hatten, war, das Theraband durch eine Spirale zu ersetzen um so die Kontraktion, d.h. das Zusammenziehen des Muskels, besser darstellen zu können. Eine Studentin äußerte die Kritik, dass das Verstehen von Kontraktion für eine jüngere Jahrgangsstufe zu schwer sei. Dies wurde jedoch von mehreren widerlegt, da man Kontraktion mit der Verkürzung des Muskels anhand des Bizepses erklären könnte.

## Hebelwirkung des Kiefergelenks

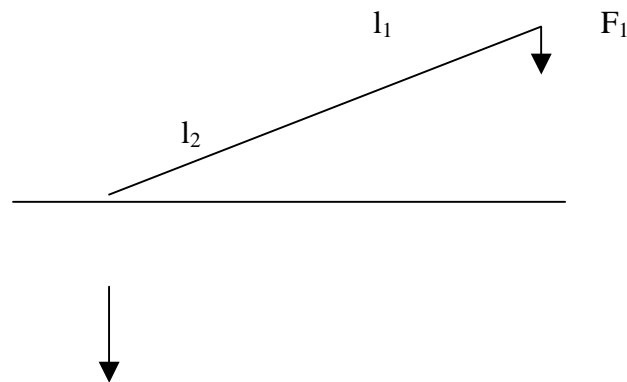
Brandt, Sabrina; Wallenstein, Kathrin; Schmitz, Jessica

### **Theoretische Einleitung:**

#### Definition Hebel:

Ein Hebel ist ein starrer Körper, der relativ frei beweglich um eine Achse ist. Die Achse befindet sich an einem definierten Platz.

Der klassische Fall ist der zweiarmige Hebel:



Es gilt:

$$W = F_1 \cdot l_1 = F_2 \cdot l_2$$

W=	Arbeit
F=	Kraft
L=	Länge

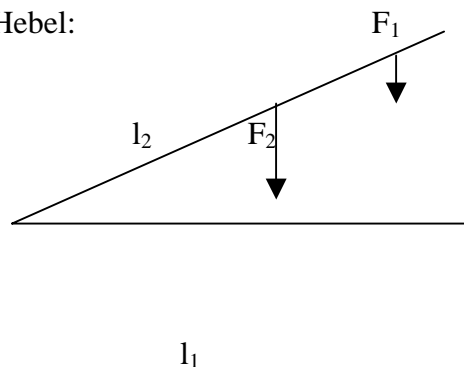
Die Arbeit W bleibt immer konstant.

Im Kiefergelenk liegt ein einarmiger Hebel vor, für den gelten die Hebelgesetze in der oben genannten Form ebenfalls. Im Körper sind die Zusammenhänge aber viel komplizierter, als in



dieser vereinfachten Darstellung, da die Muskeln nicht nur senkrecht Kraft ausüben, sondern auch in andere Richtungen.

einarmiger Hebel:



Im Falle des Kiefergelenks bleibt die Muskelarbeit konstant, damit man die resultierenden Kräfte vergleichen kann.

### **Schulbezug**

Als Einführung in das Thema kann man gemeinsam mit den Schülern überlegen, warum der Mensch z.B. Möhren oder Fleisch mit den hinteren Zähnen zerkaut. Das Prinzip der Hebelwirkung im gelenknahen und gelenkfernen Bereich kann auch durch einen Nussknacker verdeutlicht werden. Befindet sich die Nuss in der Nähe des Gelenks, lässt sie sich leichter knacken.

Die Hebelgesetze sind für das Verständnis der Hebelwirkung des Kiefers sehr wichtig. Im Physikunterricht werden die Hebelgesetze in der 8. Klasse behandelt. Man könnte sich z.B. mit dem Physiklehrer der Klasse absprechen und das Thema im Anschluss behandeln. Ansonsten müsste man mit den Schülern die Hebelgesetze besprechen. Vielleicht können die Schüler ja sogar den spannungsgesteuerten Oszillator im Physikunterricht selber bauen.

Im Allgemeinen kann man sagen, dass das Modell für Schüler ab der 8. Klasse geeignet ist.

Man sollte die Schüler darauf aufmerksam machen, dass es sich nur um ein Modell handelt. Unser Modell ist nur zweidimensional, hat keine Backenzähne bzw. Schneidezähne, es gibt keine Muskeln und der Kiefer kann nur auf und zu klappen.

Man könnte statt des spannungsgesteuerten Oszillators Mäusespeck oder auch Knete benutzen.

### **Herstellung des Kiefergelenk-Modells:**

Eine Skizze der Bestandteile des Kiefergelenkes befindet sich im Anhang. Zunächst wurden die Kieferknochen (1 und 2) aus Sperrholz ausgesägt. An den Stellen 3 und 4 wurden sie

durch einen Nagel verbunden, dessen Spitze mit einer Reißzwecke abgesichert wurde. Hinter die unteren Zähne wurden zwei ebenso große Holzstücke geschraubt, die dann die Bissfläche für die oberen Zähne darstellten. Um einen konstanten Druck beim Zusammenbeißen herzustellen, wurde zwischen die Stellen 5 und 6 ein Terraband (Gymnastikband) mit Reißzwecken gespannt. Da der verwendete voltabhängige Drucksensor nur eine kleine Druckmessfläche hatte, mussten auf die Kauflächen kleine Gummistücke aufgeklebt werden. Dabei war darauf zu achten, dass die Bisshöhe und Fläche an beiden Zähnen gleich hoch war.

### **Vorführung:**

Zunächst wurden anhand eines Modells eines menschlichen Schädels die Knochen des Kiefergelenkes zugeordnet. Um zu zeigen, dass bei konstanter Kraft beim Zusammenbeißen (eine Spannung des Terrabandes) von dem hinteren Zahn mit dem kürzeren Hebelarm mehr Kraft ausgeübt wird, wurde der Drucksensor erst zwischen die hinteren, dann zwischen die vorderen Zähne gespannt. Dies kann bei dieser Modellgröße gut auf dem Overheadprojektor vorgeführt werden. Statt des Drucksensors wäre auch der Einsatz von weichen Lebensmitteln wie etwa Schaummäusen, Knetgummi usw. denkbar.

### **Beobachtung:**

Der von dem Oszillator des voltabhängigen Druckmessgerätes erzeugte Ton hatte beim hinteren Zahn eine höhere Frequenz als beim vorderen.

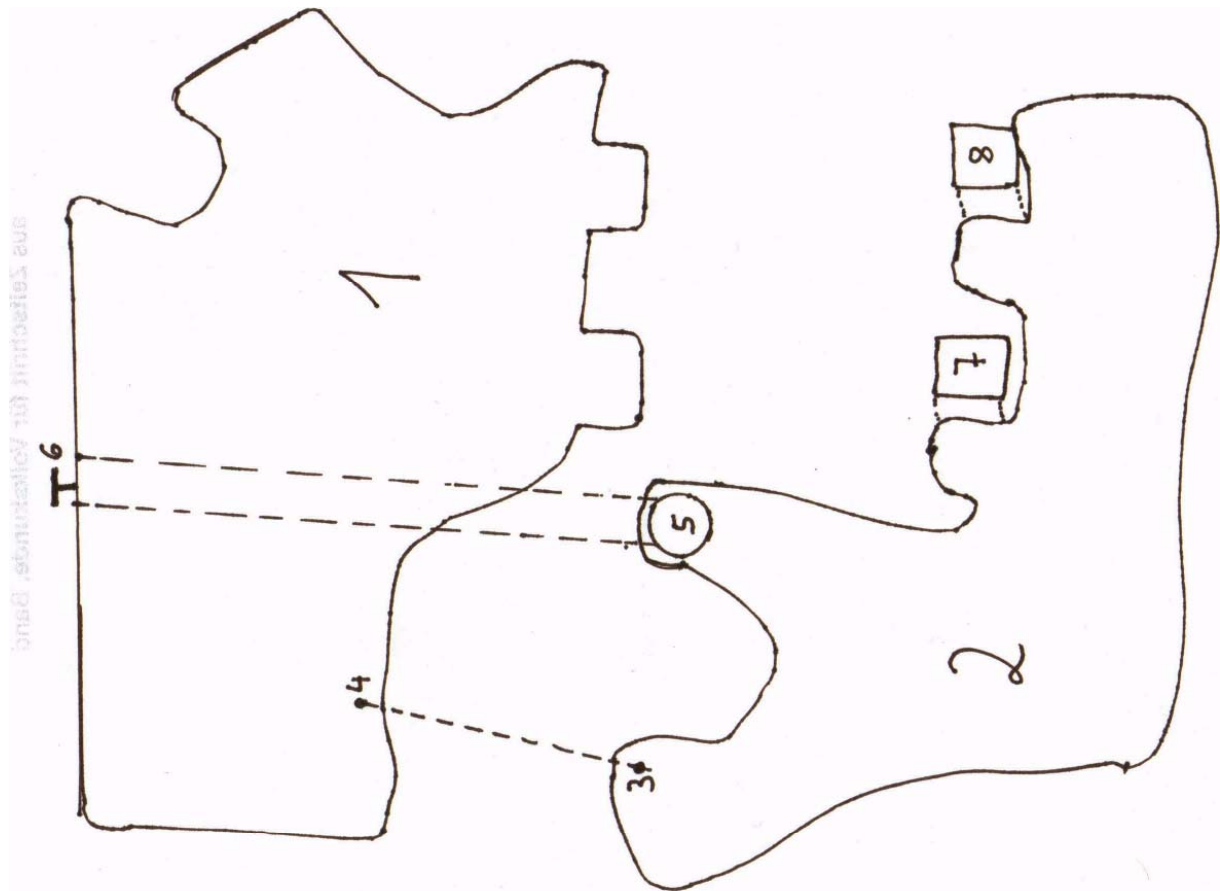
### **Kritik und Anregung:**

Unser Modell ist nur zweidimensional. Es hat keine Backenzähne bzw. Schneidezähne. Es gibt keine Muskeln, und der Kiefer kann nur auf und zu klappen und keine Seitwärtsbewegungen machen. Dieser Unterschied sollte mit den Schülern besprochen werden.

Der Befestigungspunkt zwischen 3 und 4 gab seitlich nicht genügend Stabilität. Dort könnte mit einer größeren Durchbohrung und einem größeren Bolzen, der nach außen mit Muttern gesichert wird, mehr Stabilität erreicht werden. Bei einem größeren Modell wäre auch am Ende des Gelenkes ein Scharnier denkbar.

Statt der aufgeklebten Gummistücke könnten auch kleine Nägel vorsichtig in die Kauflächen eingeschlagen werden. Damit würde man eine ausreichend kleine Druckfläche für den Drucksensor erreichen, und das Problem, dass die Gummistücke nicht so gut halten, wäre gelöst.

Anhang:



## Sinnesorgan-Modelle

### \*\*Modell: Mittelohr / Gehörknöchelchen:

S. Mahlmann, Tanja; Sturmfels, Antje; Rechenberg, Leif-Erich

### Modelle zum Thema Ohr für die Klasse 7 + 8



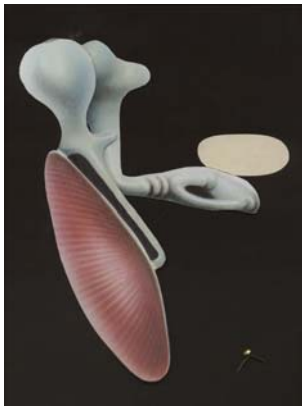
Springform

A:



Fimomodell

C:



Pappmodell

B:

### A: Bewegung des Trommelfells und der Gehörknöchelchen

Ziel: Die Schüler sehen, dass Schall in der Lage ist das Trommelfell und die Gehörknöchelchen zu bewegen

**Material** :Springform, Klarsichtfolie, Fotokarton, Spiegelfolie, Tesafilm, Verstärker, Lautsprecher, Laserpointer

**Durchführung:** Eine Springform wird mit Klarsichtfolie bespannt, die Gehörknöchelchen werden aus Fotokarton nachgebaut und auf der Folie befestigt (der Hammer wird an der Oberseite mit einem kleinen Streifen Tesafilm fixiert). Durch ein Stück Spiegelfolie auf der Klarsichtfolie und durch einen darauf gerichteten Laserpointer kann die Bewegung der Membran beim Beschallen mit Musik verdeutlicht werden.

**Kritik:**

- die Bewegung der Knöchelchen ist nicht so gut zu erkennen → durch den Overheadprojektor kann die Bewegung als Schattenspiel an der Wand dargestellt werden
- die Folie schwingt bei einer bestimmten Resonanzfrequenz (tiefen Tönen) am besten → es ist nicht sinnvoll dieses Problem in den Klassenstufen 7 + 8 anzusprechen
- die Größenverhältnisse von Trommelfell und Gehörknöchelchen stimmen in diesem Modell nicht → damit überhaupt eine Bewegung der Knöchelchen zu erkennen ist, müssen die Größenverhältnisse im Modell abgewandelt werden, anhand eines zweidimensionalen Pappmodells können die richtigen Größenverhältnisse gezeigt werden

## **B: Pappmodell der Gehörknöchelchen**

Ziel: Die Schüler sollen verstehen, dass zur Vermeidung von Reflexionsverlusten im Mittelohr eine Impedanzanpassung vorgenommen werden muss. Am Modell können sie sehen wie diese zustande kommt. Außerdem ist anhand des Modells zu erkennen, dass das Gelenk zwischen Hammer und Amboss in sich nicht beweglich ist und dass der Drehpunkt der Knöchelchen in diesem Gelenk liegt – eine Musterbeutelklammer (Klammer zum Verschließen von Briefen) unter dem Gelenk ermöglicht die Bewegung.

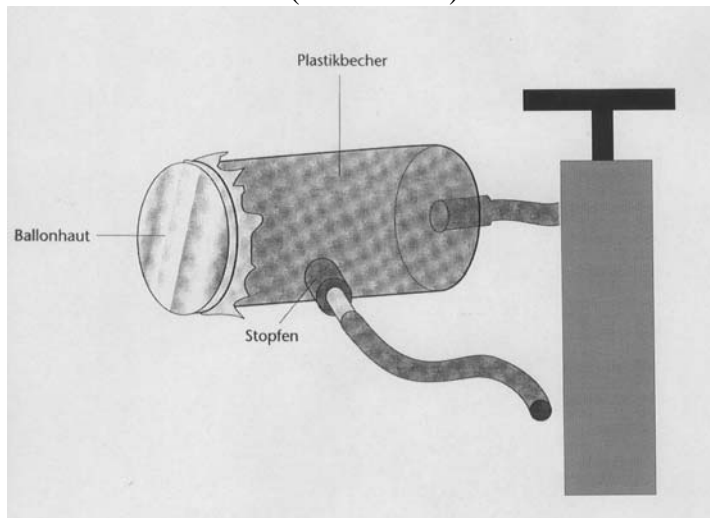
**Theorie: Außenohr und Paukenhöhle sind mit Luft, das Innenohr mit den darin befindlichen Sinneszellen mit Lympflüssigkeit gefüllt. Bei der Übertragung der Schwingungen vom Außenohr zum Innenohr findet ein Wechsel des schalleitenden Mediums statt. Theoretisch würden, aufgrund der unterschiedlichen Schallwiderstände (Impedanzen) der beiden Medien an der Grenzfläche zwischen Luft und Flüssigkeit etwa 98 % der auftreffenden Schallwellen reflektiert und somit für den Hörvorgang verloren gehen. Dieser Reflexionsverlust wird durch zwei Mechanismen verhindert:**

- **die Trommelfellfläche ist 17 Mal größer als die Fläche des ovalen Fensters → der durch die Steigbügelplatte auf das ovale Fenster ausgeübte Druck ist dementsprechend größer**
- **durch das Hebelsystem der Gehörknöchelchen wird die Kraft der Steigbügelplatte zusätzlich um den Faktor 1,3 verstärkt**

**Kritik: Unser Pappmodell ist nicht maßstabsgerecht gebaut → wenn die Schüler selbst die Größenverhältnisse ausmessen sollen, muss das Modell maßstabsgerecht sein**

## **C: Dreidimensionales Modell der Gehörknöchelchen**

Ziel: Die dreidimensionale Form der Gehörknöchelchen soll verdeutlicht werden - Modell besteht aus Fimo soft (Bastelladen) und wurde im Backofen gebrannt.





### **Literatur:**

1. Biologische Grundversuche S I , Band 2, Zoologie, Humanbiologie, Christian Wendel, Aulis Verlag Deubner
2. Biologie Heute G, Lehrerhandbuch für den Sekundarbereich I, Band 1, Schroedel Verlag
3. Unterricht Biologie, Gehör und Gleichgewicht, Heft 157, Sept. 1990
4. Unterricht Biologie, Lärm, Heft 70, Juni 1982

Die Bücher und Zeitschriften gibt es alle in der Fachdidaktik Bibliothek im Waldweg.

### **D: Druckausgleich im Innenohr**

**Ziel: Der Druckausgleich durch die Eustachische Röhre soll verdeutlicht werden.**

**Material:** ein durchsichtiger Plastikbecher, ein Luftballon, ein kurzer Schlauch und eine Luftpumpe

Durch Hineinpumpen von Luft durch die Luftpumpe (Trommelfell) erhöht sich der Innendruck im Becher (Paukenhöhle). Der Druck kann bei geöffnetem Schlauch (Eustachische Röhre) entweichen. Bei geschlossenem Schlauch führt die Druckerhöhung dazu, dass sich die Luftballonhaut (ovales Fenster) nach außen wölbt. Wird der Schlauch dann geöffnet, führt dies zu einem Druckausgleich, so dass sich die Luftballonhaut wieder entspannt. Wird Luft aus dem Becher hinaus gepumpt, wird ein Unterdruck erzeugt. Bei geschlossenem Schlauch wölbt sich die Luftballonhaut nach innen.

### **E: Orientierung durch das Labyrinth**

**Ziel: Die der Wahrnehmung von Beschleunigungs- und Drehreizen zugrunde liegenden Prinzipien (Lageverschiebung von Sinneszellen sowie Trägheitsverhalten von Flüssigkeiten) werden in diesem Versuch veranschaulicht – siehe auch Protokoll zum Gleichgewichtssinn**

**Material:** ein Drehteller, eine große, runde flache Form, ein langer Plastikstreifen, Gewebeklebeband

**Durchführung:** Der Plastikstreifen wird mit dem Klebeband so am Rand der Form befestigt, dass er nicht den Boden berührt, die Form wird dann mit Wasser gefüllt. Der Plastikstreifen sollte bedeckt sein. Anschließend wird die Form auf den Drehteller gestellt (feuchtes Tuch unterlegen) und der Teller gedreht.

**Theorie:** Die drei Bogengänge sind in die drei Ebenen des Raumes ausgerichtet und haben an ihrer Basis jeweils eine Verdickung, die als Ampulle bezeichnet wird. In jeder Bogengangsampulle steht eine Gruppe Haarzellen, deren Sinneshaare in eine gallertartige Masse ragen, die Cupula.

Bei einer Linksdrehung der Schale wird das Plastikstück (Cupula) nach rechts abgelenkt. Da das Wasser (Endolymphe) der schnellen Drehung der Schale (Körper/ Kopf) nicht so schnell folgen kann, drückt es gegen das feststehende Plastikstück. Bei gleichmäßiger Drehung richtet sich das Plastikstück allmählich in „Normallage“ aus. Bei Richtungsänderung erfolgt eine Ablenkung in Gegenrichtung, allerdings mit zeitlicher Verzögerung.

## **F: Richtungshören**

**Ziel:** Das Richtungshören soll untersucht werden, **Material:** ein ca. 2 m langer Gartenschlauch – siehe Biologische Grundversuche S I, Band 2, Versuch S 118

### **Internetseiten:**

- [http://www.dasp.uni-wuppertal.de/ars\\_auditus/physiologie/inhaltphysio.htm](http://www.dasp.uni-wuppertal.de/ars_auditus/physiologie/inhaltphysio.htm) (schöne Seite zur Physiologie des Ohrs)
- [http://www.mechb.uni-stuttgart.de/research/biomechanics/middle\\_ear/middle\\_ear\\_de.php](http://www.mechb.uni-stuttgart.de/research/biomechanics/middle_ear/middle_ear_de.php) (Simulation der Gehörknöchelchenbewegung)

## **Modell eines Ciliarmuskels**

Von Alexandra Frey, Sibylle Krause, Nadine Kohlmorgen

### A Einleitung:

Der Ciliarmuskel ist ein Ringmuskel um die Linse im Auge, der die Akkomodation bewirkt. Die Linse ist an den Zonulafasern aufgehängt. Bei Nahakkommodation kontrahiert der Ciliarmuskel und zieht den Rand der Chorioidea in Richtung Linse, wodurch die Zonulafasern entlastet werden und die elastische Linse rund wird. Die dickere, runde Linse besitzt eine größere Brechkraft als eine abgeflachte Linse und kann somit nahe Objekte scharf stellen. Bei Fernakkommodation wird die Linse abgeflacht, indem der Ciliarmuskel erschlafft und die Chorioidea und Sklera zurückgezogen werden und so die Zonulafasern und damit auch die Linse spannen.

### B Versuchsbeschreibung:

#### Materialien:

ca. 0,5 cm dicker, ummantelter Draht (Gartenzubehör)

2 Drahtseilklemmen (Baumarkt)

Watte

elastischer Stoff (z.B. Badeanzug)

Nähgarn

breites Gummiband

„Augen“/Ösen (Nähbedarf, dazu gehören Haken)

festes Band

#### Geräte:

Nadel, Schere, Heißklebepistole

#### Aufbau:

Zunächst werden aus dem elastischen Stoff zwei Kreise von ca. 20 cm Durchmesser ausgeschnitten.

Die zwei Kreise werden am Rand zusammengenäht bis nur noch eine kleine (ca.5 cm) Öffnung bleibt.



Das Ganze wird umgestülpt und prall mit lockerer Watte gefüllt, damit keine Knoten entstehen. Anschließend wird der entstandene Ball zugenäht.

Um die Naht wird das breite Gummiband genäht und an diesem werden in regelmäßigen Abständen die „Augen“ genäht.

Der Draht wird in Kreisform gebogen und mit zwei Drahtseilklemmen fixiert, so dass er ineinander verschoben werden kann.

An den „Augen“ werden Bänder befestigt, die stramm an den Draht gebunden werden, wenn dieser seinen größten Umfang besitzt.

Die Bänder werden am Draht mit der Heißklebepistole fixiert.

Ist der Draht auseinandergezogen sind die Bänder gespannt und der Ball in der Mitte (die Linse) wird auseinandergezogen. Wird der Draht ineinandergeschoben, erschlaffen die Bänder und der Ball sollte sich wieder zusammenziehen.

### C Fragen zum Modell

a.) Eignung des Modells als Erklärung für ein biologisches Prinzip?

Das von uns hergestellte Modell zum Ciliarmuskel zeigt das mechanische Prinzip des Auges, spezieller der Linse, für die Fern- und Nahakkommodation.

b.) Welche sachlichen Schlussfolgerungen aufgrund des Modells sind möglich?

Bei der Fernakkommodation wird der Ciliarmuskel völlig entspannt. Die Zonulafasern werden gespannt und somit wird die Linse flacher.

Bei der Nahakkommodation kontrahiert sich der Ciliarmuskel und der Zug am Linsenrand wird vermindert, die Linse geht in eine kugelige Form über.

c.) Welche Überleitung zur folgenden Thematik/ Unterrichtseinheit wäre möglich?

Bei der Behandlung der Thematik der Sinnesorgane sollte das von uns hergestellte Modell nicht fehlen.

d.) Welche Voraussetzungen im fachlichen Wissen sind erforderlich?

Bevor dieses Modell zum Einsatz kommt, sollte das Auge bereits besprochen worden sein. Das Modell sollte also eher für die Vertiefung des Gelernten, über das Auge, dienen und gleichzeitig für ein besseres Verständnis durch Anschaulichkeit sorgen.

e.) Eignung des Modells für welche Altersstufe/n?

Das Auge wird in der 8. Klasse besprochen. Das von uns gebaute Modell kann in dieser Altersstufe verwendet werden.

f.) Kritik am Modell (z.B. Realitätsnähe?)

Unser Modell stellt nur die mechanischen Aspekte der Linse dar, nicht aber die optischen Prinzipien, wie z. B. die Veränderung der Brechkraft der Linse.

Von einer großen Realitätsnähe kann nicht gesprochen werden, da unsere Linse aus Badeanzugstoff und Watte hergestellt wurde. Unser Modell erfordert also ein gewisses Abstraktionsvermögen der Schüler.

### D Dokumentation der Verbesserungsvorschläge aus der Diskussion und als Konsequenz: eigene Verbesserungsvorschläge

Anstelle von Watte könnte man auch einen Luftballon in den vernähten Badeanzugstoff überführen.

Es besteht die Möglichkeit, dass die Abflachung der Linse mit Hilfe des Luftballons noch stärker sichtbar wird. Vor jeder Stunde müsste jedoch der Luftballon neu aufgepustet werden bzw. der alte Luftballon durch einen Neuen ersetzt werden.

Auf den Luftballon kann auch punktuell Kreppband geklebt werden und das Kreppband kann mit den Fäden zu dem Ciliarmuskel (zu dem Draht) verbunden werden. Diese Technik hat bei uns nicht funktioniert, wurde jedoch von einer anderen Gruppe bereits ausprobiert und als umsetzbar beschrieben. Unsere Kritik ist jedoch, dass ein Luftballon sehr leicht kaputt geht und das Modell nicht lange haltbar ist.

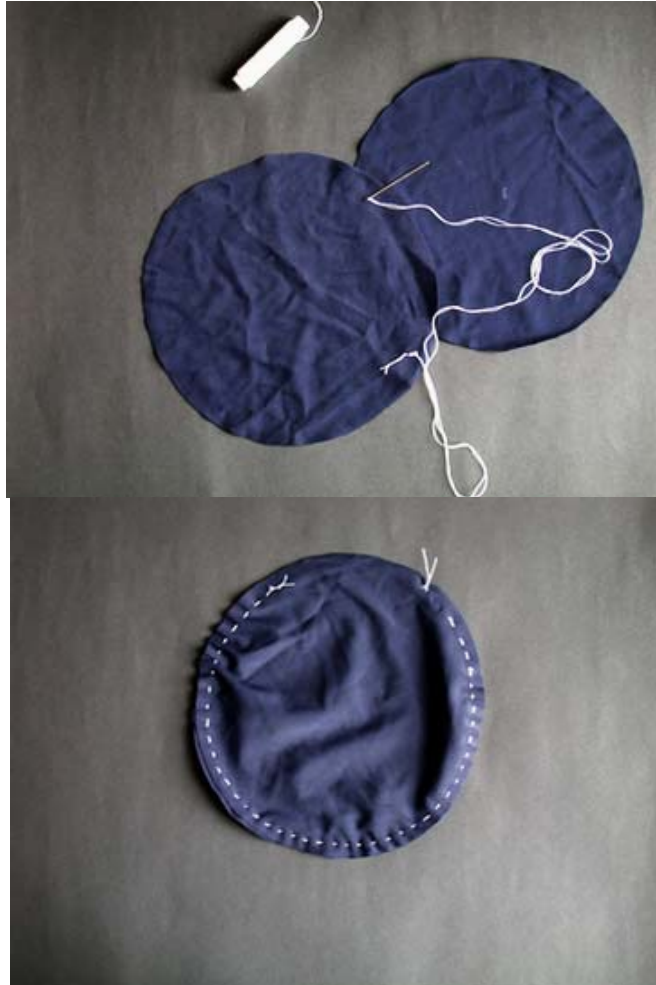
Der Luftballon könnte außerdem in eine Plastiktüte überführt werden, so dass die Fäden, welche die Zonulafasern darstellen an der Tüte ansetzen und den Luftballon (also die Linse) in seiner Form verändern. Diese Idee wurde von uns nicht umgesetzt, da die Tüte uns zu realitätsfern erschien.

Das Modell geht nicht auf die Brechkraft der Linse ein. Es bestanden Ideen, die Brechkraft mit Hilfe des Overheadprojektors zu zeigen. Dazu könnte man einen mit Wasser gefüllten Luftballon verwenden oder eine Tüte mit Gelatine füllen, um zwei Medien mit unterschiedlicher Brechkraft zu erhalten (z.B. Luft und Wasser). Diese Ideen wurden von uns aber ebenfalls nicht weiter verfolgt.



Auswahl des „geeigneten“ elastischen Materials zur  
kreisförmiger Stücke mittels einer Schablone  
Herstellung der Linse

Zuschneiden



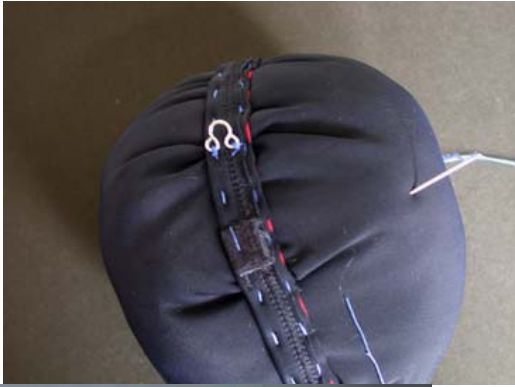
Zusammennähen der beiden runden Stoffstücke wobei eine Öffnung zur späteren Befüllung ausgespart wird.



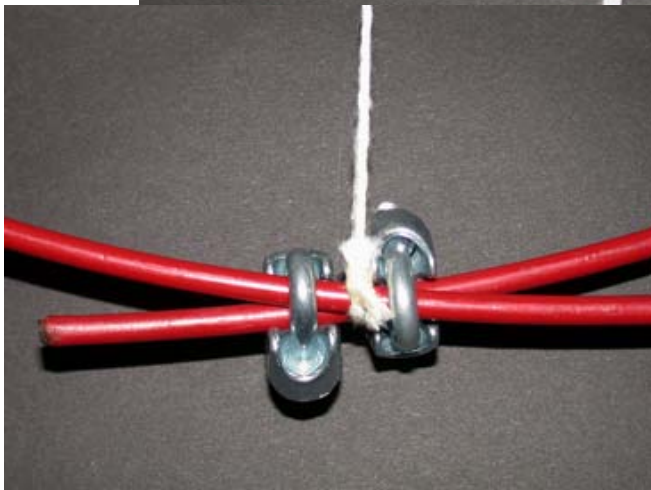
Füllung der Stoffkugel (Linse) mit Watte



Schließen der Füllöffnung

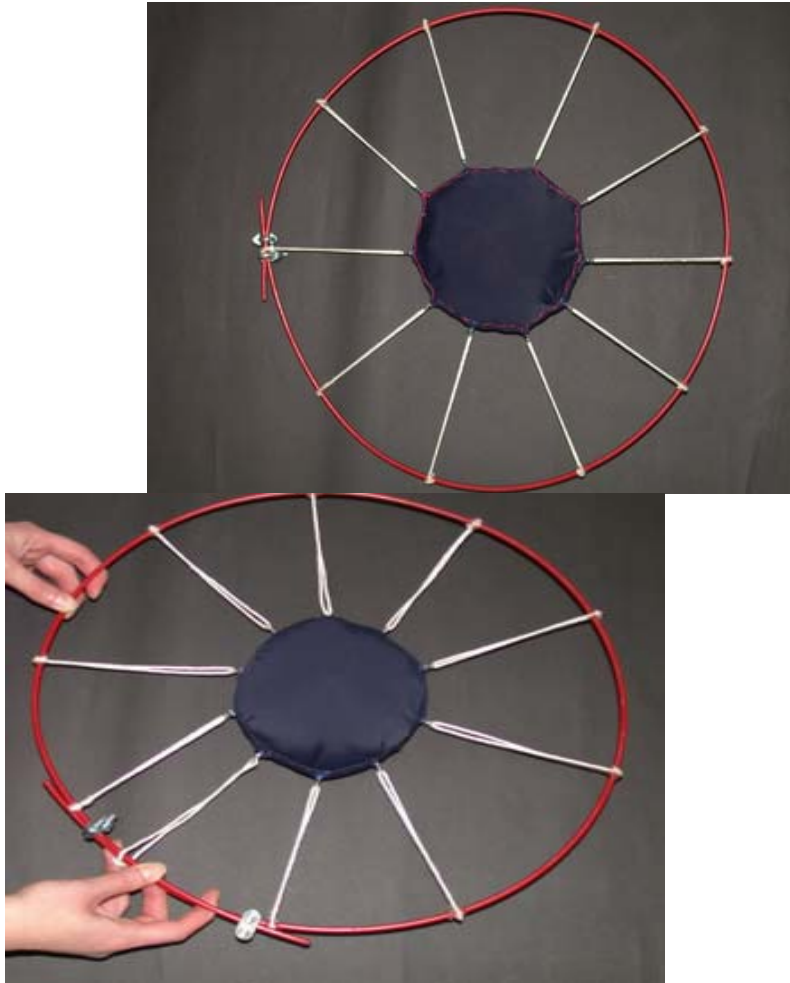


Umnähen der Stoffkugel mit einem elastischen Band, Herstellung des Drahtgestells, das den Muskel darstellt  
Annähen von Haken zur Aufhängung an den Muskel aus einem starken Draht und Verbindungsschellen



Befestigung der Fäden (Zonulafasern) an der Stoffkugel (Linse)  
am Drahtgestell mit einer Heißklebepistole

Befestigung der Fäden



Modell: Muskel entspannt, Zonulafasern gespannt, Linse abgeflacht  
Modell: Muskel kontrahiert, Zonulafasern entspannt, Linse rund

## „Funktionsmodell des Gleichgewichtsorgans mit Sensor“

Tobias Grams, Merle Schlichte, Anja Weinrich

### Einleitung

Das Ohr umfasst sowohl das Hör- als auch das Gleichgewichtsorgan. Es gliedert sich (*Abb. 1*) in das äußere Ohr (ä.O.), Mittelohr (M.o.) und Innenohr (I.o.). Das ä.O. und das M.o. wird als schallleitender Apparat bezeichnet, das I.o. ist das Hörorgan im engeren Sinn. Die Hauptbestandteile des I.o. ist zum ersten der Vorhof, als Gleichgewichtsorgan, und zum zweiten die Schnecke, die den Teil des Hörorgans darstellt der die Sinneszellen enthält.

Beides befindet sich innerhalb des Schädelknochens auf dem Schädelboden (*Abb. 2*) in der bindegewebsartigen Hülle des häutigen Labyrinths.

Der Gleichgewichtssinn befähigt die Tiere und Menschen sich im Raum zu bewegen und zu orientieren. Dafür codiert er die Lage des Körpers im Raum und schickt diese Informationen ans Zentralnervensystem.

Im Folgenden ist eine theoretische Abhandlung zum Gleichgewichtsorgan beim Menschen und bei Invertebraten zu finden, sowie Ausführungen zu einem Modell, das die Verhältnisse beim Menschen widerspiegelt.

## Theorie

In unserem Versuchsaufbau beschränken wir uns auf die Maculaorgane (Sacculus und Utriculus). „Die Maculaorgane liegen im zentralen Raum des Labyrinths. Sie bestehen aus 2 Sinnesfeldern von ca. 1mm Durchmesser. Eines davon befindet sich im [Utriculus] (Macula utriculus) und eines im Sacculus (Macula sacculi)“ (*Quelle (1b)*)

### 2.1. Gleichgewichtssinn beim Menschen

Bei den meisten Säugern, so auch bei den Menschen, ist der Gleichgewichtsapparat im Innenohr lokalisiert. Welches aus einer ektodermalen Einstülpung entstand und mit dem Seitenlinienorgan der Fische verwandt ist. Der Gleichgewichtssinn befindet sich hinter dem ovalen Fenster und besteht aus dem Sacculus, dem Utriculus und den drei Bogengängen (*Abb. 3*). Dieser Sinn dient dem Gleichgewicht, aber auch der Orientierung im Raum. „Um dieser Aufgabe zu genügen, werden neuronal mehrere Informationen miteinander verrechnet, die alle zum Gleichgewicht beitragen.“ (*Quelle (1a)*) Dies ist der Unterschied zu anderen Sinnen, so dienen beim Sehsinn allein die Photorezeptoren der Wahrnehmung.

Beim Gleichgewichtssinn bzw. zur Orientierung im Raum spielen vier verschiedene Systeme eine Rolle:

- In den Bogengängen des Labyrinths wird die **Drehbeschleunigung** gemessen.
- Sacculus und Utriculus im Labyrinth messen die **Linearbeschleunigung**.
- Die Gelenke, Sehnen und Muskeln messen die **Körperhaltung**.
- Und das Auge nimmt die **visuelle Information** wahr.

Im Sacculus befinden sich Haarzellen, die auf die **Veränderung** der Position des Kopfes in Bezug auf die Richtung der Schwerkraft.

Diese Haarzellen sind in Gruppen angeordnet und ihre Cilien ragen in eine gallertartige Masse, die eine Vielzahl von kleinen Kalkpartikeln enthält, welche als Statoconien bezeichnet werden.

Die Statoconien sind schwerer als die sie umgebende Endolymphe, wodurch sie stets auf den Haaren der Rezeptoren zu liegen kommen. Die sensorischen Neuronen senden also ununterbrochen APs in den Vestibularzweig des Nervus stato-accusticus (*Abb. 4*).

Bewegt man nun den Kopf, so führen die unterschiedlichen Neigungswinkel des Kopfes zur Senkrechten zur Reizung unterschiedlicher Haarzellen bzw. sensorischer Neuronen.

Wird die Position des Kopfes also verändert, so verändert sich der Druck auf die Haarzellen und der Transmitterausstoß wird erhöht oder erniedrigt.

Dadurch verändert sich auch die Impulsfrequenz der sensorischen Neuronen, so kann im Gehirn die Neigung des Kopfes berechnet werden und mit den Informationen, die die Augen ans Gehirn senden verrechnet werden.

So kann es z.B. zu Übelkeit kommen, wenn der Körper sich bewegt, die Augen dies aber nicht ans Gehirn übermitteln können, wie es unter anderem im Rumpf eines Schiffes passieren kann.

## 2.2. Gleichgewichtssinn bei Invertebraten (*Abb. 5*)

Die meisten Invertebraten haben Schwererezeptoren, die man als **Statocysten** bezeichnet. Die Statocysten bestehen meist aus einer Schicht Haarzellen, die eine Kammer auskleiden, in der sich Statolithen befinden, das sind Sandkörner oder andere dichte Partikel, ähnlich den Statoconien im menschlichen Gleichgewichtsorgan.

Bedingt durch die Schwerkraft setzen sich die Statolithen am niedrigsten Punkt der Kammer ab und reizen hier die Haarzellen.

Die Statocysten können sich an ganz verschiedenen Stellen des Körpers befinden. So sind sie z.B. bei Quallen an ihrem Schirmrand zu finden, bei Hummern hingegen an der Basis der ersten Antenne.

### **1. Bau und Funktion des Modells:**

#### 3.1. Das Modell

##### *3.1.1 benötigte Materialien*

- 2 Holzbretter (ca. 15 x 10 cm)
- Holzstück (ca. 10 x 3 cm)
- elastische PVC- Streifen
- kleines Plastikstück (z.B. die Spitze)



- Gewichte (z.B. Steine) eines Kugelschreibers)
- Farbe - Voltage controlled Oszillator (VCO)
- Pinsel - Drucksensor
- Zeitungsreste - Kabel
- Batterie (9 V) - Tapetenkleister
- Kleber (Sekunden- oder 2- Komponenten- Kleber)

- Lautsprecher

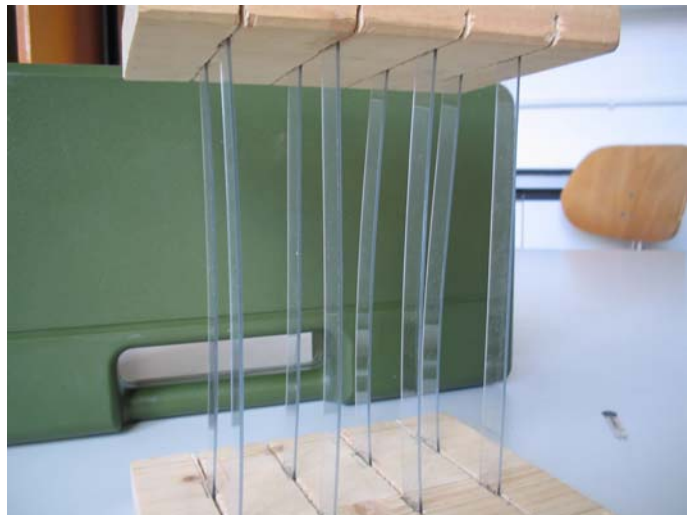
Werkzeuge:

- Säge - Bohrer
- Schraubstock - evtl. Feile
- Schrauben - Akku- Schrauber

### 3.1.2 Herstellung des Modells

Die beiden Holzbretter stellen die Grundelemente des Modells dar und dienen der Verankerung der PVC- Streifen.

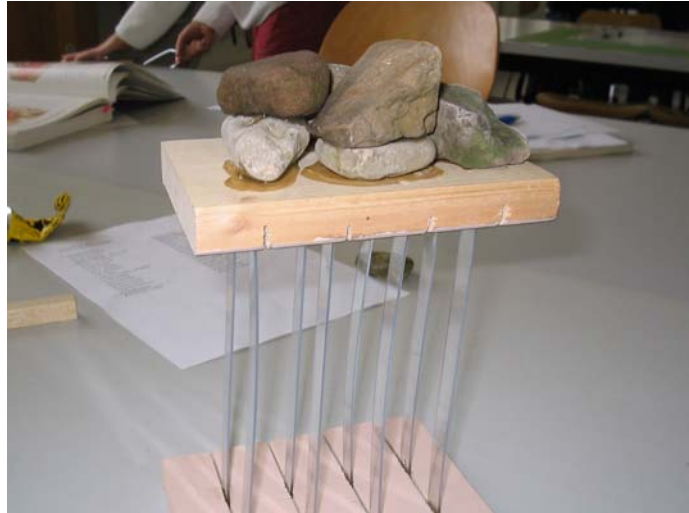
Hierzu sollten die Bretter, sofern dies nicht bereits der Fall ist, auf eine angemessen handliche Größe gesägt werden (ungefähr 15 x 10 cm). Ist dies geschehen, kann man damit beginnen, Aussparungen in die Bretter einzuarbeiten, in die später die PVC- Streifen eingesetzt werden. Hierbei empfiehlt sich die Säge, mit der



parallele Kerben in das Holz gesägt werden können. Es ist unbedingt erforderlich, dass die Kerben beider Bretter deckungsgleich übereinander liegen, damit das Modell später eine waagerechte Haltung annimmt.

Im nächsten Schritt sollen nun die PVC- Streifen in den Kerben der Holzbretter fixiert werden. Auch hier ist eine möglichst parallele Ausrichtung der Streifen zueinander sinnvoll. Die Befestigung kann mittels des Klebers erfolgen. Bei diesem Schritt ist es wichtig, dass darauf geachtet wird, dass man die Streifen zunächst auf nur einem Brett befestigt und abwartet, bis der Kleber getrocknet ist. Erst dann sollte man dazu übergehen, auch das zweite Brett fest mit dem Modell zu verbinden.

Wenn der Kleber trocken geworden ist und die PVC- Streifen fest mit beiden Holzbrettern verbunden sind, kommt der Moment, an dem man sich entscheiden muss, welche Seite des Modells man als Oberseite benutzen möchte. Auf diese müssen im Folgenden die Gewichte geklebt werden. Nicht zuletzt wegen ihrer natürlichen Verfügbarkeit eignen sich



Steine hierfür besonders gut. Sie erfüllen im Modell zweierlei Funktionen: auf der einen Seite erhöhen sie die Praktikabilität des Modells, da durch das zusätzliche Gewicht an der Oberseite die Scherbewegung der PVC- Streifen beim Kippen deutlicher wird. Auf der anderen Seite dienen sie der Anschaulichkeit, stellen sie doch die Statoconien, wie sie in den Macularorganen vorliegen, dar.

Der nächste Schritt ist im Grunde optional und dient ausschließlich der weiteren Veranschaulichung. Es soll nun mit Pappmaché die Gallerte nachgebildet werden, die in natura dem Sinneshaarpolster auflagert. Hierzu benötigt man die Zeitungsreste und den Tapetenkleister, der entsprechend der Verpackungsbeschreibung angerührt wird. Aufgrund einfacherer Modellierbarkeit macht es Sinn, die Zeitungsreste in handliche Stücke zu



zerreißen. Ist der Kleister fertig, kann man beginnen, die Papierstücke auf die Steine u kleben, sodass eine mehr oder weniger kuppelartige Form entsteht. Ist dies geschafft, sollte man warten, bis die Masse getrocknet ist. Im Anschluss daran kann man das Modell auch bemalen, wobei dieser Schritt weniger der Anschaulichkeit als vielmehr der Ästhetik dient.

Das eigentliche Modell ist nun fertig. Sowohl die Wahrnehmung der relativen Lage im Raum als auch der Bewegungskomponente im Raum lassen sich mit ihm durch Kipp- und Schubbewegung simulieren. Die folgenden Schritte dienen nun dem Zweck, diese Sinneseindrücke auch durch das Modell wahrnehmbar (in unserem Fall hörbar) zu machen.

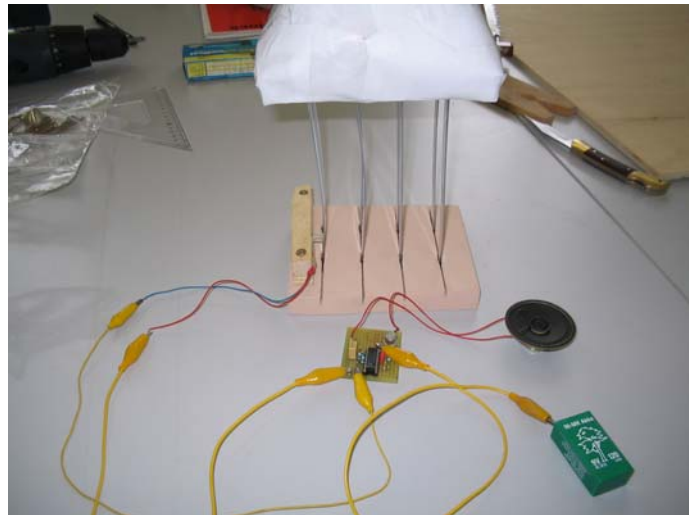
Die entscheidende Komponente bei der Umsetzung dieses Vorhabens ist der spannungsgesteuerte Oszillator (VCO). Ein Oszillator ist ein selbsttätiger Schwingungserzeuger und damit das wichtigste Element der Klangerzeugung. Sein Name leitet sich aus dem Lateinischen ab (*oscillatio* = Schaukeln, Schwingen). Im Oszillator entsteht die Schwingungsform, also das Ausgangsmaterial des Klages. Wie der Name schon vermuten lässt, wird beim spannungsgesteuerten Oszillator die Tonhöhe durch eine Steuerspannung kontrolliert. Da die Spannung unserer Energiequelle (9V-Block) jedoch stets gleich bleibend ist, erreichen wir eine Spannungsänderung über einen veränderbaren Widerstand. In unserem Modell verwenden wir hierfür den Drucksensor. Dieser verändert seinen Widerstand je nachdem, wie stark der Druck ist, der auf ihn ausgeübt wird: je größer der Druck, desto geringer der Widerstand.

Der vom Modell auf den Sensor ausgeübte Druck rührt von der Scherbewegung der PVC-Streifen. Damit der Sensor überhaupt eine Druckveränderung registriert, sollte er am Modell fest verankert und nicht frei beweglich sein. Hierzu fixiert man den Sensor an einem zusätzlichen Holzstück (ca. 10 x 3 cm), welches später am Fuß der PVC-Streifen auf das Holzbrett geschraubt wird. Den Punkt für die Druckübertragung möglichst tief zu legen ist insofern sinnvoll, da hier die Krafteinwirkung zum Einen recht hoch und das Ausscheren der Streifen zum



Anderen nicht so extrem ist, sodass die Kraft relativ genau auf den Sensor übertragen werden kann. Als Drucküberträger eignet sich z. B. die abschraubbare Spitze eines Kugelschreibers. Diese wird an einen der PVC-Streifen geklebt, **bevor** das Holzstück mit dem Sensor auf das Brett geschraubt wird.

Mit Hilfe der Kabel können schließlich der Sensor, die Energiequelle und der Lautsprecher mit dem spannungsgesteuerten Oszillator verbunden werden. Es empfiehlt sich im Übrigen, darauf zu achten, dass beim Anbringen des Sensor-Holzstücks eine Stellung eingenommen wird, in der der Drucküberträger bereits einen



„Grunddruck“ auf den Sensor ausübt, ohne dass dabei die PVC- Streifen bewegt werden müssen. Der Vorteil in diesem Vorgehen liegt darin, dass eine Änderung der Tonhöhe auch dann hörbar ist, wenn die Streifen aus der Ruhelage heraus zu der dem Sensor abgewandten Seite ausschlagen. Der Widerstand wird größer, der Ton tiefer.

### **Diskussion:**

Thematisch behandelt das Modell die Funktion des Schweresinnes des Menschen. Es stellt ein Macularorgan dar, wie es in Sacculus und Utriculus vorkommt. Mit ihm lässt sich gut simulieren wie die Sinneshärchen sowohl bei einer Schräglage des Kopfes als auch bei Linearbeschleunigungen im Raum ausschlagen. Diese Scherbewegung stellt in natura den adäquaten Reiz für die Sinneszellen dar, mit Nervenimpulsen zu antworten. Daher erfüllt das Modell den Anspruch, die neurophysiologischen Gegebenheiten zwar vereinfacht, jedoch relativ genau wiederzuspiegeln, da mittels des elektronischen Zubehörs eine Lageveränderung der PVC- Streifen hörbar gemacht werden kann. Jedoch erstreckt sich die Anschaulichkeit des Modells nicht nur auf die neurophysiologischen Prozesse, sondern auch auf die Anatomie. In natura lagert dem Sinneshaarpolster eine gallertartige Masse auf, in die die Statoconien eingebettet sind. Diesen Umstand gibt das Modell wiederum zwar vereinfacht, jedoch deutlich zu erkennen.

Was die elektronische Registrierung der Scherbewegung der PVC- Streifen betrifft, lohnt es sich hingegen durchaus, sich nach Alternativen umzusehen. Dass die Variante mit dem Drucksensor nicht unbedingt die Beste ist, zeigte sich bereits bei der Präsentation des Modells, wo es teilweise versagte. Da beim Abbiegen der PVC- Streifen der Drucküberträger sich leicht dem Boden entgegenneigt, lässt sich die Kraft nicht genau auf den Sensor übertragen. Eine elegante Lösung hätte darin bestanden, einen so genannten

Dehnungsmessstreifen längs an einem der PVC- Streifen zu befestigen. Dieser Dehnungsmessstreifen funktioniert seinerseits als veränderbarer Widerstand, welcher je nach Dehnungsgrad größer oder kleiner wird. Es zeigte sich jedoch, dass die Widerstandsänderung zu gering war, sodass sich auch bei maximaler Dehnung kaum Unterschiede in der Tonhöhe ergaben.

Da das Modell an sich recht simpel ist, kann es in der Schule unterschiedlich eingesetzt werden, je nachdem, worauf man besonderes Augenmerk richten möchte. Es eignet sich für die Sekundarstufe I als Anschauungsmodell, wenn „Bau und Funktion von Sinnesorganen“ behandelt werden. Für den Fall, dass man das Modell mit der Klasse im Rahmen eines Projektes selbst herstellen möchte, sind gerade im Hinblick auf die elektronischen Komponenten Kenntnisse vonnöten, wie sie erst im Rahmen des Physikunterrichts der Klassen 9 und 10 vermittelt werden. Somit bietet der Bau eines solchen Modells auch Raum für fächerübergreifenden Unterricht.

In der Sekundarstufe II, wo ein besonderes Augenmerk der Nervenphysiologie gilt, bietet es sich an, den Lautsprecher des Modells gegen ein Oszilloskop einzutauschen. Hierdurch lassen sich die Schwingungen des Oszillators sichtbar machen, was wiederum Rückschlüsse auf den Zusammenhang zwischen dem Neigungsgrad der Sinneshärchen und der Frequenz der von den Sinneszellen erzeugten Aktionspotentiale zulässt.

## **Literatur:**

### Internet:

- (1a) <http://www.sinnesphysiologie.de/proto01/6-anderesinne/1-gleichgewicht/gleichgewichtssinn.htm>
- (1b) <http://www.studentenlabor.de/seminar1/Gleichgewichtssinn.htm>
- (1c) <http://www.zi.biologie.uni-muenchen.de/institute/zi/abtlgn/neurobiologie/lehre/Lutz/Gleichgewichtssinn.pdf>
- (1d) [http://www.bio.uni-giessen.de/dl/down/open/tieroekologie/6c50d6b1f2c4232ea09a3fd7eaba0e94e97be1867869c5189344bfc6893b595712abc7f8aad9d51a1208b234dc72c22e/H\\_E-Werding-05-Sinne\\_I.pdf](http://www.bio.uni-giessen.de/dl/down/open/tieroekologie/6c50d6b1f2c4232ea09a3fd7eaba0e94e97be1867869c5189344bfc6893b595712abc7f8aad9d51a1208b234dc72c22e/H_E-Werding-05-Sinne_I.pdf)

### Buch:

- (2a) Campbell, Neil A., *Biologie*  
Dt. Übers. Hrsg. Von Jürgen Merkl  
Heidelberg; Berlin; Oxford; Spektrum Akad. Verlag, 1997

## Experimente

### Farbsehen: LED-Platte mit RGB vor Milchglas

Annika- Christiane Golombek, Philipp Künstler & Britta Schulze

A.)

*Versuch 1.):* Mit den folgenden zwei Versuchen möchten wir einen Aspekt des Farbsehens aufgreifen und veranschaulichen, nämlich das additive Farbsehen. Dazu benötigen wir drei LEDs in den Spektralfarben rot, grün und blau. Diese werden so auf einer Spanplattenkonstruktion befestigt, dass sie ein Dreieck beschreiben. An den Außenseiten erhöhen wir die Unterkonstruktion der LEDs ein wenig, damit sie leicht nach innen geneigt leuchten.



Die Leuchtdioden bestehen aus zwei unterschiedlich langen Drähten und einem LED-Kristall, wobei der kürzere Draht den Minusanschluss (Kathode) und der Längere den Plusanschluss bildet. Sie sollten immer mit jeweils einem Vorwiderstand pro Diode angeschlossen werden um eine Überlastung zu verhindern und eine gleichbleibende Helligkeit zu gewährleisten. Betrieben mit einer Batterie werden alle Dioden zum Leuchten gebracht. Zur Durchführung des Versuches benötigt man zusätzlich noch eine Milchglasscheibe die anfänglich direkt über die LEDs gehalten wird. Die Dioden zeichnen drei Farbpunkte auf der Milchglasscheibe ab. Beim weiteren Entfernen der Scheibe von den LEDs wandern die unterschiedlich farbigen Lichtpunkte aufeinander zu, bis sie sich schließlich, bei noch weiterer Entfernung, auf einen Punkt der Glasscheibe konzentrieren und zu weiß verschmelzen. Als Ergebnis wird dann festgehalten, dass weiß keine Farbe ist, sondern durch die gemeinsame Bestrahlung aller Spektralfarben entsteht.

*Versuch 2.):* Eben dieses Ergebnis erzielt man auch mit unserem zweiten Versuch. Dazu wird eine runde Deckenleuchte mit drei beweglichen Fassungen benötigt, in die Glühbirnen der Farben rot, grün und blau geschraubt werden. Montiert auf einer Holzplatte und an ein Kabel

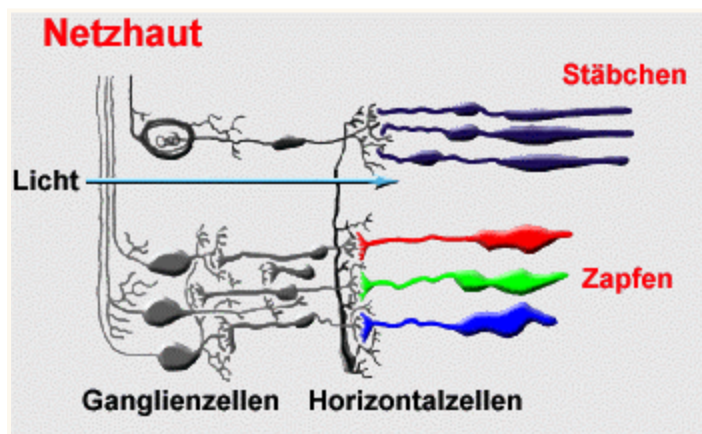


mit Stecker angeschlossen bringt man die Birnen dann mit dem Strom aus der Steckdose zum Leuchten. Um die Strahlung der einzelnen Birnen besser auf einen Punkt bündeln zu können und möglichst viel Abstrahlung in alle Richtungen zu vermeiden, stülpt man provisorisch ein aus Pappkarton gerolltes Rohr über sie (Vorsicht, das die Pappe nicht zu heiß wird). Dadurch gewährleistet man einen guten parallelen Strahlengang ohne Dunkelzonen. Die Demonstration des Versuches beginnt mit dem Leuchten der Lampe gegen eine weiße Fläche (Wand). Zuerst sind die einzelnen Farbkegel deutlich voneinander getrennt zu erkennen. Richtet man die drei Strahlen aber immer näher aufeinander, so erkennt man im Schnittpunkt der Spektralfarben weiß.

Alle benötigten Materialien erhält man im Baumarkt (Obi, Bahr) und Elektrogeschäft bzw. dem Conrad- Katalog. Bauanleitungen und theoretische Grundlagen bekommt man leicht über eine Suchmaschine im Internet (google) z.B.: [<http://www.egbeck.de>, <http://www.bkainka.de>].

### Kurze Theorie zum Verständnis des biologischen Prinzips vom additiven Farbsehen:

Das menschliche Auge verfügt über drei Zapfentypen die das Licht in unterschiedlichen Spektralbereichen absorbieren.



Die menschliche Retina enthält Zapfentypen, die man

**L-Typ** (lange Wellenlänge)

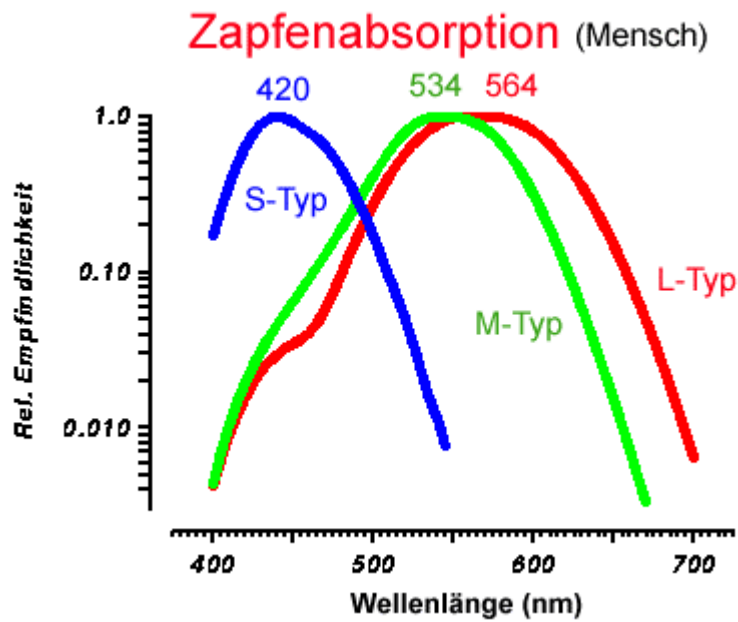
**M-Typ** (mittlere Wellenlänge)

**und**

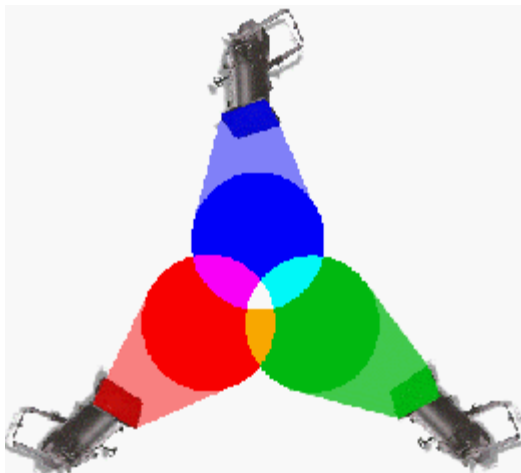
**S-Typ** (kurze (short)

Wellenlänge) genannt hat.





Die verschiedenen Farbeindrücke werden durch unterschiedliche Erregungsstärken der einzelnen Zapfensorten ausgelöst.



Die gleiche Erregung aller Zapfen führt zu dem Eindruck weiß.

**B.)**

Dieser Versuch eignet sich dann besonders gut als Erklärung ein biologisches Prinzip, wenn im voraus (9. und 10. Jahrgangsstufe) bereits theoretische Kenntnisse über das (Farb-) Sehen

im Unterrichtsfach Biologie vermittelt wurden. Ideal sind dabei auch Verknüpfungen und Hinführungen auf das Themas im Fach Physik, ebenfalls in der 9. und 10. Klasse. Aufgrund dieser notwendigen Vorkenntnisse zum Verständnis des Experiments, eignen sich die beiden Versuche für die Demonstration in der Oberstufe.

Möglich wäre allerdings auch der Einsatz des Versuchs als ein Impuls zu Beginn der Unterrichtseinheit, ohne das erschlossene Vorkenntnisse der Schüler vorhanden sind. Sie dürfen dann spekulieren warum dieses Phänomen entsteht, um neugierig und motiviert in die theoretische Erarbeitung der Sequenz einzusteigen.

Da diese Versuche nur einen Ausschnitt des menschlichen Sehens repräsentieren, könnten sie als ein möglicher Einstieg in die komplette Unterrichtseinheit „Sehen“ dienen. Danach bietet es sich an, das menschliches Sehen in „Gänze“ (angemessen der Alterstufe) zu analysieren und dies eventuell mit dem tierisches Sehen zu vergleichen. Außerdem erschließt sich die Möglichkeit, über das Thema „Sehen“ in weitere Bereiche der Sinnesphysiologie vorzudringen.

C.)

Diese Versuche eignen sich gut zur Darstellung des additiven Sehens, da sie kaum Modellcharakter besitzen und nicht erst in die Realität übersetzt werden müssen. Sie bieten demnach gleich die Möglichkeit das dahinterstehende biologische Prinzip zu ergründen und lassen viel Raum zum Eigenständigen analysieren der Schüler. Gibt man ihnen im voraus genügend Informationen an die Hand, besteht die Möglichkeit, diesen Versuch zur Erprobung bzw. Festigung des wissenschaftlichen Denkens und Arbeitens einzusetzen. Ein wenig in den Hintergrund rückt bei diesem Experiment die eigene Aktivität der Schüler beim Zusammenbauen, da es sich nicht um ein typisches Modell handelt, welches beim eigenen Nachbauen besser verstanden und analysiert werden kann. Diese Versuche eignen sich vielmehr als Lehrerexperiment, und bringen Farbe und frische Impulse in den Unterricht. Ein abschließender Verbesserungsvorschlag wäre, eine größere Fläche mit LEDs (ca.12 Stück) um das Phänomen noch eindrucksvoller darstellen zu können.

## **\*Modell: Wärmeisolation der Körperoberfläche**

Heer, Christina; Riediger, Sonja; Wiederhold, Nina

## Versuch 1: Isolationseigenschaften verschiedener Materialien

### A) Versuchsbeschreibung

#### Material

Heizplatte, 4 100ml Erlenmeyerkolben, 4 Thermometer, Petrischale, Kaninchenfell, Mehrzweckfett (einsetzbar von  $-30$  bis  $80^{\circ}\text{C}$ ), Stoff, Wasser.

#### Durchführung

Die 4 Erlenmeyerkolben werden mit je 100ml Wasser befüllt. In die Kolben wird je ein Thermometer gesteckt. Die Kolben werden gleichzeitig auf die jeweilige Isolationsunterlage auf der Heizplatte ( $40^{\circ}\text{C}$ ) gestellt. Dann wird der Temperaturverlauf der 4 Kolben in Abhängigkeit von der Zeit gemessen:

Kolben 1 wird ohne Isolationsschutz gemessen.

Kolben 2 wird auf den Isolationsschutz Stoff gestellt.

Kolben 3 wird auf das Kaninchenfell gestellt und

Kolben 3 wird in eine mit Fett gefüllte Petrischale gegeben.



ABB 1: Versuchsaufbau: Der Isolationsschutz von 3 Materialien wird untersucht.

### Ergebnisse

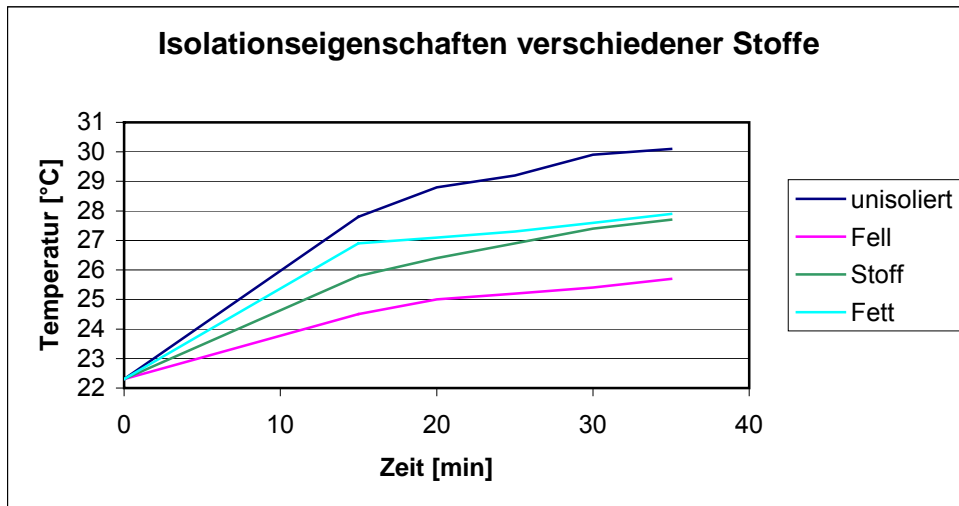


ABB 2: Isolationseigenschaften verschiedener Stoffe (T vs. T)

Durch die verschiedenen Isolationsschichten wird die Wärme der Heizplatte verschieden stark auf das Wasser in den Kolben übertragen. Je weniger sich das Wasser erwärmt, desto besser ist der Isolationsschutz des jeweiligen Materials.

Anhand der Graphik ist gut zu erkennen, dass das Fell den besten Isolationsschutz bietet und der unisolierte Kolben die meiste Wärme von der Heizplatte aufnimmt. Weiterhin isoliert Stoff besser als Fett. Diese Geraden nähern sich jedoch mit fortschreitender Zeit einander an.

### B) Fragen zum Versuch

Dieser Versuch ist geeignet, um die Wärmeleitfähigkeit bestimmter Materialien, welche die Körperoberfläche isolieren, zu demonstrieren. Er berücksichtigt allerdings nicht, dass die Luftschicht im Fell oder unter der Kleidung ebenfalls einen schlechten Wärmeleiter darstellt. Die sachliche Schlussfolgerung des Versuchs ist, dass gleichwarme Tiere ihre Körpertemperatur unabhängig von der Umgebungstemperatur weitgehend konstant halten müssen. Um dies zu gewährleisten, muss ihre Körperoberfläche / -bedeckung eine geringe Wärmeleitfähigkeit aufweisen.

Dieser Versuch, der kein fachliches Wissen voraussetzt, ist als Einstieg in die Unterrichtseinheit „Thermoregulation“ geeignet. Hierbei können noch folgende Themen bearbeitet werden: (1) Welche Tiere nutzen welche Isolationsschicht, (2) Vasokonstriktion und Vasodilatation, (3) Kühlen durch Verdunstung (Transpiration und Konvektion), (4) Muskelzittern, (5) Gegenstromwärmeaustauscher etc.

Für sich gesehen eignet sich der Versuch für jede Altersstufe. Für höhere Klassen ist er jedoch nur als kurzer Einstieg einsetzbar.

### C) Verbesserungsvorschläge

**Als Alternative zu diesem Versuchsaufbau wurde vorgeschlagen, die Kolben vollständig mit Fell oder Stoff zu bedecken. Hierbei ergibt sich jedoch das Problem, dass dies mit Fett, welches einen wichtigen Wärmeisolator darstellt, schwer möglich ist.**

Als Versuchsergänzung zum Thema Transpiration / Verdunstungskälte könnte man ein Thermometer mit einem feuchten Stoff einschlagen und diesen dann in den Luftstrom eines Ventilators geben.

Zur Auswertung des Demonstrationsversuchs sollte der Temperaturverlauf über einen längeren Zeitraum beobachtet werden und von den Schülern durch eine Graphik (T vs t) festgehalten werden.

## **Versuch 2: BERGMANNsche Regel**

### **A) Versuchsbeschreibung**

#### Material:

100ml Rundkolben, 250ml Rundkolben, Wasserkocher, Trichter, 2 Thermometer, Stoppuhr.

#### Durchführung:

Wasser wird mit dem Wasserkocher erhitzt und mit Hilfe eines Trichters dem Volumen der Kolben entsprechend in diese gefüllt. Dann werden bei beiden Kolben alle 30 sek. die Temperaturen abgelesen. Dadurch wird der Wärmeverlust pro Zeiteinheit von beiden Kolben festgestellt.

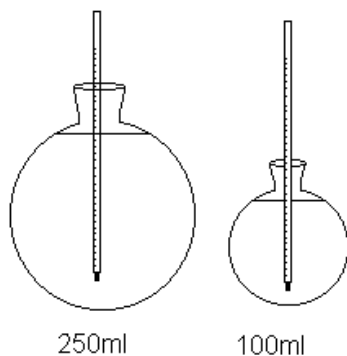


ABB 3: Versuchsaufbau „BERGMANNsche Regel“

#### Ergebnisse:

Das Wasser im 250ml Kolben kühlt sich langsamer ab als das Wasser im 100ml Kolben. Folglich ist der Wärmeverlust des kleinen Kolbens größer.

### **B) Fragen zum Versuch**

Mit Hilfe dieses Versuches wird die BERGMANNsche Regel nachgewiesen: Gleichwarme Tiere einer Art und Arten eines Verwandtschaftskreises haben in kälteren Gebieten eine durchschnittlich höhere Körpergröße als in wärmeren Gebieten.

So kommen die größten Pinguinarten (Kaiserpinguin, 1m) in der Antarktis vor. Die kleinste Art (Galapagos-Pinguin, 50cm) in der Nähe des Äquators (s. Anhang).

Auch die Größe von Füchsen, Rehen oder Wildschweinen nimmt von Skandinavien zu den Mittelmeerländern hin deutlich ab.

Für die Wärmeabgabe ist die Oberfläche der Tiere maßgebend. Für die Stoffwechselrate und damit die Wärmeproduktion das Volumen.

Je größer also die Tiere sind, desto geringer ist die Oberfläche im Verhältnis zum Volumen und desto weniger Wärme kann über die Körperoberfläche abgegeben werden. Je kleiner die

Tiere sind, desto größer ist die Oberfläche im Verhältnis zum Volumen und desto größer ist auch der Wärmeverlust (s. Anhang).

Dieser Versuch ist in der Ökologie in dem Themenbereich „abiotische Umweltfaktoren - Wärme“ einzuordnen. Im weiteren Unterrichtsverlauf kann die BERGMANNsche Regel auf wechselwarme Tiere angewendet werden. Hier nimmt nämlich die Körpergröße mit zunehmendem Breitengrad ab. Ergänzend zur BERGMANNschen Regel kann die ALLENSche Regel durchgenommen werden oder der Einfluss der Temperatur auf Pflanzen (Vegetationsgürtel, Höhenstufen etc.). Des weiteren können Tolleranzkurven und ökologische Nischen der Tiere besprochen werden. Als weitere abiotische Umweltfaktoren seien neben der Temperatur auch das Licht und das Wasser erwähnt.

Als fachliches Vorwissen sollten die SchülerInnen das Volumen und die Oberfläche einer Kugel berechnen können. Als vorangegangene Thematik sollten die SchülerInnen ebenfalls den Unterschied zwischen wechselwarmen und gleichwarmen Tieren kennengelernt haben.

Dieser Versuch ist für die Oberstufe als Schülerversuch geeignet.

Die Demonstration der Tierkörper durch die Kolben ist hier nur sehr abstrakt dargestellt und erfordert deshalb von den Schülern Transferdenken.

### C) Verbesserungsvorschläge

Als Alternative zu dem Versuch wurde vorgeschlagen, zwei unterschiedlich große Kartoffeln eine bestimmte Zeit zu kochen und anschließend zu prüfen, welche Kartoffel mehr Wärme über ihre Oberfläche aufgenommen hat.

Zur Auswertung des Schülerversuchs sollte auch hier der Temperaturverlauf über einen längeren Zeitraum beobachtet werden und von den Schülern durch eine Graphik (T vs. t) festgehalten werden.

Literatur: [www.webmic.de/Klima1.htm](http://www.webmic.de/Klima1.htm)

### D) Anhang (Folie)

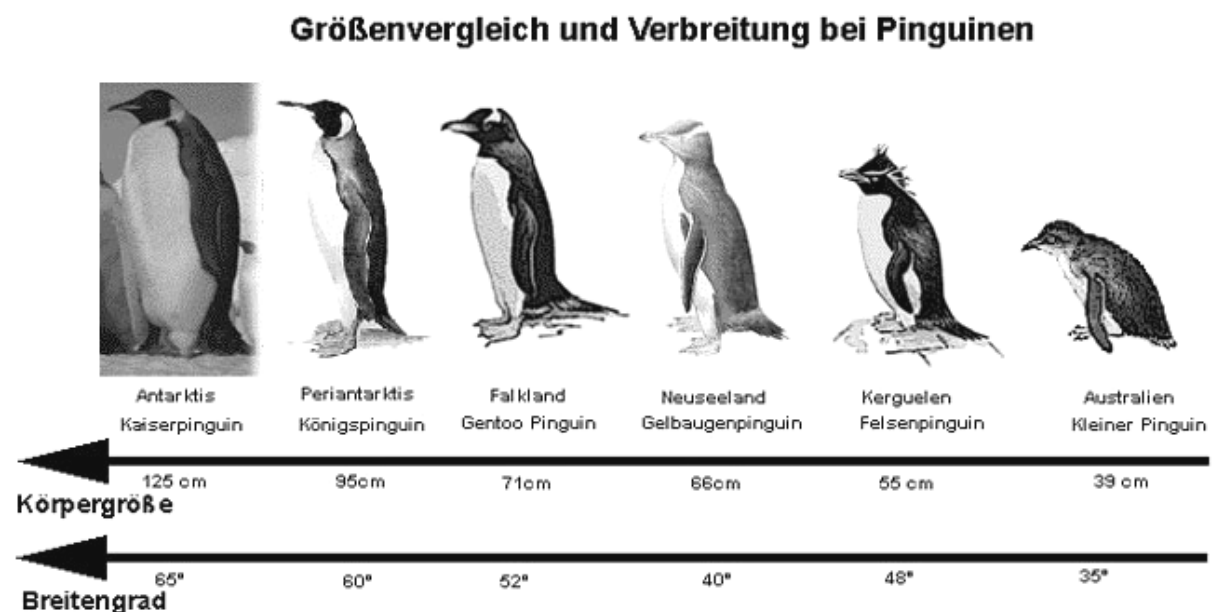


ABB 4: Größenvergleich und Verbreitung bei Pinguinen (BERGMANNsche Regel)

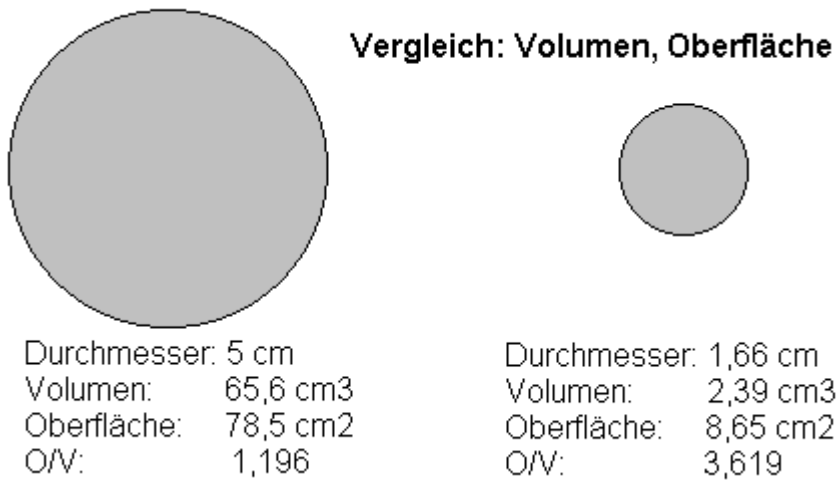


ABB 5: Vergleich von Volumen-Oberflächenverhältnis verschieden großer Kolben.

## **Muskelbiologie mit in Schulen einsetzbarer Ausrüstung**

Fadavi, Azadeh; Koch, Dorothea; Novak, Alexandra



## 1. Zielsetzung

Man möchte in diesem Versuch mit möglichst einfachen Mitteln abgeleitete Muskelsummenaktionspotentiale akustisch wiedergeben. Der Schüler hat somit die Möglichkeit die Theorie zu den Themen Nervenphysiologie und Muskelphysiologie zu vertiefen. Das erworbene theoretische Wissen zu diesen Themen findet in diesem Versuch seine praktische Anwendung.

## 2. Theoretische Einführung

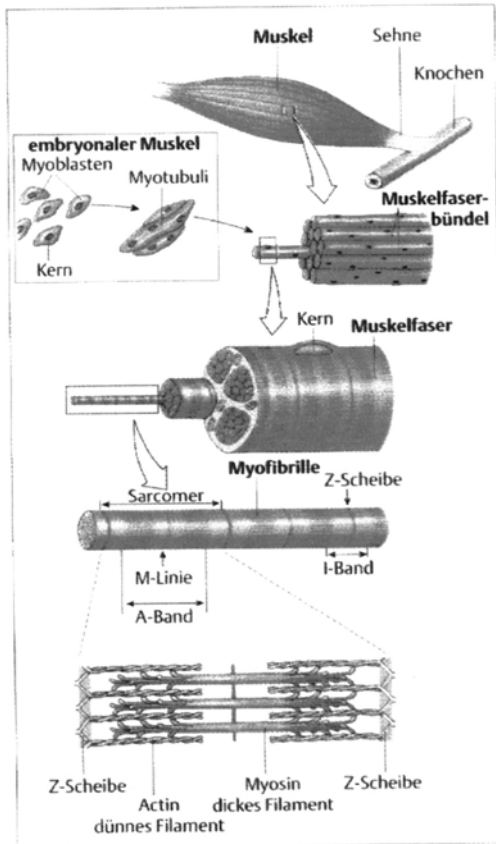
### 2.1. Feinbau des Skelettmuskelgewebe

Die quergestreifte Muskulatur besteht aus parallelen Bündeln von Muskelfasern, langgestreckten, auf Kontraktion spezialisierten Zellen. Jede Faser ist eine einzige große, mehrkernige Zelle. Darin befinden sich als kontraktile Elemente. Myofibrillen, Bündel dicht gepackter Myofilamente, die in zwei Typen auftreten: als dünne Actin- und dicke Myosin-Filamente. Im Polarisationsmikroskop zeigen quergestreifte Muskelfasern eine deutliche Bänderung mit doppelbrechenden (anisotropen) A-Banden und einfach brechenden (isotropen I-Banden! In den A-Banden überlappen sich Actin- und Myosinfilamente in Form eines hexagonalen Molekülgitters, während in den I-Banden nur Actin-Filamente auftreten. Innerhalb jeder I-Bande liegt eine Z-Scheibe, in der die Actinfilamente über . ,

Strukturproteinmoleküle ( $\alpha$ -Actin) verankert sind. Jede A-Bande enthält im Zentrum eine actinfreie H-Zone, in deren Mitte sich bei „schnellen“ Muskelfasern eine M-Linie findet. Sie besteht aus feinen, fadenartigen Querverbindungen zwischen den einzelnen Myosinfilamenten. Damit gewährleistet sie sowohl die streng hexagonale Anordnung der Myosinfilamente in der Quer- als auch deren Nichtverschiebbarkeit in der Längsrichtung. Der Bereich zwischen den Z-Scheiben bildet als Sarkomer die Grundeinheit einer Myofibrille.

Ein Myosinmolekül besteht aus zwei langen Polypeptidketten (myosin heavy chains, MHC), die im Myosinschaft (leichtes Meromyosin, LMM) zwei spiraling umeinander gewundene  $\alpha$ -Helix-stränge bilden. Über einen Myosinarm laufen sie in je einem beweglichen Myosinkopf aus.

Ein Actinfilament besteht aus globulären Actinmonomeren, die zu einer langen Doppelhelix polymerisiert sind. Diese Doppelhelix trägt im Abstand von jeweils sieben Actinmonomeren einen Troponin-Molekülkomplex. Als dritter Molekülkomplex windet sich eine Tropomyosin-Doppelhelix so um den Actinstrang, daß sie sich räumlich in die von der Actindoppelhelix gebildete Grube einfügt.



**Abb. 10.1 Hierarchische Organisation der Vertebraten-Skelettmuskulatur.** Das als Muskel bezeichnete Organ besteht aus vielkernigen, parallel angeordneten Muskelfasern, die viele Myofibrillen enthalten. Muskeln sind über Sehnen an einem Knochen oder an einem anderen Anheftungspunkt verankert. Embryonal gehen Muskelfasern aus Myoblasten hervor, die zu Myotubuli verschmelzen. Ein Myotubulus synthetisiert die Proteine, die für Muskelfasern charakteristisch sind, wenn er sich in die Adultform differenziert. Die Myofibrillen bestehen aus hintereinander liegenden Sarkomeren. Jedes Sarkomer enthält dünne Actinfilamente und dicke Myosinfilamente, die streng geometrisch angeordnet sind und wie Finger ineinander greifen (s. Abb. 10.3). Die dünnen Filamente gehen von den sogenannten Z-Scheiben aus (nach Lodish u. Mitarb., 1995).

Aus: Tierphysiologie, Roger Eckert,  
3. Auflage, Georg Thieme Verlag,  
Stuttgart

## 2.2. Gleitfilament-Theorie

Längenänderungen einer Muskelfaser beruhen nicht auf Längenänderungen der Actin- oder Myosinfilamente, sondern auf der gegenseitigen Verschiebung dieser Filamente. Bei der Kontraktion (Verkürzung des Sarkomers) bewegen sich die beiden Actingitter jedes Sarkomers tiefer in das Myosingitter (A-Bande) hinein. Dieser mechanische Vorgang wird von elektrischen Muskelimpulsen ausgelöst (elekromechanische Kopplung). Er benötigt ATP als unmittelbare chemische Energiequelle. Die Kette der Ereignisse beginnt damit, daß an der neuromuskulären Synapse einlaufende Nervenimpulse zur Transmitterausschüttung führen. Daraufhin bildet sich am Sarkolemm ein postsynaptisches Potential, das bei überschweiliger Amplitude Muskelimpulse auslöst. Diese Muskelimpulse werden über das gesamte Sarkolemm der Muskelfaser und über die T-Kanäle bis tief in das Innere der Muskelfaser fortgeleitet. Wahrscheinlich über Konformationsänderungen spannungssensitiver T-Membranproteine, die mit Ca-Kanälen in den Membranen in Verbindung stehen, kommt es zur Öffnung dieser Ca-Kanäle und damit zum Ca-Strom von den Kanälen ins Cytoplasma. Die Ca-Konzentration in der Nachbarschaft der Myofibrillen steigt und ermöglicht die molekulare Interaktion der Myosin- und Actinmoleküle. Die Myosinköpfe greifen an den Actinfilamenten an (Querbrückenbildung), führen "Ruderschläge" aus und ziehen damit die Actingitter in die Myosingitter hinein. Bei jedem Ruderschlag wandern die Actingitter auf jeder Seite des Sarkomers zur Sarkomermittle. Die Sarkomere und somit die Muskelfaser verkürzen sich. Jeder Querbrückenzyklus ist mit der Spaltung von einem Molekül ATP verbunden, wobei der Myosinkopf als ATPase wirkt. Anlagerung von ATP an den Myosinkopf führt zur Lösung der Querbrücke nach erfolgtem Ruderschlag (Weichmacherwirkung des ATP). Nach Lösung der Querbrücke kann ein neuer Ruderschlag beginnen, wenn noch eine erhöhte Ca-Konzentration vorliegt.

Ist nicht mehr genügend ATP in der Muskelzelle vorhanden, können sich die Querbrücken nicht mehr lösen, die Folge ist Totenstarre (Rigor mortis).

## 2.3. Elastische und plastische Verformung

Ein Muskel kann durch Krafteinwirkung verformt werden. Eine Verformung, die nach Rücknahme der sie erzeugenden Kraft wieder aufgehoben wird, nennt man elastische Verformung (z.B. Gummiband). Bleibt die Verformung dagegen auch nach der Krafrücknahme erhalten, so nennt man das eine plastische Verformung (z.B. Tonklumpen). Ein Muskel ist plastisch und elastisch, das heißt die durch die Belastung erfolgte Verformung ist nur teilweise reversibel. Auch nach der Entlastung bleiben also Formänderungen, die als Dehnungsrückstand meßbar sind. Diese Messung kann mittels einer Ruhedehnungskurve geschehen.

## 2.4. Isometrische und isotonische Kontraktion

### a) Isometrische Kontraktion

Die vom Muskel erzeugte Kraft wird unter isometrischen Kontraktionsbedingungen gemessen. Die erzeugte Kraft und Längenänderung hängen von seiner Vordehnung und auch von seiner mechanischen Spannung ab. Die größte Kraft wird von einem Muskel bei einer leichten Vordehnung gemessen, die seiner Ruhelage im Organismus entspricht. Bei weiterer Stauchung oder Dehnung nimmt die erreichbare Muskelkraft ab, denn bei einem gestauchten Muskel stoßen die Myofilamente bereits an die Z-Linien, so daß keine weitere Bewegung mehr möglich ist. Bei einem stark gedehnten Muskel können nur die ganz außen am Myosinfilament liegenden Myosinköpfchen Kontakt mit den Actinfilamenten aufnehmen, bei geringer Vordehnung jedoch können alle Myosinköpfchen zur Krafterzeugung beitragen.

### b) Isotonische Kontraktion

Die produzierbare mechanische Arbeit eines Muskels wird unter isotonischen Bedingungen gemessen. Dabei kontrahiert sich der Muskel und hebt dabei beispielsweise ein Gewicht um eine bestimmte Strecke an. Auch bei einer isotonischen Kontraktion ist die Hubhöhe abhängig von der Vorspannung des Muskels.

### c) Auxotonische Kontraktion

Hierbei sind sowohl Längenänderung, als auch Kraft variabel.

## 2.2. Gleitfilament-Theorie

Längenänderungen einer Muskelfaser beruhen nicht auf Längenänderungen der Actin- oder Myosinfilamente, sondern auf der gegenseitigen Verschiebung dieser Filamente. Bei der Kontraktion (Verkürzung des Sarkomers) bewegen sich die beiden Actingitter jedes Sarkomers tiefer in das Myosin-gitter (A-Bande) hinein. Dieser mechanische Vorgang wird von elektrischen Muskelimpulsen ausgelöst (elektrisch-mechanische Kopplung). Er benötigt ATP als unmittelbare chemische Energiequelle. Die Kette der Ereignisse beginnt damit, daß an der neuromuskulären Synapse einlaufende Nervenimpulse zur Transmitterausschüttung führen. Daraufhin bildet sich am Sarkolemm ein postsynaptisches Potential, das bei überschweiliger Amplitude Muskelimpulse auslöst. Diese Muskelimpulse werden über das gesamte Sarkolemm der Muskelfaser und über die T-Kanäle bis tief in das Innere der Muskelfaser fortgeleitet. Wahrscheinlich über Konformationsänderungen spannungssensitiver T-Membranproteine, die mit Ca-Kanälen in den Membranen in Verbindung stehen, kommt es zur Öffnung dieser Ca-Kanäle und damit zum Ca-Strom von den Kanälen ins Cytoplasma. Die Ca-Konzentration in der Nachbarschaft der Myofibrillen steigt und ermöglicht die molekulare Interaktion der Myosin- und Actinmoleküle. Die Myosinköpfe greifen an den Actinfilamenten an (Querbrückenbildung), führen "Ruderschläge" aus und ziehen damit die Actingitter in die Myosin-gitter hinein. Bei jedem Ruderschlag wandern die Actingitter auf jeder Seite des Sarkomers zur Sarkomermittle. Die Sarkomere und somit die Muskelfaser verkürzen sich. Jeder Querbrückenzyklus ist mit der Spaltung von einem Molekül ATP verbunden, wobei der Myosinkopf als ATPase wirkt. Anlagerung von ATP an den Myosinkopf führt zur Lösung der Querbrücke nach erfolgtem Ruderschlag (Weichmacherwirkung des ATP). Nach Lösung der Querbrücke kann ein neuer Ruderschlag beginnen, wenn noch eine erhöhte Ca-Konzentration vorliegt.

Ist nicht mehr genügend ATP in der Muskelzelle vorhanden, können sich die Querbrücken nicht mehr lösen, die Folge ist Totenstarre (Rigor mortis).

## 2.3. Elastische und plastische Verformung

Ein Muskel kann durch Krafteinwirkung verformt werden. Eine Verformung, die nach Rücknahme der sie erzeugenden Kraft wieder aufgehoben wird, nennt man elastische Verformung (z.B. Gummiband). Bleibt die Verformung dagegen auch nach der Krafrücknahme erhalten, so nennt man das eine plastische Verformung (z.B. Tonklumpen). Ein Muskel ist plastisch und elastisch, das heißt die durch die Belastung erfolgte Verformung ist nur teilweise reversibel. Auch nach der Entlastung bleiben also Formänderungen, die als Dehnungsrückstand meßbar sind. Diese Messung kann mittels einer Ruhedehnungskurve geschehen.

## 2.4. Isometrische und isotonische Kontraktion

### a) Isometrische Kontraktion

Die vom Muskel erzeugte Kraft wird unter isometrischen Kontraktionsbedingungen gemessen. Die erzeugte Kraft und Längenänderung hängen von seiner Vordehnung und auch von seiner mechanischen Spannung ab. Die größte Kraft wird von einem Muskel bei einer leichten Vordehnung gemessen, die seiner Ruhelage im Organismus entspricht. Bei weiterer Stauchung oder Dehnung nimmt die erreichbare Muskelkraft ab, denn bei einem gestauchten Muskel stoßen die Myofilamente bereits an die Z-Linien, so daß keine weitere Bewegung mehr möglich ist. Bei einem stark gedehnten Muskel können nur die ganz außen am Myosinfilament liegenden Myosinköpfchen Kontakt mit den Actinfilamenten aufnehmen, bei geringer Vordehnung jedoch können alle Myosinköpfchen zur Krafterzeugung beitragen.

### b) Isotonische Kontraktion

Die produzierbare mechanische Arbeit eines Muskels wird unter isotonischen Bedingungen gemessen. Dabei kontrahiert sich der Muskel und hebt dabei beispielsweise ein Gewicht um eine bestimmte Strecke an. Auch bei einer isotonischen Kontraktion ist die Hubhöhe abhängig von der Vorspannung des Muskels.

### c) Auxotonische Kontraktion

Hierbei sind sowohl Längenänderung, als auch Kraft variabel.

## Differenzverstärkung

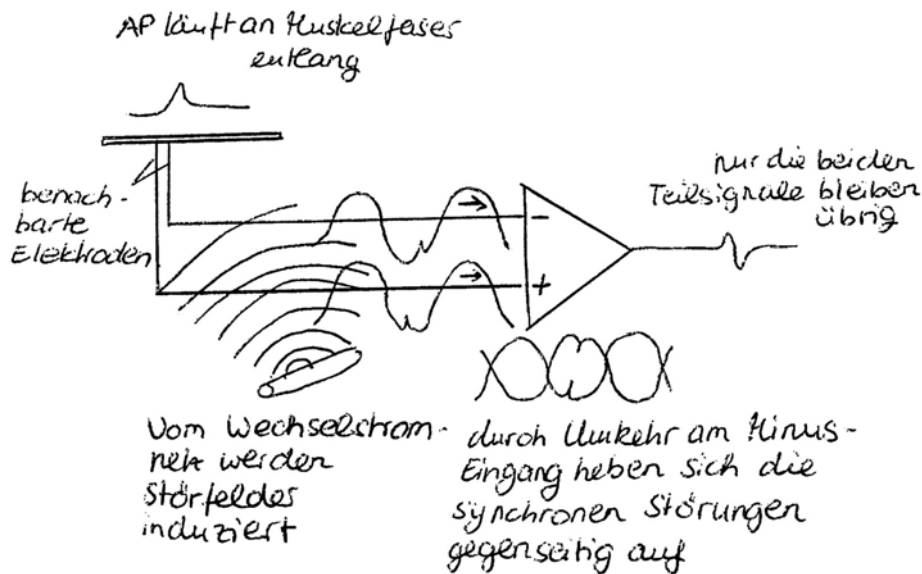


Abbildung 1: Differenzverstärkung

Die Störungsfelder breiten sich im Raum mit Lichtgeschwindigkeit aus und induzieren in zwei benachbart liegenden Kabeln daher praktisch gleichzeitig identische Störspannungen. Werden die Spannungen nun voneinander abgezogen, ergibt die Differenz der Störspannungen Null und nur das eigentliche Signal wird verstärkt. Da die beiden Ableitelektroden in einigen Zentimetern von einander entfernt angebracht werden, passiert ein Aktionspotential die Elektroden zeitlich gestaffelt. Es wird deshalb in der Differenzverstärkung nicht heraussubtrahiert und wird am Verstärkungsausgang als rasche Aufeinanderfolge eines positiven und eines negativen Spannungsausfalls (oder umgekehrt) sichtbar werden, ohne dass sich Brummspannungen wesentlich bemerkbar machen könnten.

Literatur:

Schürmann, Heinrich, Igelmund, Gras, Übungen zur Physiologie und Ökologie im Hauptstudium, Teil Zoophysiologie (animalische Physiologie), Göttingen 2004, S.13, 14

## Diskussion und Verbesserungsvorschläge

Man kann sich die Frage stellen, ob das von uns konstruierte Modell für den Einsatz im Biologieunterricht in der Schule geeignet ist.

Trotz mancherlei Schwierigkeiten denken wir, dass dieser Versuch gut mit Schülern durchführbar ist.

Da in der Schule meistens nur mit plastischen Modellen gearbeitet wird, finden wir es gut das Thema am menschlichen Körper darzustellen.

Da der Versuch sehr anschaulich ist, trägt er zu einem Lernerfolg bei.

Vorher muss aber im Unterricht das Thema Muskel- und Nervensystem durchgenommen worden sein, somit ist dann auch der Versuch leicht verständlich.

Unsere Kursteilnehmer bestätigten uns dies auch in einer Diskussion.

Trotzdem müssen paar Verbesserungsvorschläge vorgenommen werden:

Da die Elektroden schlecht zu befestigen waren, wäre es eine Möglichkeit, die Elektroden unter einer Bandage einzuarbeiten und für den Kontakt zwei Löcher in die Bandage zu schneiden.

Zu besseren Veranschaulichung könnte man das ganze noch an einem Laptop (AKKUBETRIEBEN, da der Proband nicht am Stromkreis verbunden sein darf) mit Line-in Eingang verbunden werden, damit die Potentiale für die Schüler sichtbar sind. Außerdem hat dies den Vorteil, dass die Bilder gespeichert und besser verglichen werden können.

Literatur:

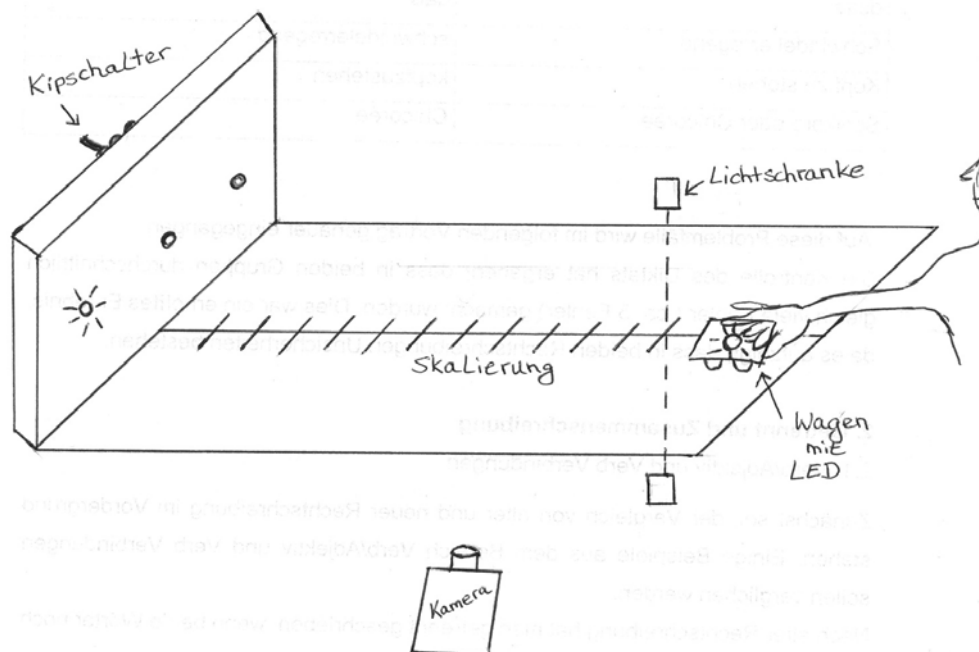
Schürmann, Heinrich, Igelmund, Gras, Übungen zur Physiologie und Ökologie im Hauptstudium, Teil Zoophysologie (animalische Physiologie), Göttingen 2004, S.13, 14

## Zielbewegung und Entscheidungsgeschwindigkeit bei Handbewegungen

Annalena Deuster, Tabea Frie, Nicole Heitmann

### ***Versuchsbeschreibung***

### **Skizze**



### **Technische Angaben**

Lichtschranke:

Die Lichtschranke wird über einen Photowiderstand geregelt. Wenn der Lichtstrahl, in unserem Versuch benutzen wir einen Laserpointer, unterbrochen wird, fließt Strom und die mit diesem Stromkreislauf verbundenen Lampen gehen an.

Auto:

Auf dem Wagen befindet sich eine Leuchtdiode, die mit einer Flip- Flop- Schaltung verbunden ist. Über regelbare Widerstände kann dann die Frequenz der Lichtreize eingestellt werden. In unserem Versuch war die Frequenz auf 100 Hz. eingestellt, d.h. die Lampe flackerte mit einer Frequenz von 100 Hz.

Durch das definierte Aufleuchten der Lampe ist es möglich die Zeiteinheit eines Standbildes der Videokamera in kleinere Einheiten zu Unterteilen.

Videokamera:

Zur Versuchsdurchführung muss die verwendete Kamera über eine Einzelbildeinstellung verfügen. In unserem Fall war ein Einzelbild der Kamera 20ms lang.

Zeiteinteilung:

Die Diode leuchtet 100 mal pro Sekunde; sie blinkt also jede 0,01 Sekunden.

Da ich eine Standbildlänge von 0,02 Sekunden habe, blinkt die Diode in diesem Bild zweimal. Zwischen den einzelnen Leuchtreizen liegen demzufolge 0,01 Sekunden = 10 ms. Man kann das Standbild so in kleinere Einheiten einteilen.

### **Dieser Versuch im Unterricht**

Der Versuch verdeutlicht, dass zwischen einem Reiz und der folgenden Reaktion immer eine gewisse Zeit vergeht. Zu Themenbereichen wie Reizweiterleitung und Reaktionsgeschwindigkeiten ließe sich dieser Versuch gut im Unterricht verwenden. Das Interesse der Schüler an diesem Experiment wird dadurch gesteigert, dass sich zu diesem Phänomen viele Bezüge zum Alltag herstellen lassen, so zum Beispiel Reaktionsgeschwindigkeiten im Straßenverkehr.

Im Unterricht kann der Versuch als Einstieg zum Themenbereich Reizweiterleitung gut verwendet werden, da er kein umfangreiches Vorwissen voraussetzt. Auch als Vertiefungsversuch oder zum Abschluss des Themenbereiches kann er genutzt werden, da er eine Möglichkeit bietet, das Gelernte eindrucksvoll zu präsentieren. Einsetzbar ist der Versuch ab der neunten Klasse, da hier auch das Verständnis über die theoretischen Grundlagen vorausgesetzt werden kann.

### **Kritik am Modell**

Uns ist es auf Grund unserer geringen technischen Kenntnisse teilweise schwer gefallen den Versuchsaufbau zu gestalten. Ohne Hilfe hätten wir das nicht geschafft. Möchte man diesen Versuch also nachbauen und im Unterricht einsetzen, sollte man sich dieser Anforderungen bewusst sein.

Auch der zeitliche Aufwand zum Bau des Versuchs ist nicht zu unterschätzen. Im Unterricht allerdings ist dieser Versuch gut einzusetzen, da neben den oben aufgeführten Vorteilen auch die Versuchsdurchführung im Rahmen einer Unterrichtsstunde möglich ist.

Aus der Diskussion mit dem Plenum ergab sich der Verbesserungsvorschlag, die Kamera über dem Versuchsbrett zu installieren. Sicherlich würden dadurch besser

ablesbarere Bilder entstehen, doch räumlich ist dieser Vorschlag oft schwer umzusetzen.

## **\*Registrierung schneller Bewegung mit LED-Stroboskop**

Vorbemerkung: Nach einigen Probedurchgängen stellte sich heraus, dass die Bewegungen der Gleichgewichtskompensation auch durch einfache Analyse der Video-Einzelbilder zu erfassen sind. Das vorhandene LED-Stroboskop wurde daher nicht eingesetzt. Man hätte sich hier trotzdem mehr Bezug zu den eigentlichen Ergebnissen des Versuchs gewünscht. R.Hustert

### **- Kompensationsbewegungen -** Beerlink, Johannes

Das Projekt:

Ziel war es, ein Projekt zu finden, um alltägliche Reaktionen des Gleichgewichtssystems des Körpers zu entdecken. Besonderes Augenmerk hat dabei die Kompensationsbewegung beim Stolpern oder anderen, äußeren Reizen gespielt, die das Hinfallen verhindern soll.

Um diese Kompensationsbewegung auszulösen wurde unter ein Holzbrett der Größe ca. 30\*80 cm in der Mitte ein weiteres, kleines Brett geschraubt (30\*ca. 8 cm), welches als Wippe fungierte. Es wurden zwei kleine Holzklötze angefertigt, die exakt unter das Brett passen (ebenfalls ca. 8 cm hoch), und an den beiden Seiten unter die Wippe gesetzt. An den Klötzen war jeweils eine mindestens ein Meter lange Schnur befestigt. Auf diese Wippe konnte sich eine Versuchsperson stellen, eine weitere Person hat dann einen der beiden Klötze mit Hilfe der Schnur weggezogen und so für ein Kippen der Wippe gesorgt.

Die Versuchsperson kippte zu einer ihr zuvor unbekanntem Seite und musste mit einer Kompensationsbewegung beginnen. Die Arme der Versuchsperson schnellten nach oben und die Knie bewegten sich entsprechend der „Fallrichtung“, so dass die Körperachse stets vertikal verlief (daher ist eine Versuchsperson mit liniertem Muster auf dem Oberteil zur besseren Veranschaulichung von Vorteil). Im Anschluss an die Kompensationsbewegung folgte eine Überkompensationreaktion, die ebenfalls vom Körper ausgeglichen werden musste. Denn da der Körper nicht die exakte Energiemenge ermitteln kann, mit der eine Kompensation ausgeführt werden muss, verwendet er zur Sicherheit mehr als evtl. erforderlich ist. Dadurch kommt es zu einer zu weiten Ausgleichbewegung, die ebenfalls kompensiert werden muss, aber schon zum Teil bewusst durch die Versuchsperson gesteuert werden kann.

Die gesamte Reaktion wurde mit der Kamera festgehalten, um die einzelnen Teilschritte der Kompensationsbewegung genau zu verdeutlichen. Durch die langsame Abfolge der einzelnen Standbilder waren diese gut erkennbar. Eine Leuchtdiode (LED) sollte die sehr schnellen Bewegungen verdeutlichen. Sie ist in der Lage, die 50 Hertz des Fernsehers durch eine eigene, einstellbare Frequenz von z.B. 200 Hertz zu erhöhen und so während der einzelnen Standbildersequenzen noch für eine Sichtbarkeit der Bewegungen zu sorgen. Es können dann während des „Standbildes“ vier kurze Blinksignale gesehen werden.



## Beurteilung:

Ein großer Vorteil des Projektes ist sicherlich die einfache Herstellung der Wippe. Auch die Durchführung des Versuchs ist einfach zu gestalten. Voraussetzung einer detaillierten Aufzeichnung und möglichen Interpretation ist aber ein Fernseher, ein Videogerät und eine Kamera, mit der diese Aufnahmen möglich sind.

Auf die Diode kann in diesem Experiment auch verzichtet werden, wie sich gezeigt hat. Denn die Ausgleichbewegungen sind nicht so schnell, als dass sie nicht in den 50 Hz Sequenzen des Fernsehers gezeigt werden könnten. Um Reflexe und deren zeitlichen Verlauf zu bestimmen ist die Diode da schon sinnvoller.

Jetzt stellt sich die Frage, ob der Versuch auch die erwünschten Resultate zeigt.

Hierzu muss man sagen, dass die unterschiedlichen Versuchspersonen auch unterschiedlich auf das Wegziehen des Klötzchens reagiert haben. Bei zwei Personen ergab sich der gewünschte Effekt. Es war eine eindeutige Kompensationsbewegung wie in der Projektbeschreibung aufgeführt zu erkennen. Bei einer dritten Versuchsperson ergab sich der Effekt erst beim zweiten Versuch in abgeschwächter Form und bei einer vierten Person konnte gar keine Ausgleichbewegung festgestellt werden, da diese sofort mit dem entsprechenden Fuß fest auf dem Boden stand.

Bei den zwei erfolgreichen Versuchen konnte die Veränderung der Körperhaltung und das Heraufschnellen der Arme gut beobachtet werden. Der Körper versucht dabei ständig seine Achse im Lot zu halten. Dies ist für die Orientierung im Raum und für das Halten des Gleichgewichts sehr wichtig. Der Körper registriert eine Beschleunigung (hier: Linearbeschleunigung) in eine bestimmte Richtung und vergleicht die Information mit der Lage im Raum (visuelle Information) und der aktuellen Körperhaltung (Rezeptoren in den Gelenken und Muskeln). Daraus erfolgt dann eine Gegenreaktion, die Kompensationsbewegung.

Eine weitere Möglichkeit, den Versuch zu spezifizieren wäre, der Versuchsperson eines der für das Gleichgewichtssystem verantwortlichen Sinne zu nehmen. So könnten z.B. die Augen verbunden werden. Der Körper hat dann keine Möglichkeit mehr, mittels visueller Informationen die Lage im Raum zu bestimmen. Eine Kompensationsbewegung wäre daher wesentlich stärker oder in eine andere Richtung zu erwarten. Dies ist bei einer evtl. Durchführung auch zu beachten (Verletzungs-

gefahr). Auch könnte die genaue Geschwindigkeit der Kompensationsbewegung gemessen werden. Hierfür ist z.B. die Diode hilfreich, da die genaue Taktfrequenz bekannt ist. So kann mittels der gemessenen Strecke und der entsprechenden Zeit die Geschwindigkeit und evtl. auch die Beschleunigung berechnet werden. Diese können wieder darüber Aufschluss geben, ob die Kompensationsbewegung willkürlich oder bewusst geschehen ist. Denn bewusste und gezielte Bewegungen sind meist langsamer oder weniger kraftvoll als Reflexreaktionen.

Zusammengefasst lässt sich sagen, dass das Projekt durchaus den gewünschten Effekt hervorbringen kann. Die Zuverlässigkeit ist allerdings nur eingeschränkt gegeben. Durch eine feinere Ausarbeitung und eine genaue Abstimmung der Wippe auf die jeweilige Testperson könnte diese sicher verbessert werden. Ob der Aufwand für das gewünschte Resultat aber sinnvoll ist bleibt jedem Tester selbst überlassen.

### **Anwendbarkeit in der Schule:**

Aufgrund der Einfachheit und auch schnellen Umsetzbarkeit hat das Projekt sicherlich gute Voraussetzungen für den Schulunterricht. Und ein Fernsehapparat, Videogerät und eine Kamera sind in den meisten Schulen vorhanden. Zudem kann der Lehrer eine Wippe in kurzer Zeit für die Biologiesammlung anfertigen oder noch besser durch Schüler (z.B. im Werkunterricht) anfertigen lassen.

Gerade so ein Modellversuch ist eine wichtige und gut umzusetzende Methode, wissenschaftliches Arbeiten in der Schule anzuwenden. Mit dem Hintergrund, dass Schüler selbst vor die Aufgabe gestellt werden, ein Modell oder einen Lösungsweg für das Gleichgewichtssystem zu entwickeln, kann wissenschaftliches Denken und Arbeiten schon in der Schule erlernt werden. Dies wird nicht zuletzt durch die in Gymnasien eingeführte Facharbeit belegt, die in der 12. Klasse zu verfassen ist. Kleinere Projektarbeiten können aber sicher auch schon früher gefördert werden.

Durch den praktischen Aspekt des Projektes kann den Schülern sehr einfach das vermittelt werden, was sie zuvor in der Theorie gelernt haben.

So ist das Thema Gleichgewichtssystem ein spannendes und auch wichtiges Thema in der Sekundarstufe 1. Die Schüler können den Zusammenhang zwischen den einzelnen Sinnen und ihre jeweilige Funktion besser kennen und verstehen lernen.

Muskelaufbau und Funktion in Hinblick auf die dort eingebauten Rezeptoren sind ein Weg, die vielen Funktionen und Möglichkeiten des Auges ein weiterer und letztlich

der Aufbau und die Funktion des Ohres ein dritter Weg, um auf das Thema Gleichgewichtssystem hinzuarbeiten. Und hier bietet das Thema zudem eine hervorragende Möglichkeit, die Themenbereiche um das Gleichgewichtssystem miteinander zu vernetzen oder Unterrichtsteile zu wiederholen, wie es im Modell des Spiralcurriculums gefordert wird.

Der Effekt des Versuches, ein eindrucksvoll ein komplexes System zu zeigen ist sicherlich begrenzt. Dennoch kann der Versuch durchaus hilfreich sein, die übergreifenden Sachverständnisse zu stärken.

### **Einbau in den Unterricht:**

Der Versuch wird mit Auswertung der Videobilder und einem anschließenden Gespräch ca. 1 Schulstunde einnehmen. Durch die Art des Versuchs ist dabei die Unterstützung der Schüler als relativ sicher anzusehen, denn die Schüler können selbst mitarbeiten und auch an der Thematik und dem Einsatz von technischen Geräten im Unterricht Freude finden. Den Versuch als einen Teil einer Projektarbeit von Schülern durchführen zu lassen stärkt zudem die Eigeninitiative der Schüler.

Technischer Einsatz und technisches Verständnis werden durch den Einsatz von Kamera oder Diode gefördert.

Zu welchem Zeitpunkt der Unterrichtsphase der Versuch am besten geeignet ist, kann meiner Meinung nach variabel gestaltet werden. So würde er sich als Einleitung der Unterrichtseinheit eignen, um das Interesse der Schüler zu wecken. Aber auch die Möglichkeit des praktischen Belegs für das Erlernte steht offen. Dies ist dem Lehrer in seiner Planung frei überlassen.

### Der Gleichgewichtssinn

#### **Vorbemerkung**

Entgegen der vielleicht allgemein herrschenden Meinung braucht man den Sinn fürs Gleichgewicht nicht nur zum Halten desselben, sondern auch zur Orientierung im Raum. Um dieser Aufgabe zu genügen werden neuronal mehrere Informationen miteinander verrechnet, die alle zum Gleichgewicht beitragen. Dies unterscheidet ihn von anderen Sinnen wie z.B. dem Sehsinn, dessen Wahrnehmung nur aus dem von Photorezeptoren gemessenen Licht resultiert.

Folgende Wahrnehmungen bzw. Informationen führen zum Sinn für das Gleichgewicht bzw. zur Orientierung im Raum:

- 1) die **Drehbeschleunigung**: wird in den Bogengängen des Labyrinths gemessen
- 2) die **Linearbeschleunigung**: wird in der Macula (Utriculi, Sacculi ) des Labyrinths gemessen.
- 3) die **Körperhaltung**: wird mit sog. somatischen Rezeptoren in Gelenken, Sehnen, Muskeln gemessen
- (4) die **visuelle Information**: des Auges

Ein weiterer Unterschied zu anderen Sinnen ist, dass wir die meisten Wahrnehmungen nicht bewusst erfahren. *Beispiel:*

1) laufen, stolpern:

Beim Laufen oder stehen halten wir nicht bewusst das Gleichgewicht, vielmehr tun wir dies unbewusst. Wenn wir dann einmal wegen Unachtsamkeit stolpern so registriert unser Gleichgewichtsapparat auf eine unerwartete Beschleunigung in eine „falsche“ Richtung. Diese Information zusammen mit Informationen über unsere aktuelle Körperhaltung von den somatischen Rezeptoren führen zu einer Gegenreaktion, die das stolpern abfangen soll, noch bevor uns bewusst wird, dass wir stolpern.

2) Kompensationsbewegungen:

Bei Bewegungen jeglicher Art verändern wir unsere relative Stellung des Kopfes zum Raum. Damit unser Blickfeld dann aber dasselbe bleibt, müssen wir mit den Augen korrigierende Bewegungen durchführen. Dies geschieht unbewusst, auf Grund von Informationen aus den Bogengängen über die Drehbeschleunigung.

Durch die Vielfalt der Informationen, die zu diesem Sinn beitragen besteht eine große Anzahl von Kompensationsmöglichkeiten in der Gewichtung. So kann man trotz eingeschränkter Funktion des Gleichgewichtsapparates noch gehen, da die fehlenden Informationen durch visuelle Informationen kompensiert werden. Ein Fehlen einer Information führt zu einer schlechteren Wahrnehmung, das Widersprechen von einzelnen Informationen zum Schwindel bzw. Unwohlsein.

Beispiel: Seekrankheit: Widerspruch von Visuellen- und Beschleunigungsrezeptoren.

**Die Reiztransduktion im Gleichgewichtsapparat**

Beim Menschen und den meisten anderen Säugern ist der Gleichgewichtsapparat im Innenohr lokalisiert. Hinter dem ovalen Fenster liegt

der Vestibularapparat mit zwei Kammern, dem Utriculus und Sacculus, sowie den drei Bogengängen.

Die drei Bogengänge sind in den drei Ebenen des Raumes ausgerichtet und haben an ihrer Basis eine Verdickung, die als Ampulle bezeichnet wird.

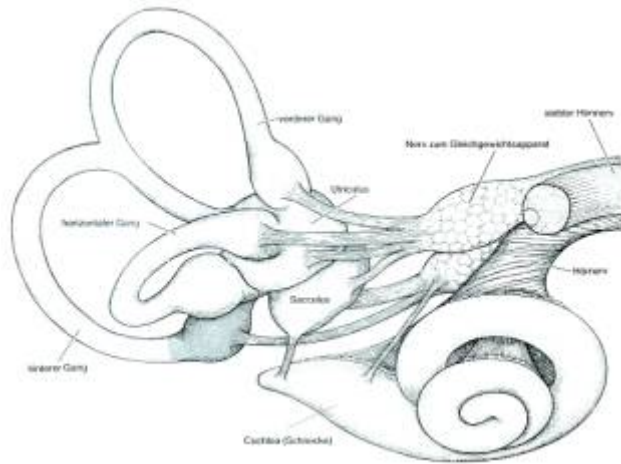


Abb. 1 Bildnachweis: Gleichgewichts- und Orientierungssinn. Donald E. Parker

In jeder Bogengangsampulle steht eine Gruppe von Haarzellen, deren Cilien in eine gallertartige Masse ragen, die Cupula die bis zum Dach der Ampulle reicht.

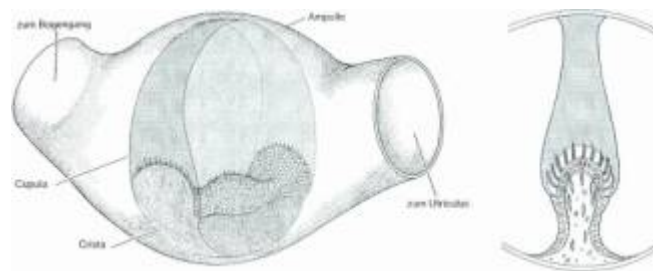


Abb. 2 Bildnachweis: Gleichgewichts- und Orientierungssinn. Donald E. Parker

Wenn nun der Kopf gedreht wird, bleibt die Endolymphe träge zurück:

Sie drückt sich ausbeult abbiegt.

damit auf die Cupula, die und die Haarbündel

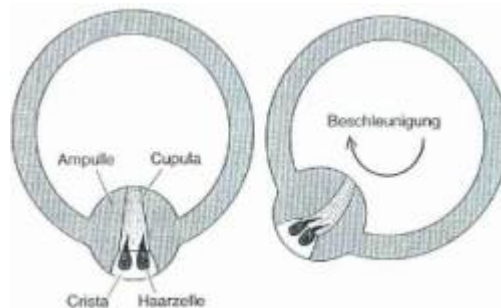


Abb. 3. Bildnachweis

In Utriculus und Sacculus ragen die Haarbüschel in ein galleartiges Netzwerk aus Eiweißmolekülen, dass man als Statolithenmembran bezeichnet. Auf ihrer

Oberseite häufen sich kleine Kristalle, die sogenannten Statokonien, die eine wesentlich höhere Dichte als die umgebende Endolymphe besitzen. Bei einer Beschleunigung des Kopfes bleiben sie träge hinter der Körperbewegung zurück, was sich auf die Cilien der Sinneshaare überträgt und sie entgegengesetzt zur Beschleunigung abbiegt.

### Die neuronale Verschaltung

Die einzelnen Elemente des Gleichgewichts- und des Orientierungssystems sind auf vielfältige Weise verschaltet. Die vestibulären-, visuellen- und somatischen Rezeptoren schicken ihre elektrischen Impulse in drei Untereinheiten des Zentralnervensystems: das Vestibulo-Cerebellum, die vestibulären Kerne und die Retikularisformation. Nach dem die eingegangenen Signale verarbeitet wurden, geben die vestibulären Kerne die Information an eines der beiden Ausführenden Zentren und an den Thalamus weiter.

Nur die vom Thalamus registrierten Informationen werden bewusst wahrgenommen

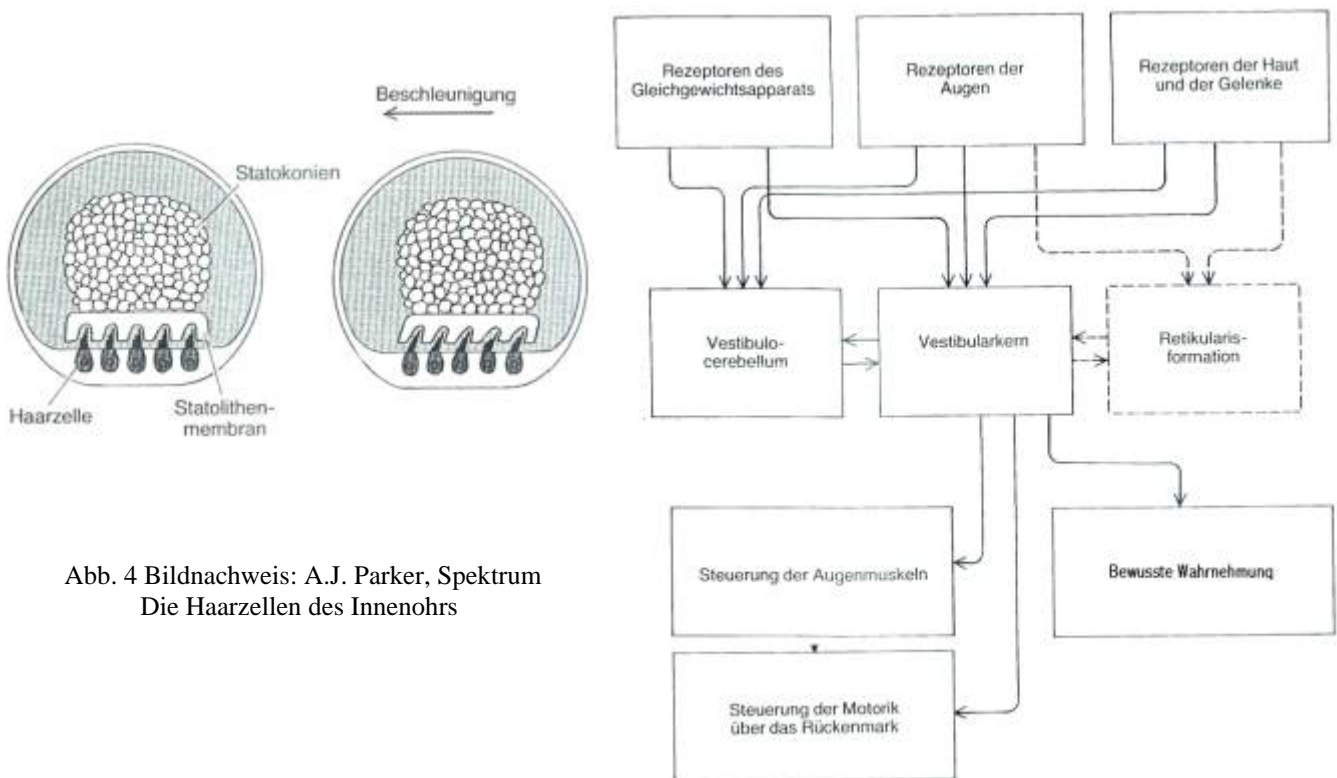
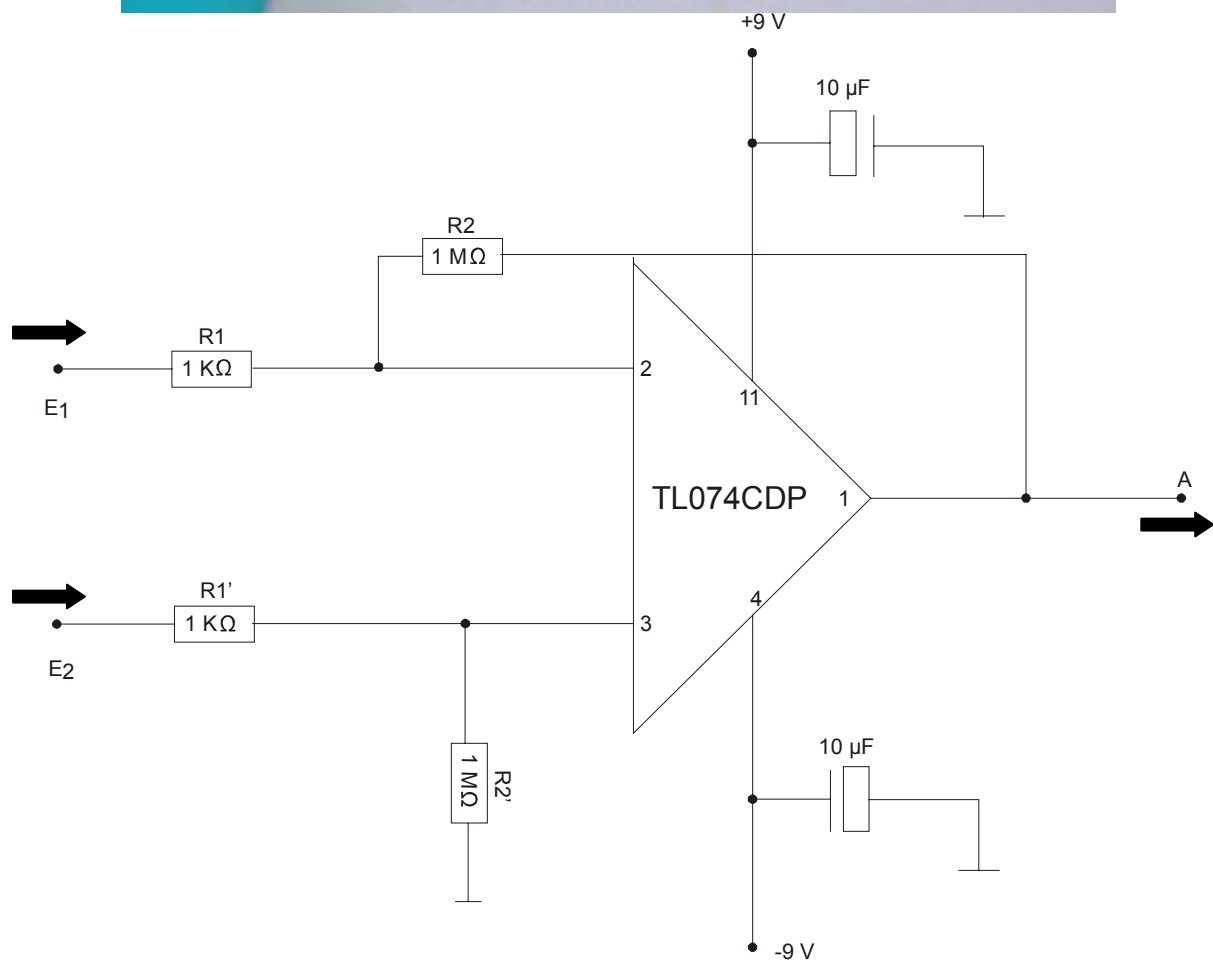
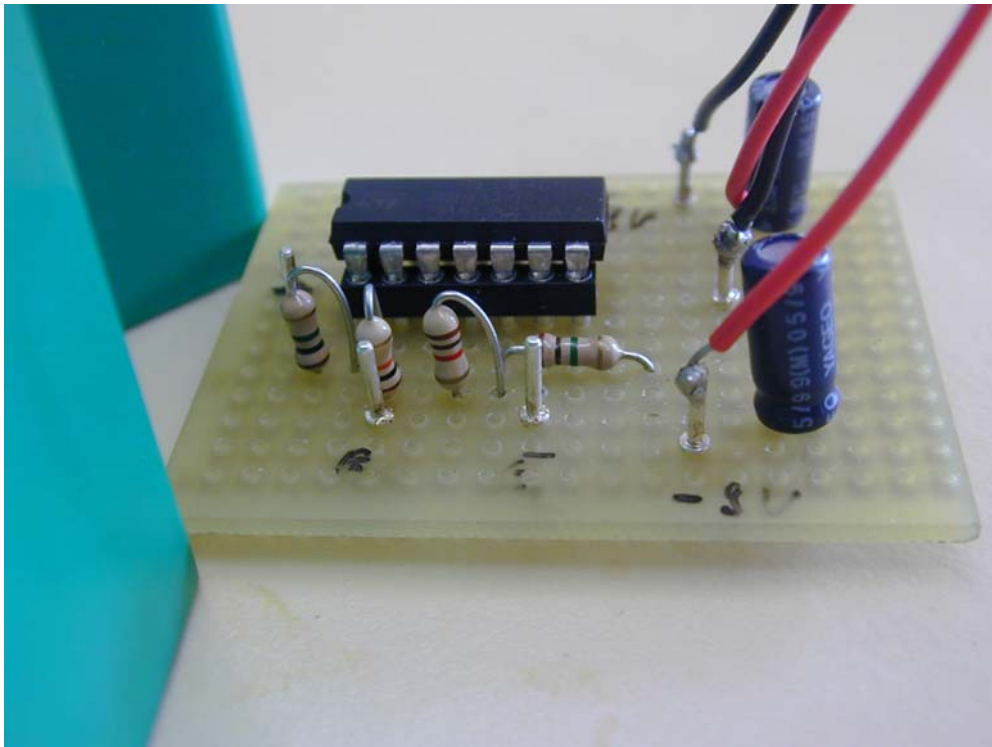


Abb. 4 Bildnachweis: A.J. Parker, Spektrum  
Die Haarzellen des Innenohrs

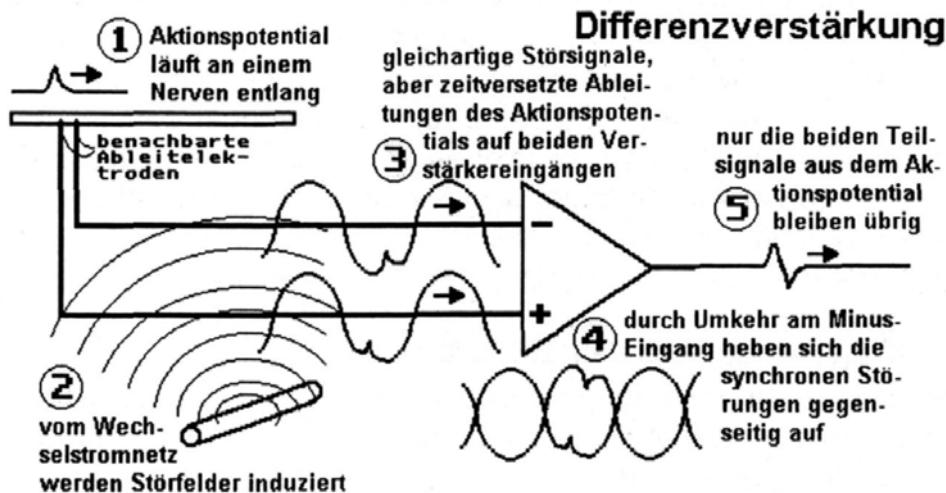
# Verwendete Kleingeräte: Funktionen und Selbstbau

## a) Differenzverstärker





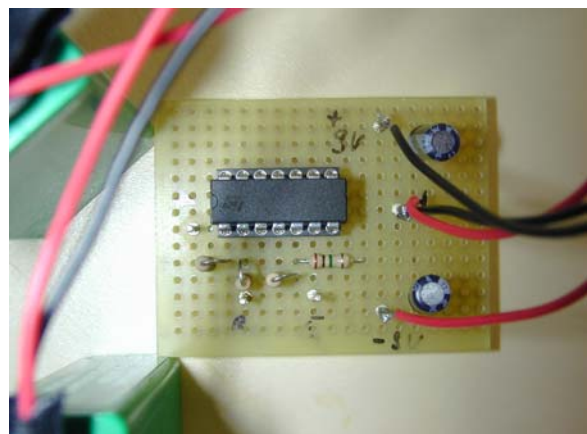
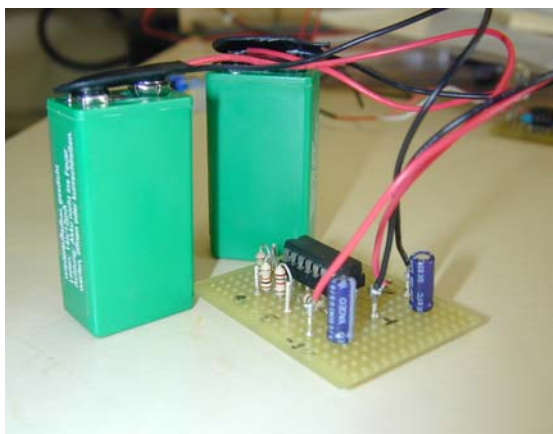
Man benutzt Differenzverstärker, um Störsignale zu unterdrücken. 2 Messelektroden werden nebeneinander auf einem Nerv oder Muskel angebracht, so dass Potentialänderungen zeitversetzt registriert werden, während Störsignale, die sich annähernd mit Lichtgeschwindigkeit im Raum ausbreiten, zeitgleich von den Elektroden und Kabeln aufgenommen werden. Der Verstärker hat 2 Eingänge, wobei das Signal am 2. Eingang invertiert wird. Im Verstärker werden die Signale voneinander abgezogen, so dass sich die zeitgleich auftretenden Störsignale gegenseitig auslöschen, während die zeitversetzt auftretenden Muskel/Nervenpotentiale erhalten bleiben.



aus dem Skript „Übungen zur Physiologie und Ökologie im Hauptstudium, Teil Zoophysologie“

An sich ist der Operationsverstärker (TL074CDP) schon ein richtiger Differenzverstärker. Dummerweise ist der Verstärkungsfaktor viel zu hoch und damit unbrauchbar. Diese Schaltung verringert unter Zuhilfenahme von zwei Spannungsteilern den Verstärkungsfaktor. Diese Schaltung funktioniert nur, wenn  $R1=R1'$  und  $R2=R2'$  sind, damit die Symmetrie der Eingangssignale stimmt.

Der Verstärkungsfaktor wird durch das Verhältnis  $R1/R1'$  bzw.  $R2/R2'$  bestimmt. Die Verstärkte Spannungsdifferenz ist nichts anderes als  $U_{e2}-U_{e1}$ . Die Ausgangsspannung berechnet sich wie folgt:  $U_a=R2/R1 * (U_{e2}-U_{e1})$



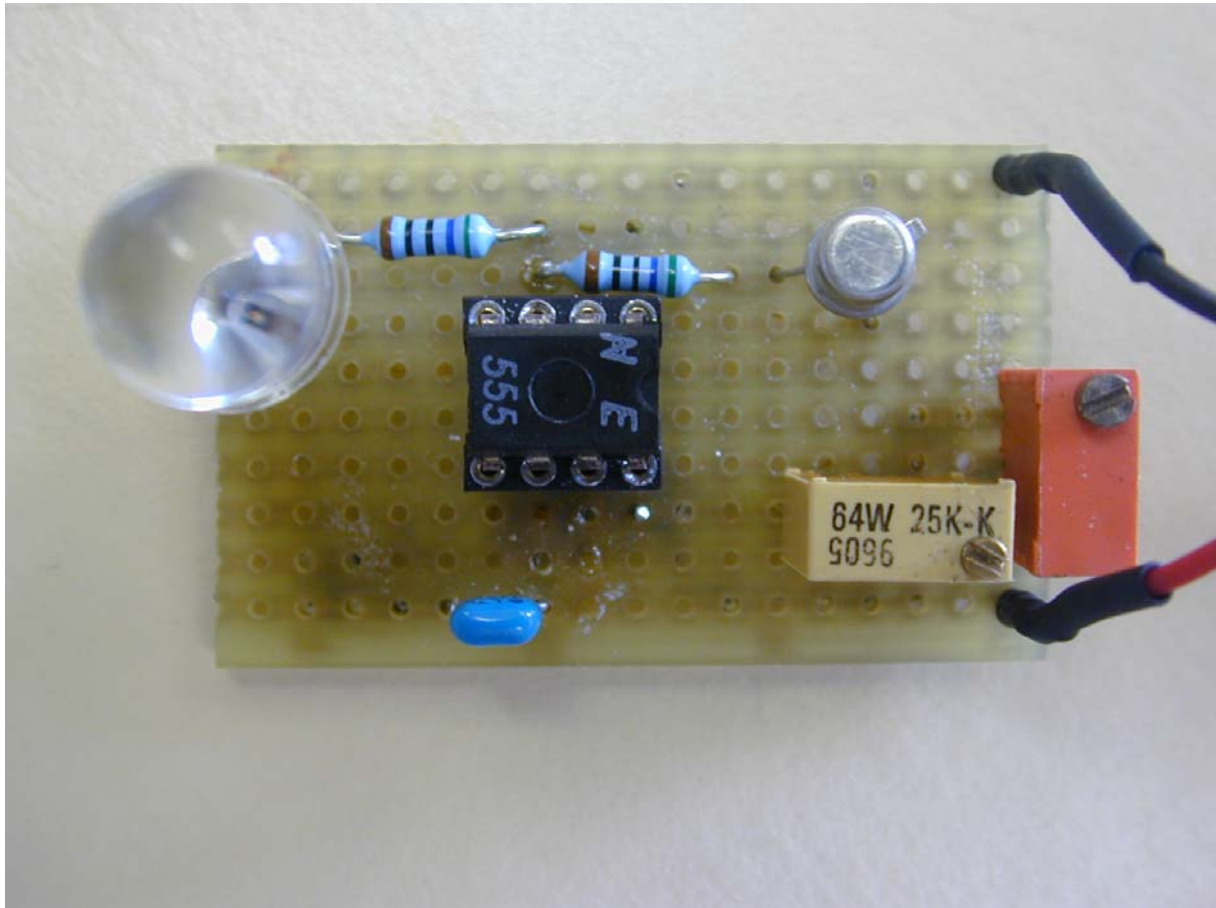
### Materialliste

Operationsverstärker TL074CDP		0,65 €	0,65 €
2 Kondensatoren 10 $\mu$ F	2x	0,12 €	0,24 €
Widerstand 1 M $\Omega$	2x	0,13 €	0,26 €
Widerstand 1 K $\Omega$	2x	0,13€	<u>0,26 €</u>

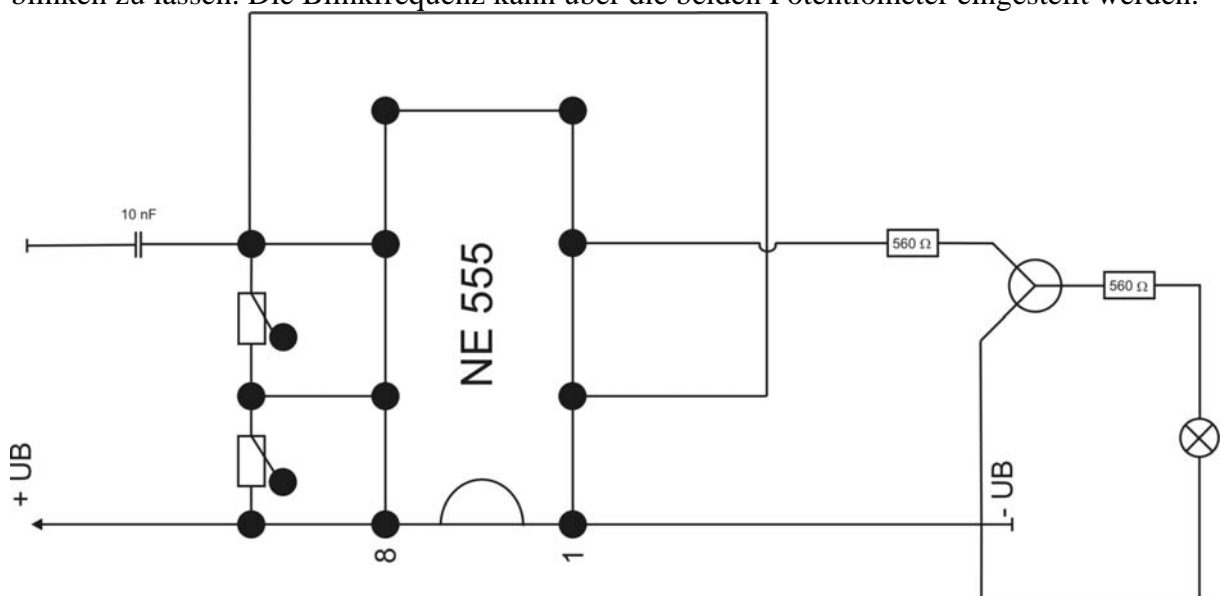
1,41 €

weitere Informationen: <http://www.elektronik-kompodium.de/public/schaerer/diffamp.htm>

## **b) Stroboskop als Blinkende Leucht-Diode (astabile Kippstufe)**



In diesem Fall wird die Schaltung einer „astabilen Kippstufe“ dazu benutzt, eine Leuchtdiode blinken zu lassen. Die Blinkfrequenz kann über die beiden Potentiometer eingestellt werden.

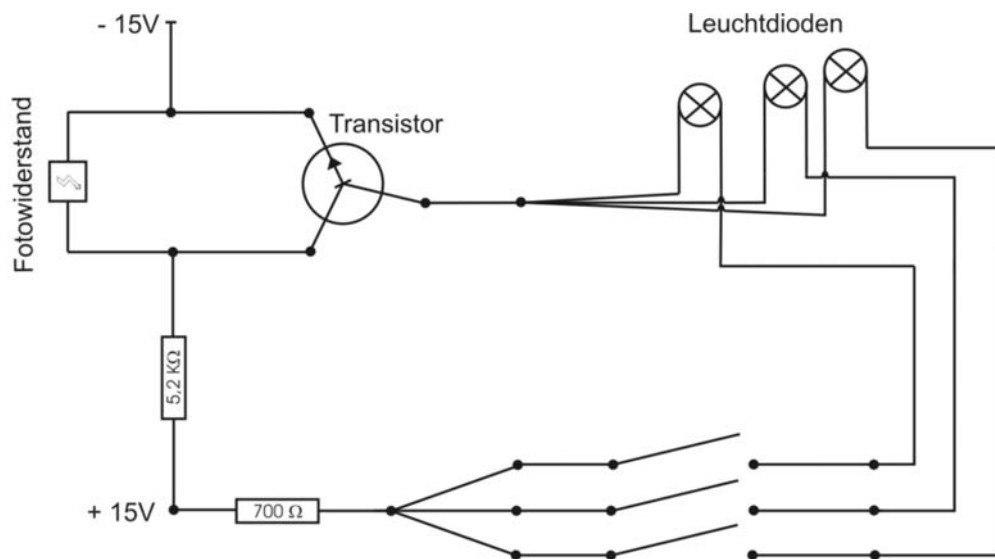


## Materialliste

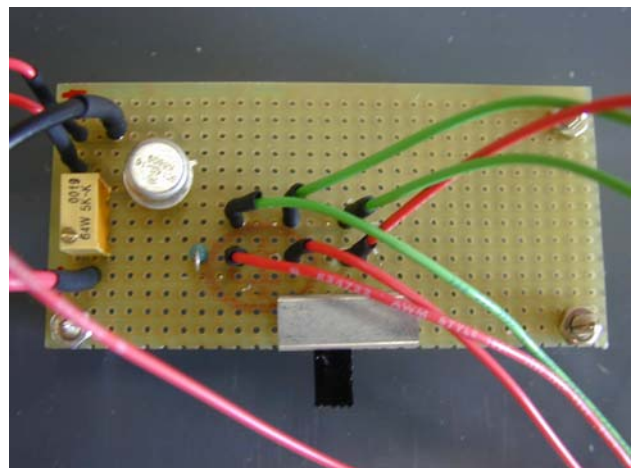
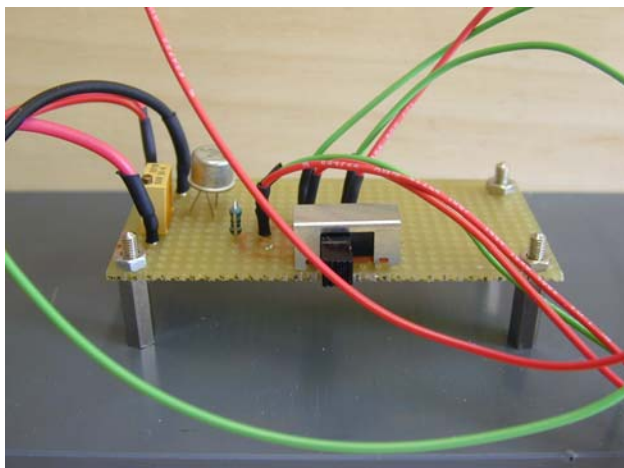
NE555		0,33 €	0,33 €
Widerstand 560 W	2x	0,13 €	0,26 €
Leuchtdiode		4,99 €	4,99 €
Kondensator 10 nF		0,17 €	0,17 €
Poti 25K-K		0,26 €	0,26 €
Poti		0,26 €	0,26 €
Transistor CDIL BC 107B		0,54 €	<u>0,54 €</u>
			<u>6,81 €</u>

weitere Informationen: [http://hraeuchle.bei.t-online.de/inhalte/dig\\_grundschr/m10\\_010fst.htm](http://hraeuchle.bei.t-online.de/inhalte/dig_grundschr/m10_010fst.htm)

### c) Lichtschranke (Sensor für Auslösung)



Die Lichtschranke ist so geschaltet, dass bei Abdunklung des Fotowiderstandes der Stromkreis geschlossen wird und eine der Dioden leuchtet, je nachdem, welche über den Schalter aktiviert ist.





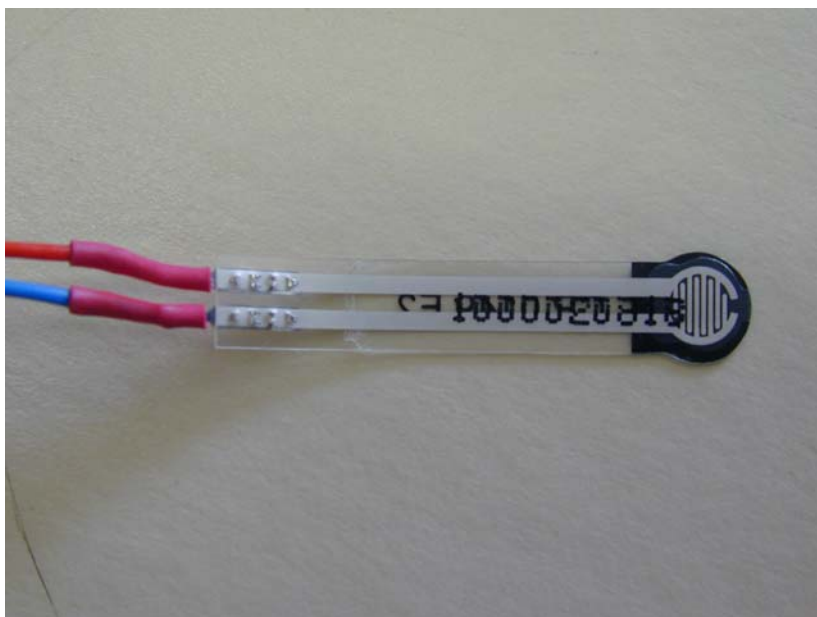
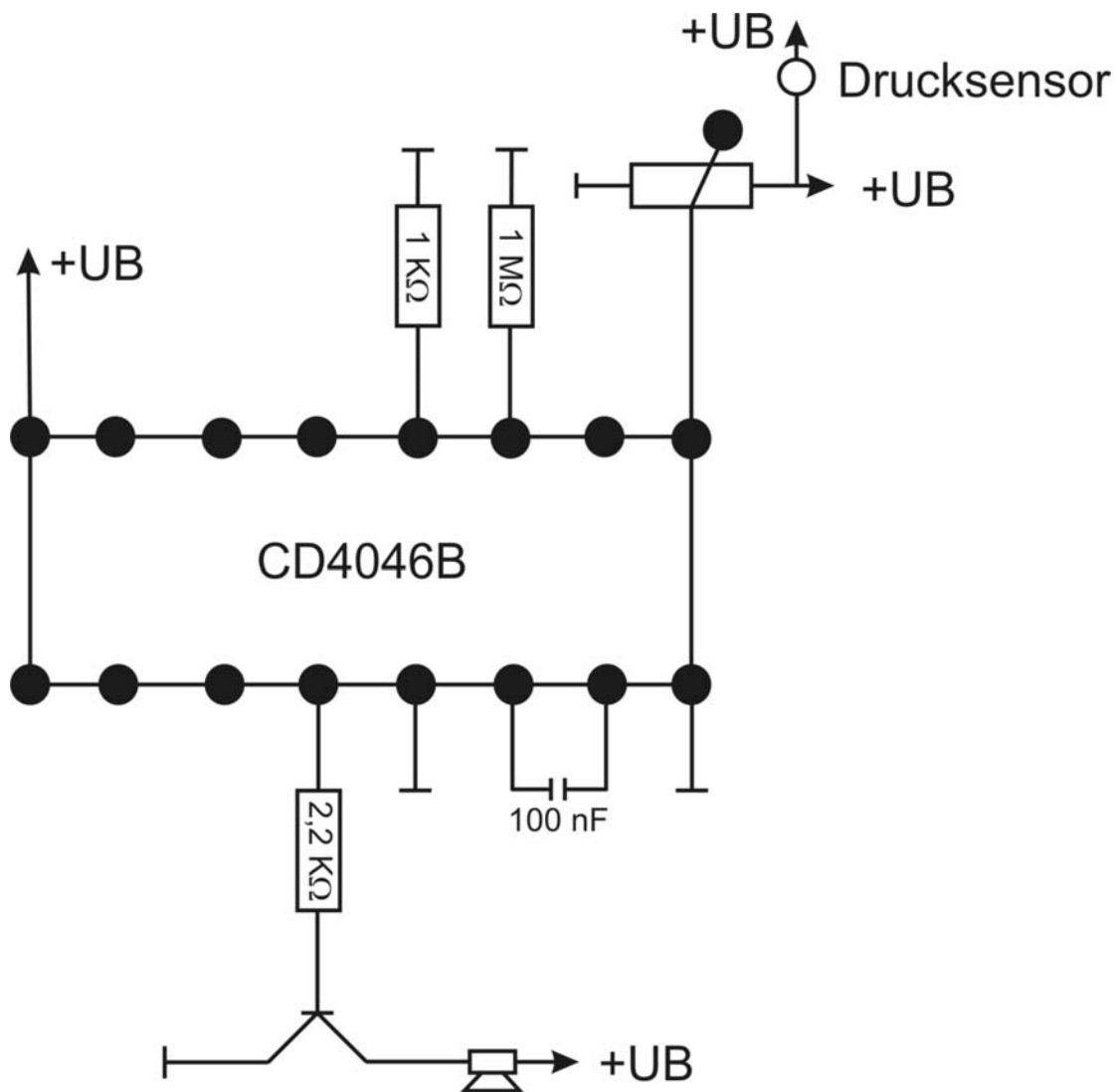
Fotowiderstände bieten sich ideal für den Bau von Lichtschranken, Lichtrelais, Dämmerungsschalter, Zählleinrichtungen, Alarmanlagen, Lichtüberwachung o.a. an. Kenndaten: (bei Farbtemperatur 2700 K) Widerstand bei 1000 I<sub>x</sub>, 75 bis 300 Ω · Widerstand bei völliger Dunkelheit 30 min nach Lichtsperrung: 10 MΩ · Kapazität: 6 pF · Grenzdaten: U<sub>B</sub> = max. 150 V, P (40°) = max. 0,2 W.

#### Materialliste

Fotowiderstand	1,05 €	1,05 €
Poti 5K-K	0,26 €	0,26 €
Transistor BC140-16	0,54 €	0,54 €
Widerstand 700 Ω	0,13 €	0,13 €
LED	0,10 €	0,10 € (blau ist teurer)
		<u>2,08 €</u>

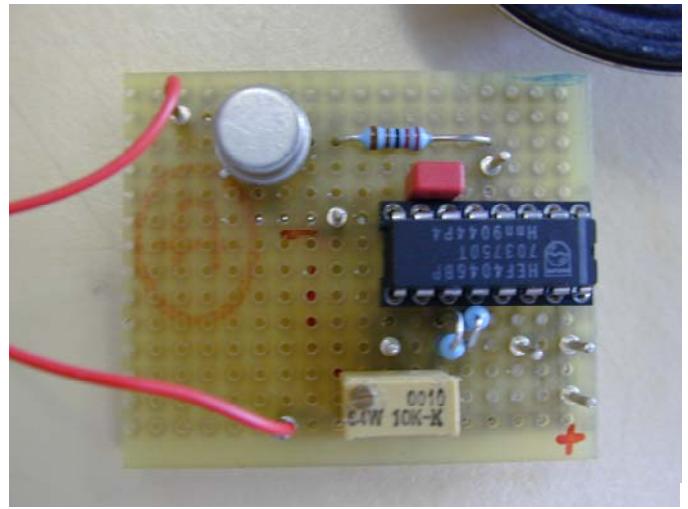
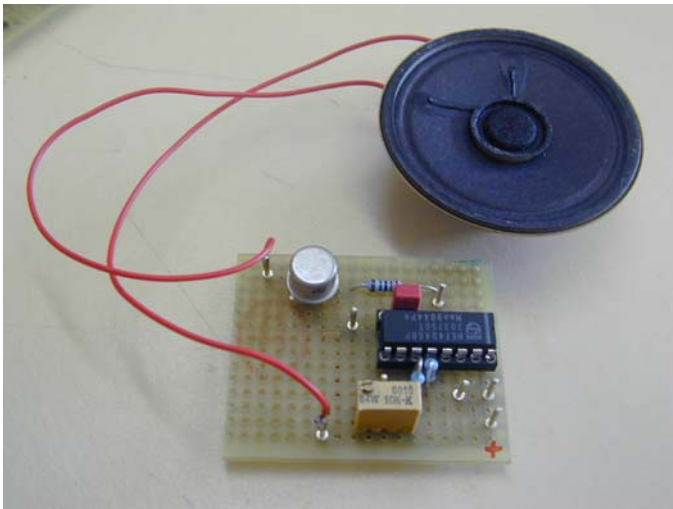
### **d) VCO (voltage controlled oscillator/ spannungsgesteuerter Oszillator)**

Bei einem VCO handelt es sich um einen elektrischen Schwingungserzeuger, dessen Frequenz abhängig von der angelegten Spannung ist. In diesem Fall wird die Spannung über einen veränderbaren Widerstand in Form eines Drucksensors variiert.



Drucksensor  
 Drucksensoren sind ähnlich wie Folienschalter, ändern aber, im Gegensatz zu konventionellen Schaltern, den Widerstand bei in Normalrichtung aufgebrachtem Druck. Ein Fingerdruck von 10 g bis 10 kg auf einen Sensor bewirkt, dass der Widerstand von ca. 2 MΩ auf ca. > 3 kΩ abfällt, ca. 10000000 Auslösungen





### Materialliste

Drucksensor	7,95 €	7,95 €
CD4046B	1,68 €	1,68 €
Kondensator 100 nF	2,85 €	2,85 €
Poti 10K-K	0,26 €	0,26 €
Transistor BC 140	0,54 €	0,54 €
Widerstand 1 K $\Omega$	0,13 €	0,13 €
Widerstand 2,2 K $\Omega$	0,13 €	0,13 €
Widerstand 1 M $\Omega$	0,13 €	0,13 €
Lautsprecher	1,30 €	<u>1,30 €</u>
		14,97 €