

Offenes Lernen Biophysik

Frühling 2015, 8. Klasse

In diesem Text findet ihr vieles von dem, was ihr zum Offenen Lernen zum Thema Biophysik braucht; einige Formalitäten und viel Physik, aber auch die Aufträge und Fragen. Bewahrt diesen Text gut und legt einen Ordner, ein Portfolio oder einen Schnellhefter an. Achtet auch gut auf eigene Interessen und wie ihr sie einbringen könnt.

Inhaltsverzeichnis

1	Voraussetzungen	2
2	Zeitplan	2
3	Beurteilungskriterien	2
4	Themen	3
5	Scaling Laws und warum wir Menschen nicht fliegen	3
6	Hebel, Kraft und Muskeln	6
7	Nerven und Elektrizität	7
8	Licht- und Schallverarbeitung	12
9	Methoden der Medizin	13
10	Bonusthemen	13
11	Mathematisches und physikalisches Wissen	14
11.1	Direkte Proportionalität	14
11.2	Logarithmus	14
11.3	Änderungsrate	15
11.4	Kommentare zu den Axiomen von Newton	15
11.5	Geschwindigkeit	16
11.6	Beschleunigung	16
11.7	Drehmoment	16
11.8	Drehimpuls	16
11.9	Spannung	16
11.10	Temperatur und Kelvin	16
11.11	Umrechnen	16

1 Voraussetzungen

Es gibt fünf Hauptthemen, zu jedem Hauptthema gibt es (mindestens) einen Hauptauftrag und einige Fragen. Das ist der Kernstoff. Diesen Kernstoff muss jede Person machen. Nicht gemacht impliziert eine negative Beurteilung. Du musst bei 90% der Stunden anwesend sein, anderenfalls musst du etwas Zusätzliches nachholen.

Bei den Diskursrunden, wo wir zusammensitzen und Kenntnisse austauschen, beteiligst du dich aktiv. Eine aktive Beteiligung zählt als positive Teilleistung.

Du hast etwas wie ein Portfolio (Schnellbinder, Mappe, oder ähnliches) zu diesem Projekt.

Wenn du eine Stunde versäumst, bist du dafür verantwortlich, das Verpasste nachzuholen.

Du musst auch regelmäßig zu Hause im Internet recherchieren.

Du schreibst nach jeder zweiten Stunde kurz auf, was du gelernt hast. Also, irgendwo in deinem Portfolio finde ich ein 'Logbuch' mit deinen Fortschritten. Ohne Logbuch keine positive Beurteilung.

Bei Problemen werde ich rechtzeitig über Email oder im Unterricht verständigt.

Du hast jede Stunde dein Material dabei.

Du lernst die wichtigen Begriffe und Zusammenhänge: du liest und lernst gemäß dem Zeitplan den Text, der hier vor dir liegt – siehe auch Index.

2 Zeitplan

Der Zeitplan wird in den ersten Wochen in Zusammensprache mit euch festgelegt.

- Termin 1: War in Woche 18. Thema wurde bekanntgegeben.
- Ab Woche 19 geht es dann wirklich los. Für das Thema der Allometrie werden wir etwa 2 Wochen brauchen. Danach gehe ich von einer Woche pro Thema aus, Plus zwei Wochen wegen irgendetwas. Daher dauert es bis ungefähr Mitte oder Ende März. Das Ziel ist es dann vor den Osterferien erledigt zu haben.

3 Beurteilungskriterien

Erst wenn folgende Bedingungen erfüllt sind, kann eine positive Beurteilung stattfinden:

1. 90% Anwesenheit; oder (1) die fehlende Zeit wurde mittels Zusatzaufträge abgearbeitet, oder (2) mit mir wurden sonstige der Qualitätssicherung dienende Maßnahmen vereinbart. Dieser Punkt liegt in deinem Verantwortungsbereich; ich warne nicht, wenn du zu oft nicht da bist.
2. Ab der ersten Woche (Woche 19 in meiner Zählung) ist ein Portfolio (Mappe) vorhanden.
3. Du schaust regelmäßig auf die Homepage und benutzt die Online-Version dieses Textes.
4. Logbuch ist vollständig.
5. Alle Hauptaufträge und Hauptfragen wurden abgeschlossen

Sind sie nicht erfüllt, dann ist die Note 'Nichtgenügend'. Wenn sie erfüllt sind, dann wird die Note wie folgt bestimmt:

Sehr Gut: Alle Hauptaufträge wurden überdurchschnittlich gut abgeschlossen, alle Hauptfragen wurden überdurchschnittlich gut abgeschlossen, sodass nur kleine Fehler vorhanden sind. Du hast mehr als 60% der Zusatzaufgaben gut ausgearbeitet und ein oder mehrere Bonusthemen schön ausgearbeitet. Alle Leistungen sind Eigenleistungen. Du hast selbstständig gearbeitet. Alle Quellen wurden korrekt angegeben. Das Portfolio ist ordentlich und eine Augenweide. Du kannst klar zwischen Hauptsachen und Nebensachen unterscheiden.

Gut: Alle Hauptaufträge wurden überdurchschnittlich gut abgeschlossen, alle Hauptfragen wurden überdurchschnittlich gut abgeschlossen, sodass nur kleine Fehler vorhanden sind. Du hast ein Bonusthema gut ausgearbeitet. Du hast mehr als 60% der Zusatzfragen überwiegend richtig und korrekt bearbeitet. Alle Leistungen sind Eigenleistungen. Du hast überwiegend selbstständig gearbeitet. Alle Quellen wurden korrekt angegeben. Das Portfolio ist schön und ordentlich. Du kannst zwischen Hauptsachen und Nebensachen unterscheiden.

Befriedigend: Alle Hauptaufträge wurden überwiegend gut abgeschlossen, alle Hauptfragen wurden überwiegend gut abgeschlossen, sodass vielleicht einige Fehler vorhanden sind, aber mehrheitlich ist es richtig. Du hast ein Drittel der Zusatzfragen überwiegend richtig und korrekt bearbeitet. Alle Leistungen sind Eigenleistungen. Die Quellen wurden korrekt angegeben. Das Portfolio ist schön und ordentlich. Du weißt, was die Hauptbegriffe sind und wie sie zusammenhängen.

Genügend: Alle Hauptaufträgen wurden mehrheitlich gut abgeschlossen, alle Hauptfragen wurden mehrheitlich gut abgeschlossen. Mehrheitlich ist der Inhalt korrekt. Du hast ein Bonusthema gut ausgearbeitet. Alle Leistungen sind Eigenleistungen. Das Portfolio ist ordentlich und lesbar. Du kennst die Hauptbegriffe.

Nicht genügend: Die oben genannten Bedingungen sind nicht erfüllt, oder die bei den anderen Beurteilungen genannten Kriterien wurden nicht oder nicht zur Gänze erfüllt.

4 Themen

- Scaling Laws und warum wir Menschen nicht fliegen.
- Hebel, Kraft und Muskeln
- Nerven und Elektrizität
- Licht- und Schallverarbeitung
- Methoden der Medizin

5 Scaling Laws und warum wir Menschen nicht fliegen

In der Biologie kann man nur selten mit genauen Formeln arbeiten. Darum ist es wichtig, einen Formalismus zu haben, dass es trotzdem erlaubt, einigermaßen mit physikalischen Größen zu arbeiten.

Zwei Größen sind direkt proportional $A \sim B$ bedeutet, dass $A = kB$ für eine positive, reelle Zahl k . Diese Konstante k ist oft nicht wichtig, und kann eventuell später bestimmt werden.

Wichtige Regeln, die man direkt nachvollziehen kann:

(1) Wenn $A \sim B$ und $B \sim C$, dann $A \sim C$.

(2) Wenn $A \sim B$ und $C \sim D$, dann $AB \sim CD$.

(3) Wenn $A \sim B^\alpha$, dann $^{10}\log(A) = \alpha \cdot ^{10}\log(B) + \beta$, wobei α und β reelle Zahlen sind. Die Beweis überlasse ich euch.

Beispiel 1. Die Masse eines Tieres hängt vom Volumen ab, da die Dichte fast immer ungefähr die Dichte von Wasser (wenn es keine Insekten sind) ist, also $M \sim V$. Das Volumen ist aber Daumen-mal-Pi direkt proportional zur Länge (oder Höhe) zur dritten Potenz, eine Annäherung, die Formfaktoren unwichtig sein lässt, also $V \sim L^3$, daher $M \sim L^3$. Die Schwerkraft, die auf ein Tier ausgeübt wird, ist also direkt proportional zu L^3 .

Andererseits, damit ein Tier fliegen kann, müssen die Flügel eine bestimmte Tragkraft haben, welche direkt proportional zur Fläche der Flügel ist. Diese Fläche ist wieder direkt proportional zu L^2 . Auch hier kann ein Vogel mit der Form der Flügel ein wenig eine Variation anbringen, aber mathematisch wäre dies dann etwas wie $\alpha L^2 \leq \text{Tragkraft} \leq \beta L^2$, denn ein Kondor wird wohl nicht einen Flügel von 1cm mal 7m und ein Kolibri wohl nicht einen von 40cm mal 1mm haben. Für jede Flügelform gilt zwar $\text{Tragkraft} \sim L^2$, also $\text{Tragkraft} = k \cdot L^2$, aber formabhängig liegt k in einem Intervall $[\alpha, \beta]$.

Damit ein Vogel fliegen kann, muss die Tragkraft größer als die Schwerkraft sein (warum?). Die Funktion L^3 wächst aber schneller als L^2 und darum gibt es eine größte Größe für fliegende (warmblutige) Tiere. Nemen wir an, Schwerkraft = $G = aL^3$ und Tragkraft = $T = bL^2$, dann gilt $aL^3 \leq bL^2$ falls $L \leq b/a$. Wenn $L \geq b/a$, dann ist der Vogel zu groß. Aus einer Liste von Vogelarten mit ihren Eigenschaften könnte man eventuell a und b bestimmen!

Die Größe L ist aber nicht immer leicht zu definieren, denn welche Länge nehmen wir? Dafür dann ein Trick: $M \sim L^3$, also $L \sim M^{1/3}$. Daher $G \sim M$ und $T \sim M^{2/3}$. Nehmen wir an $T = cM^{2/3}$ und da $G = Mg$ mit $g = 9,81m/s^2$ (ist exakt), kann ein Vogel fliegen falls $Mg \leq cM^{2/3}$, also $M^{1/3} \leq \frac{c}{g}$.

In diesem Beispiel hast du sogenannte Scaling Laws gesehen: $T \sim M^{2/3}$.

Ein wichtiges anderes Beispiel ist folgendes:

Beispiel 2. Tiere geben ihre Temperatur an die Umgebung ab. Die Temperaturabgabe ist direkt proportional zur Fläche, also $L^2 \sim M^{2/3}$. Die Wärmeproduktion passiert im Gewebe, ist also direkt proportional zur Masse. Die Funktion M steigt besser als $M^{2/3}$. Das Verhältnis Wärmeabgabe zu Wärmeproduktion geht wie $M^{-1/3}$ und wird also kleiner, umso größer das Tier wird. Das bedeutet:

Kleinere Tiere müssen mehr arbeiten, um ihren Körper auf Temperatur zu halten, ihre Herze müssen also auch schneller schlagen, um den Kreislauf schneller laufen zu lassen. (Schau dir mal an, wie schnell das Herz deines Haustieres schlägt, oder wie schnell ein Hund atmet!) Größere Tiere haben Probleme ihre Hitze los zu werden. Ein Elephant wird daher selten so lang schnell laufen können, denn er stirbt von Übererhitzung, wenn er das nur versucht. Interessanterweise sind auch die Säugetiere unter den Fischen die größeren Fische - unter Wasser verliert man die Wärme schneller. In den Polargebieten sind auch vor allem große Tiere, und die kleineren (Lemminge) leben teilweise unterirdisch, denn nur wenn genügend Wärmeproduktion im Körper ist, kann ein warmblutiges Tier dort leben.

Umgekehrt müssen kaltblutige Tiere die Wärme aus der Umgebung aufnehmen. Die benötigte Wärme geht aber mit der Masse. Die Geschwindigkeit vom Aufwärmen geht aber mit der Fläche, also mit $M^{2/3}$. Wie lange ein kaltblutiges Tier braucht, sich um x Grad aufzuwärmen, ist also direkt proportional zu $x \cdot M^{1/3}$. Folgen: In kalten Regionen wird x automatisch zu groß und in den Polargebieten gibt es tatsächlich weniger Insekten und Reptilien. In den Tropen kann es die größten Insekten und Reptilien geben (Anaconda, Alligator), und auch die sind nicht die größten Tiere dort: wenn $M^{1/3}$ zu groß wird, dauert es zu lange, bevor das Tier sich zu irgendetwas aufgewärmt hat.

Damit ihr genügend Material habt, noch ein Beispiel:

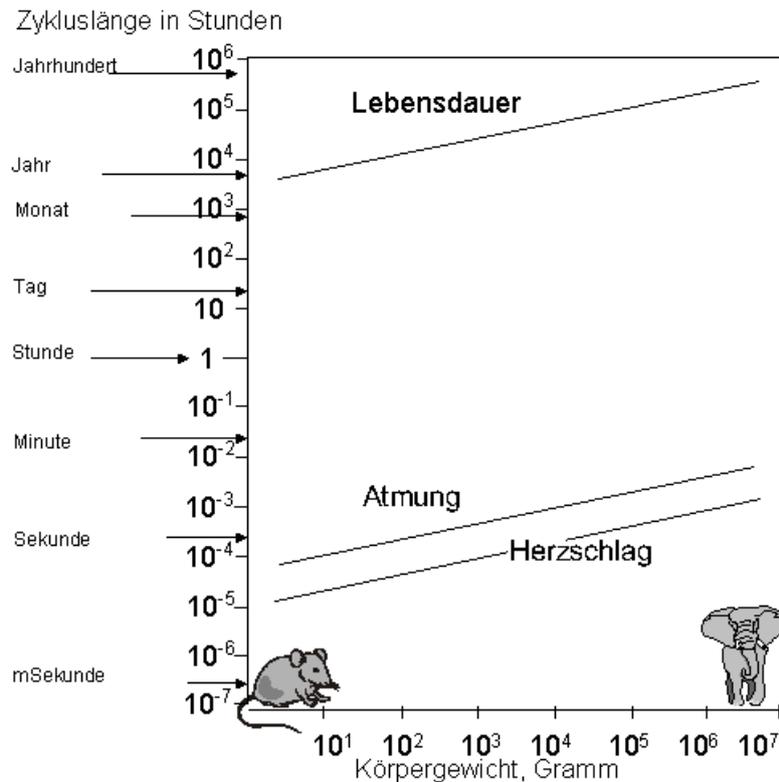


Abbildung 1: Scaling Laws logarithmisch dargestellt. Man sieht hier schön, dass Skaliergesetze lineare Gesetze werden, wenn man die Logarithmen betrachtet. Die Steigung ist dann die Potenz des Potenzgesetzes. Man sieht, die Potenz ist jeweils etwa $\frac{1}{3}$. Bild von Wikipedia/Wikimedia Allometrie.

Beispiel 3. Bekannterweise sind die Knochen von größeren Tieren auch dicker, nicht nur wirklich dicker, sondern in Verhältnis auch dicker! Der Grund ist einfach. Wir konzentrieren uns mal auf den Oberschenkelknochen (Femur). Dieser Knochen muss etwa die Hälfte (bei Menschen) oder ein Viertel (bei Pferden usw.) an Gewicht tragen können. Das Material ist bei allen Tieren gleich (es sind dieselben Knochenzellen etwa) und dieses Material geht kaputt, wenn, so wie bei jedem Material, der Druck zu hoch wird. Der Druck auf den Knochen ist F/A , Kraft pro Fläche. Es gilt logischerweise $F \sim M \sim L^3$ und $A \sim B^2$, wobei B die Breite von Knochen ist. Die Länge eines Knochens ist direkt Proportional zu L .

Damit die Knochen dick genug sind, muss gelten $A \sim F \sim L^3$, also $B^2 \sim L^3$. Daraus folgt $B \sim L^{1.5}$. Die Breite von Knochen wächst also schneller mit der Größe als die Größe selbst. In anderen Worten, größere Tiere haben deutlich dickere Knochen!

Hauptauftrag 1. Wiederhole für dich selbst, was die Funktion des Herzens ist, und was Blutdruck bedeutet. Suche dann auf, wie alt Elefanten und Giraffen werden. Du wirst einen krassen Unterschied sehen. Versuche mit dem Begriff Blutdruck dies zu erklären. Hinweise: Herzvolumen \sim Volumen; Blutdruck \sim Herzvolumen mal Frequenz; Andererseits muss der Blutdruck groß genug sein, das Blut vom Herzen ganz hinauf zu pumpen, also muss der Blutdruck auch direkt proportional zur Höhe des Tieres sein.

Frage 1. Wir Menschen können nicht fliegen, weil wir zu groß sind. Jedoch sind Flugzeuge deutlich größer als Menschen. Warum ist das kein Widerspruch?

Frage 2. Warum gibt es keine große, kaltblütige Tiere in Österreich?

Zusatzaufgabe 1. Finde heraus, was die Konstante c in Beispiel 1 ungefähr ist. Benutze dabei die Werte aus einer Tabelle mit Vogelmassen und unterscheide zwischen denen die gerade noch fliegen können und welche nicht.

Zusatzaufgabe 2. Benutze eine Tabelle mit Eigenschaften wie Masse (M), Größe (L) und Spannweite (S) von Vogelarten. Benutze $T \sim S \cdot L$ (Flügel muss am Körper haften, eine Seite des Flügels ist also direkt proportional zu L , die andere ist S). Finde a in $T = aSL$, indem du $\frac{T}{SL}$ für viele Vögel ausrechnet und vergleichst. Benutze dann die Bedingung $Mg = aSL$ um die Spannweite eines Flügels für Menschen zu finden.

Zum Abschluss des Kapitels möchte ich euch auf ein Bild hinweisen - siehe Figur 1. In diesem Bild siehst du Herzschlag, Atmungsdauer und Lebensdauer 'logarithmus' gegen die Masse abgetragen. Tatsächlich werden Scaling Laws lineare Funktionen, wenn man den Logarithmus nimmt:

$$y = \beta x^\alpha \implies {}^{10}\log(y) = \alpha \cdot {}^{10}\log(x) + {}^{10}\log(\beta).$$

Dies sieht man genau in Figur 1. Auf diese Weise kannst du sogar auf Scaling Laws kommen; viele Tabellen durchackern, logarithmisch darstellen, hoffen, dass Geraden entstehen, und dann gibt dir die Steigung die Exponent des Skaliergesetzes!

6 Hebel, Kraft und Muskeln

Kraft hat Einheit Newton (N). Es gelten folgende drei Axiome von Newton

- (a) Masse ist träge; Masse widersetzt sich einer Bewegungsänderung um so mehr, desto größer die Masse ist.
- (b) Kraft ist Masse mal Beschleunigung, $F = ma$, daher $1N = 1kg \cdot m \cdot s^{-2}$.
- (c) Kräfte kommen immer in Paaren vor; übt Objekt 1 eine Kraft $\vec{F}_{1 \rightarrow 2}$ auf Objekt 2 aus, dann übt Objekt 2 eine Kraft $\vec{F}_{2 \rightarrow 1}$ auf Objekt 1 aus, und es gilt, dass beide Kräfte gleich groß sind, aber in Richtung entgegengestellt; $\vec{F}_{1 \rightarrow 2} = -\vec{F}_{2 \rightarrow 1}$.

Impuls ist die richtige Größe um Bewegung zu messen $\vec{p} = m\vec{v}$ für ein Objekt mit Masse m und Geschwindigkeit \vec{v} . Impuls hat somit eine Richtung. Für zusammengesetzte Körper muss man alle Impulse der Teile aufaddieren.

Kinetische Energie ist eine Form von Energie. Formel für sie ist $E_{kin} = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}m\vec{v} \cdot \vec{v}$. Kinetische Energie hat keine Richtung, ist also ein Skalar.

Es gelten:

- (i) In einem abgeschlossenen System bleibt Energie erhalten.
- (ii) In einem abgeschlossenen System bleibt der Impuls erhalten.

Achtung: bei (ii) gibt es also drei erhaltene Größen; die x -Komponente, die y -Komponente und die z -Komponente des Impuls.

Beispiel 4. Wie schnell geht ein Elf-Meter-Schuss? Nehmen wir an, der Schuss ist wie ein Zusammentreffen zwischen Unterschenkel und Ball, und keine Energie (und Impuls) geht verloren in andere Sachen als Bewegung. Nur dann bekommen wir eine echte Oberschranke. Nennen wir u die Geschwindigkeit vom Unterschenkel, M die Masse des Unterschenkels, m die Masse des Balles, w die Endgeschwindigkeit des Unterschenkels (also nach dem Schuss) und v die Endgeschwindigkeit des Balles. Dann gelten

$$Mu = Mw + mv \tag{1a}$$

$$\frac{1}{2}Mu^2 = \frac{1}{2}Mw^2 + \frac{1}{2}mv^2 \implies v^2 = \frac{M}{m}(u-w)(u+w) \tag{1b}$$

Wenn man dann benutzt $u - w = \frac{m}{M}v$ und $w = u - \frac{m}{M}v$ bekommt man recht schnell

$$v = \frac{2M}{M+m}u. \quad (2)$$

Der Faktor $\frac{2M}{M+m}$ ist 1, wenn $M = m$ und wird kleiner wenn m größer wird. Wenn m aber kleiner wird als M , dann wird dieser Faktor größer, bleibt aber immer kleiner als 2. Im Grenzfall, dass die Masse des Balles im Verhältnis zur Masse des Unterschenkels zu gegen Null geht, wird dieser Faktor dann 2. Daher ist die maximale Geschwindigkeit eines Penaltieschusses zweimal die Geschwindigkeit des Unterschenkels. Wenn der Spieler sprintet und 30 km/h erreicht, und sein Bein heftig schwingt, sodass eine zusätzliche 30 km/h erreicht werden, kriegt der Ball also maximal eine Geschwindigkeit von 120 km/h . Dies stimmt etwa für die Fußballspieler, denn die meisten Spieler schießen mit v im Bereich 100 und 110 km/h , aber sehr selten über 130 km/h . Um dieses Maximum zu erreichen, muss der Unterschenkel also relativ schwer sein; Blei in die Schuhe beim Penaltie-Schießen!

Wenn ein Punkt fest ist, wird durch eine Kraft eine Drehung verursacht. Der wichtige Begriff ist ‘Hebel’; ein Hebel ist eine mechanische Konstruktion, bei der es einen Drehmittelpunkt gibt, und Kräfte können auf die Konstruktion ausgeübt werden. Wirkt eine Kraft F auf Distanz d vom Drehpunkt, so ist das Drehmoment das Produkt Fd . Achtung, d ist hier die minimale Distanz, daher muss man die Linie längst welcher die Kraft wirkt betrachten, und dann ist d die Distanz zwischen dieser Linie und den Drehmittelpunkt. Diese Distanz d wird oft den Arm der Kraft F genannt. Dann ist das Hebelgesetz:

HEBELGESETZ: *Ein Hebel ist ein Gleichgewicht falls die Summe $\sum_i F_i d_i$ aller Drehmomente, die eine Rechtsdrehung bewirkt, gleich der Summe $\sum_k F_k d_k$ aller Drehmomente, die eine Linksdrehung bewirken, ist.*

Beispiel 5. Es ist erheblich schwieriger ein Gewicht mit gestrecktem Arm vor dir zu halten als mit eingezogenem Arm. Dies ist aus dem Grund, dass sich der Arm des Schwerkraft beim Ausstrecken vergrößert. Der Arm der Muskelkraft bleibt aber gleich, denn der Muskel ist zwischen mehreren Knochen fest verbunden, und kann somit seinen Arm nicht verlängern.

Beispiel 6. Die Kniescheibe ist ein komisches Stück Knochen; warum ist es sie so funktionell? Auch hier ist die Antwort aus physikalischer Sicht einfach. Nicht nur schützt die Kniescheibe das Kniegelenk vor Stößen von außen, sondern sie verlängert auch den Kraftarm des Quadriceps, des Oberschenkelmuskels, der bei Beugungen der Beine eine wichtige Rolle spielt. Durch das Zwischenschalten eines Stück Knochens wird der Muskel über das Knie geleitet und somit entsteht eine größere Distanz zum Drehpunkt. Wäre der Muskel direkt über den Drehpunkt gelegen, wäre d fast Null, und somit würde der Quadriceps ein kleineres Drehmoment erzeugen. Nicht nur das Kniegelenk bedient sich eines solchen Sesambeins, auch das Erbsenbeins beim Handgelenk ist ein sogenanntes Sesambein.

Frage 3. Wo in unserem Körper befinden sich noch mehr Sesambeine? Welche Tiere haben noch andere, spezielle Sesambeine?

Hauptauftrag 2. *Wiederhole die Begriffe ‘Kraft’, ‘Impuls’, ‘Leistung’. Im Besonderen, erkläre die Axiome von Newton, Energie- und Impulserhaltung.*

Hauptauftrag 3. *Verdeutliche die Hebelwirkungen anhand: Triceps, Biceps, auf den Zehen Stehen. Nicht nur im Internet suchen, auch an den eigenen Muskeln ausprobieren!*

7 Nerven und Elektrizität

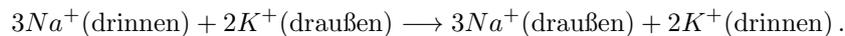
Ein Nervensignal ist ein elektrisches Signal, aber nicht wie bei einem Kupferkabel, wobei Elektronen frei durch das Material fließen. Nerven bestehen aus den Enden und einem langen Kabel, dem Axon. Das Nervensignal geht durch das Axon, und bei den Enden wird es auf den anderen Nerv geleitet, da geht es wieder durch den Axon, usw.

Die folgende Geschichte ist sehr biologisch-chemisch-physikalisch. Ich habe versucht, die Darstellung einfach zu halten. Eine gute Quelle ist die Website

<http://www.biologymad.com/nervoussystem/nerveimpulses.htm>.

Im Körper gibt es viele Ionen. Diese Ionen entnehmen wir aus zum Beispiel Salzen. Die für uns jetzt sehr wichtige sind Natrium (Na^+), Kalium (K^+), und später auch Calcium (Ca^{2+}) und Magnesium (Mg^{2+}). Diese Ionen können nicht immer so von Zelle zu Zelle wandern.

Alle Zellen haben eine Zellwand, welche für K^+ -Ionen in der Regel gut durchlässig, für Na^+ und Cl^- -Ionen eher schwierig durchlässig ist¹. Die Zellwände haben verschiedene Ionenpumpe, die den Ionenhaushalt organisieren. Ein wichtiges Exemplar ist die Na-K-Pumpe. Mittels eines Enzyms ist es möglich an der Oberfläche eines großen Eiweißmoleküls, das die Pumpe bildet, ein Austauschspiel mit Na^+ und K^+ zu spielen. Drei Na^+ -Ionen von innerhalb der Zelle werden gegen zwei K^+ -Ionen von außerhalb der Zelle getauscht. Schematisch



Dadurch wird die Zelle natürlich etwas negativ geladen. Es steht somit eine Spannung über die Zellwand. Das Innere der Zelle hat relativ zum Äußeren der Zelle eine kleine, aber existente Spannung von $-70mV$. Negativ, weil die kleinste Spannung dort ist, wohin die Protonen gezogen werden. In Kürze; die Ionen können nicht extrem leicht durch die Zellwand, und die Pumpen sorgen dafür, dass im Normalzustand ein kleiner Überschuss an positiven Ionen außerhalb der Zelle ist.

Bei Nervenzellen können ein paar Sachen zusätzlich passieren, die dann das Laufen eines Nervensignals ausmachen. Dazu muss man wissen, dass eine Zellwand neben den Pumpen auch noch Kanäle hat, durch welche bestimmte Ionen wandern können. Dieses Wandern durch die Kanäle und das Pumpen der Na^+ - K^+ -Pumpen sorgt für ein Ionengleichgewicht, unter welchem diese Spannung von $-70mV$ über die Zellwand steht. Die Na^+ - und K^+ -Kanäle öffnen und schließen sich in Reaktion auf der Spannung; bei bestimmten Spannungen gehen sie auf, bei anderen wieder zu.

Der Verlauf eines Nervensignals ist etwa folgendermaßen aufgebaut (siehe auch Figur (2)):

(1) **Depolarisation:** Wenn (aus später ersichtlichen Gründen - siehe Stimulus (Reiz)) die Spannung von $-70mV$ mal höher wird, und sogar die $-50mV$ überschreitet, öffnen sich die Na^+ -Kanäle. Demzufolge rennen die Na^+ -Ionen in die Zelle rein, und so steigt die Spannung noch mehr, und zwar so stark, dass sie positiv wird!

(2) **Repolarisation:** In Reaktion darauf, wenn die Spannung so $+30mV$ erreicht, kippt sich das um: Die Na^+ -Kanäle schließen sich, sodass kein Na^+ -Ionen mehr in die Zelle wandern und die K^+ -Kanäle öffnen sich auch, sodass die K^+ -Ionen das jetzt positive Zellinnere verlassen und aus der Zelle raus gehen. Somit sinkt die Spannung wieder.

(3) **Hyperpolarisation bzw. Refraktärzeit:** Die Spannung sinkt dann sogar etwas zu weit (erinnere dich; die K^+ -Ionen gehen sogar jetzt raus). Wenn die Spannung so etwa $-80mV$ erreicht, schließen sich die K^+ -Kanäle wieder. Dann können die Na^+ - K^+ -Kanäle wieder ihre Arbeit tun und so das Na^+ - K^+ -Gleichgewicht einstellen, und die Spannung auf $-70mV$ bringen.

Wenn ein Teil des Axons in Stadium (1) ist, wird es also positiv, dabei wird das danebenliegende Teil auch positiv! Somit gerät das danebenliegende Teil auch in Stadium (1). Somit kann sich ein Signal fortpflanzen - siehe Figur (3).

Im Großen und Ganzen kann man sagen, dass ein Nervensignal ein sich ausbreitende Inversion der Zellspannung ist. Diese Zellspannung ist unter dem Namen 'Aktionspotential' bekannt, und vor allem auf Englisch (action potential) findest du sicher viele tolle Bilder zur Verdeutlichung.

Frage 4. Was haben Magnesium, Kalium und Calcium mit Krampf zu tun?

Hauptauftrag 4. Beschreibe schematisch die Wirkung einer Nervenzelle, den Vorgang bei

¹Für die Germanisten mit einer Schwäche für Gräzismen: Permeable = durchlässig, semipermeabel = halbdurchlässig, impermeabel = nicht durchlässig.

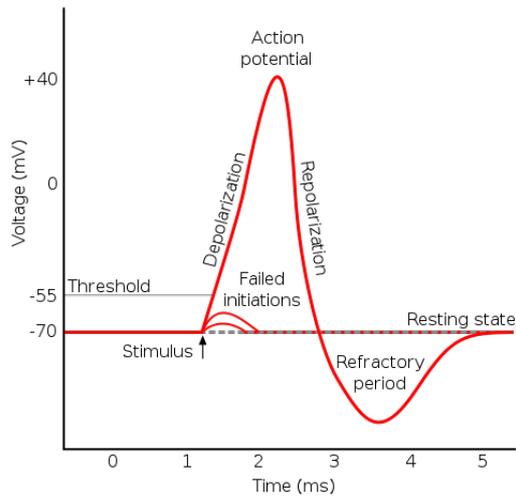


Abbildung 2: Der Verlauf der Spannung an einer Stelle in einem Axon während ein Nervensignal vorbeigeht. Die Spannung dreht sich von negativ auf positiv, um dann wieder auf negativ zurückzukommen. Um überhaupt so einen Verlauf zu haben, muss zuerst von außen (Reiz) die Spannung etwas positiver gemacht werden; passiert das nicht ausreichend, findet kein Nervensignal statt. Quelle Wikipedia/Wikimedia/Action Potential

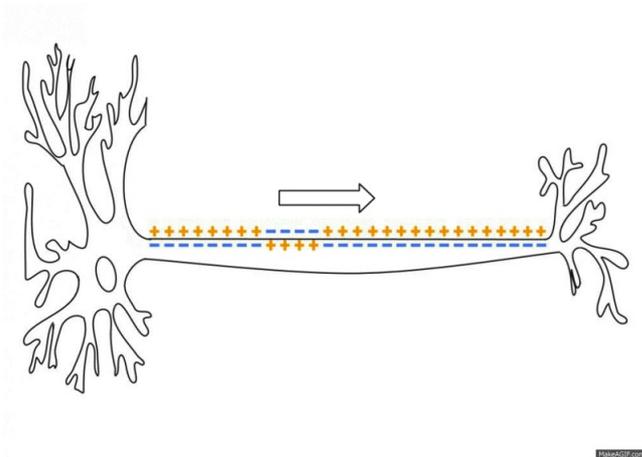


Abbildung 3: Das Nervensignal ist nichts anderes als eine lokale, sich fortplanzende Inversion in der Zellspannung. Quelle Wikipedia/Wikimedia/Action Potential

einem Nervensignal und achte dabei auf die Zellspannung und die Rolle der Ionen. Benutze dabei für Bilder vor allem die angegebene Website! Benutze möglichst viele Skizzen, die deutlich sind.

Muskeln haben auch einige Zusatzfähigkeiten, die eine elektrische Aktivität ermöglichen. Folgender Textteil ist fast eine direkte Transkription von Wikipedia/Muskelkontraktion, auch die Figur (4).

Nach der Gleitfilament- beziehungsweise Filamentgleittheorie von Andrew F. Huxley und Hugh E. Huxley gleiten bei der Kontraktion Filamentproteine ohne Veränderung der Eigenlänge ineinander und verkürzen somit die Länge des Muskels. Bei den Filamentproteinen handelt es sich um Aktin, das äußere, dünne Filament, und Myosin, das innere, dicke Filament, welches sich am dünnen Filament vorbeischiebt und dadurch die Kontraktion ermöglicht. Diese Bewegung wird durch Änderungen der chemischen Konfiguration und damit der Form der Myosin-Moleküle ermöglicht: Das Myosin besitzt kleine Fortsätze (Köpfe), die ihren Winkel zum Rest des Moleküls (Schaft) verändern können. Die Köpfe können wiederum an die Aktin-Filamente binden und diese in sogenannten Ruderbewegungen verschieben. Ausgelöst wird die Kontraktion durch einen Nervenimpuls. Zudem wird für die Lösung des Myosins vom Aktin Energie in Form von ATP benötigt. Steht diese nicht mehr zur Verfügung, können sich die Moleküle nicht mehr voneinander lösen und es kommt zur Totenstarre.

Im Detail wird die Kontraktion durch den so genannten Querbrückenzyklus (Greif-Loslass-Zyklus) zwischen den Aktin- und Myosinfilamenten erklärt. Der Name rührt von der Funktion der Myosinköpfe als Querbrücken zwischen den Aktin- und Myosin-Filamenten her.

Im Ruhezustand (entspannter Muskel) ist das Aktinfilament mit so genannten Tropomyosinfäden umschlungen, die die Bindungsstellen der Myosinköpfchen an dem Aktinfilament bedecken. An das Myosin ist ATP gebunden, das Köpfchen befindet sich in einem 90-Grad-Winkel zum Schaft des Moleküls.

Ein Nervenimpuls von der motorischen Endplatte (Ende des Steuernervs bei einem Muskel) bewirkt die Ausschüttung von Calcium (Ca^{2+}). Das hat zwei Folgen: Zum einen aktiviert Ca^{2+} die Enzymtätigkeit des Myosinköpfchens, welche der einer ATPase gleichzusetzen ist, sodass das angelagerte ATP in ADP (Adenosindiphosphat) und P^i (Phosphatrest) gespalten wird. Die ATP-ase benötigt Mg^{2+} als Cofaktor für die Spaltung; das heißt, ohne Magnesium geht es nicht. Das Calcium bindet zum anderen an Troponin, das an den Tropomyosinfäden angelagert ist, und verändert dabei deren Konfiguration so, dass die Bindungsstellen freigegeben werden und das Myosin an das Aktin binden kann. Für diese Anlagerung wird vermutlich keine (ATP-)Energie benötigt.

Sobald das Myosin an das Aktin gebunden hat, wird das immer noch am Myosinköpfchen anliegenden P^i und kurz danach auch das ADPs freigesetzt. Dadurch wird die Verspannung des Myosins in mechanische Energie umgesetzt: Die Myosinköpfchen kippen in einen 45 Grad-Winkel zum Myosinfilament(Schaft) (ähnlich einem Ruderschlag, auch als Kraftschlag bezeichnet) und ziehen dabei die Aktinfilamente von rechts und links zur Sarkomermittle (Sarkomer = kleinste Einheit der Muskulatur, Faser, etwa 2 bis 2,5 μm lang).

Der Zyklus wird dadurch abgeschlossen, dass sich neues ATP an das Myosin anlagert. Dadurch löst sich das Myosinköpfchen vom Aktinfilament und die beiden Proteine befinden sich wieder im Ausgangszustand. Ein Querbrücken-Zyklus dauert 10-100 ms und verschiebt die Filamente um 10-20 nm, was nur etwa einem Prozent ihrer Länge entspricht. Um eine größere Längenveränderung zu ermöglichen, muss der Zyklus daher mehrere Male durchlaufen werden. Durch etwa 50 Greif-Loslass-Zyklen kann sich das Sarkomer in deutlich weniger als einer Sekunde um ca. 50% seiner Ruhelage verkürzen.

Sinkt die Ca^{2+} -Konzentration unter 10^{-7} mol/l, schlingen sich die Tropomyosinfäden wieder um das Aktinfilament, so dass sich keine neuen Bindungen mit den Myosinköpfchen bilden können - der Muskel erschlafft, man spricht dann von Muskelrelaxation. Dazu ist es nötig, das Calcium durch aktive Ionenpumpen aus dem Muskelgewebe zu transportieren.

Hauptauftrag 5. Suche im Internet auf, wie Muskeln aufgebaut sind. Aus welchen Materialien

Molekulare Mechanismen der Muskelfunktion

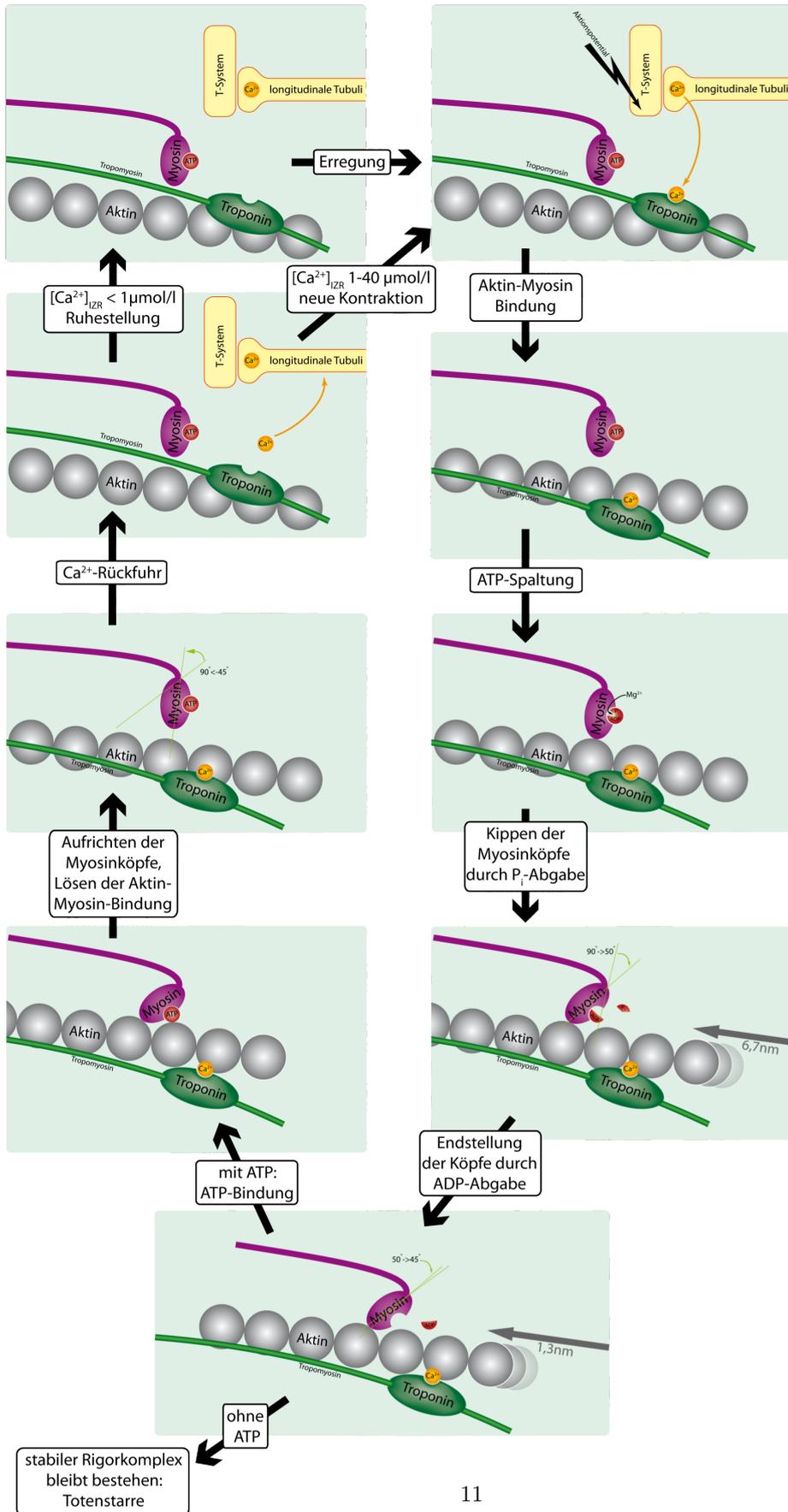


Abbildung 4: Der Vorgang einer Muskelkontraktion in Bildern. Quelle Wikipedia/Wikimedia/Muskelkontraktion.

bestehen sie?

Frage 5. Welche Rolle spielt ADP bei der Muskelkontraktion? Was ist ADP? Beim Nervensignal spielt ATP eine wichtige Rolle. Welche? Was ist ATP? Was haben ATP und ADP gemeinsam? Welche Rolle spielen sie im Allgemeinen im Körper?

Zusatzaufgabe 3. Es gibt eine tolle Erklärung, wie ein Zitteraal einen elektrischen Schock abgibt, auf der Website <http://askanaturalist.com/how-do-electric-eels-generate-electricity/>. Gib eine kurze Erklärung des Phänomens, mit Skizzen bitte!

8 Licht- und Schallverarbeitung

Wie man eine Welle beschreibt ist klar; mit Sinus und Cosinus! Einige Begriffe sind dabei wichtig:

- (1) Frequenz (f): Wie viele Wellenvorgänge pro Sekunde auf einander folgen.
- (2) Wellenlänge (λ): Die Distanz zwischen zwei auf einander folgenden Maxima einer Welle. Minima würde auch funktionieren, Nullstellen aber nicht, denn dann ist die Antwort um einen Faktor zwei daneben.
- (3) Schwingungsdauer (T): Wie lange ein Wellenvorgang dauert. Eine kleine Überlegung zeigt $T = \frac{1}{f}$.
- (4) Kreisfrequenz (ω): ist für unsere Bequemlichkeit da. Sie ist durch $\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$ definiert. Es ist genau ω , das was in vielen Formeln auftaucht.
- (5) Wellenvektor (\vec{k}): ist auch für unsere Bequemlichkeit da. Die Richtung von \vec{k} gibt die Richtung der Fortpflanzung der Welle an, ihre Größe ist durch $|\vec{k}| = \frac{2\pi}{\lambda}$ festgelegt. Auch er kommt in vielen Formeln vor.
- (6) Amplitude (A): ist wie 'weit' sich der Vorgang aus der Gleichgewichtsposition bewegt.
- (7) Eine transversale Welle ist eine Welle, wobei der Wellenvorgang senkrecht auf \vec{k} steht. Zum Beispiel Oberflächenwellen auf Wasser sind transversal.
- (8) Longitudinale Wellen sind die Gegenhänger davon; der Wellenvorgang ist parallel zu \vec{k} . Schallwellen sind longitudinal.

Wie schaut dann eine transversale Welle aus? Betrachte folgenden Ausdruck:

$$\vec{n} \sin(kx - \omega t) = \vec{n} \sin\left(\frac{2\pi x}{\lambda} - \frac{2\pi t}{T}\right)$$

Dies ist ein Vektor multipliziert mit einer Funktion, die von x und t abhängt. Wenn wir t fix nehmen, zB $t = 0$, dann schaut es wie folgt aus:

$$\vec{n} \sin(kx) = \vec{n} \sin\left(\frac{2\pi x}{\lambda}\right)$$

Diese Funktion ist periodisch in x , mit Periode λ . Also, eine Welle!

Wenn wir x festhalten, zB $x = 0$ dann ist es auch eine Welle! Schau mal selbst gut hin, und kontrolliere selbst, dass dann die Schwingungsdauer tatsächlich T ist!

Wie schnell geht dann diese Welle? Ganz einfach, wir folgen einem Punkt auf der Welle! Einen Punkte auf der Welle finden wir, indem das Argument gleich bleibt, also $xt - \omega t$ ist konstant. Diese Konstante können wir wählen, zB Null. Wir betrachten also die Gleichung $kx - \omega t = 0$, was sich umformen lässt zu $x = \frac{\omega}{k}t$. Aber das ist eine Fortpflanzung entlang die x -Achse mit Geschwindigkeit $\frac{\omega}{k} = \frac{\lambda}{T}$.

Der Vektor \vec{n} bestimmt dann, ob die Welle transversal ist oder longitudinal (oder eine Mischung). Steht \vec{n} normal auf die x -Achse, so ist die Welle transversal. Ist der Vektor \vec{n} parallel zur x -Achse, dann ist die Welle longitudinal.

Die Größe von \vec{n} gibt an, wie weit die Welle auf und ab geht. Sie ist somit die Amplitude.

Frage 6. Was ist Schall? Interpretiere Tonhöhe und Lautstärke physikalisch! Benutze obige Begriffe.

Die Luft hat eine Dichte von etwa $\rho_0 \approx 1,2 \text{ kg/m}^3$. Da Luft ein Gas ist, kann sie komprimiert werden. Die Dichte kann also durch mechanische Ursachen hin und her schwanken. (Das ist Schall!) Wie schaut das dann aus? Eine flache Schallwelle ist eine Dichtewelle von der Form

$$\rho(x, t) = \rho_0 + \Delta\rho \sin(kx - \omega t)$$

wobei $\Delta\rho$ die Amplitude der Dichteschwankungen ist; sie ist in der Regel sehr klein.

Zusatzaufgabe 4. Bestimme $\Delta\rho$ für Schall mit 50 dB. Hinweis: Finde die Druckschwankungen (Internet) und benutze dann $pV = nRT$ um auf die Dichteschwankungen zu kommen. NB: Lautstärke (dB) = $20 \cdot \log\left(\frac{\Delta p}{0,02 \text{ mPa}}\right)$.

Diese Schallwelle bewegt sich in x -Richtung mit Frequenz $f = \frac{\omega}{2\pi}$ und mit Geschwindigkeit $\frac{\omega}{k}$. Warum ist diese Welle longitudinal? Einfach! Eine Ebene, wo x konstant ist, zeigt überall die gleiche Dichte auf. Der Dichtegradient ist also senkrecht auf diesen Ebenen, also in x -Richtung. Eine physikalische Erklärung; die Moleküle müssen sich in x -Richtung hin und her bewegen, um diese Dichteänderungen zu verursachen.

Frage 7. Was ist Licht? Interpretiere Farbe und Intensität, aber auch Weiß und Schwarz physikalisch! Benutze obige Begriffe.

Bei Licht stehen das elektrische Feld (das \vec{E} -Feld), das magnetische Feld (das \vec{B} -Feld) und die Fortpflanzungsrichtung \vec{k} alle drei senkrecht auf einander. Dies bedeutet, dass das Vektorprodukt $\vec{E} \times \vec{B}$ parallel zu \vec{k} ist. Die Größe von $\vec{E} \times \vec{B}$ ist sogar ein Maß für den Energietransport durch die elektromagnetische Welle (also, Intensität).

Hauptauftrag 6. Mache mit schönen Skizzen und einer (selbstverständlich selbstgeschriebenen) Erklärung klar, wie wir Menschen uns ein Bild von der Umgebung machen, und wie Schall und Licht als Signale ans Gehirn weitergeleitet werden. Konzentriere dich dabei auf die physikalischen Vorgänge!

9 Methoden der Medizin

In der Medizin werden heutzutage viele physikalische Methoden angewandt. Sowohl in der Diagnose als auch in der Behandlung ist die Physik fast nicht mehr wegzudenken.

Einige Beispiele kennt ihr vielleicht schon: Ultraschallanalyse, Röntgendiagnostik, Bestrahlung von Tumoren.

Hauptauftrag 7. Erkläre die Werkzeuge 'Stethoskop', 'Ultraschalldiagnostik' und NMR

Frage 8. Wähle selbst ein physikalisches Verfahren in der Medizin aus, und beschreibe sie!

10 Bonusthemen

Hier mache ich nur einige Vorschläge:

- Was ist überhaupt 'Leben' – aber bitte keinen Blödsinn, nur wissenschaftliche Texte!
- Wir Menschen sind Entropiemaschinen: Ein Körper hat eine bestimmte Ordnung. Die Entropie eines abgeschlossenen Systems nimmt aber immer zu (zweiter Hauptsatz der Wärmelehre). Daher müssen wir Menschen ständig die Entropie der Umgebung zunehmen lassen, um überhaupt eine niedrige Entropie im Körper aufrechterhalten zu können. Ein Bonusthema wäre diese Entropiesichtweise auf unseren Organismus zu erläutern.

- Das Herz ist ein recht komplexes Organ. Hier spielt der Sinusknoten eine wichtige Rolle; ein elektrisches Signal wird hier abgegeben, das durch verschiedene Kanäle die Unterseite des Herzens erreicht, um dann über die Außenseite zurückzuströmen. Die Außenseite ist aber bekanntlich Muskelgewebe, daher kontrahiert sich dieses, und ein Herzschlag ist entstanden. Beleuchte diesen Vorgang und die Fehler des Herzens (Herzkammerflimmern, usw), aber auch die Herzmassage (mit oder ohne Defibrillator).
- Myelin ist eine Substanz, die im Körper auf der Hülle der Nervenzellen zu finden ist. Diese Substanz beschleunigt das Nervensignal. Beleuchte die Rolle der Myelinschicht aus physikalischer Sicht und besprich auch einige Krankheitsbilder, die einen direkten Zusammenhang mit Myelin haben (MS zB).
- Das Gehirn ist ein Netzwerk von Nerven. Netzwerke kann man mathematisch gut beschreiben – vor allem seit dem brillanten Mathematiker Erdős. Gib ein Basiswissen bzgl. Netzwerke an, und mache eine Netzwerkanalyse des Gehirns. Was ist zum Beispiel die Konnektivität? Mit wie vielen ‘nearest neighbors’ ist eine Zelle verbunden? Gibt es eine Cluster-Struktur? Ist das Netzwerk stabil? Ist der kürzeste Weg immer eindeutig?
- In diesem Skriptum findest du nichts über die Weitergabe von Nervensignalen zwischen zwei Nervenzellen. Fülle diese Lücke auf und besprich (auf biophysischer Ebene) einige Krankheitsbilder, die einen direkten Zusammenhang mit dem Funktionieren der Synapsen zu tun haben.
- Es gibt einige mathematische Modelle in der Physik. Das Predator-Prey-Modell ist ein interessantes Modell. Diese Modelle sind physikalischen Modellen sehr ähnlich. Manche Modelle sind chaotisch, manche nicht. Finde einige Allgemeinheiten zu diesem Thema. Besprich das Predator-Prey-Modell und ein chaotisches Modell. Was sind Attraktoren? Ist das Predator-Prey-Modell stabil?
- Diskutiere verschiedene Mikroskope! Elektronenmikroskop, Lichtmikroskop, Womit kann man Bakterien wahrnehmen? Und Viren?

11 Mathematisches und physikalisches Wissen

11.1 Direkte Proportionalität

Wenn y und x direkt proportional sind, heißt das, wird x zweimal, dreimal oder allgemein a -mal so groß, dann wird y auch zweimal, dreimal oder allgemein a -mal so groß. Es gilt dann die Formel $y = kx$ mit k eine Konstante. Anders ausgedrückt: das Verhältnis $y : x$ ist konstant.

11.2 Logarithmus

Eine mathematische Funktion, die vor allem dann, wenn Potenzen und Exponenten auftauchen, sehr nützlich sein kann. Für alle $x > 0$ definiert man:

$${}^{10}\log(x) = u \iff 10^u = x.$$

Mit anderen Worten ${}^{10}\log(x)$ ist die Potenz u , mit welcher man 10 potenzieren muss, um x zu bekommen. Es gelten folgende Regeln:

$${}^{10}\log(ab) = {}^{10}\log(a) + {}^{10}\log(b), \quad {}^{10}\log\left(\frac{a}{b}\right) = {}^{10}\log(a) - {}^{10}\log(b), \quad {}^{10}\log(a^p) = p \cdot {}^{10}\log(a)$$

für alle $a, b > 0$ und $r \in \mathbb{R}$. Nützlich ist der Logarithmus für das Lösen von Gleichungen der Gestalt $2^x = 123$, denn man bekommt $x \cdot {}^{10}\log(2) = {}^{10}\log(123)$, was wiederum eine lineare Gleichung ist. Für uns sehr sinnvoll, wenn

$$y = ax^p$$

dann

$${}^{10}\log(y) = {}^{10}\log(a) + p{}^{10}\log(x)$$

sodass mit $u = {}^{10}\log(y)$ und $v = {}^{10}\log(x)$ eine lineare Gleichung $u = pv + {}^{10}\log(a)$ entsteht. In Figur 1 siehst du dies angewendet.

11.3 Änderungsrate

Wenn eine Größe sich mit der Zeit ändert, gibt die Änderungsrate die Änderung pro Zeiteinheit (meist Sekunden) an. Mathematisch ist das genau dasselbe wie differenzieren: Wenn $f(t)$ eine Funktion ist, die die Zeit als Variable hat, dann ist die Änderungsrate von f gegeben durch die erste Ableitung $f'(t)$. In der Physik rechnen wir oft auch mit endlichen Zeitintervallen. Die Leistung ist die Änderungsrate der Energie: $P = \frac{\Delta E}{\Delta t}$. Die Geschwindigkeit ist die Änderungsrate der Position $v = \frac{\Delta x}{\Delta t}$ und die Beschleunigung ist die Änderungsrate der Geschwindigkeit $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$. Wenn eine Änderungsrate einer Funktion f Null ist, dann ist also die Funktion f konstant; sie ändert sich nicht mit der Zeit.

11.4 Kommentare zu den Axiomen von Newton

(K1) Ein Axiom ist etwas wie eine Grundannahme, ein Grundgesetz. Mit den Axiomen baut Newton eigentlich ein System an Regeln auf, mit denen man widerspruchsfrei definieren kann, was eine Kraft ist. Axiom 2 definiert dann eine Kraft: Wenn durch eine Ursache sich ein Objekt mit Masse m beschleunigt, sodass die Beschleunigung a beträgt, dann nennen wir die Ursache eine Kraft und die Größe ist durch $F = ma$ definiert.

(K2) Die Beschleunigung ist die Änderungsrate der Geschwindigkeit. Das heißt, wenn sich in t Sekunden die Geschwindigkeit um w ändert, dann gilt $a = w/t$. So wie Geschwindigkeit die Änderungsrate der Position ist $v = \Delta x/\Delta t$, so beschreibt die Beschleunigung die Änderung der Geschwindigkeit mit der Zeit. In anderen Worten: Die Beschleunigung gibt an, wie viel m/s sich die Geschwindigkeit pro Sekunde ändert. Ein Beispiel: Die Fallbeschleunigung ist die Beschleunigung, die jedes Objekt an der Erdoberfläche haben würde, wenn es keine Reibung gäbe. Sie beträgt etwa $10m/s^2$. Das heißt, dass sich im freien Fall ein Objekt so beschleunigt, dass die Geschwindigkeit um jede Sekunde mit $10 m/s$ zunimmt. Also, eine Sekunde lang fallen $-i 10m/s$ ist die Geschwindigkeit; zwei Sekunden lang gefallen $-i 20m/s$ ist die Geschwindigkeit; und so weiter. Es gibt aber Reibung, also geht es etwas langsamer.

(K3) Axiom 1 wird von vielen falsch verstanden. Das kommt durch unsere Alltagserfahrungen! Man denkt oft, wenn keine Kraft wirkt, dann bremst sich ein Objekt und steht es etwas später still. Was in unserem Alltag aber immer vorhanden ist, ist die Reibung. Ein rollender Ball bremst sich, das heißt, dass die Beschleunigung nicht Null ist, sie ist nämlich negativ! Aber dann muss eine Kraft wirken, und in diesem Fall ist es Reibung. Der rollende Ball überträgt dem Boden und der Luft Energie.

(K4) Aus Axiom 2 folgt Axiom 1: Wenn es keine Kraft gibt, ist also $F = 0$. Aber dann auch $ma = 0$, und wenn wir durch m dividieren bekommen wir: $a = 0$. Aber dann ist also die Geschwindigkeit konstant.

(K5) Axiom 3 muss man aus logischen Gründen hinzufügen. Anderenfalls würde überall im Alltag die Beschleunigung unendlich werden. Das zu erklären mache ich gerne ein anderes Mal.

(K6) Axiom 3 wird auch oft falsch verstanden. Ein Beispiel: Die Erde zieht an einen Apfel, das ist die Schwerkraft. Aber dann zieht der Apfel auch an der Erde. Warum fällt dann der Apfel aus einem Baum nach unten und nicht die Erde hinauf zum Apfel? Antwort: Die Masse der Erde ist viel größer als die des Apfels, also die Kraft F ist für beide gleich groß, nur die Beschleunigung $a = F/m$ ist für die Erde fast Null, für den Apfel aber nicht. Missverständnis zwei: Wenn die zwei Kräfte gleich groß sind, dann fällt der Apfel doch nicht, weil die Kräfte einander entgegen wirken. Erklärung: Die Falschheit liegt darin, dass die eine Kraft an der Erde zieht, die andere am Apfel und nicht beide am Apfel.

11.5 Geschwindigkeit

Physikalische Größe, gibt die Positionsänderung an. Gibt an, wie viel Weg pro Zeiteinheit zurückgelegt wird. Symbol v , Einheit m/s , auch wohl km/h . Formel $v = \frac{s}{t}$, wo s der zurückgelegte Weg und t die dafür benötigte Zeit ist. Auch in der Form $v = \frac{\Delta x}{\Delta t}$ mit Δx Änderung in Position und Δt Zeitintervall. Änderungsrate der Position. Erste Ableitung nach der Zeit von der Position.

11.6 Beschleunigung

Physikalische Größe, gibt die Geschwindigkeitsänderung an. Gibt an, wie viel die Geschwindigkeit pro Zeiteinheit zu- oder abnimmt. Wenn negativ, dann wird gebremst, wenn positiv, dann wird (wirklich) beschleunigt. Symbol a , Einheit m/s^2 , auch wohl m/s pro Sekunde. Formel $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$. Somit ist a die Änderungsrate der Geschwindigkeit. $a < 0$ deutet auf abnehmende Geschwindigkeit, $a = 0$ deutet auf konstante Geschwindigkeit, $a > 0$ deutet auf zunehmende Geschwindigkeit.

11.7 Drehmoment

Physikalische Größe, beschreibt die Einwirkung von Kräften auf ein Objekt, das sich um einen Punkt drehen kann – siehe Hebelgesetz. Arbeitet eine Kraft \vec{F} auf ein Objekt, und ist \vec{r} der Vektor von Angriffspunkt der Kraft zum Drehpunkt, dann ist der Beitrag zum Drehmoment $\vec{r} \times \vec{F}$. In einfacher Sprache Kraft mal Arm.

11.8 Drehimpuls

Physikalische Größe, beschreibt, wie viel sich ein Objekt dreht, vergleichbar mit Impuls. Man erhält den Drehimpuls indem man alle Beiträge $\frac{1}{2}m\vec{r} \times \vec{v}$ für alle Massen m auf \vec{r} vom Drehpunkt addiert. Ein Drehmoment kann den Drehimpuls ändern. Wirkt kein Drehmoment, so ist der Drehimpuls erhalten. Man sieht dies zum Beispiel bei den Eisläufern, die ein Pirouette machen: Hände einziehen bewirkt eine schnellere Drehung.

11.9 Spannung

Physikalische Größe, gibt an, wie viel Energie pro Coulomb gewonnen werden kann, bzw. erforderlich ist, wenn Strom eine Strecke durchläuft. In einem Stromkreis ist die Spannung zwischen zwei Punkten A und B die von den Elektronen abgegebene Energie, wenn ein Coulomb die Strecke von A nach B durchläuft. Es gilt $V_{AB} = \int_A^B \vec{E} d\vec{x}$ und im eindimensionalen Fall $E = -\frac{dV}{dx}$.

11.10 Temperatur und Kelvin

Temperatur ist eine physikalische Größe und ist ein Maß für die Bewegungsenergie der Teilchen. Wir benutzen oft Celsius als Einheit. Besser wäre Kelvin. Sie ist genau wie Celsius, nur um 273,16 mehr. Bei Null Kelvin, oder $-273,16$ Celsius, ist die Bewegungsenergie der Moleküle Null – sie stehen still.

11.11 Umrechnen

(M) Mega = 1000000 = 10^6

(K,k) Kilo = 1000 = 10^3

(c) Centi = 0,01 = 10^{-2}

(m) Milli = 0,001 = 10^{-3}

(μ) Mikro = 0,000001 = 10^{-6}

(n) Nano = 0,000000001 = 10^{-9}

Eine Stunde sind 60 Minuten. Eine Minute sind 60 Sekunden. Eine Stunde sind 3600 Sekunden.

$$1km/h = \frac{1000m}{3600s} = \frac{1}{3,6}m/s.$$

$$1m/s = \frac{1/1000}{1/3600} \frac{km}{h} = 3,6km/h.$$

$$c = 3 \cdot 10^8 m/s.$$

11.12 Erhaltungsgesetze

Energieerhaltung, Impulserhaltung, Drehimpulserhaltung, Ladungserhaltung . . . sind nur einige Beispiele der Erhaltungsgesetze in der Physik. Ihre Richtigkeit basiert auf Symmetrien. So ist zum Beispiel die Natur symmetrisch bezüglich Zeittranslationen; daraus folgt Energieerhaltung. Erhaltungsgesetze vereinfachen das Ausrechnen von Größen in verschiedenen Situationen. In der Biologie gibt es eher wenige Erhaltungsgesetze.